

# **Kläranlage Eberbach**

## **Energieeffizienzanalyse**

Im Auftrag der  
**Stadt Eberbach**

Leopoldsplatz 1  
69412 Eberbach  
Tel: 06271 / 87- 1  
Fax: 06271 / 87- 200  
E-Mail: [stadt@eberbach.de](mailto:stadt@eberbach.de)

erstellt von

**iat - Ingenieurberatung GmbH**

Friolzheimer Straße 3A  
70499 Stuttgart  
Tel.: 0711 / 814775- 0  
Fax: 0711 / 814775- 11  
E-Mail: [info@iat-stuttgart.de](mailto:info@iat-stuttgart.de)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Allgemeines</b>	<b>1</b>
<b>2. Ausgangssituation und Bestandsaufnahme</b>	<b>2</b>
2.1 Derzeitige Auslegung	2
2.2 Wasserrechtliche Erlaubnis	3
2.3 Kläranlagenbestand	5
Fließschema	5
2.3.1 Kläranlagenbestand	8
2.4 Zusammenfassung der Betriebsdatenauswertung 2019-2022	12
2.4.1 Abwassermenge	13
2.4.2 Zulauf der Kläranlage	14
2.4.3 Zulauf zur Belebungsanlage	15
2.4.4 Ablaufwerte	17
2.4.5 Betriebswerte der Belebungsanlage	18
2.4.6 Schlammbehandlung	19
2.4.7 Klärgaserzeugung und –verwertung	21
2.4.8 Brennstoffverbrauch in Heizung	22
2.5 Strombezug	23
<b>3. Grobanalyse /Ermittlung der Kennzahlen</b>	<b>25</b>
3.1 Energiecheck	25
3.1.1 Grundlage mittlere biologische Belastung der Kläranlage	25
3.1.2 Gesamtstromverbrauch	27
3.1.3 Zuschlag Zulaufhebewerk	28
3.1.4 Stromverbrauch der Belüftung	34
Gesamtstromverbrauch der Belüftung	34
3.1.5 Faulgasanfall	35
3.1.6 Eigenversorgungsgrad durch Stromerzeugung der Kläranlage	36
3.1.7 Externer Wärmebezug	37
3.2 Zusammenfassung Energiecheck	39
3.3 Vergleich der Stromverbräuche mit Toleranz- und Zielwerten	39
<b>4. Maßnahmen</b>	<b>42</b>
4.1 Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs	42
4.1.1 Optimierung Zulaufhebewerk	42
4.1.2 Einsatz energieeffizientere Motoren	44
4.1.3 Optimierung Betrieb von Pumpwerken	46
4.1.4 Optimierung der Belüftung	47
4.1.5 Optimierung Schlammbehandlung	48
4.2 Maßnahmen zum Ausbau der erneuerbaren Energien	50
4.2.1 Optimierung Biogasverwertung	50
4.2.2 Stromerzeugung durch Photovoltaik	56
4.2.3 Stromerzeugung durch Nutzung der Wasserkraft	60
4.2.4 Abwasserwärmenutzung	61
4.2.5 Nutzung der Gebläseabwärme zur Gebäudeheizung	62

<b>5. Bewertung der Maßnahmen unter CO<sub>2</sub>-Gesichtspunkten .....</b>	<b>64</b>
<b>6. Zusammenfassung und Empfehlungen .....</b>	<b>67</b>

## 1. Allgemeines

Die Stadt Eberbach betreibt die Kläranlage (KA) Eberbach. Diese ist auf eine Ausbaugröße von 28.000 Einwohnerwerte (EW) ausgelegt und ist damit der Größenklasse 4 (> 10.000 - ≤ 100.000 EW) zuzuordnen. Die KA Eberbach verfügt über eine vorgeschaltete Denitrifikation und eine biologische und chemische Phosphorelimination. Das gereinigte Abwasser wird in den Neckar eingeleitet.

Kläranlagen verbrauchen zwar nur etwa 1 % des gesamten erzeugten Stromes in Deutschland, aber ihr Anteil am kommunalen Energieverbrauch liegt immerhin bei rund 20 bis 30 %. Dabei kann der spezifische Stromverbrauch pro Einwohnergleichwert von unterschiedlichen Kläranlagen stark schwanken. Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass oft durch geringe Investitionen oder sogar nur betriebliche Veränderungen Energie eingespart werden kann.

Die Stadt Eberbach verfolgt das Ziel bis 2035 Klimaneutralität zu erreichen. Dabei sind auch bei der Kläranlage Potenziale der Energieeinsparung und -erzeugung zu nutzen. Ein integriertes Energiekonzept für eine Kläranlage behandelt einerseits die Senkung des Strombedarfs durch verfahrenstechnische Optimierung der Abwasserbehandlung (rationelle Energieverwendung) und ggf. Maßnahmen im Umfeld (z.B. Fremdwasserreduzierung, Vorbehandlung bei Indirekteinleitern).

Andererseits wird dargestellt, wie die Energieerzeugung durch PV-Anlagen und effizienter Nutzung des Biogases (z.B. BHKW) erhöht werden kann. Damit soll insgesamt der Eigenversorgungsgrad mit Strom deutlich gesteigert werden.

Um einen energetisch optimierten Betrieb des Klärwerks zu gewährleisten, hat die Stadt Eberbach die iat-Ingenieurberatung GmbH mit der Erstellung eines Energiekonzeptes auf Basis einer Grob- und Feinanalyse für die Kläranlage Eberbach beauftragt.

Das Energiekonzept orientiert sich an der Vorgehensweise des Schweizer Handbuchs „Energie in ARA“ sowie des Merkblattes „Energieeinsparung in Kläranlagen“ des IMPULS-Programms Hessen und umfasst die Schritte Grob- und Feinanalyse.

Die Empfehlungen aus dem UBA-Projekt „Steigerung der Energieeffizienz auf Kläranlagen“ werden ebenso wie das im Entwurf vorliegende DWA-Arbeitsblatt A 216 „Energieanalysen von Kläranlagen“ berücksichtigt.

Beim Energiecheck gemäß DWA 216 werden die relevanten Energiekennwerte der Kläranlage ermittelt. Anhand der Energiekennwerte kann eine erste Einstufung der Kläranlage erfolgen.

## **2. Ausgangssituation und Bestandsaufnahme**

### **2.1 Derzeitige Auslegung**

Die Kläranlage Eberbach wurde 1977 in Betrieb genommen und 1996 und 2008 umgebaut und erweitert. An die Kläranlage Eberbach sind 14.085 Einwohner (Stand 2020) angeschlossen.

Neben der Stadt Eberbach (ohne Brombach) sind auch umliegende Teilorte an die Kläranlage Eberbach angeschlossen.

- Beerfelden, Ortsteil Gammelsbach
- Hesseneck
- Hirschorn, Ortsteil Hessisch Igelbach
- Sensbachtal, Weiler Salmshütte
- Schönbrunn, Ortsteile Oberdielbach, Weiler Dielbach Post und Feriendorf Waldbrunn
- Zwingenberg

Indirekteinleiter aus verschiedenen Wirtschaftszweigen leiten in die KA Eberbach ein. Die Wirtschaftszweige der verschiedenen Indirekteinleiter sind z.B.:

- Pharmaindustrie
- Metallverarbeitung
- Maschinen- und Anlagenverarbeitung
- Schlachtung
- Textilveredlung
- Gesundheitswesen

Die Auslegungsdaten und die derzeitigen Tageszuflüsse der bestehenden Kläranlage Eberbach sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Daten KA Eberbach	
Verfahren	Belebung mit vorgeschalteter Denitrifikation; biologisch und chemische Phosphorelimination
Ausbaugröße	28.000 EW
<u>Abwassermengen</u>	
Regenwassermenge	$Q_M = 1.090 \text{ m}^3/\text{h}$
Mittlerer Tageszufluss	$Q_{d,\text{mittel}} = 9.730 \text{ m}^3/\text{d} (405 \text{ m}^3/\text{h})$
Maximaler Tageszufluss	$Q_{d,\text{max}} = 25.261 \text{ m}^3/\text{d} (1.053 \text{ m}^3/\text{h})$

## 2.2 Wasserrechtliche Erlaubnis

Das gereinigte Abwasser wird auf Flurstücknr. 8525, Gemarkung Eberbach in den Neckar eingeleitet. Die Einleitungsgrenzwerte und abgaberechtlichen Festlegungen sind im Detail der wasserrechtlichen Erlaubnis vom 31.01.2002 zu entnehmen.

In der folgenden Tabelle sind die derzeit gültigen Einleitungsgrenzwerte zusammengefasst.

**Die Wasserrechtliche Erlaubnis ist bis zum 31.08.2024 befristet.**

### Einleitungswerte: Wasserrechtlicher Teil

Parameter	Einleitungsgrenzwert qualifizierten Stichprobe
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	50 mg/l
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB <sub>5</sub> )	20 mg/l
Ammoniumstickstoff (NH <sub>4</sub> -N) bei Abwassertemperaturen $\geq 12 \text{ }^\circ\text{C}$	10 mg/l
anorganischer Stickstoff $N_{\text{anorg}} = \text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$ bei Abwassertemperaturen $\geq 12 \text{ }^\circ\text{C}$	18 mg/l
Phosphor gesamt (P <sub>ges</sub> )	1,5 mg/l

**Einleitungswerte: Abgaberechtlicher Teil  
(Überwachungswerte nach §4 Abs.1 Abwasserabgabengesetz [AbwAG])**

Parameter	Einleitungswert in der qualifizierten Stichprobe oder der 2 h-Mischprobe
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	50 mg/l
Anorganischer Stickstoff $N_{\text{anorg}} = \text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ bei Abwassertemperaturen $\geq 12 \text{ °C}$	18 mg/l
Phosphor ( $P_{\text{ges}}$ )	1,5 mg/l
AOX	0,1 mg/l
Kupfer (Cu)	0,1 mg/l
Quecksilber (Hg)	0,001 mg/l
Cadmium (Cd)	0,005 mg/l
Chrom (Cr), Nickel (Ni), Blei (Pb)	je 0,05 mg/l
$G_F$	2

Die Jahresschmutzwassermenge wurde mit dem Schreiben vom 20.12.2016 mit 2.200.000 m<sup>3</sup>/a festgesetzt.

Die einzuleitende Abwassermenge an gereinigtem Abwasser wird auf

$$Q_M = 1.090 \text{ m}^3/\text{h} \quad \text{bei Regenwetter}$$

beschränkt.

## **2.3 Kläranlagenbestand**

### **Fließschema**

Auf den folgenden Seiten sind die mechanisch-biologische Abwasserreinigung und die Schlammbehandlung der Kläranlage Eberbach als Fließschemata dargestellt. Die maßgebenden Kenngrößen der einzelnen Bauteile sind angegeben. Die Wege des Abwassers und des Schlammes können so leicht nachvollzogen werden.

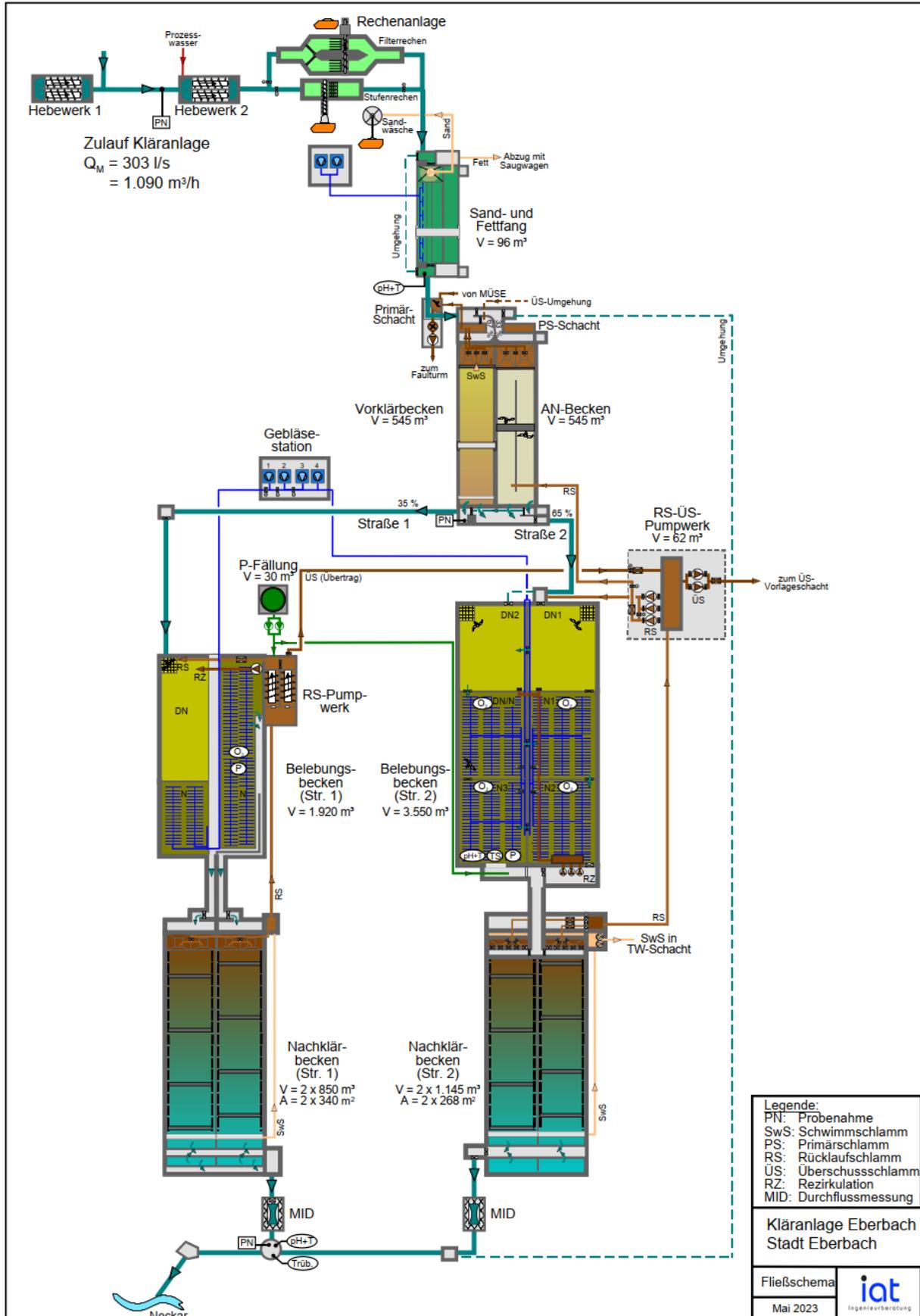


Abbildung 1: Fließschema mechanische und biologische Stufe der Kläranlage Eberbach

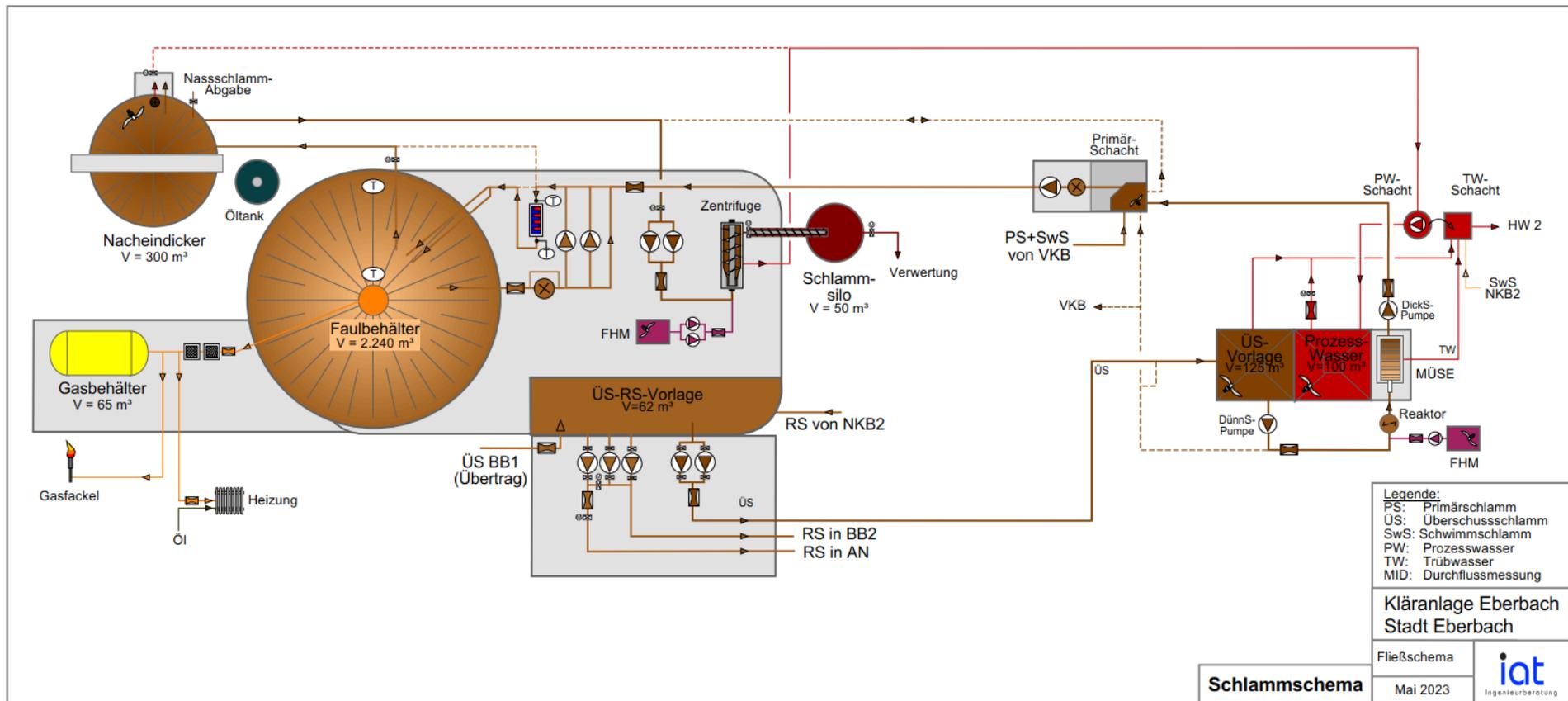


Abbildung 2: Schema Schlammbehandlung der Kläranlage Eberbach

### 2.3.1 Kläranlagenbestand

Nachfolgend wird der Bestand der Kläranlage Eberbach dargestellt.

#### Zulaufhebewerk

Das Abwasser wird durch zwei Hebewerke auf das Niveau der KA Eberbach gehoben. Hebewerk 1 befindet sich außerhalb des Geländes der KA und befördert den größeren Teilstrom des Abwassers aus dem Einzugsgebiet. Die gesamte Zulaufwassermenge wird durch Hebewerk 2 auf das Niveau vor dem Rechen gehoben. Der Maschinenraum des Gebäudes wird mit einer Klimaanlage abgekühlt.

#### Prozesswasser

Das interne Prozesswasser (Filtrat/ Trübwasser), welches bei der mechanischen Überschussschlamm entwässerung (MÜSE) und der Zentrifuge zur Entwässerung des Faulschlammes anfällt, wird aus dem Prozesswasserspeicher in den Zulaufbereich des Hebewerks 2 gegeben.

Volumen Prozesswasserspeicher 200 m<sup>3</sup>

#### Rechengebäude

Bei Trockenwetter fließt das Abwasser durch den Stufenrechen, bei Rückstau gelangt das Abwasser in die Zulaufrinne des höher gelegenen Filterrechens.

Spaltweite Stufenrechen (Trockenwetter) 6 mm

Lochdurchmesser Filterrechen (Regenwetter) 6 mm

Waschpresse und Absackvorrichtung, Rechengutentsorgung über Container

#### Belüfteter Sand- und Fettfang

Volumen 96 m<sup>3</sup>

Sandwäscher, Sandentsorgung über Container

Fettabzug aus dem Fettfang durch externen Entsorger

#### Probennahme Zulauf

Zeitproportionale Probennahme

#### Vorklärbecken / Anaerobbecken

Das Vorklärbecken und das Anaerobbecken (AN) werden parallel durchflossen, die Verteilung des Abwassers erfolgt zu 2/3 in die Vorklärung und 1/3 in das Anaerobbecken.

### Vorklärbecken Längs durchströmt

Nutzvolumen 545 m<sup>3</sup>

### Anaerobbecken

Volumen 545 m<sup>3</sup>

Umlaufbecken, 2 Rührwerke, Schlammrückführung aus Überschuss- und Rücklaufschlamm-Pumpwerk

### Primärschacht

Primärschlamm aus VKB und Schwimmschlamm NKB Straße 2

Förderung Schlamm direkt in den Faulturm

### Probenahme Zulauf Belebungsanlage

Zeitproportional

Beprobung im Ablauf VKB

### Belebungsbecken

Die KA Eberbach wird zweistraßig mit jeweiligen Belebungsbecken und Nachklärbecken betrieben. Die Aufteilung erfolgt nach der Vorklärung und dem Anaerobbecken zu ca. 35% in die Straße 1 und ca. 65% in die Straße 2.

#### Straße 1

Denitrifikationsvolumen (DN) 672 m<sup>3</sup>

Nitrifikationsvolumen (N) 1.248 m<sup>3</sup>

Gesamtvolumen 1.920 m<sup>3</sup>

#### Straße 2

Denitrifikationsvolumen (DN) 1.170 m<sup>3</sup>

Volumen DN/N-Wechselzone 595 m<sup>3</sup>

Nitrifikationsvolumen (N) 1.785 m<sup>3</sup>

Gesamtvolumen 3.550 m<sup>3</sup>

### Gebälsestation

Die Gebläse werden über einen festgelegten Sauerstoffgehalt in der Belebung geregelt. Bei einem zu hohen Sauerstoffgehalt werden die Regelschieber in den Luftleitungen geschlossen. Dadurch steigt der Druck in der Leitung an, was eine Reduktion der Gebläseleistung bewirkt. Die Gebläse sind für einen Regelbereich von 1180 Nm<sup>3</sup>/h bis 326 Nm<sup>3</sup>/h ausgelegt.

4 Gebläse Aerzen Typ D24S  
Motornennleistung 37 kW  
Membranplattenbelüfter (Fa. Messner)

#### Fällmittel Lager- und Dosierstation

Fällmittel Natrium Aluminat ( $\text{Na}_2\text{AlO}_3$ )  
Dosierung in Rücklaufschlammschacht Straße 1 (Festwertdosierung)  
Dosierung in Zulaufgerinne zum Nachklärbecken (NKB)-Straße 2 (Regelung nach Phosphat-Fracht)  
(wahlweise Dosierung in Denitrifikationsbecken)

#### Nachklärbecken

horizontal durchströmte Rechteckbecken

##### Straße 1

Oberfläche	2 x 340 m <sup>2</sup> 720 m <sup>2</sup>
Volumen	2 x 850 m <sup>3</sup> 1.700 m <sup>3</sup>

##### Straße 2

Oberfläche	2 x 268 m <sup>2</sup> 536 m <sup>2</sup>
Volumen	2 x 1.145 m <sup>3</sup> 2.290 m <sup>3</sup>

#### Ablaufmengenmessung

ein MID (magnetisch-induktive Messung) pro Straße

#### Probenahme Ablauf

Die Probenahme erfolgt im Schacht, in dem das gereinigte Abwasser von Straße 1 und Straße 2 gemischt wird. Es wird in gleichen Zeitabständen von der Ablaufwassermenge abhängige Volumina gezogen und eine 24h-Mischprobe erstellt.

-> Mengenproportionale Probenahme

#### Rücklaufschlamm und Überschussschlammumpwerk

Rücklaufschlammumpwerk Straße 1

2 Schneckenpumpen heben den Schlamm in eine Rinne, aus der Rinne erfolgt die Verteilung in das DN-Becken der Straße 1 und zum gemeinsamen Schlammvorlageschacht (RS-ÜS-Vorlage).

#### Rücklaufschlammwerk Straße 2

Besteht aus 3 Kreiselpumpen (Fa. KSB), diese fördern den Rücklaufschlamm von der gemeinsamen Schlammvorlage in die DN Becken der Straße 2.

Der ÜS-Schlamm von Straße 1 und Straße 2 wird aus der gemeinsamen Schlammvorlage mit 2 Exzentrerscheckenpumpen (Fa. Allweiler) zur ÜS-Vorlage vor der MÜSE gepumpt.

Von der gemeinsamen Schlammvorlage erfolgt die Rücklaufschlammförderung in das AN-Becken sowie in die DN-Becken der Straße 2.

Gemeinsamer Schlammvorlageschacht Volumen	62 m <sup>3</sup>
2 Exzentrerschneckenpumpen für Überschussschlamm	
3 Kreiselpumpen für Rücklaufschlamm (Straße 2)	

#### Maschinelle Überschussschlammeindickung

Aus der ÜS-Vorlage wird der ÜS mit einer Dünnschlammpumpe dem Trommeleindicker zugeführt. Die Eindickung erfolgt mit Zugabe von Polymer. Das Trübwasser sowie Schlamm aus dem Überlauf der Vorlage wird zum Hebewerk 2 geleitet, wo es in die Vorlage der Hebeschnecken eingeleitet wird.

Volumen ÜS-Vorlage	125 m <sup>3</sup>
Rührwerk in ÜS-Vorlage	

#### Faulbehälter

Volumen	2.240 m <sup>3</sup>
Doppelwandig mit Isolierschaum ausgesprüht	

#### Schlammwässerung

Volumen Nacheindicker	300 m <sup>3</sup>
Zentrifuge	
Volumen Schlammsilo für entw. Faulschlamm	50 m <sup>3</sup>

### Gasverwertung

Das produzierte Gas wird in der Faulturmhaube entnommen und in den Gasspeicher geleitet. Der Großteil des Gases wird in der Heizung verbrannt. Die produzierte Wärme wird zur Gebäudeheizung und zur Heizung des Faulbehälters verwendet. Überschüssiges Gas wird in der Gasfackel verbrannt.

Volumen Gasspeicher 65 m<sup>3</sup>

### Brauchwasserversorgung

Ablauf NKB 1 gefiltert

2 Pumpen mit Druckspeicher

Betriebsdruck 6 bar

Verwendung in Schlammwässerung, maschinelle Überschussschlammeindickung, Rechengutwaschpresse

### Heizung

Weishaupt, Brennertyp GL3/t-E

Herstelljahr 2006

Heizöl 16 kg/h bis 49 kg/h

Leistung min. 90 kW und 580 kW

Mit der Heizung wird die Wärme für Warmwasser, Gebäudeheizung Erdgeschoss und Obergeschoss und den Schlammwärmetauscher bereitgestellt.

### Betriebsgebäude

Leit-Schaltwarte

Besprechungs- und Büroräume

Aufenthaltsraum

Labor

Sanitäre Anlagen, Umkleiden etc.

## **2.4 Zusammenfassung der Betriebsdatenauswertung 2019-2022**

Zur Beurteilung des Belastungszustandes der Kläranlage und zur Erfassung der Betriebsbedingungen wurde das Betriebstagebuch der Jahre 2019 bis 2022 statistisch ausgewertet. Hierzu ist Folgendes anzumerken:

### Probenahme

Bei den untersuchten Proben handelt es sich im Zulauf um zeitproportionale 24 h-Mischproben. Die Entnahmestelle für die Zulaufprobe wurde im Oktober 2021 versetzt,

so dass seitdem die Probe vor Einleitung des Prozesswassers entnommen wird. Die Probenahme Zulauf Belebungsanlage befindet sich im Ablaufschacht von Vorklärbecken und Anaerobbecken. Die Probenahme erfolgt ebenfalls zeitproportional. Die Ablaufprobenahme erfolgt im Schacht, in dem das Abwasser aus Nachklärung 1 und Nachklärung 2 gemischt wird. Es handelt sich hierbei um mengenproportionale 24 h - Mischproben.

Die Tageswerte der Belastung einer Kläranlage sind im Allgemeinen logarithmisch normal verteilt. Die mittlere Belastung kann somit als Median oder 50 %-Wert angegeben werden. Diese Belastung wird in 50 % der Fälle, also an der Hälfte der Tage im Jahr, unterschritten. An den übrigen Tagen des Jahres wird die Belastung überschritten.

Zur Kennzeichnung eines oberen Vertrauensbereiches gibt man den 85 %-Wert an. Dieser Wert wird an 85 % der Tage im Jahr eingehalten und nur an 15 % der Tage überschritten. Beurteilt man die Belastung einer Kläranlage, arbeitet man mit dem 85 %-Wert. Stimmt der Wert mit dem Auslegungswert überein, ist von einer einwandfreien Funktion der Belebungsanlage auszugehen.

### 2.4.1 Abwassermenge

Die Abwassermenge der Kläranlage wird durch zwei Mengenmessungen (MID) jeweils im Ablauf der beiden Nachklärungen gemessen und für die Gesamtmenge addiert.

Jahr	Abwassermenge m <sup>3</sup> /a	Jahresschmutzwassermenge m <sup>3</sup> /a	Mittlerer Trockenwetterabfluss l/s	Fremdwasseranteil %
2019	3.848.523	2.092.590	66,4	56,8
2020	3.262.814	2.103.890	66,5	58,2
2021	2.999.416	1.764.130	55,9	53,5
2022	3.170.183	1.850.769	58,7	50,8
Mittelwert 2019-2022	3.320.234	1.952.845	61,9	54,8

## 2.4.2 Zulauf der Kläranlage

Der Chemische Sauerstoffbedarf (CSB) gibt Auskunft über die organische Verschmutzung des Abwassers. In der Tabelle sind die Minima, Maxima und der Mittelwert der betrachteten Jahre angegeben.

CSB [kg/d]	Minimum	Maximum	Mittelwert
2019 (n = 53)	925	15.889	5.256
2020 (n = 52)	1.538	15.570	5.218
2021 (n = 52)	34	10.156	4.756
2022 (n = 51)	1.541	23.477	6.154

Die CSB- Zulaufmenge der Kläranlage Eberbach liegt deutlich höher als die Ausbaugröße und die Zulaufmengen von Stickstoff und Phosphor vermuten lässt. Die Gründe hierfür sind nicht bekannt.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Einzelwerte der im Zulauf ermittelten Ammoniumstickstoffmengen ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) der Jahre 2019 bis 2022 dargestellt.

$\text{NH}_4\text{-N}$ [kg/d]	Minimum	Maximum	Mittelwert
2019 (n = 53)	78	353	172
2020 (n = 52)	57	497	205
2021 (n = 52)	0,4	379	161
2022 (n = 51)	54	497	161

In der nachfolgenden Tabelle sind die Einzelwerte der im Zulauf ermittelten Gesamtstickstoffmengen (TN) der Jahre 2019 bis 2022 dargestellt.

TN [kg/d]	Minimum	Maximum	Mittelwert
2019 (n = 53)	188	759	319
2020 (n = 52)	201	1.420	371
2021 (n = 52)	0,7	579	271
2022 (n = 51)	22	817	291

In der nachfolgenden Tabelle sind die Einzelwerte der im Zulauf ermittelten Phosphor-Tagesfrachten ( $P_{ges}$ ) der Jahre 2019 bis 2022 dargestellt.

$P_{ges}$ [kg/d]	Minimum	Maximum	Mittelwert
2019 (n = 53)	18,6	136	57
2020 (n = 52)	18,7	154	61
2021 (n = 52)	0,1	110	44
2022 (n = 51)	14,3	180	44

In der folgenden Tabelle sind die 50 %- und 85 % Werte im Zulauf im Betrachtungszeitraum tabellarisch zusammengefasst.

Zulaufwerte KA Eberbach					
Parameter		2019	2020	2021	2022
CSB-Fracht im Zulauf [kg/d]	50 %-Wert	4.574	4.808	4.241	4.426
	85 %-Wert	8.358	7.537	7.828	10.198
NH <sub>4</sub> -N-Fracht im Zulauf [kg/d]	50 %-Wert	159	196	151	145
	85 %-Wert	231	239	220	242
TN-Fracht im Zulauf [kg/d]	50 %-Wert	293	331	256	238
	85 %-Wert	396	453	369	464
$P_{ges}$ -Fracht im Zulauf [kg/d]	50 %-Wert	53	51	39	30
	85 %-Wert	81	94	64	62

### 2.4.3 Zulauf zur Belebungsanlage

Infolge der Absetzvorgänge in der Vorklärung und dem Abbau von CSB und  $P_{ges}$  im Anaerobbecken verringern sich die Frachten im Zulauf der Belebungsanlage im Vergleich zu den Frachten des Rohabwassers.

In den folgenden Tabellen sind die Zulauffrachten für die Belebungsanlage im Betrachtungszeitraum tabellarisch zusammengefasst.

Zur besseren Einordnung wurden die Frachten mit folgenden einwohnerspezifischen Schmutzfrachten im Zulauf Belebungsanlage zu Einwohnerwerten umgerechnet:

- CSB: 0,08 kg/[E\*d]
- NH<sub>4</sub>-N: 0,0072 kg/[E\*d]
- TN: 0,010 kg/[E\*d]
- P<sub>ges</sub>: 0,00144 kg/[E\*d]

Zulaufwerte Belebung KA Eberbach					
Parameter		2019	2020	2021	2022
CSB-Fracht im Zulauf BB [kg/d]	50 %-Wert	945 (11.813 EW)	808 (10.100 EW)	968 (12.100 EW)	779 (9.738 EW)
	85 %-Wert	1.604 (20.050 EW)	1.338 (16.725 EW)	1.498 (18.725 EW)	2.301 (28.763 EW)
NH <sub>4</sub> -N-Fracht im Zulauf BB [kg/d]	50 %-Wert	145 (20.139 EW)	180 (25.000 EW)	160 (22.222 EW)	119 (16.528 EW)
	85 %-Wert	196 (27.222 EW)	253 (35.139 EW)	223 (30.972 EW)	197 (27.361 EW)
TN-Fracht im Zulauf BB [kg/d]	50 %-Wert	237 (23.700 EW)	260 (26.000 EW)	224 (22.400 EW)	151 (15.100 EW)
	85 %-Wert	316 (31.600 EW)	333 (33.300 EW)	326 (32.600 EW)	226 (22.600 EW)
P <sub>ges</sub> -Fracht im Zulauf BB [kg/d]	50 %-Wert	23,0 (15.972 EW)	28,8 (20.000 EW)	21,7 (15.069 EW)	20,4 (14.167 EW)
	85 %-Wert	40,3 (27.986 EW)	56,6 (39.306 EW)	32,2 (22.361 EW)	30,2 (20.972 EW)

Im Anschluss sind die Mittelwerte der ermittelten Einwohnerwerte der 50 %- und 85 %-Werte im Vergleich zu den angeschlossenen Einwohnern und dem Auslegungswert der Kläranlage dargestellt.

Der 50 %-Wert entspricht bei geringer industrieller Belastung üblicherweise der Anzahl der angeschlossenen Einwohner. In Eberbach liegt er mit 17.503 EW etwas über der Anzahl der angeschlossenen Einwohner, was auf den Einfluss der industriellen Einleiter hindeutet. Der 85 %-Wert liegt mit 27.207 EW noch unterhalb der Auslegungsgröße.

<b>Zusammenstellung der ermittelten Einwohnerwerte (EW) Zulauf Belebungsanlage</b>		
	<b>50 %-Wert</b>	<b>85 %-Wert</b>
Mittelwerte aller Parameter	17.503	27.207
Angeschlossene Einwohner	ca. 14.085	-
Auslegungswert der Kläranlage	-	28.000

Die Mittelwerte der Frachten weichen geringfügig von den 50 % - Werten ab. Der Mittelwert über alle Parameter und die Jahre 2019 bis 2022 liegt bei 19.801 EW.

<b>Mittelwert Frachten [EW]</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>
CSB-Fracht im Zulauf BB	13.435	14.070	14.734	15.661
NH <sub>4</sub> -N-Fracht im Zulauf BB	28.004	21.184	21.890	18.875
TN-Fracht im Zulauf BB	28.670	25.261	24.136	17.131
P <sub>ges</sub> -Fracht im Zulauf BB	22.687	18.551	16.452	16.077
Gesamt	23.199	19.766	19.303	16.936

#### 2.4.4 Ablaufwerte

Im Rahmen der Betriebsüberwachung werden 24h-Sammelproben des Ablaufs Nachklärung entnommen und analysiert. Gemäß der wasserrechtlichen Erlaubnis erfolgt die amtliche Überwachung anhand der qualifizierten Stichprobe.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Sammelproben dennoch mit den einzuhaltenen Ablaufwerten verglichen.

Die Kläranlage Eberbach weist sehr gute Ablaufwerte ab.

Ablaufwerte KA Eberbach[mg/l]									
Parameter	2019		2020		2021		2022		Grenzwerte
	Mittel	Max	Mittel	Max	Mittel	Max	Mittel	Max	
CSB	14	23	14	23	14	26	13	23	50
NH <sub>4</sub> -N	0,13	1,67	0,14	1,98	0,33	3,38	0,44	9,64	10,0 *)
NO <sub>3</sub> -N	7,3	14,20	9,5	17,00	9,7	16,2	9,9	17,2	-
NO <sub>2</sub> -N	0,03	0,23	0,04	0,78	0,06	0,48	0,08	0,62	-
N <sub>anorg</sub>	7,5	14,20	9,7	17,02	10,1	17,5	10,4	17,8	18,0 *)
TN	9,4	16,6	12,2	25,8	11,9	27,3	12,1	27,0	-
P <sub>ges</sub>	0,37	0,50	0,32	0,58	0,27	0,53	0,26	0,73	1,5

\*) bei T > 12 °C

## 2.4.5 Betriebswerte der Belebungsanlage

Die Betriebswerte, wie Temperatur, Schlammvolumen und TS-Gehalt beeinflussen maßgeblich die Reinigungsleistung einer Belebungsanlage. Die Minima und Maxima sind in den folgenden Tabellen für die Jahre 2019 bis 2022 aufgeführt.

Betriebswerte									
Parameter	2019				2020				
	Min		Max		Min		Max		
Temperatur [°C]	6,6		23,2		7,8		21,1		
	BB1	BB2	BB1	BB2	BB1	BB2	BB1	BB2	
SV [ml/l]	170	180	460	440	140	140	500	500	
TS [g/l]	2,0	2,3	5,4	5,1	1,6	2,5	6,1	7,3	
ISV [ml/g]	38	62	131	128	44	42	125	111	

Betriebswerte								
Parameter	2021				2022			
	Min		Max		Min		Max	
Temperatur [°C]	6,7		19,7		7,3		21,5	
	BB1	BB2	BB1	BB2	BB1	BB2	BB1	BB2
SV [ml/l]	200	160	740	500	150	200	460	440
TS [g/l]	2,2	2,4	6,0	5,4	1,9	1,9	5,5	5,7
ISV [ml/g]	54	57	139	127	60	49	126	124

Im Mittel wird ein TS-Gehalt von 3,3 mg/l erreicht. Der ISV liegt im Durchschnitt bei 93 ml/g.

## 2.4.6 Schlammbehandlung

### Rohschlamm

Der Überschussschlamm der Straße 1 wird der ÜS-RS-Vorlage zugegeben. Auch der Rücklauf-/Überschussschlamm aus Straße 2 wird hier eingeleitet. Ein Teil des Schlammes wird als Rücklaufschlamm wieder in die Belebungsbecken der Straße 2 zurückgeführt. Der Überschussschlamm beider Straßen gelangt in die ÜS-Vorlage. Der Überlauf der ÜS-Vorlage wird vor dem Hebewerk 2 in den Zulauf der Kläranlage geleitet. Aus der ÜS-Vorlage wird Schlamm zur maschinellen Überschussschlammeindickung (Trommeleindickung) gepumpt. Der so eingedickte Überschussschlamm wird mit Primärschlamm aus den VKB vermischt und dem Faulbehälter zugegeben.

Die Rohschlammmenge (Primärschlamm + ÜS aus MÜSE) liegt im Jahr 2019 bei 13.644 m<sup>3</sup>/a, 2020 bei 17.292 m<sup>3</sup>/a und 2021 bei 17.281 m<sup>3</sup>/a. Es wird hier eine Dichte des Klärschlammes von 1 t/m<sup>3</sup> angenommen. Der Primärschlamm hat dabei einen hohen Volumenanteil an der Rohschlammmenge von mind. 87 %.

Die mittlere Verweilzeit in der Faulung bei einem Volumen des Faulturms von 2.240 m<sup>3</sup>/d liegt somit bei 47 bis 60 Tagen. Für Kläranlagen mit < 50.000 EW wird ein Schlammalter von 20 bis 28 Tagen empfohlen (DWA-M 368).

Schlammengen [m <sup>3</sup> /a]	2019	2020	2021	2022
Primärschlamm	12.583	15.012	15.581	15.256
ÜS zum Vorlageschacht	77.459	52.600	56.972	55.254*)
ÜS zur MÜSE	2.182	4.614	2.793	4.022
ÜS aus MÜSE	1.061	2.280	1.700	2.208
Rohschlammmenge	13.644	17.292	17.281	17.464

\*) ab Ende Oktober keine Daten wegen neuem Dekanter

### Faulschlamm

Der Glühverlust im Faulschlamm liegt bei durchschnittlich ca. 51 %. Für die Dekanterausschreibung 2021 wurde ein Glühverlust von 40 bis 45 % angegeben.

Für die Jahre 2021 und 2022 sind im vorliegenden Betriebstagebuch keine Trockensubstanzgehalte und Glühverluste eingetragen, aber es wird von ähnlichen Werten wie in den Vorjahren ausgegangen.

		2019	2020	2021	2022
Faulschlammmenge gesamt (Schlamm zur Zentrifuge)	m <sup>3</sup> /a	13.099	15.140	15.680	15.231
Faulschlamm					
Trockensubstanz, Jahresmittelwert	%	2,73	2,38	2,5*	2,5*
Glühverlust, Jahresmittelwert	%	47,7	53,3		
Trockensubstanz Fracht, gesamt	t TS/a	358	360	392	381

\*Annahme

Mit einer mittleren biologischen Belastung (ca. 20.000 EW, siehe Kapitel 3.1.1) berechnet sich der spezifische Schlammanfall zu ca. 18 -20 kg TS/ (E\*a). Dies entspricht in etwa dem üblichen Wert von 20 kg/(E\*a).

### Entwässerter Schlamm

Mit der Zentrifuge wird der Faulschlamm in den Jahren 2019 bis 2021 auf einen TS-Gehalt von ca. 25 % entwässert. Die Schlammmenge zur Entsorgung beträgt ca. 1.200 t/a. Im Jahr 2022/2023 wurde die alte Zentrifuge durch eine neuere ausgetauscht. Es liegen hierzu noch keine stabilen Ergebnisse vor.

		2019	2020	2021	2022
<b>Abgabeschlamm</b>	t /a	1.002,3	1.234,7	1.166,4	1.221,0
Trockensubstanz, Jahresmittelwert	%	26,2	23,8	29,2	25,7
Glühverlust, Jahresmittelwert	%	50,2	54,1	42,2	41,3
	t TM/a	263	294	340	504

Der Schlamm wird der BASF SE KS- Verbrennungsanlage Frankental zugeführt.

## 2.4.7 Klärgaserzeugung und –verwertung

### Klärgaserzeugung

Der Klärgasanfall liegt im Durchschnitt des Betrachtungszeitraums bei ca. 183.500 m<sup>3</sup>/a. Im Jahresmittel fallen ca. 500 m<sup>3</sup> Klärgas pro Tag an. Die Gasmenge schwankt im Normalbetrieb zwischen 0 m<sup>3</sup>/d und 1.189 m<sup>3</sup>/d. Wobei 0-Werte bei einem konstanten Betrieb der Faulbehälter unplausibel sind und vermutlich auf Ausfälle der Messung zurückzuführen sind. Diese traten im Jahr 2020 gehäuft auf. Es wird empfohlen, die Gasmengenmessung regelmäßig zu überprüfen und zu justieren, um Fehlmessungen zu vermeiden.

Die Gasmengenmessung erfolgt ohne Berücksichtigung der Temperatur.

		2019	2020	2021	2022
Klärgasanfall	m <sup>3</sup> /a	176.424	190.738	210.215	225.865
Klärgasanfall, Mittelwert	m <sup>3</sup> /d	483	523	576	619
Klärgasanfall, Min	m <sup>3</sup> /d	97	0	177	0
Klärgasanfall, Max	m <sup>3</sup> /d	914	1.189	1.074	1.173

### Klärgasqualität

Der CH<sub>4</sub>-Gehalt im Klärgas liegt zwischen 60 und 63 %, was einem üblichen Wert entspricht.

### Wärmeerzeugung

In der Heizung werden maximal 296 m<sup>3</sup>/d Klärgas verbrannt. Bei einem Methangehalt von ca. 60% und einem Brennwert von 10 kWh/m<sup>3</sup> entspricht dies einer Heizwärme von ca. 585.342 kWh/a (2020) bis 647.940 kWh/a (2019).

		2019	2020	2021	2022
Klärgasverbrauch in Heizung	m <sup>3</sup> /a	107.990	97.557	102.773	100.763
Klärgasverbrauch, Mittelwert	m <sup>3</sup> /d	296	267	282	276
Klärgasverbrauch, Min	m <sup>3</sup> /d	29	0	0	0
Klärgasverbrauch, Max	m <sup>3</sup> /d	795	831	884	899
Wärmeerzeugung	kWh	647.940	585.342	616.638	604.578

Die Differenz zwischen Klärgasanfall und Klärgasverbrauch in der Heizung wird energetisch ungenutzt über die Gasfackel verbrannt. Durch die Verbrennung werden umweltrelevante Methanemissionen vermieden. Methan (CH<sub>4</sub>) hat ein um den Faktor 28 höheres Treibhausgaspotential als CO<sub>2</sub>, wenn es in die Atmosphäre gelangt.

Bei einem Methangehalt von ca. 60% und einem Brennwert von 10 kWh/m<sup>3</sup> könnte durch die Nutzung des Gases in der Heizung eine Wärme von ca. 410.604 kWh/a (2020) bis 750.612 kWh/a (2022) gewonnen werden. Im Moment gelangt die Wärme ungenutzt in die Umgebung. Alternativ ist die Nutzung des Klärgases in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) zu betrachten, siehe Kapitel 4.21.

		2019	2020	2021	2022
Klärgas in Fackel	m <sup>3</sup> /a	68.434	93.788	107.442	125.102
Anteil ungenutztes Gas an der Gas erzeugung	%	39	49	51	55

#### 2.4.8 Brennstoffverbrauch in Heizung

Zusätzlich zu den bis zu 225.865 m<sup>3</sup>/a Faulgas pro Jahr wird in der Heizung an 174 bis 217 Tagen pro Jahr mit Öl zugeheizt. Dabei werden jährlich 10.861 l bis 19.754 l Öl verbrannt. Es kann von einem Brennwert von ca. 10 kWh/l Heizöl ausgegangen werden. Somit wird im Jahr 2022 über die Ölverbrennung etwa 197.540 kWh Wärme erzeugt.

		2019	2020	2021	2022
Brennstoffverbrauch (Öl) in Heizung	l/a	10.861	17.799	16.652	19.754
Anzahl der Tage mit Ölbetrieb		174	217	199	195
Brennstoffverbrauch, Mittelwert	l/d	30	49	46	54
Brennstoffverbrauch, Min	l/d	0	0	0	0
Brennstoffverbrauch, Max	l/d	261	376	443	276
Wärmebezug über Öl	kWh/a	108.610	177.990	166.520	197.540

Die obigen Werte für die Zuheizung mit Öl zeigen, dass die vorhandene Gasspeicherkapazität grundsätzlich zu betrachten ist, siehe Kapitel 4.2.1.

## 2.5 Strombezug

Der Strom für den Betrieb der Kläranlage Eberbach wird von den Stadtwerken Eberbach bezogen. Nachfolgend sind die Kosten pro kWh aus der Abrechnung vom Januar 2023 aufgeführt.

Die Jahreshöchstleistung lag für Januar 2023 bei 187,916 kW.

Preis je bezogener kWh	€/kWh
Energielieferung HT/ NT	0,13275
Stromsteuer	0,0205
Arbeitspreis Netz	0,0081
KWKG	0,00357
Konzessionsabgabe	0,0011
Offshore-Netzumlage	0,00591
§19 StromNEV Umlage	0,00417
Summe	0,1761
zzgl. MWST	0,210

Festpreise	
Leistung	0,28389041/Tag/kW
Messstellendienst inkl. Messdienstleistung (taggenau)	1,43835616 €/Tag

Für Januar 2023 errechnet sich ein Strompreis inkl. Fixkosten von 23,0 ct/kWh brutto.

Laut Strompreisanalyse des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW) liegt der durchschnittliche Strompreis für Haushalte im 1. Halbjahr 2023 bei 46,27 ct/kWh. Der Preisdurchschnitt enthält Tarifprodukte und Grundversorgungstarife inkl. Neukundentarife. Die Bundesregierung hat den Strompreis für Haushalte und kleine Unternehmen ab Januar 2023 auf 40 ct/kWh gedeckelt, für den Basisbedarf von 80 % des Vorjahresverbrauchs.

Der Preis für Industriestrom bei Neuabschlüssen ist nach einem Hoch im letzten Jahr stark gesunken und liegt laut BDEW im 1. Halbjahr 2023 bei 24,96 ct/kWh.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen soll ein realistischer Strompreis herangezogen werden, der auch die zukünftigen Entwicklungen abbilden kann. Trotz des positiven Trends zu niedrigeren Strompreisen im Vergleich zu den Vorjahren (beim Industriestrom) wird eingeschätzt, dass allgemeine Kostensteigerungen, CO<sub>2</sub>-Abgaben etc. zu einem Anstieg des aktuellen Strompreises führen werden. Für den Abschreibungszeitraum auf der Kläranlage werden 15 Jahre angesetzt. Entsprechend werden die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen mit einem mittleren Strompreis von mind. 35 ct/kWh für diesen Zeitraum durchgeführt.

### **3. Grobanalyse /Ermittlung der Kennzahlen**

#### **3.1 Energiecheck**

Die Bewertung der Energieeffizienz erfolgt anhand von Kennzahlen. Bezugsgröße für die Ermittlung der Kennzahlen ist jeweils die mittlere Belastung, üblicherweise bestimmt als CSB im Zulauf der Kläranlage (mit spez. Einwohnerwert  $120 \text{ g} / (\text{E} \cdot \text{d})$  berechnet). Für die Kläranlage Eberbach werden in den folgenden Betrachtungen 20.000 EW (siehe Erläuterungen in Kapitel 3.1.1) zur Berechnung des einwohnerspezifischen Gesamtstromverbrauchs, Stromverbrauchs für die Belüftung, Faulgasanfall und den externen Wärmebezug angesetzt.

##### **3.1.1 Grundlage mittlere biologische Belastung der Kläranlage**

Die Kläranlage Eberbach weist einen unplausibel hohen Mittelwert für die CSB-Frachten im Zulauf von ca. 51.283 EW für das Jahr 2022 auf. Auch die Vorjahre liegen mit 43.483 EW (2020) und 39.633 EW (2021) über dem zu erwartenden Wert. Der Mittelwert liegt bei Kläranlagen, ohne große industrielle Einleiter, im Bereich der angeschlossenen Einwohner. In Eberbach sind 14.085 EW (Stand 2020) angeschlossen. Die Mittelwerte der Einwohnerwerte von TN (berechnet mit spez. Fracht von  $12,5 \text{ g} / (\text{E} \cdot \text{d})$ ) und  $P_{\text{ges}}$  (berechnet mit  $1,8 \text{ g} / (\text{E} \cdot \text{d})$ ) im Zulauf der Kläranlage liegen bei etwa der Hälfte der CSB-Fracht.

Mit dem Mittelwert der CSB-Fracht im Zulauf würde die biologische Belastung der Kläranlage somit überschätzt werden und die einwohnerspezifischen Kennwerte verfälscht werden. Die im Zulauf der Belebung ermittelten Frachten liegen deutlich unter den Frachten im Zulauf.

Die Reduktion der Frachten zwischen Zulauf und Zulauf Belebung übertrifft die theoretischen Werte zur Eliminationsleistung der Vorklärung nach DWA-A 131 bei weitem. Neben der Absetzleistung der Feststoffe im Vorklärbecken wird in der Kläranlage Eberbach ein zusätzlicher Rückgang durch den Abbau im Anaerobbecken erreicht, der nicht genau beziffert werden kann.

Laut DWA-A 131 werden bei einer Aufenthaltszeit in der Vorklärung von größer 2,5 h bei Trockenwetterabfluss ( $545 \text{ m}^3$ ,  $Q_{\text{T,aM}} 223 \text{ m}^3/\text{h}$ ) folgende Abscheideleistungen erwartet. Die vorhandene Abscheideleistung vom Jahr 2022 ist darunter angegeben. Diese liegt zwei- bis fast fünfmal so hoch wie die theoretische Abscheideleistung nach einem Vorklärbecken. Es ist unwahrscheinlich, dass diese höhere Abscheideleistung allein auf den biologischen Abbau im Anaerobbecken zurückzuführen ist.

	CSB	TN	P <sub>ges</sub>
Erwartete Abscheideleistung nach DWA-A 131 in %	40	10	10
Vorhandene Abscheideleistung im Jahr 2022 in %	80	41	47

Im Anschluss sind die mittleren Frachten der Kläranlage im Zulauf und Zulauf der Belebungsanlage in Einwohnerwerten für das Jahr 2022 (im Zulauf Probenahme vor Einleitung Prozesswasser, Zulauf Belebung mit Prozesswasser) dargestellt. Das Prozesswasser beinhaltet im üblichen weitere 10 % der Zulauffracht für Stickstoff.

Zulauf der Kläranlage	CSB	TN	P <sub>ges</sub>
Spez. Fracht Zulauf KA [kg/EW*a]	0,12	0,0125	0,0018
2022 Mittelwert Fracht [kg/d]	6.154	291	44
Einwohnerwerte [EW]	51.283	23.280	24.444

Zulauf der Belebungsanlage	CSB	TN	P <sub>ges</sub>
Spez. Fracht Zulauf BB [kg/EW*a]	0,072	0,01125	0,00162
2022 Mittelwert Fracht [kg/d]	1.253	171	23
Einwohnerwerte [EW]	17.403	15.200	16.077

Für die Berechnung der Energiekennwerte wird im Folgenden ein theoretischer Wert für die biologische Belastung der Kläranlage von 20.000 EW angenommen. Dies entspricht etwa dem Mittelwert Zulauf Belebung über alle Parameter und die Jahre 2019 bis 2022 (siehe Auswertung, Kapitel 2.4.3). Es wird vereinfacht für alle Jahre die gleiche biologische Fracht angenommen.

Ein Großteil der Energie wird für die Belebung eingesetzt. Wenn die aus der Zulauffracht berechneten Einwohnerwerte verwendet würden, würde das die Energiekennwerte verfälschen. Auch die Schlamm- und Gasmengen der Kläranlage Eberbach ergeben mit einer biologischen Belastung von 20.000 EW plausible Werte.

### 3.1.2 Gesamtstromverbrauch

Untersuchungen (z.B. „Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen“; Bundesumweltamt November 2006) zeigen, dass die Streubreite des Energieverbrauchs bei Kläranlagen sehr groß ist. Sie ist auch davon abhängig welches Verfahren zur Abwasserreinigung eingesetzt wird. Zur Bewertung wird der spezifische Stromverbrauch pro Einwohnerwert in kWh/(E\*a) berechnet.

Der DWA-Landesverband Baden-Württemberg erhebt jedes Jahr die Stromverbrauchsdaten der kommunalen Kläranlagen im Rahmen des Leistungsvergleichs. Im Jahr 2020 lag der mittlere spezifische Stromverbrauch für alle Kläranlagen der Größenklasse 4 bei 33,9 kWh/(EW\*a).

Quelle: 47. Leistungsvergleich der kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg

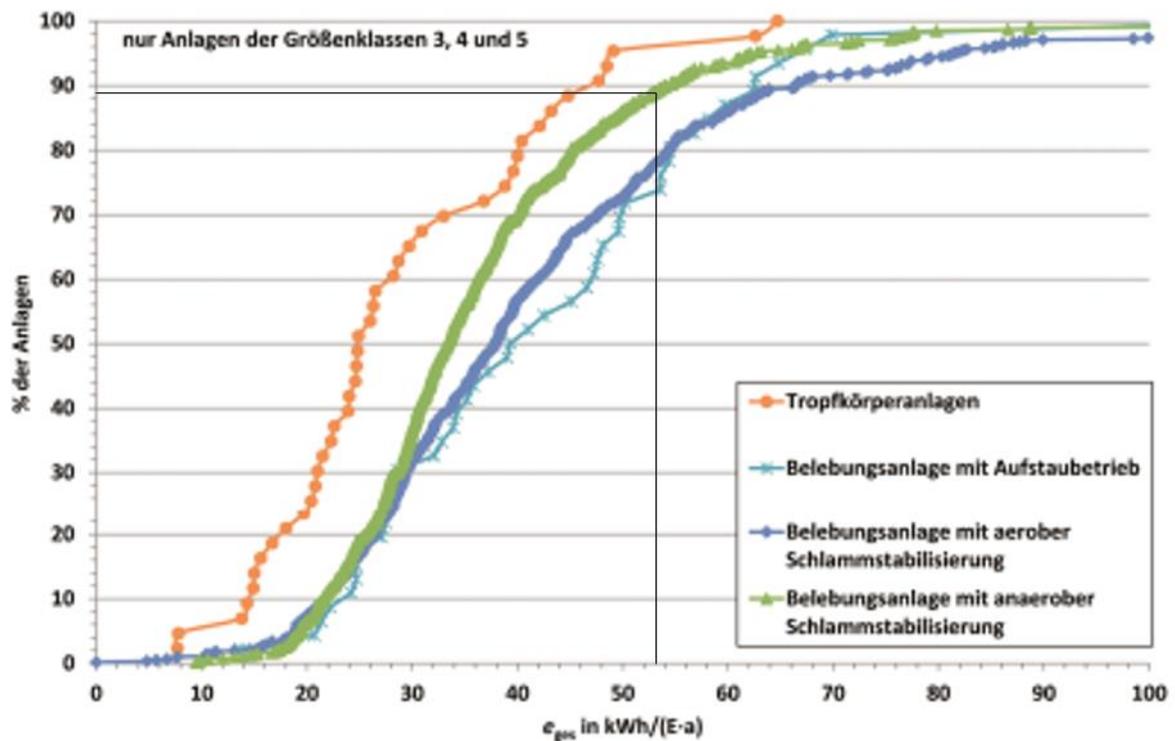
Der Stromverbrauch der KA Eberbach liegt bezogen auf eine mittlere biologische Belastung von 20.000 EW in etwa bei 52,7 bis 55,5 kWh/(E\*a) und liegt damit in einem oberen Bereich der Vergleichswerte. Hierbei muss beachtet werden, dass andere Kläranlagen bspw. aus topografischen Gegebenheiten ohne Abwasserhebewerk im Zulauf auskommen. Im folgenden Kapitel wird der Zuschlag für das Zulaufhebewerk berechnet und vom Gesamtstromverbrauch abgezogen.

KA Eberbach - Energiecheck					
Parameter		2019	2020	2021	2022
Zulaufwassermenge	[m³/a]	3.848.523	3.262.814	2.999.416	3.170.183
Gesamt-Stromverbrauch Kläran-	[kWh/a]	1.098.415	1.109.017	1.066.537	1.053.500
Spez. Stromverbrauch	[kWh/(E*a)]	54,9	55,5	53,3	52,7
Stromverbrauch bezogen auf die behandelte Abwassermenge*)	[kWh/(m³)]	0,29	0,34	0,36	0,33

\*)statistische Orientierungswerte für Anlagen der Größenklasse 4 von 0,19 kWh/m³ (20%-Wert) bis 0,46 kWh/m³ (80%-Wert)

Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft Band 149. München: Oldenbourg, 1998

Das Diagramm im Anschluss zeigt den spezifischen Gesamtstromverbrauch in Abhängigkeit vom Reinigungsverfahren aus Datenmaterial des Leistungsvergleichs kommunaler Kläranlagen der DWA vom Jahr 2012 (DWA-A 216). Der spezifische Gesamtstromverbrauch der Kläranlage Eberbach ist mit den schwarzen Linien für das Betriebsjahr 2022 eingezeichnet. Fast 90 % der Vergleichskläranlagen haben einen geringeren spezifischen Gesamtstromverbrauch.



DWA-A 216, S.24, Bild 2: Spezifischer Gesamtstromverbrauch in Abhängigkeit vom Reinigungsverfahren

Bezieht man den Stromverbrauch auf die gereinigte Abwassermenge ergeben sich Werte von  $0,29 \text{ kWh/m}^3$  bis  $0,36 \text{ kWh/m}^3$ . In den Stuttgarter Berichten zur Siedlungswasserwirtschaft Band 149 wurde der Stromverbrauch von 1.097 Kläranlagen untersucht und unterteilt nach wesentlichen Kenndaten z.B. in Abhängigkeit der Größenklasse, der Auslastung, usw. ausgewertet.

In Abhängigkeit der Wassermenge liegt der Wert für Kläranlagen der Größenklasse 4 bei  $0,19 \text{ kWh/m}^3$  (20%-Wert) bis  $0,46 \text{ kWh/m}^3$  (80%-Wert). Auch wenn diese Erhebung aus dem Jahre 1998 stammt, so dienen die Zahlen doch noch als Anhaltspunkt.

Der Fremdwasseranteil liegt bei der Kläranlage Eberbach über 50 % und somit ist die Abwassermenge vergleichsweise hoch, wodurch sich bei einem relativ hohen spezifischen Stromverbrauch bezogen auf die mittlere Belastung ein mittlerer Stromverbrauch bezogen auf die Abwassermenge ergibt.

### 3.1.3 Zuschlag Zulaufhebewerk

Als Zuschlag für die Ermittlung der Energiekennzahlen ist der Energieaufwand für die Hebung des Abwassers zu berücksichtigen. Auf der Kläranlage Eberbach wird das Rohabwasser mit einem Schneckenhebewerk (Hebewerk 2) um ca. 9,4 m angehoben.

Die aktuellen Motoren sind polumschaltbar für einen Betrieb bei zwei Drehzahlen ausgelegt. Die jeweiligen Fördermengen ergeben sich aus dem Betriebszustand der beiden Schnecken. Steuerungstechnisch bedingt, laufen immer beide Schnecken gleichzeitig.

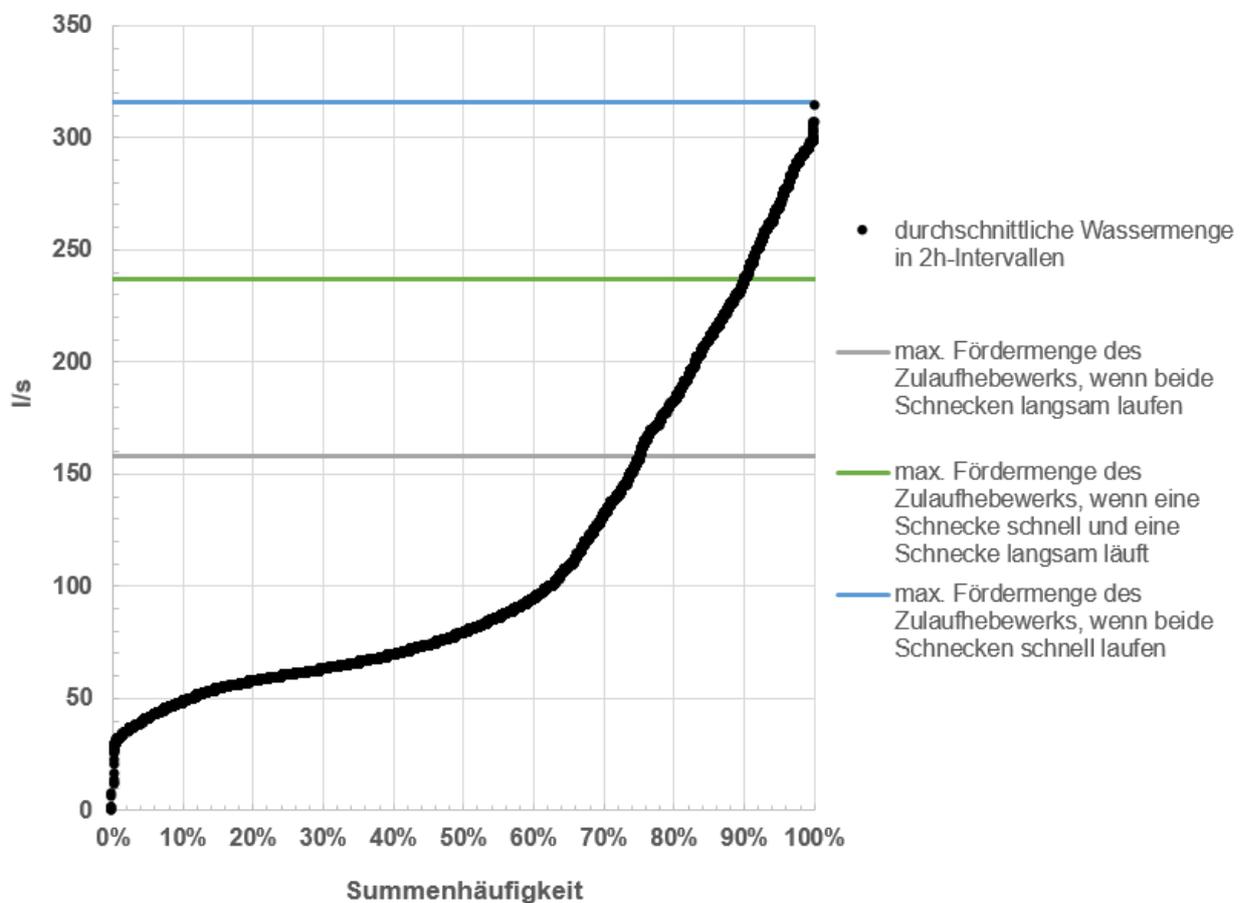
Es treten die 3 Betriebszustände auf:

- beide Schnecken laufen langsam mit maximaler Fördermenge von 158 l/s
- eine Schnecke läuft langsam, eine Schnecke schnell mit maximaler Fördermenge von 237 l/s
- beide Schnecken laufen schnell mit maximaler Fördermenge von 316 l/s

Ab einer bestimmten Wassermenge (Wasserstandsmessung) schaltet ein Motor oder beide Motoren auf die höhere Drehzahl (schnell), um mehr Wasser fördern zu können. Im folgenden Diagramm sind die 2h-Wassermengen im Ablauf der Kläranlage nach ihrer Summenhäufigkeit dargestellt. Die Kläranlage Eberbach besitzt keine Zulaufmengenmessung. Während der Aufenthaltszeit des Abwassers in der Kläranlage kann es gegenüber der Zulaufmenge zu einer Vergleichmäßigung kommen, so dass einige Spitzen im Zulauf unberücksichtigt bleiben. Dennoch werden die 2h-Ablaufwassermengen für einen ersten Vergleich herangezogen.

Wie im folgenden Diagramm zu sehen ist, liegen die 2h-Wassermengen 75 % der Zeit unterhalb der maximalen Fördermenge von zwei langsam laufenden Schnecken. 50 % der Zeit würde in der Theorie eine Schnecke ausreichen, um die durchschnittliche 2h-Wassermenge zu heben. Etwa 15 % der Zeit liegen die 2h-Wassermengen so, dass die notwendige Fördermenge erreicht wird, wenn eine Schnecke schnell und eine Schnecke langsam läuft. In nur 10 % der 2h-Intervalle müssen aufgrund der Wassermengen beide Schnecken schnell laufen.

### 2h-Wassermengen KA Eberbach im Ablauf der Klärage 2018 - 2020



Für das Schneckenhebewerk liegen keine Messdaten zum Energieverbrauch vor. Diese werden im Folgenden abgeschätzt.

Die Angaben zur Nennleistung beziehen sich auf die maximale Leistung der Motoren. Wird bei gleicher Drehzahl weniger Wasser gefördert sinkt die abgerufene Leistung. Zur Abschätzung des jährlichen Stromverbrauchs wurden Annahmen bzgl. der mittleren elektrischen Leistung getroffen. Dabei wurden die durchschnittlichen Fördermengen der 3 Betriebszustände aus dem Diagramm der 2h-Wassermengen abgelesen, die als Orientierung dienen für die mittlere elektrische Leistung. Der beste Wirkungsgrad wird bei der optimalen Betriebspunkt erreicht, der in der Nähe der maximalen Fördermenge liegt.

Betriebszustand	Max. Fördermenge  l/s	Durchschnittliche Fördermenge aus 2h- Wassermengen  l/s	Maximale Leistung  kW	Angenommene mittlere elektrische Leistung  kW
2 x langsam	158	70	60	30
1 x langsam, 1 x schnell	237	190	75	65
2 x schnell	316	275	90	80

Für die Betriebszeit der drei Betriebszustände werden die Jahresstunden entsprechend anteilig der Summenhäufigkeiten der 2h-Wassermengen angenommen.

Mit der folgenden Formel wurde der jährliche elektrische Energiebedarf abgeschätzt. Für den Wirkungsgrad wurde vereinfacht ein theoretischer durchschnittlicher Wert für alle Betriebszustände von 0,75 angenommen. In Wirklichkeit ergeben sich je nach Wassermenge und Betriebszustand unterschiedliche Wirkungsgrade.

$$E_{el} = P_{el} \cdot t \cdot \eta \text{ [kWh/a]}$$

$$E_{el} = (30 \text{ kW} \cdot 6.570 \text{ h} + 65 \text{ kW} \cdot 1.314 \text{ h} + 80 \text{ kW} \cdot 876 \text{ h}) \cdot 0,75 = \text{ca. } 260.000 \text{ kWh/a}$$

Der spezifische Stromverbrauch zur Förderung von Rohabwasser mit Schnecken-tropfpumpen beträgt laut Anhang A.7 des DWA-A 216 idealerweise 5,4 - 4,5 Wh/(m<sup>3</sup>\*m). Der Stromverbrauch des Schneckenhebewerks der Kläranlage Eberbach liegt mit ca. 8,4 Wh/(m<sup>3</sup>\*m) deutlich darüber.

Daten Schneckenhebewerk		
Zulaufwassermenge	m <sup>3</sup>	3.300.000
Förderhöhe gesamt (abgeschätzt)	m	9,4
Nennleistung	kW	30/45
Stromverbrauch Pumpwerk (abgeschätzt)	kWh	260.000
Spezifischer Stromverbrauch bezogen auf Wassermenge und Höhe	Wh/(m <sup>3</sup> m)	8,4*)
Spez. Stromverbrauch bezogen auf Einwohnerwerte	kWh/(EW*a)	13,0

\*) Leitfaden Energieeffizienz in Baden-Württemberg 2015,

Vergleichswerte spez. Stromverbrauch Hebewerke ca. 3 bis 10 kWh/(E\*a), Median ca. 5,2 kWh/(E\*a) bei n = 33 Kläranlagen der Größenklasse 3 bis 5

\*) Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft Band 149. München: Oldenbourg, 1998

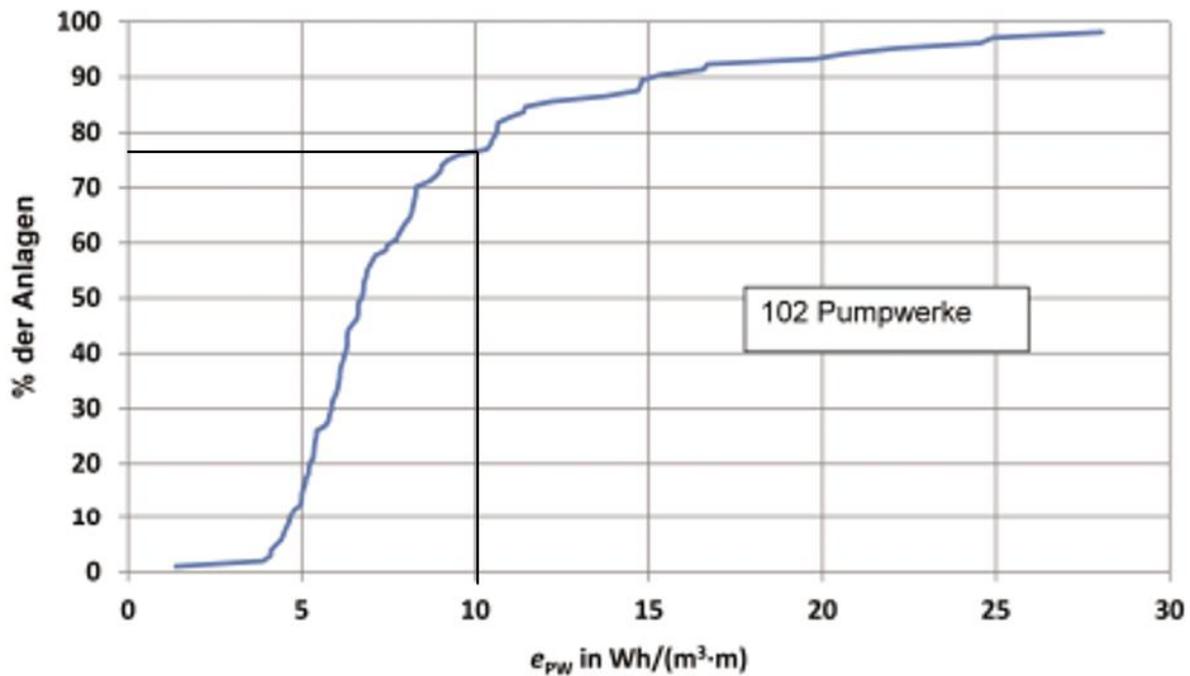
Vergleichswerte für Anlagen der Größenklasse 4 und 5 von 1,03 – 7,58 kWh/EW\*a

Vergleichswerte zum spezifischen Stromverbrauch von Hebewerken liegen bei 3 bis 10 kWh/(E\*a). Im Mittel trägt ein Einlaufhebewerk mit einem Anteil von 12 % zum Gesamtstromverbrauch bei.

Quelle: Leitfaden Energieeffizienz in Baden-Württemberg 2015, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

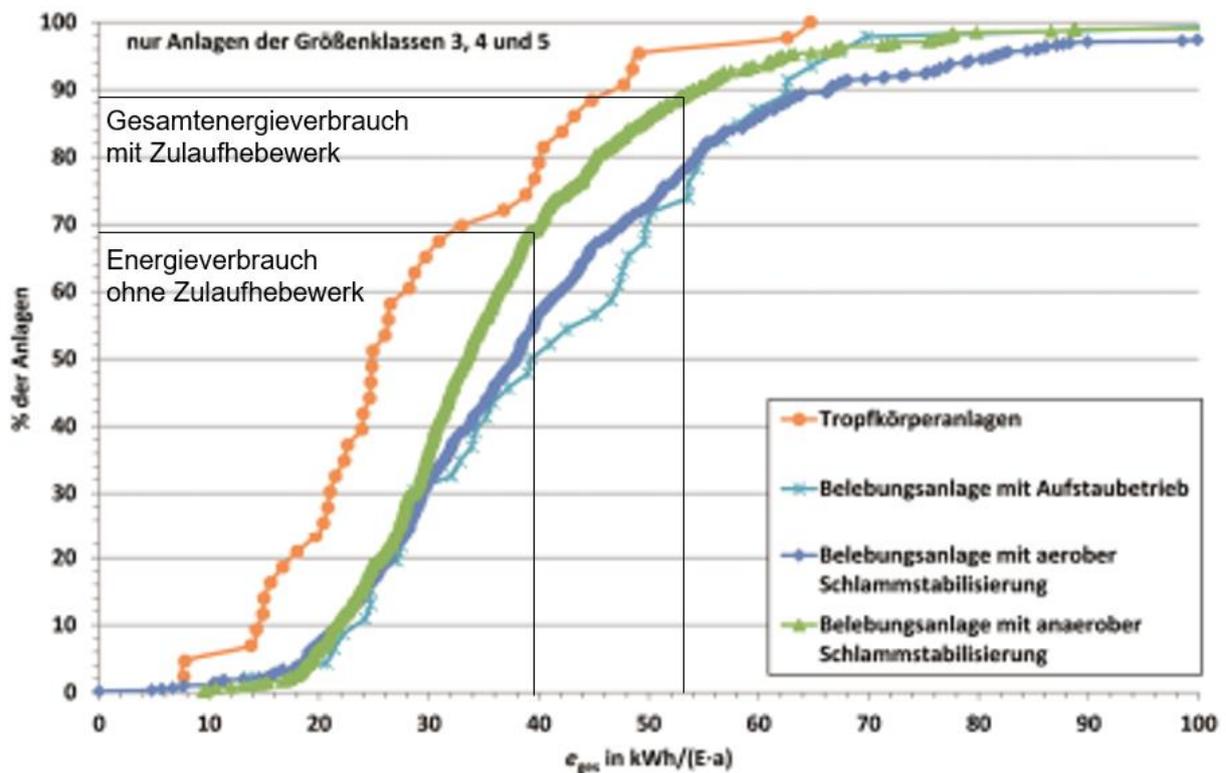
Der spezifische Strombedarf für das Einlaufbauwerk der Kläranlage Eberbach liegt mit 13,0 kWh/(EW\*a) über den Vergleichswerten. In Eberbach beträgt der Anteil des Stromverbrauchs der Hebeschnecken bei einem Gesamtstromverbrauch von ca. 1,1 Mio. kWh etwa 24 % und liegt somit doppelt so hoch wie in Vergleichskläranlagen.

Im DWA-A 216 Bild 9 sind Vergleichswerte für den spezifischen Stromverbrauch von 102 Abwasserpumpwerken (E<sub>PW</sub>) gegeben. Mehr als 75 % der 102 Vergleichspumpwerke haben einen geringeren spezifischen Stromverbrauch.



DWA-A 216, S.29, Bild 9: Spezifischer Stromverbrauch von Abwasserpumpwerken  $e_{PW}$

Für den Energieverbrauch ohne Zulaufhebewerk liegt die Kläranlage Eberbach in einem oberen mittleren Bereich der Vergleichswerte.



DWA-A 216, S.24, Bild 2: Spezifischer Gesamtstromverbrauch in Abhängigkeit vom Reinigungsverfahren  
 Der optimale Bereich für eine Kläranlage liegt bei einem Gesamtenergiebedarf von 15 – 25 kWh/ EW\*a.

Quelle: Seminar-Dokumentation IMPULS Programm Hessen Energieeinsparung in Kläranlagen, Tabelle 4.3

### 3.1.4 Stromverbrauch der Belüftung

Die Gebläse werden über einen festgelegten Sauerstoffgehalt in der Belebung geregelt. Bei einem zu hohen Sauerstoffgehalt werden die Regelschieber in den Luftleitungen geschlossen. Dadurch steigt der Druck in der Leitung an und die Gebläseleistung wird reduziert (Druckregelung).

Der Stromverbrauch der Belüftung ergibt sich durch Ablesen des Zählerstandes vom 23.11.2022 und 11.05.2023. Der Stromverbrauch wurde auf das Jahr hochgerechnet.

Gesamtstromverbrauch der Belüftung	Ableседatum 23.11.2022	Ableседatum 22.08.2023	Differenz 23.11.2022
	kWh	kWh	kWh
Gebläse 1	195.064,4	225.255,6	30.191,2
Gebläse 2	212.533,7	252.519,6	39.985,9
Gebläse 3	191.476,6	226.411,7	34.935,1
Gebläse 4	219.603,3	255.545,4	35.942,1
Summe	818.678	959.732	141.054

In 272 Tagen wurden 141.054 kWh für die Gebläse benötigt. Pro Jahr liegt der Strombedarf für die Belüftung somit bei gerundet 200.000 kWh/a.

Der spez. Energiebedarf für die Belüftung liegt bei einer mittleren biologischen Belastung von 20.000 EW bei 10 kWh/(E\*a).

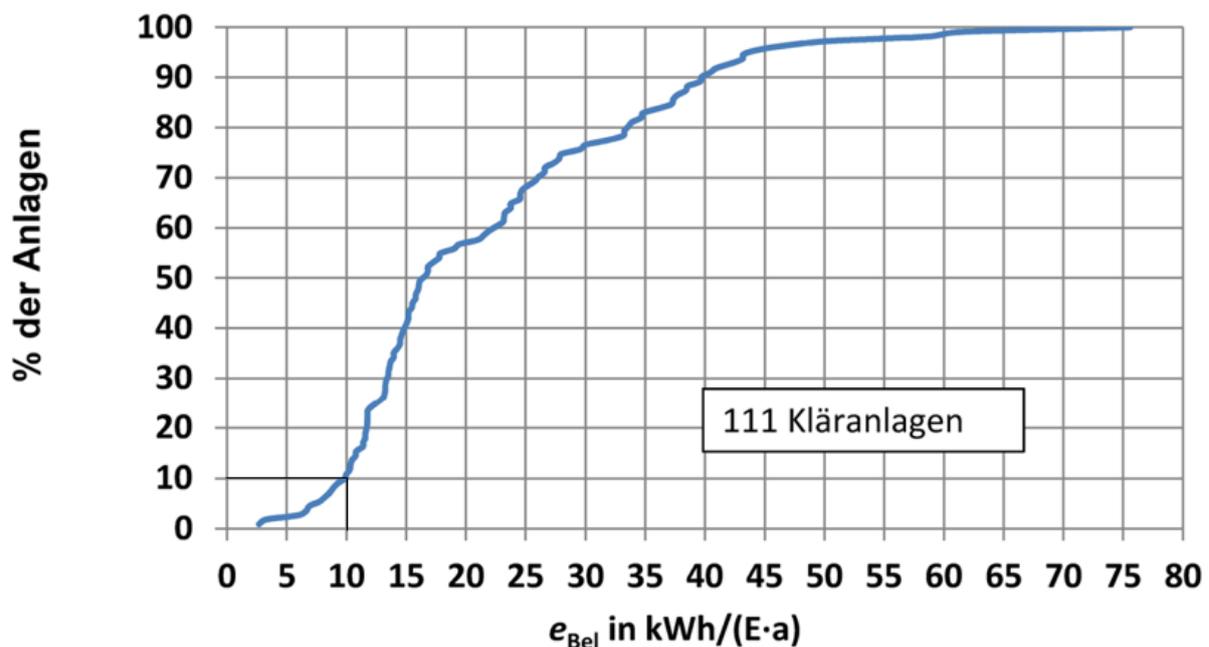
Im 47. Leistungsvergleich lag der mittlere spezifische Stromverbrauch für die Belüftung für alle Kläranlagen der Größenklasse 4 bei 16,2 kWh/(EW\*a) im Jahr 2020.

Quelle: 47. Leistungsvergleich der kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg

Im Vergleich mit 44 Vergleichsanlagen, bei denen Energieanalysen in Baden-Württemberg durchgeführt wurden, lag der mittlere spezifische Stromverbrauch für die Belüftung bei 14 kWh/(EW\*a).

Quelle: Leitfaden Energieeffizienz auf Kläranlagen

Im Vergleich zu den Werten von 111 Kläranlagen aus dem DWA-A 216 liegen ca. 10 % der Anlagen in einem niedrigeren Bereich als die Kläranlage Eberbach. Das heißt 90 % der Anlagen haben einen schlechteren spez. Energiebedarf für die Belüftung.



DWA-A 216, S. 25, Bild 3: Spezifischer Stromverbrauch für die Belüftung  $e_{Bel}$  der Kläranlagen

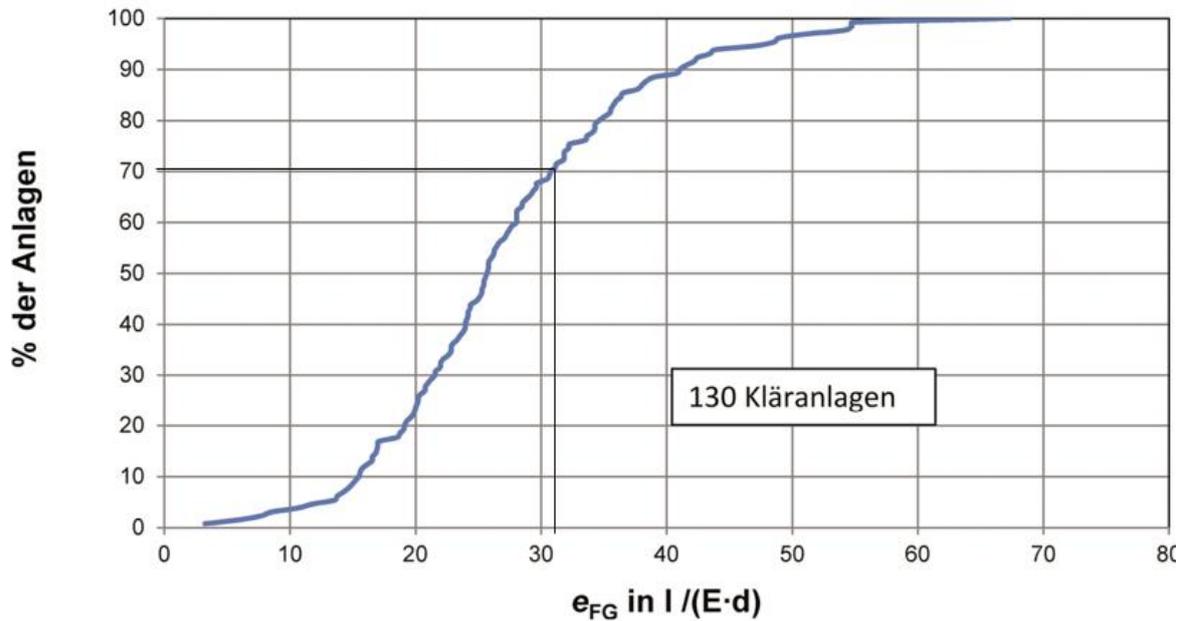
### 3.1.5 Faulgasanfall

Der spezifische Faulgasanfall bezogen auf die angeschlossenen Einwohnerwerte (14.100 EW) liegt für die Kläranlage Eberbach bei 24,2 bis 31,0 l/(E\*d).

		2019	2020	2021	2022
Klärgasanfall, Mittelwert	m <sup>3</sup> /d	483	523	576	619
Spezifische Gasproduktion bezogen auf 20.000 E	l/(EW*d)	24,2	26,2	28,8	31,0

Üblich ist ein Gasanfall von 20 bis 30 l/d pro angeschlossene Einwohner. Die Kläranlage liegt somit im oberen mittleren Bereich.

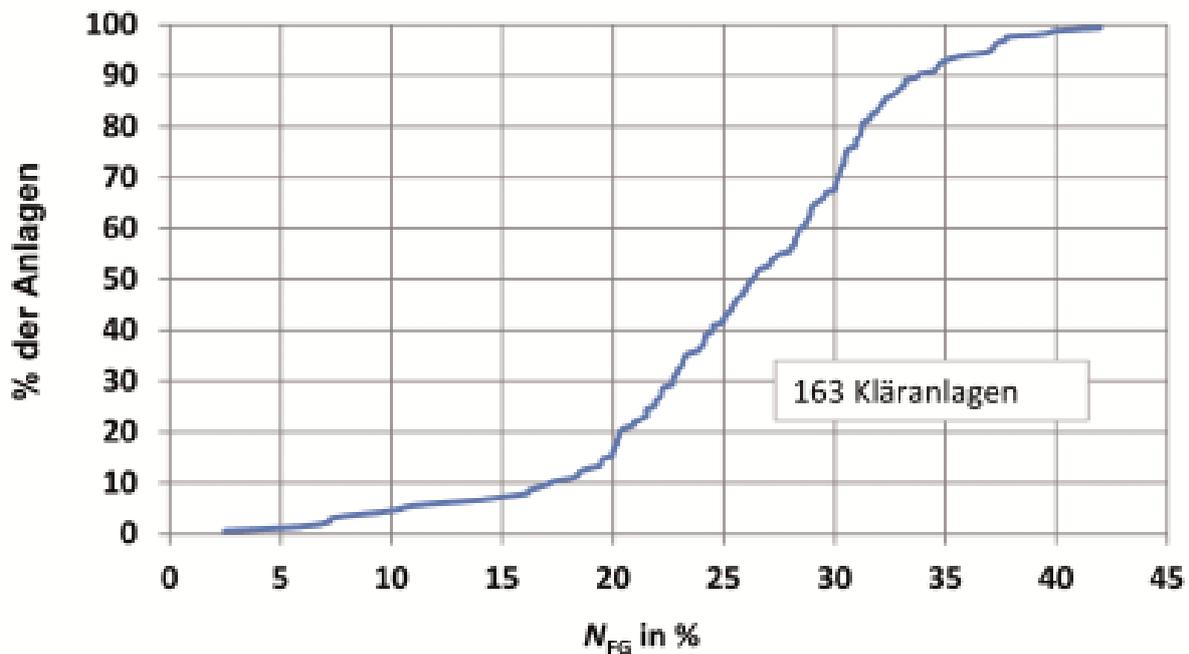
Für das Jahr 2022 haben 70 % der 130 Vergleichskläranlagen aus dem DWA-A 216 einen niedrigeren spezifische Faulgasanfall als die Kläranlage Eberbach.



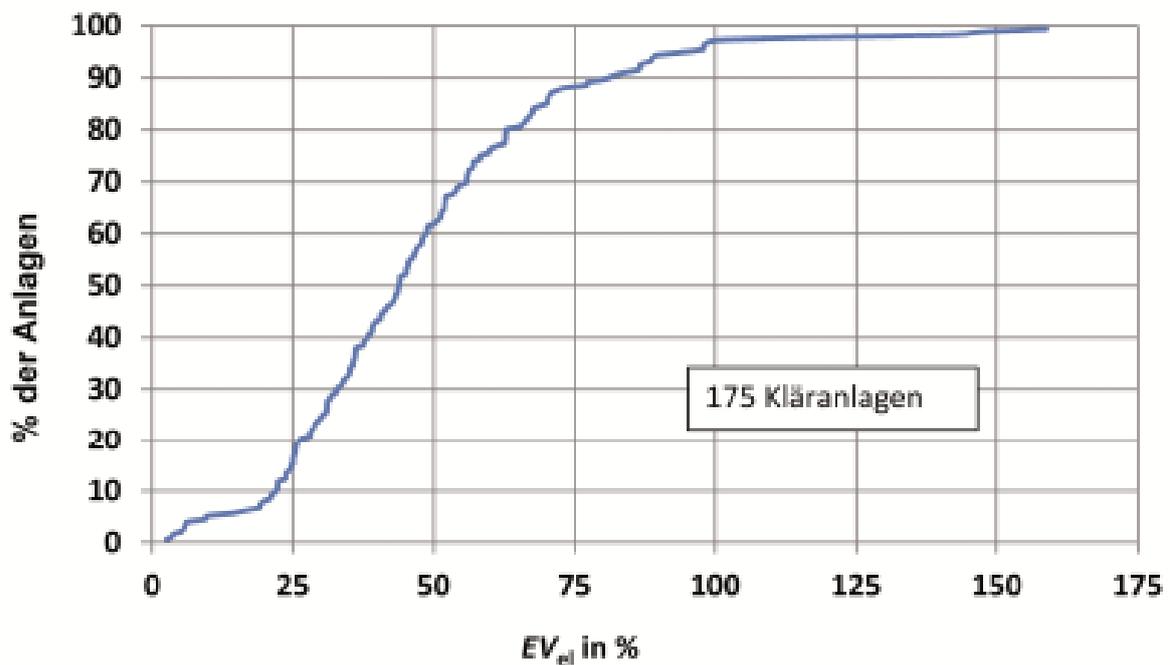
DWA-A 216, S.26, Bild 4: Spezifischer Faulgasanfall  $e_{FG}$  bezogen auf die angeschlossenen Einwohnerwerte

### 3.1.6 Eigenversorgungsgrad durch Stromerzeugung der Kläranlage

Da die Kläranlage Eberbach keinen eigenen Strom erzeugt liegt der Eigenversorgungsgrad der Anlage und der Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität bei 0 %. In den nachfolgenden Diagrammen sind Vergleichswerte anderer Kläranlagen zu sehen.



DWA-A 216: S. 27, Bild 6: Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität  $N_{FG}$



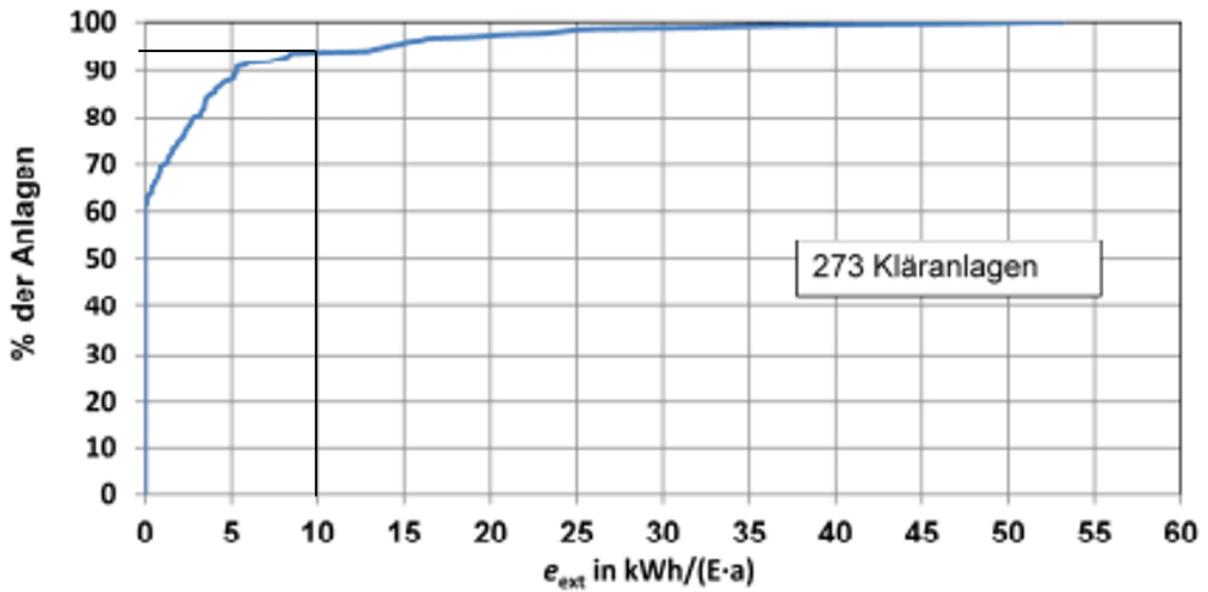
DWA-A 216: S. 26, Bild 7: Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie  $EV_{el}$

### 3.1.7 Externer Wärmebezug

Um den externen Wärmebezug mit anderen Kläranlagen vergleichen zu können, wird der spezifische externe Wärmebezug mit der mittleren biologischen Belastung von 20.000 EW berechnet (siehe Erläuterungen Kapitel 3.1.1).

Wärmebezug über Öl	kWh/a	108.610	177.990	166.520	197.540
Spez. externer Wärmebezug	kWh/(E*a)	5,4	8,9	8,3	9,9

Mehr als die Hälfte der Kläranlagen benötigt keine externe Wärmezufuhr. Ca. 93 % der Anlagen haben einen niedrigeren spezifischen externen Wärmebezug als die Kläranlage Eberbach.



DWA-A 216: S. 26, Bild 8: Spezifischer externer Wärmebezug  $e_{ext}$

### 3.2 Zusammenfassung Energiecheck

In der folgenden Tabelle ist der Energiecheck zusammenfassend dargestellt:

	Kläranlage Eberbach	DWA-A 216	Leitfaden Energieeffizienz BW	Bewertung
		Medianwert	Medianwert	
Stromverbrauch Kläranlage gesamt [kWh]	1.053.500			
Zuschlag Abwasserhebung [kWh/EW*a]	13,0	3,1	5	hoch
Stromverbrauch Kläranlage mit Abwasserhebung $e_{ges,2}$ [kWh/EW*a]	52,7	ca. 33	ca. 39	hoch
Stromverbrauch Kläranlage ohne Abwasserhebung $e_{ges,2}$ [kWh/EW*a]	39,7			Mittlerer Bereich
Stromverbrauch Belüftung $e_{Bel}$ [kWh/EW*a]	10,0	ca. 16	ca. 14	Niedriger Bereich
Spezifische Faulgasproduktion $e_{FG,1}$ [l/(EW*d)]	31,0	ca. 25	ca. 26	Hoher Bereich
Grad Faulgasumwandlung in Strom; $N_{FG}$	0	ca. 26	ca. 29	keine
Eigenversorgungsgrad Elektrizität $V_E$	0	ca. 44	ca. 44	keine
externer Wärmebezug $e_{ext}$ [kWh <sub>th</sub> /EW*a]	9,9	0		hoch

### 3.3 Vergleich der Stromverbräuche mit Toleranz- und Zielwerten

In der Antriebs-/ Verbraucherliste im Anhang sind die Nennleistung, cos phi und die abgeschätzten Betriebsstunden (t) der auf der Kläranlage installierten Aggregate und Verbraucher angegeben.

Da keine Daten zur mittleren Stromaufnahme vorlagen, wurde der jährliche Stromverbrauch der Aggregate über die folgenden Formeln abgeschätzt:

$$E_{el} = P_{el} * t \text{ [kWh/a]}$$

Für  $P_{el}$  wurde näherungsweise die auf den Typenschildern angegebenen Nennleistungen verwendet. Die Betriebsstunden sind anhand der Aussagen des Betriebspersonals gewählt. Teillastzustände wurden hier, außer bei Gebläsen und Zulaufhebwerk nicht

berücksichtigt. Die hier dargelegten Stromverbräuche sind gegebenenfalls noch durch Strommessungen zu verifizieren.

Für das Schneckenhebwerk wurde der Stromverbrauch entsprechend Kapitel 3.1.3 berechnet. Für die Belüftung wurden Zählerdaten entsprechend Kapitel 3.1.4 angegeben.

Die Idealwerte wurden anhand des DWA-A 216 (siehe Anhang) berechnet.

Die Idealwerte von RLS und Rezirkulationspumpen werden hier entsprechend nicht berücksichtigt, da die

Die Idealwerte zur Belüftung wurden anhand der Auslegung der Kläranlage berechnet. Die realen Frachten liegen, wie in Kapitel 2.4.3 beschrieben unter der Auslegungsgröße der Kläranlage. Aus diesem Grund liegt der Stromverbrauch der Kläranlage Eberbach hier noch unter dem Idealwert. Es wird davon ausgegangen, dass die Belüftung im Idealbereich liegt (entsprechend Kapitel 3.1.4).

Folgende Verbraucher liegen gemäß den Abschätzungen zum Stromverbrauch bereits im Idealbereich:

- Sandfang (Belüftung)
- Belebung (Belüftung)
- NKB Räumer
- Faulschlammumwälzung
- Faulschlammentwässerung

Die Verbraucher Überschussschlammeindickung und Rechen liegen geringfügig über den Idealbereichen. Aufgrund ihres geringen Anteils am Gesamtstromverbrauch sind sie vernachlässigbar, so dass hier keine Priorität bei den Maßnahmen vorliegt.

Einzig beim Hauptzulaufpumpwerk (Hebwerk 2) liegt die Kläranlage Eberbach deutlich über den Idealwerten, so dass hier Optimierungsbedarf gesehen wird. Dies entspricht der Auswertung in Kapitel 3.1.3.

Anlagenteil	Stromverbrauch aus Nennleistung berechnet	Anlagenspezifische Idealwertbereiche gerundet		Ist/Ideal <sub>max</sub>
		min kWh/a	max kWh/a	
Hauptzulaufpumpwerk (Hebewerk 2)	260.000	140.000	168.000	186
RLS-Pumpen Str. 1	70.000	k.A.*	k.A.*	k.A
RLS-Pumpen Str. 2	193.000	k.A.*	k.A.*	k.A
Rezirkulationspumpen Str. 2	20.000	k.A.*	k.A.*	k.A
Rechen	5.000	2.000	4.000	250
Sandfang (Belüftung)	18.000	7.400	21.700	243
Belebung (Belüftung)	200.000	253.000	271.000	79
NKB Räumler	12.000	10.500	35.000	114
Rührwerke (Belebung)	k.A.*	64.900	84.900	k.A
Faulschlammumwälzung	171.000	118.000	196.000	145
Überschussschlammeindickung	6.000	2.400	4.000	250
Faulschlammentwässerung	27.000	22.500	33.750	120
<b>SUMME</b>	<b>982.000</b>	<b>620.700**</b>	<b>818.350**</b>	
vorhandener Gesamtstromverbrauch	ca. 1.050.000			

\* k.A. – keine Aussage aufgrund zu geringer Datenmenge oder unplausible Daten

\*\* Summe entsprechend ohne RLS- und Rezirkulations-Pumpen

Folgende Stromverbraucher sind nicht aufgeführt, da keine Daten vorlagen:

- elektrische Heizungen
- Ladestation E-Auto
- Klimaanlage (z.B. Maschinenraum Schneckenhebewerk)
- Beleuchtung
- Lüftung
- Torantriebe
- Probennehmer etc...

Zusätzlich zum Strombedarf wird Wärmeenergie für die Schlammaufheizung und Gebäudeheizung aus Klärgas und Heizöl gewonnen.

## **4. Maßnahmen**

Im Anschluss werden Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs sowie zum Ausbau der erneuerbaren Energien erläutert. Alle Amortisationsrechnungen sind ohne Annuitäten/Zinsen zu verstehen.

### **4.1 Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs**

#### **4.1.1 Optimierung Zulaufhebewerk**

Bei der Kläranlage Eberbach weist das Zulaufpumpwerk (Hebewerk 2) einen hohen Energiebedarf auf (siehe Kapitel 3.1.3). Die aktuell verbauten Motoren sind Dauerläufer und bereits über 20 Jahre alt. Es besteht Optimierungsbedarf. Der Trog und die Schnecken werden regelmäßig auf Verschleiß geprüft. Laut Betriebspersonal besteht hier kein Bedarf zum Austausch wegen erhöhten Spaltverlusten.

Für einen energetisch optimalen Betrieb wäre der Einsatz von unterschiedlich großen Schnecken sinnvoll. Damit könnte bei Trockenwetter eine Schnecke im Idealpunkt betrieben werden und somit die beste Energieeffizienz erreichen. Da in der Kläranlage Eberbach kein Bedarf zum Austausch der Schnecken vorliegt und dies mit umfangreichen Umbauarbeiten und Kosten verbunden wäre, wird diese Option hier nicht weiter betrachtet.

Um Energie einzusparen wird der Einsatz energieeffizienter Getriebemotoren (ohne Keilriemen) mit Frequenzumrichter sowie die Anpassung der Regelung empfohlen.

Mit Hilfe eines Frequenzumrichters kann die Drehzahl der Schnecken an den tatsächlichen Förderbedarf angepasst werden, wobei anlagentechnische Bedingungen den Regelbereich einschränken (z.B. erforderliche Mindestdrehzahlen). So kann die Drehzahl und Leistungsaufnahme bei geringerem Zufluss bis an einen unteren Mindestwert reduziert werden.

Üblicherweise haben Keilriemen einen Wirkungsgrad von 90 % bis 96 %. Durch einen Austausch der Getriebe und Motor durch einen Getriebemotor entfallen die Keilriemen. Direkt gekoppelte Antriebe haben weniger Übertragungsverluste als Antriebe mit einem

Keilriemen und sind dadurch effizienter. Der direkte Antrieb hat auch den Vorteil, dass der Riemen als Verschleißteil und dessen Wartung wegfällt.

Wie in Kapitel 3.1.3 beschrieben, laufen im Moment aufgrund der Regelung immer zwei Schnecken gleichzeitig, wobei bei Trockenwetter eine Schnecke ausreichend wäre. Daraus ergeben sich höhere energetische Verluste. Eine neue Regelung der Antriebe kann zu einer Reduktion des Energiebedarfs führen. Ziel der Umstellung sollte sein, dass bei Durchflüssen bis 160 l/s nur eine Schnecke pro Hebewerk betrieben wird. Die Regelung vom hier betrachteten Hebewerk 2 muss stets mit dem außerhalb der Kläranlage liegenden Hebewerk 1 abgestimmt werden, so dass es nicht zu einem Einstau im Kanal kommt. Es ist in einer ersten überschlägigen Betrachtung für Hebewerk 1 von ähnlichen Kosten und Einsparungen wie bei Hebewerk 2 auszugehen, wobei bei der Elektrotechnik Synergieeffekte möglich sind. Für weitergehende technische und kostenmäßige Betrachtungen ist der Einstieg in eine Planung mit HOAI-Leistungstiefe erforderlich mit Verifizierung der Wirtschaftlichkeitsaspekte.

Im Rahmen dieser Studie wurden bereits Richtpreisangebote von zwei Herstellern zu effizienten Getriebemotoren für den FU-Betrieb (Landustrie, Kuhn) für Hebewerk 2 angefragt. Die Firma Kuhn hat sich die Gegebenheiten bereits vor Ort angeschaut und die Maßnahmen enthalten mehr Details als die Richtpreise von Landustrie, so dass der Budgetansatz entsprechend Budgetpreisangaben von Fa. Kuhn vom 10. September 2023 angesetzt wird.

Laut Fa. Kuhn lassen sich die derzeit verbauten Förderschnecken wegen der eingebauten Rücklauf Sperre von 50 – 30 Hz regeln, dies entspricht einer Fördermenge von 160 l/s bis ca. 90 l/s, beim entsprechenden geringeren Zulauf sind die Förderschnecken selbstregelnd und haben bis ca. 30 % der Nennleistung (hier dann 90 l/s) einen sehr guten Wirkungsgrad, erst danach, bei ca. 30 l/s, bricht dieser ein.

Für eine erste grobe Abschätzung der Wirtschaftlichkeit wird für den Betrieb mit energieeffizienten Getriebemotoren und bei einer neuen Regelung der Schnecken (soweit möglich Betrieb mit einer Schnecke anstelle mit zwei Schnecken) eine Energieeinsparung von 20 % angesetzt. Diese Abschätzung ist in einer über den Umfang der Studie hinausgehenden detaillierten Planung zu verifizieren.

Im Folgenden ist ein Budgetansatz und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für das Zulaufpumpwerk (Hebewerk 2) auf der Kläranlage dargestellt.

<b>Wirtschaftlichkeit Schneckenhebewerk</b>		
Strompreis	€/kWh	0,35
Derzeitiger Stromverbrauch	kWh/a	260.000
	€/a	91.000
Derzeitige Nennleistung der Motoren	kW	30 / 45
Zukünftige Nennleistung der Motoren	kW	22
Einsparung	kWh	52.000
	€/a	18.200
Budgetansatz Invest (brutto) zzgl. Baunebenkosten/Planungshonorare	€	150.000
Amortisationszeit ca. (ohne Baunebenkosten/Planungshonorare)	a	9

Bei abgeschätzter Reduktion des Energiebedarfs von 20 % (siehe obige Erläuterungen) ergibt sich eine Amortisationszeit von 9 Jahren. Eine neue Regelung der Schnecken wird sich auch positiv auf den Betrieb der Anlage auswirken und es ist von weniger Verschleiß auszugehen, wenn größtenteils nur eine Schnecke in Betrieb ist.

#### **4.1.2 Einsatz energieeffizientere Motoren**

Wenn ein Motortausch ansteht, sollte, sofern technisch möglich, ein energieeffizienter Motor zum Einsatz kommen. Dies gilt insbesondere für Motoren mit hohen Jahresleistungen.

Zudem sollte die Auslegung und Schaltpunkte überprüft werden und ob Bedarf und die Möglichkeit besteht, die Motoren mit Sanftanlauf oder FU nachzurüsten. Durch eine bedarfsorientierte Antriebsdimensionierung, die Nutzung von Frequenzumrichter und die Optimierung des Bewegungsprofils lässt sich der Energiebedarf senken.

Laut der Verordnung Verordnung (EU) 2019/1781 über Elektromotoren und Drehzahlregelungen müssen „Dreiphasenmotoren mit einer Nennausgangsleistung zwischen 0,75 kW und höchstens 1000 kW bis Juli 2021 das Effizienzniveau IE3 aufweisen. Ab Juli 2023 ist für Motoren mit einer Leistung zwischen 75 kW und 200 kW das Effizienzniveau IE4 verpflichtend.“ Ab dem 1. Juli 2021 müssen Frequenzumrichter verpflichtend bei Motoren ab der Effizienzklasse IE2 verwendet werden.

Mit steigender Motorleistung nimmt die Verbesserung des Wirkungsgrades von IE3 zu IE4 ab, da größere Motoren bereits seit längerer Zeit mit besseren Wirkungsgraden geliefert wurden. In absoluten Zahlen betrachtet, kann jedoch auch bei einer Verbesserung des Wirkungsgrades um lediglich 1 % ein Einspareffekt erzielt werden, wie in der folgenden Beispielrechnung gezeigt wird.

#### Wirtschaftlichkeit:

##### Beispielrechnung:

Dauerläufer-Motor, 50 kW, 95 % Wirkungsgrad => mech. Leistung von 47,5 kW

Verbesserung des Wirkungsgrades von 95 % auf 96 %

⇒ Leistungsaufnahme für die gleiche mechanische Leistung reduziert sich auf 49,5 kW

⇒  $0,5 \text{ kW} \times 8.760 \text{ h/a} = 4.380 \text{ kWh/a}$

⇒  $4.380 \text{ kWh/a} \times 0,35 \text{ €/kWh} = 1.533 \text{ €}$

⇒ Mehrkosten IE4-Motor: 800 – 2.000 € brutto

Anhand der Beispielrechnung wird deutlich, dass sich ein IE4-Motor bereits innerhalb eines Jahres amortisieren kann.

Im Folgenden wird betrachtet, ob bei den Rührwerken als Dauerläufern ein Austausch nur aus Energieeffizienzgründen sinnvoll sein. Rührwerke sind in der KA Eberbach in den Anaerob-Becken, in den DN-Becken, im Nacheindicker, im Primärschacht und im Prozesswasserspeicher eingebaut. Die Rührwerke und ihr Energiebedarf (berechnet aus Nennleistung) sind in der Tabelle im Anhang aufgeführt.

##### Beispiel:

Ein Rührwerk mit 3,5 kW wird 8.760 h im Jahr betrieben, wodurch sich ein Stromverbrauch von 30.660 kWh/a ergibt. Bei einer Einsparung durch ein neues Rührwerk von 5 % können jährlich ca. 1.500 kWh eingespart werden. Die Kostenersparnis bei einem Strompreis von 35 ct/kWh beläuft sich dabei auf 525 €/a. Der Austausch der Rührwerke und Motoren liegt im fünfstelligen Bereich, so dass ein Austausch nur aufgrund der Energieeffizienz nicht wirtschaftlich ist. Eine verbesserte Durchmischung kann jedoch betriebliche Vorteile mit sich bringen.

### 4.1.3 Optimierung Betrieb von Pumpwerken

Neben dem Zulaufhebewerk sollten alle Pumpwerke (z.B. Rücklaufschlammumpenwerke, Rezirkulationspumpen etc.) möglichst energieeffizient betrieben werden. Hierzu einige allgemeine Hinweise (entsprechend Leitfaden Energieeffizienz auf Kläranlagen):

Vor allem bei Neuanschaffung soll die Auslegung von Aggregat und Motor, die Förderhöhe und Fördermengen überprüft werden. In manchen Fällen ist die Anschaffung einer kleineren Pumpe in Betracht zu ziehen, die dann zu einer Energieeinsparung führt.

Kreiselpumpen sollten möglichst im Auslegungspunkt betrieben werden. Schwankende Förderströme sind, wenn möglich, zu vermeiden. Dafür sollten die Schaltpunkte der Pumpen näher betrachtet werden. Durch eine höhere Auslastung der einzelnen Pumpen kann aus Erfahrung der Stromverbrauch gesenkt werden. Es sollte dabei der maximal mögliche Rückstau ausgeschöpft werden.

Durch Frequenzumrichter kann im Teillastbetrieb ein vergleichsweise guter Wirkungsgrad erreicht werden. Drosselregulierungen mittels Schieber sind nach Möglichkeit zu vermeiden.

Verschleiß, Verstopfungen und Verzopfungen und Spaltverluste können sich zudem negativ auf den Wirkungsgrad auswirken, so dass hier regelmäßige Kontrollen und Wartungen, wie sie auch bereits auf der Kläranlage Eberbach stattfinden, durchzuführen sind.

Die Regelung der Rezirkulationspumpen kann über kontinuierliche Messungen des Nitrat-bzw.  $\text{NO}_x\text{-N}$  Gehalts im Ablauf der Denitrifikationszone angepasst werden. Dadurch kann möglicherweise die Fördermenge der Rezirkulationspumpen und damit der Energiebedarf der Pumpen reduziert werden. In der Kläranlage Eberbach sind in der Straße 1 die Rezirkulationspumpen nicht mehr im Einsatz. Laut Betriebspersonal habe sich in der Praxis gezeigt, dass die Rezirkulation durch den Rücklaufschlamm für gute Ablaufwerte ausreichend ist. Für Straße 2 laufen beide Rezirkulationspumpen auf 50 Hz und damit ungeregt gegenüber der Fracht und Zulaufmenge. Hier kann eine Regelung nach Zulaufwassermenge und/oder durch Nitrat- bzw.  $\text{NO}_x\text{-N}$  Gehalt den Energiebedarf reduzieren.

#### 4.1.4 Optimierung der Belüftung

Die Kläranlage Eberbach verfügt über 4 Drehkolbenverdichter der Firma Aerzen Typ D24S mit einer Motornennleistung von jeweils 37 kW. Laut Aussage des Betriebspersonals sind maximal 2 Gebläse in Betrieb. Dabei ist eines für die minimale Belüftung bereits zu groß ausgelegt. Die Gebläse laufen somit nicht im günstigsten Betriebspunkt und sind für den Bedarf überdimensioniert. Die Gebläse sind neuwertig mit Baujahr 2017. Ein Austausch ist in der nächsten Zeit nicht geplant und auch nicht wirtschaftlich. Die Gebläse werden über einen festgelegten Sauerstoffgehalt in der Belebung geregelt. Bei einem zu hohen Sauerstoffgehalt werden die Regelschieber in den Luftleitungen geschlossen. Dadurch steigt der Druck in der Leitung an und die Gebläseleistung wird reduziert (Druckregelung). Das System ist träge und die Regelung dadurch erschwert.

Trotz der eher ungünstigen Bedingungen liegt der aus dem PLS abgelesene Gesamtstrombedarf der Belüftung in einem guten Bereich der Vergleichswerte. Somit ist grundsätzlich von effizienten Gebläsen und Belüftern (Belüfterplatten Messner) auszugehen.

Zudem muss beim Vergleich berücksichtigt werden, wie die Daten des Stromverbrauchs der Belüftung jeweils aufgenommen wurden. So kann der Strombedarf der Belüftung von Vergleichsanlagen bspw. durch einen Zähler ausgegeben werden, der alle Verbraucher im Maschinenraum der Gebläse berücksichtigt. Dabei geht eventuell auch der Stromverbrauch von anderen Aggregaten ein z.B. Raumventilatoren, Rezirkulationspumpen oder ähnliche. Bei der Kläranlage Eberbach handelt es sich nur um den Energieverbrauch der Gebläse.

Für die Kläranlage Eberbach wird kein Optimierungsbedarf für die Belüftung gesehen, da sie bereits in einem guten Bereich der Vergleichswerte liegt.

Allgemein führen unnötig hohe Schlammalter oder Sauerstoffkonzentrationen im Belebungsbecken führen zu höheren Energieverbräuchen. Dies ist in der Kläranlage Eberbach nicht der Fall. Um die Reinigungsleistung zu gewährleisten, sollte die Sauerstoffkonzentration und das Schlammalter nicht abgesenkt werden.

Die Gebläse Aerzen D 24 S sind für einen Regelbereich von 55,5 Hz bis 20 Hz ausgelegt. Laut Aussage des Betriebspersonals kann der Regelbereich nicht optimal ausgenutzt werden, da die Schmierung nicht ausreicht. Dies kann laut Aerzen nachgerüstet werden. Hierdurch kann sich eine geringfügige Energieeinsparung ergeben.

Die Regelung des Sauerstoffgehalts auf Grundlage von Messungen der Ammoniumwerte kann zu einer Optimierung der Reinigungsleistung und eventuell zu einer Reduktion des Energiebedarfs der Belüftung führen. Hierfür wurde bereits auf Anfrage der Stadt Eberbach ein Angebot bei der Firma Hach Lange GmbH erstellt. Das Richtpreisangebot für Analysator und Software (ohne Montage, Einbindung in PLS etc.) vom Mai 2022 beträgt ca. 132.000 € brutto.

Die Maßnahmen bezüglich der Optimierung der Belüftung können für die Kläranlage zur besseren Regelung und Optimierung der Ablaufwerte relevant sein. Für die Energieeffizienz ist hier nur mit geringen Einsparungen zu rechnen. Die Kläranlage weist bisher im Vergleich zu anderen Kläranlagen einen relativ geringen Stromverbrauch für die Belüftung auf, so dass hier keine Priorität hinsichtlich der Energieeffizienz besteht.

#### **4.1.5 Optimierung Schlammbehandlung**

Die Schlammbehandlung ist nach der biologischen Stufe und eventuellen Hebewerken ein weiterer großer Energieverbraucher auf Kläranlagen. Dabei wird eine große Energiemenge für die Beheizung des Faulschlammes aufgewendet. Der Faulschlamm soll ca. 37°C warm sein, da hier die biologischen Prozesse optimal ablaufen.

Um Schwachstellen in der Isolierung des Faulbehälters zu erkennen, wird empfohlen im Winter mit einer Wärmebildkamera die Oberflächentemperatur des Faulturms aufzunehmen. Daraus lassen sich eventuell Verbesserungsmaßnahmen zur Isolierung ableiten.

Weiterhin kann eine Verbesserung der Voreindickung sich positiv auf den Wärmebedarf für die Faulschlammaufheizung und die Abbauvorgänge auswirken. Die MÜSE der Kläranlage Eberbach ist aus dem Jahr 1989. Da die MÜSE nur geringe Betriebszeiten und Verbräuche hat, beeinflusst ein Austausch den Gesamtstromverbrauch nur in sehr geringem Maß.

Aufgrund des Alters und zur Optimierung der Voreindickung kann es mittelfristig notwendig werden, die MÜSE auszutauschen. Bei einem neuen Aggregat sollte dann auf eine gute Energieeffizienz der Aggregate geachtet werden. Im Zuge einer Neuplanung der MÜSE sollte auch das Vorlagevolumen bzw. -überlauf und die Häufigkeit der Beschickung der MÜSE geprüft werden.

Der Faulbehälter der Kläranlage Eberbach ist mit 2.240 m<sup>3</sup> großzügig ausgelegt. Die

Verweilzeit beträgt 47 bis 60 Tage und ist damit doppelt so hoch wie für einen Faulturm der Größenklasse empfohlen wird. Ein großer Faulbehälter hat entsprechend höhere Transmissionsverluste als ein kleinerer.

Wenn ein BHKW implementiert wird, sinkt die aus dem Biogas gewonnene Wärmemenge, die für die Aufheizung des Faulturms genutzt werden kann. Im Moment werden Faulturm und Gebäude mit Faulgas und Öl beheizt. Um einen möglichst klimaneutralen Betrieb der Kläranlage zu ermöglichen ist eine Beheizung mit Öl nicht zukunftsweisend. Ein Neubau eines kleineren Faulbehälters könnte den Wärmebedarf senken, ist aber mit erheblichen Kosten verbunden und wird daher nicht weiter betrachtet.

Eine Möglichkeit den Gasertrag und damit die gewinnbare Wärmemenge aus Faulgas zu erhöhen, besteht in der Co-Vergärung. Externe Schlämme oder Substanzen mit hohem organischem Anteil können dem Faulschlamm beigemischt werden und damit die Biogasausbeute erhöhen. Zu beachten sind dabei gesetzliche Regelungen zur Abwasser- bzw. Abfallbehandlung. Abfälle wie z.B. Küchen- oder Kantinenabfälle unterliegen dem Abfallrecht, so dass diese nicht ohne weitere Genehmigungen in einem Faulbehälter der Abwasserentsorgung co-vergärt werden können. Hier ist eine Absprache zu den Möglichkeiten mit den zuständigen Behörden notwendig.

Das Co-Substrat sollte allgemein 50 % des Gesamtdurchsatzes nicht überschreiten und muss zudem leicht in den Faulbehälter einzutragen sein. Dabei entstehen Kosten für eine Annahmestation. Die Betriebssicherheit steht immer über einer verbesserten Faulgaserzeugung. Das Co-Substrat darf keine toxischen Stoffe in Mengen enthalten, die die biologische Aktivität im Faulturm reduzieren. In der Kläranlage Eberbach wurde bereits versucht Altfett zur Co-Vergärung in den Faulturm zu leiten. Hierdurch kam es zu Verstopfungen in den Leitungen, so dass wieder davon abgesehen wurde.

Allgemein würde sich die Co-Vergärung aufgrund des großen Faulturms der Kläranlage Eberbach gut eignen, um den Faulgasanteil zu erhöhen.

Weiterhin kann die Biogasausbeute durch eine optimale Faulturmbeschickung positiv beeinflusst werden. In Eberbach wird das Verdrängerprinzip verwendet, das heißt, die gleiche Menge Substrat die zugegeben wird, wird entnommen. Hier wird kein Änderungsbedarf gesehen.

Die Faulturmumwälzung muss für eine gute Durchmischung im Faulturm sorgen. Die Umwälzung kann durch Rührwerke, Umwälzpumpen oder Faulgaseinpressung gewährleistet werden. Die Einpressung von Faulgas gilt als besonders effizient. In der Kläranlage Eberbach wird mit Umwälzpumpen gearbeitet. Der spezifische Energieverbrauch

der anaeroben Stabilisierung geht auf die Umwälzung im Faulturm zurück. Richtwerte für den Energiebedarf der Faulturmwälzung liegen für außen liegende Umwälzpumpen bei 6 bis 10 W/m<sup>3</sup>. Bei der Faulgaseinpressung wird mit 3 W/m<sup>3</sup> bis 10 W/m<sup>3</sup> gerechnet. Bei einer Sanierung des Faulbehälters oder einem Neubau sollten Verbesserungen der Faulschlammumwälzung im Blick behalten werden.

Entweder durch die Reduktion des Wärmebedarfs bspw. durch eine verbesserte Isolierung und/oder durch eine größere verfügbare Wärmemenge aus Biogas, kann eventuell auf eine weitere externe Wärmequelle verzichtet werden. Dies muss allerdings in einer Planung genauer geprüft werden.

## **4.2 Maßnahmen zum Ausbau der erneuerbaren Energien**

Der Anteil der Eigenversorgung der Kläranlage mit Strom kann durch den Ausbau erneuerbarer Energien erhöht werden.

### **4.2.1 Optimierung Biogasverwertung**

Das Faulgas, welches im Faulbehälter der Kläranlage entsteht, kann in einem BHKW zur Stromerzeugung genutzt werden. Für einen optimalen Betrieb wird auch die Vergrößerung des Faulgasspeichers empfohlen.

#### **Faulgasspeicherung**

Der vorhandene Gasspeicher auf der Kläranlage Eberbach hat ein Volumen von 65 m<sup>3</sup>, somit liegt bei mittlerem Gasanfall die Bevorratung bei ca. 3 h. Das Speichervolumen beträgt ca. 10 % des durchschnittlichen täglichen Biogasanfalls. Zur Faulgasnutzung wird ein Speichervolumen von ca. 30 %-50 % des täglichen Gasanfalls empfohlen (*Quelle: Handbuch NRW, Energie in Abwasseranlagen, 2. Fassung*).

In Eberbach entspricht dies bezogen auf die mittlere Gasmenge von 2022 einem Speichervolumen von mind. 190 m<sup>3</sup>.

Im Zuge des Ausbaus der erneuerbaren Energien wird eine flexible Stromerzeugung immer wichtiger. Um einen flexiblen Betrieb mit einem BHKW zu ermöglichen ist ein Bevorratungszeitraum von 10 h bis 15 h, ca. 50 % des mittleren täglichen Gasanfalls, zu empfehlen. Für die Kläranlage Eberbach entspricht dies einem empfohlenen Gasspeichervolumen von ca. 300 m<sup>3</sup>. In einem weiteren Verlauf der Planungen auf HOAI-Leistungsebene sind detailliertere Betrachtungen bzgl. der Gasmengen

durchzuführen. Hierbei sollte eine Prüfung der Gasmengenmessung unter Berücksichtigung von Temperaturen und Drücken stattfinden, sowie zukünftige Entwicklungen bei der Gasmenge berücksichtigt werden, bspw. Annahme von Materialien zur Co-Vergärung etc..

Da die Kläranlage Eberbach nur wenig Freiflächen aufweist, sind bei Vergrößerung des Gasspeichervolumens die Platzverhältnisse zu prüfen, so dass hier keine Interessenskonflikte zur Erweiterung der Kläranlage etc. entstehen.

Ein stehender zylindrischen Niederdruckgasspeicher mit 300 m<sup>3</sup> Volumen hat beispielsweise einen Durchmesser von 9,1 m bei einer Mantelhöhe von 6 m. Ein Richtpreisangebot für einen 300 m<sup>3</sup> Gasspeicher der Firma Eisenbau Heilbronn GmbH liegt bei ca. 240.000 € netto (Anfrage vom 22.08.2023). Ein Budgetansatz mit Einbindung in die Kläranlage (Fundament Gasspeicher, Rohrleitungen, Elektrotechnik), liegt hier bei ca. 550.000 € brutto zzgl. Baunebenkosten / Planungshonorare.

Alternativ zu einem 300 m<sup>3</sup> Gasspeicher kann ein Gasspeichervolumen von 190 m<sup>3</sup> auf zwei zylindrisch liegende Niederdruckgasspeicher aufgeteilt werden. Zu dem vorhandenen 65 m<sup>3</sup> Gasspeicher würde ein 125 m<sup>3</sup> Gasspeicher mit 12 m Länge und einem Durchmesser von 3,8 m aufgestellt werden. Dies entspricht der maximalen Größe für diese Art von liegenden Gasspeichern. Ein Richtpreisangebot für einen 125 m<sup>3</sup> Gasspeicher der Firma Eisenbau Heilbronn GmbH liegt bei ca. 135.000 € netto (Anfrage vom 22.08.2023). Zusätzliche Kosten entstehen durch Einbindung in die Kläranlage (Fundament Gasspeicher, Rohrleitungen, Elektrotechnik). Es wird ein Budgetansatz von 350.000 € zzgl. Baunebenkosten/ Planungshonorare getroffen.

Die Vorteile des größeren Gasspeichers ergeben sich aus der flexibleren Anwendungsmöglichkeit und wird deshalb als nachhaltigere Investition angesehen.

## **BHKW**

Als Energiequelle steht auf der Kläranlage Faulgas zur Verfügung, welches zur Bereitstellung von Wärme (z.B. Heizung, BHKW) und Strom (BHKW) genutzt werden kann. Im Moment wird das Faulgas der Kläranlage Eberbach in der Heizung genutzt. Überschüssiges Faulgas wird über eine Gasfackel verbrannt. Die Wärme wird für die Beheizung des Faulturms und der Betriebsgebäude verwendet. Es steht, wie bereits vorher beschrieben, momentan ein Klärgasspeicher von 65 m<sup>3</sup> zur Verfügung.

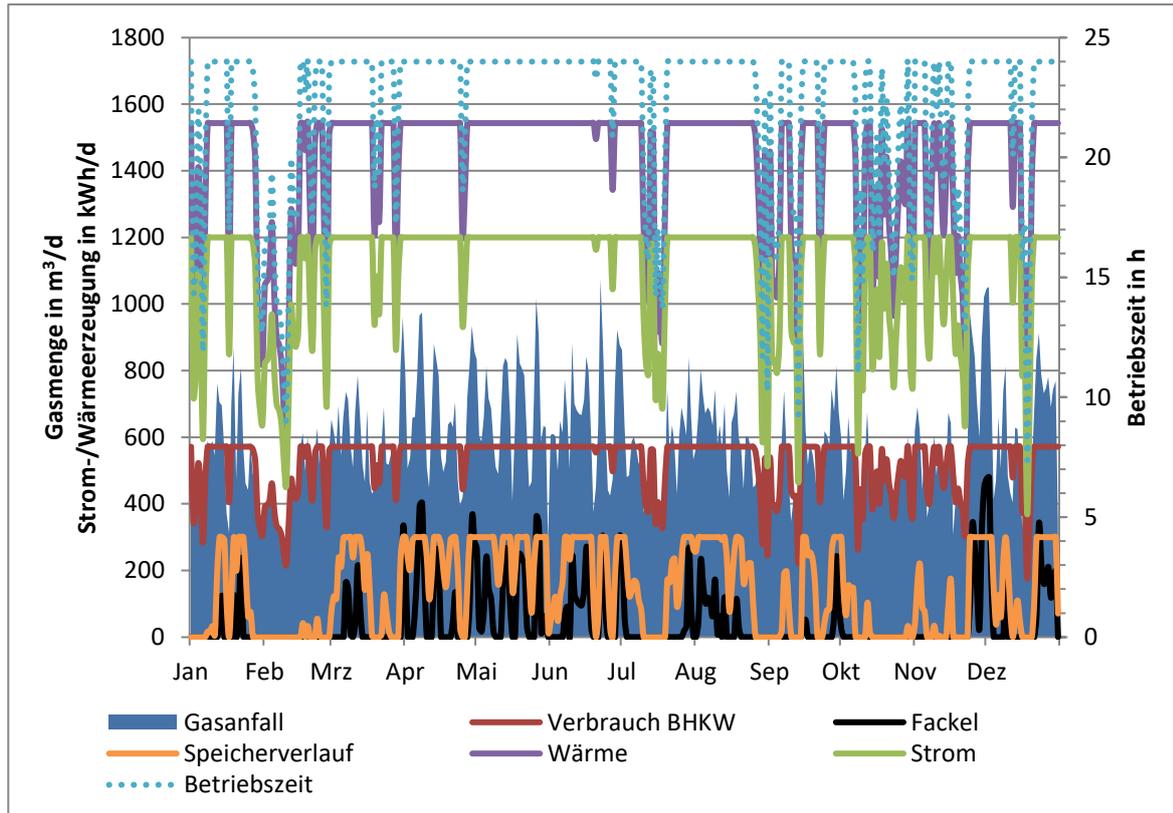
Die Stadtwerke Eberbach hatten 2014 bereits ein BHKW auf der Kläranlage aufgestellt. Allerdings war der Betrieb nicht wirtschaftlich, vermutlich aufgrund einer zu großen

Auslegung des BHKW's und einer fehlenden Gasreinigungsstufe mit Aktivkohlefilter. Das BHKW wurde aus diesem Grund abgebaut und verkauft. Einige Installationen und Anschlüsse z.B. Schaltschrank etc. sind noch vorhanden. Bei einem Neubau müsste geprüft werden, inwieweit diese weiterverwendet bzw. ausgetauscht werden müssen. Ein neues BHKW kann, wie damals im Jahr 2014, in einem Container oder ggf. in einer Fertiggarage (vorteilhafter als Container hinsichtlich Aufheizung durch Sonneneinstrahlung) neben dem Faulbehälter aufgestellt werden. Es wird die Installation einer Klärgasreinigung empfohlen.

Im Folgenden wird eine grobe überschlägige Auslegung für ein neues BHKW vorgenommen. Eine genaue Auslegung unter Berücksichtigung von zukünftigen Veränderungen der Klärgasmenge bzw. Verifizierung der vorliegenden Klärgasmengen (Berücksichtigung von Temperatur und Druck bei der Mengenmessung), Klärgaszusammensetzung sowie Auslegung von Speichervolumen ist Teil weiterer Planungsschritte in HOAI-Leistungstiefe.

Auslegung BHKW		
Klärgasqualität	kWh/m <sup>3</sup>	6,0
Leistung BHKW	kW	50
el. Wirkungsgrad	%	35
th. Wirkungsgrad	%	45

Wie bereits ausgeführt, wird für einen flexiblen Betrieb des BHKW's empfohlen das Speichervolumen zu erhöhen. Die Nutzung des derzeitigen Gasspeichers ist eventuell ebenfalls möglich. Wie im folgenden Diagramm im blau ausgefüllten Bereich dargestellt, treten an einzelnen Tagen Abweichungen von +/- 50 % des mittleren täglichen Gasanfalls auf (sofern die Gasmengenmessung zuverlässige Ergebnisse liefert). Bei einem größeren Gasspeicher wird davon ausgegangen, dass der Betrieb gleichmäßiger werden kann und das BHKW so in einem günstigen Betriebspunkt gleichmäßig betrieben werden kann.



Für die Wirtschaftlichkeit werden zwei Varianten untersucht:

Wirtschaftlichkeit Varianten der Gasverwertung	
Varianten	Budgetansatz Invest brutto €
<b>Variante 1: empfohlene Variante</b> BHKW 50 kW + Gasreinigung, Erweiterung des Gasspeichervolumens auf 300 m <sup>3</sup> zzgl. Baunebenkosten / Planungshonorare	1.100.000
<b>Variante 2: Minimalvariante</b> BHKW 50 kW + Gasreinigung, gleichbleibender Gasspeicher von 65 m <sup>3</sup> zzgl. Baunebenkosten / Planungshonorare	550.000

Für beide Varianten wird vom selben BHKW mit elektrischer Leistung von 50 kW ausgegangen.

<b>Variante 1 - BHKW 50 kW und Gasspeicher 300 m³ und Gasreinigung</b>		
Gasspeichervolumen	m³	300
Anteil ungenutztes Gas am Gasanfall	%	9
Eigenerzeugung Strom	kWh	400.000
Einsparung Stromkosten	€/a	140.000
Erzeugte Wärmemenge	kWh	520.000
Aktueller Wärmebedarf	kWh	800.000
Wärmedefizit – durch Rest Faulgas/ Öl/ Abwasserwärmenutzung bereitzu- stellen	kWh	280.000
Zusätzliche Kosten durch Öl für Wärme <sup>*)</sup>	l Öl/a €/a	28.000 -16.500
Variante 1: Budgetansatz Invest brutto zzgl. Baunebenkosten / Planungsho- norare	€	1.100.000
Amortisationszeit ca. ohne Baunebenkosten / Planungsho- norare	a	8 bis 9

\*) für das Jahr 2021 wurden 17.000 l Heizöl benötigt, bei Neubau eines BHKW's wird Wärme äquivalent zu weiteren 11.000 l Heizöl benötigt, für den Ölpreis werden 1,50 €/l angenommen

<b>Variante 2 - BHKW 50 kW und Gasspeicher 65 m<sup>3</sup> und Gasreinigung</b>		
Gasspeichervolumen	m <sup>3</sup>	65
Anteil ungenutztes Gas am Gasanfall	%	11
Eigenerzeugung Strom	kWh	390.000
Einsparung Stromkosten	€/a	137.000
Erzeugte Wärmemenge	kWh	510.000
Aktueller Wärmebedarf	kWh	800.000
Zukünftig durch Öl bzw. Abwasserwärmenutzung zu erzeugende Wärme	kWh	290.000
Zusätzliche Kosten durch Öl für Wärme <sup>*)</sup>	l Öl/a €/a	29.000 -18.000
Variante 1: Budgetansatz Invest (brutto) zzgl. Baunebenkosten / Planungshonorare	€	550.000
Amortisationszeit ca. ohne Baunebenkosten / Planungshonorare	a	4 bis 5

\*) für das Jahr 2021 wurden 17.000 l Heizöl benötigt, bei Neubau eines BHKW's wird Wärme äquivalent zu weiteren 12.000 l Heizöl benötigt, für den Ölpreis werden 1,50 €/l angenommen

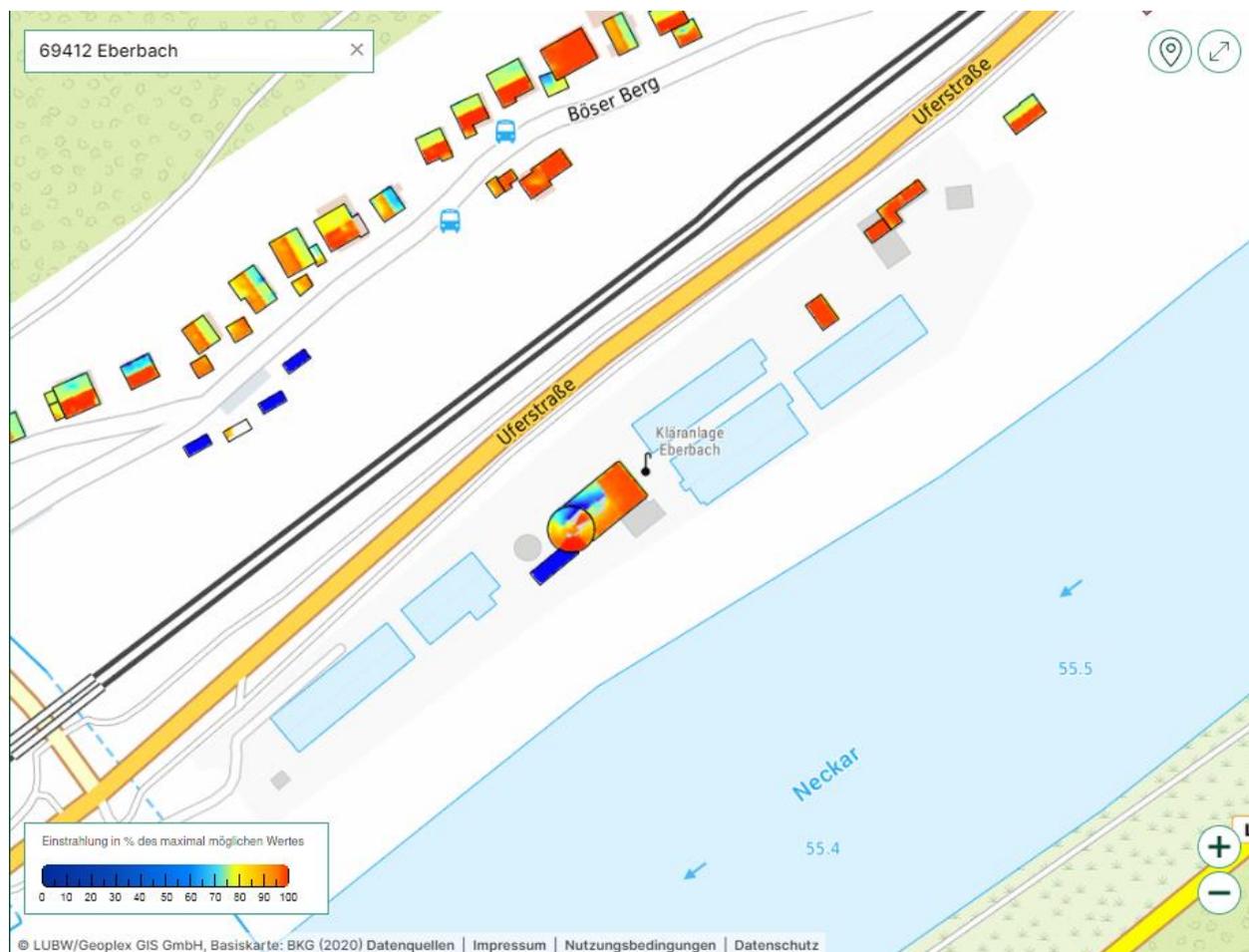
Der elektrische Eigenversorgungsgrad kann durch die Implementierung eines BHKW's von 0 auf 37 % (Variante 2) bzw. 38 % (Variante 1) erhöht werden. Der Anteil ungenutzten Gases an der Gaserzeugung würde von 51 % auf 9 % (Variante 1) bzw. 11 % (Variante 2) sinken (berechnet mit Werten für das Jahr 2021).

Die Varianten 1 und 2 zeigen den oberen und unteren Investitionskostenbereich, der im Wesentlichen mit der Ausbaugröße des Gasspeichers zusammenhängt. Im Rahmen weiterer Planungsschritte in HOAI-Leistungstiefe, mit Standortuntersuchung, sowie Auslegung des BHKW's für einen möglichst gleichmäßigen Betrieb im optimalen Betriebspunkt, kann die Gasspeicherausführung dann festgelegt werden. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass der Gasspeicher ein Bauwerk bzw. eine Anlage ist, die als Infrastruktur-Langzeitinvestition für die Kläranlage anzusetzen ist, bzw. bei Erneuerung des BHKW's kann der Gasspeicher wieder für das nächste BHKW weiter genutzt werden.

## 4.2.2 Stromerzeugung durch Photovoltaik

Um einen möglichst hohen Anteil der Energieversorgung durch erneuerbare Energien abzudecken, sind die Möglichkeiten des Einsatzes von Photovoltaikanlagen zu prüfen. Da die Kläranlage einen hohen Stromverbrauch hat, wird ein Großteil des produzierten Stroms direkt selbst verbraucht, wodurch sich eine Einsparung bei den Stromkosten ergibt.

Hierbei sollten die Dachflächen des Betriebsgebäudes mit PV-Modulen bestückt werden. Voraussetzung hierfür ist, dass das Dach dafür geeignet ist, die zusätzliche Last statisch aufzunehmen. Zudem muss berücksichtigt werden, inwieweit der Faulturm das Dach des Betriebsgebäudes beschattet. Laut Energieatlas BW besteht jedoch auf der Ostseite des Betriebsgebäudes eine hohe Sonneneinstrahlung.



Quelle: <https://www.energieatlas-bw.de/sonne/dachflächen/solarpotenzial-auf-dachflächen>

Im Folgenden werden Überlegungen angestellt, welche Freiflächen auf dem Kläranlagengelände bzw. Umgebung mit Solarmodulen bebaut werden können. Im nachfolgenden Luftbild sind die entsprechenden Flächen eingezeichnet.



Die Freiflächen vor den Wohnhäusern nord-östlich der Kläranlage gehören der Stadt Eberbach, so dass diese eventuell für eine Solaranlage zur Verfügung stehen. Es ist allerdings zu beachten, dass diese Fläche eine Überflutungsfläche bei Hochwasser ist ( $HQ-100 < 3 \text{ m}$ ). Somit ist mit aufwendigen und teuren Hochwasserschutzmaßnahmen und Genehmigungen zu rechnen, so dass diese Fläche hier nicht weiter betrachtet wird.

Freie Flächen auf dem Kläranlagengelände z.B. neben den Becken etc. sind nicht mit Photovoltaik zu bebauen, da hier Ausweichflächen für die Erweiterung der Kläranlage, Neubau einer vierten Reinigungsstufe oder einer Prozesswasserbehandlung etc. berücksichtigt werden müssen.

Eine Alternative ist die Nutzung der Beckenoberflächen für Photovoltaik. Diese müssen hierfür überdacht werden, entweder durch eine fest installierte Überdachung oder durch bewegliche Solarfaltdächer. Die Vorteile bestehen darin, dass kein zusätzlicher Platzbedarf für die Photovoltaik entsteht. Zusätzlich können sich durch die Beschattung der Becken Vorteile ergeben wie eine Reduktion von Algenwachstum und Schatten für die Mitarbeiter bei Arbeiten an den Becken.

Der Vorteil eines Solarfaltdachs im Gegensatz zu einem festen Dach besteht darin, dass dieses für Revisionsarbeiten am Becken, sowie bei starkem Wind etc. aufgeklappt werden kann. Bei einem festen Dach muss die Höhe entsprechend so gewählt sein, dass Revisionsarbeiten darunter oder mit seitlichem Durchgang durchgeführt werden

können oder die Solardachelemente partiell mittels Autokran abgenommen werden können.

Für die Straße 1 ergeben sich ca. 1.360 m<sup>2</sup> Beckenfläche, die für eine Installation von einer Anlage mit ca. 200 kWp ausreichend sind. Weitere 1.800 m<sup>2</sup> Beckenfläche auf der Straße 2 bieten Platz für die Installation einer Photovoltaikanlage mit 265 kWp.

Aus einer Vorstudie zum Solarfaltdach aus der Schweiz (Holinger) ergeben sich Kosten von 2.400 CHF/kWp ohne Mehrwertsteuer im August 2022. Bei einem Wechselkurs von ca. 1 zu 1 und einem Inflations-Aufschlag von ca. 5 %, sowie zzgl. Mehrwertsteuer ergibt sich ein Budgetkostenansatz von 3.000 €/kWp brutto, zzgl. Baunebenkosten / Planungshonorare.

Für eine feste Überdachung mit Photovoltaik wird ein geringerer Preis abgeschätzt (in erster Schätzung ca. 20 % geringer, was in einer nächsten Planungsphase über Angebotseinholung zu verifizieren ist).

Obige Preisansätze hängen u.a. auch von den Gegebenheiten, ab wie die Dachkonstruktion auf oder um die Becken angeordnet und gegründet werden kann. Dies wäre Umfang einer weitergehenden Planung mit HOAI-Leistungstiefe.

Wirtschaftlichkeit Photovoltaik über Becken			
PV Dach Betriebsgebäude	Leistung	kWp	15
	Erwartete Stromerzeugung	kWh/a	13.000
	Eingesparte Stromkosten	€/a	3.900
	Budgetansatz Invest brutto zzgl. Baunebenkosten / Planungshonorare	€/kWp	2.000
	Budgetansatz Invest Gesamt brutto zzgl. Baunebenkosten / Planungshonorare	€	30.000
	Amortisationszeit ohne Baunebenkosten / Planungshonorare	a	8
PV Solarfaltdach Becken 1+2	Leistung	kWp	465
	Erwartete Stromerzeugung	kWh/a	400.000
	Eingesparte Stromkosten	€/a	140.000
	Budgetansatz Invest (brutto) ohne Baunebenkosten / Planungshonorare	€/kWp	3.000
	Budgetansatz Invest Gesamt brutto ohne Baunebenkosten / Planungshonorare	€	1,4 Mio.
	Amortisationszeit ohne Baunebenkosten / Planungshonorare	a	10
Gesamtstromerzeugung		kWh/a	413.000

Der jährliche Stromgewinn von 413.000 kWh/a entspricht ca. 40 % des Stromverbrauchs der KA (bilanziell). Dabei kann die Energie auf der Kläranlage direkt verwendet werden.

Für die Solarfaltdächer bzw. Überdachung von Becken insbesondere Belebungsbecken liegen noch wenig Erfahrungen vor. Aufgrund der Atmosphäre oberhalb der Becken (Gase, Bakterien, Feuchtigkeit) kann mit einer höheren Korrosionsneigung gerechnet werden, so dass keine Aussage zur Langlebigkeit gemacht werden können.

### 4.2.3 Stromerzeugung durch Nutzung der Wasserkraft

Zwischen Kläranlage und Neckar besteht ein Höhenunterschied. Im Folgenden soll dargestellt werden, ob hier Wasserkraft genutzt werden kann.

Da keine detaillierten Planunterlagen vorlagen wurde die Höhendifferenz auf ca. 6 m abgeschätzt. Die Lageenergie des Abwassers der Kläranlage Eberbach berechnet sich überschlägig wie folgt:

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 3.000.000 \text{ t/a} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 6 \text{ m} = 176.580.000 \text{ kJ/a} = 49.050 \text{ kWh/a}$$

Dabei muss beachtet werden, dass schwankende Wassermengen vorliegen, so dass entweder ein kleines Aggregat und Bypass oder ein zweites Aggregat, welches bei hohen Wassermengen zugeschaltet wird, eingesetzt werden muss. Somit steht nur ein Teil der potenziellen Energie für die Umwandlung in elektrische Energie zur Verfügung. Der mittlere Trockenwetterabfluss betrug 2019 bis 2022 ca. 5.360 m<sup>3</sup>/d, was einer Lageenergie von 31.700 kWh/a entspricht. Zudem entstehen Verluste durch Reibung und den Wirkungsgrad der Turbine.

Eine einfache Möglichkeit der Energierückgewinnung ist der Einsatz von rückwärtslaufenden Pumpen (Hersteller z.B. KSB). Das Aggregat 125-230A der Firma KSB wäre für eine ständig anfallende Abwassermenge von ca. 4.500 m<sup>3</sup>/d und eine Fallhöhe von ca. 6 m geeignet. Die rückwärtslaufende Pumpe kann ca. 2,5 kW liefern, das entspricht einer jährlichen Energie von ca. 22.000 kWh.

Die Anschaffungskosten betragen ca. 25.000 € netto nur für die Pumpe (gemäss Budgetpreisangabe KSB August 2023) ohne Einbau etc.. Neben der Maschinentechnik sind bauliche Maßnahmen, die Einbindung ins Stromnetz und Elektrotechnik notwendig. Für den Umbau wird ein Budgetansatz von 100.000 € brutto zzgl. Baunebenkosten/ Planungshonorare abgeschätzt.

Im Verlauf weiterer Planungsschritte ist zudem das Verhalten bei Hochwasser zu prüfen.

Wirtschaftlichkeit Wasserkraft		
Stromerzeugung	kWh/a	22.000
Einsparung pro Jahr	€/a	7.700
Richtpreis Pumpe	€	25.000
Budgetansatz Invest (brutto)	€	100.000
Amortisationszeit	a	13

Mit einer Amortisationszeit von 13 Jahren kann eine Wirtschaftlichkeit erreicht werden. Das Projekt könnte als "Leuchtturmprojekt" der Stadt Eberbach in eine klimaneutrale Zukunft angesehen werden.

#### 4.2.4 Abwasserwärmenutzung

Das Abwasser im Ablauf der Nachklärung besitzt ein Wärmepotential, das durch die Installation einer Wärmepumpe für benachbarte Gebäude und Einrichtungen, genutzt werden kann.

Für die Nutzung von Abwasserwärme gilt, dass aus Wirtschaftlichkeitsgründen die Temperaturspreizung zwischen Wärmequelle (Abwasser) und Wärmesenke (Gebäudeheizung, Klärschlamm-trocknungsanlage) möglichst gering sein sollte. Des Weiteren sollte das Abwasser möglichst gering verschmutzt sein.

Bei der Kläranlage Eberbach ergibt sich diesbezüglich der Vorteil, dass sowohl Wohnhäuser als auch Bürogebäude in der Nähe vorhanden sind, welche Abwasserabwärme abnehmen könnten.

Das theoretische Wärmepotential der Kläranlage Eberbach (bei Abkühlung um 3°C) berechnet sich nun mit der Formel

$$Q_{d,TW,mittel} * \Delta T * c_p * COP / (COP-1)$$

$$220 \text{ m}^3/\text{h} * 3^\circ\text{C} * 1,16 \text{ kWh}/(\text{m}^3\text{C}) * 4/3$$

zu ca. 1.020 kW. Bei einer Jahreslaufzeit von 7.000 Stunden könnten damit ca. 6,8 Mio. kWh/a erzeugt werden.

$Q_{d,TW,mittel}$	mittlerer Trockenwetterdurchfluss in [m <sup>3</sup> /h]
$\Delta T$	Absenkung der Temperatur, Annahme 3 °C
$c_p$	Wärmekapazität von Wasser [1,16 kWh/(m <sup>3</sup> °C)]
COP	Leistungszahl der Wärmepumpe [-]

Ein relevanter Kennwert für Wärmepumpen ist die Leistungszahl (COP). Diese gibt das Verhältnis von Nutz- oder Heizleistung einer Wärmepumpe im Verhältnis zur benötigten elektrischen Antriebsleistung wieder. Für Abwasserwärmepumpen ist eine Leistungszahl von ca. 4 anzunehmen, d.h. es können 4 kWh Wärmeenergie mit 1 kWh Strom erzeugt werden.

Der Wärmepreis (Betriebskosten ohne Investitionskosten) liegt dann bei Strombezug aus dem Netz überschlägig bei ca. 9 ct/kWh (Beispielrechnung für Wärmepreis: COP = 4 => mit Stromkosten von 35 ct/kWh ergibt sich ein Wärmepreis von (35/4) 8,75 ct/kWh). Mit kalter Fernwärme (Wärmepumpe erst am Verbrauchsort) könnte die Wärme kostengünstig auch über größere Distanzen transportiert werden.

Die Kosten inklusive Abschreibungskosten des Invests können mit ca. 35 ct/kWh Abwasserabwärme, auf Basis von einer von der iat durchgeführten Studie bei einer anderen Kläranlage, angesetzt werden. Die Kosten sind abhängig von der Anzahl bzw. Leistung der Abnehmer (Größe des Wärmenetzes). Bei einer großen abgenommenen Wärmemenge werden die Kosten pro kWh tendenziell günstiger.

#### **4.2.5 Nutzung der Gebläseabwärme zur Gebäudeheizung**

Die Gebläse einer Kläranlage erzeugen Druckluft für die Belüftung der Belebungsbecken, die sich durch die Kompression auf ca. 90 °C erwärmt. Durch Ventilatorbelüftung muss die Abwärme üblicherweise aus dem Gebläseraum abgeleitet werden.

Durch den Einsatz eines Wärmetauschers in der Rohrleitung kann z.B. Luft oder Wasser aufgewärmt werden und beispielsweise zu Heizzwecken direkt genutzt werden. Dabei treten geringe Druckverluste von 20 – 40 mbar bei der Prozessluft auf, die durch eine höhere Leistung ausgeglichen werden müssen. Dieser Druckverlust kann bspw. 2 kW betragen. Hier müsste eine detaillierte Untersuchung, welche über diese Studie hinausgeht, erfolgen, wie viel zusätzliche elektrische Energie aufgebracht werden muss und wie viel Wärmeenergie damit gewonnen werden kann, um die Kosten und den Nutzen gegeneinander abzuwiegen.

Alternativ kann die Umgebungsluft im Gebläseraum für eine Luft/ Wasserwärmepumpe genutzt werden. Im Vergleich zur Außenluft liegen hier stets höhere Temperaturen vor, so dass eine Wärmepumpe mit einem guten Wirkungsgrad betrieben werden kann. Es kann von einem Wärmeverlust bei den Gebläsen von 10-15 % der Kupplungsleistung gerechnet werden. Ein Gebläse der Kläranlage Eberbach hat eine Kupplungsleistung von 26,5 kW bei 50 Hz. Damit könnten ca. 2,7 kW für den Wärmeaustausch genutzt werden.

Bei einer Laufzeit von 8.760 h können so ca. 24.000 kWh/a Wärmeleistung genutzt werden. Durch eine Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von 4, welche die Effizienz des Heizsystems über ein Jahr beschreibt, könnten daraus  $1,25 * 24.000 \text{ kWh/a} = 30.000 \text{ kWh/a}$  Wärme gewonnen werden. Dies entspricht etwa einer Heizleistung von 3.000 Liter Öl, die eingespart werden können. Bei einem Ölpreis von 1,50 €/l beträgt die Kostenersparnis 4.500 €/a. Für die Wärmepumpe müssten 6.000 kWh aufgebracht werden, die bei einem Strompreis von 35 ct/kWh 2.100 €/a kosten. Um die Kosten zu senken und aus Klimaschutzgründen sollte der Strom für den Betrieb der Wärmepumpe möglichst aus erneuerbaren Energien gewonnen werden. Dafür bietet sich beispielsweise Strom aus Photovoltaik an. Für die Wärmepumpe und Installation wird ein Budgetansatz von 50.000 € brutto zzgl. Baunebenkosten/ Planungshonorare angenommen, welcher im Rahmen einer tiefergehenden Planung mit HOAI-Leistungstiefe zu verifizieren wäre. Zu beachten ist, dass übliche Größen von Wärmepumpen bei 3 bis 10 kW elektrische Leistung liegen, die hier mit kleiner 1 kW nicht erreicht werden. Insofern wäre diese Maßnahme voraussichtlich nur in Verbindung mit einem Gesamtheizungskonzept wirtschaftlich interessant.

## 5. Bewertung der Maßnahmen unter CO<sub>2</sub>-Gesichtspunkten

Zur Bewertung der Maßnahmen aus ökologischer Sicht hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Äquivalente werden im Folgenden die eingesparten Stromverbräuche bzw. fossilen Energieträger durch Effizienzsteigerungen oder durch die klimaneutrale Energieerzeugung dargestellt.

Die CO<sub>2</sub> - Emissionen werden anhand der Stromverbräuche und den spezifischen Treibhausgasemissionen im deutschen Strommix (Stand 2022) berechnet.

Nicht berücksichtigt werden die Emissionen, die durch Herstellung, Bau und Wartung etc. von Anlagenteilen entstehen. Zudem wird die Bildung und Emission klimaschädlicher Gase in der Kläranlage wie bspw. Lachgas (N<sub>2</sub>O) oder Methan (CH<sub>4</sub>) nicht betrachtet.

2022 lagen die spezifischen Treibhausgasemissionen laut Umweltbundesamt bei 434 g CO<sub>2</sub>/kWh erzeugten Stroms im deutschen Strommix.

Hinweis: Die Treibhausgasemissionen des deutschen Strommix hängen mit der Art der Stromerzeugung zusammen. Die spezifische Emission des deutschen Strommix ist von 369 g CO<sub>2</sub> pro kWh im Jahr 2020 auf 434 g pro kWh im Jahr 2022 angestiegen (z.B. aufgrund vermehrter Kohleverstromung). Im Zuge der Klimaschutzziele sollte dieser Wert zukünftig wieder sinken. In Abhängigkeit der spezifischen Emissionswerte des deutschen Strommix verändern sich die hier berechneten Emissionswerte.

CO <sub>2</sub> Ausstoß bzgl. elektrischem Strom			
Maßnahme		IST-Zustand	Nach Umsetzung Maßnahmen
Optimierung Schneckenhebewerk	kWh	260.000	210.000
Stromerzeugung PV-Anlagen	kWh	0	-410.000
Stromerzeugung BHKW	kWh	0	-400.000
Stromerzeugung Wasserkraft	kWh	0	-20.000
Gesamtstromverbrauch	kWh/a	1.050.000	ca. 1.000.000 davon 830.000 erneuerbar
CO <sub>2</sub> Emission	t CO <sub>2</sub> /a	456	74

Somit könnte nach Umsetzung der oben genannten Maßnahmen bereits ein Eigenversorgungsgrad von 83 % erreicht werden. Die Einsparung von 830.000 kWh/a an Strom aus dem deutschen Strommix kann 382 t/a CO<sub>2</sub>-Äquivalente im Betrieb der Kläranlage einsparen. Dies entspricht beim deutschen Durchschnitt von 11,2 t CO<sub>2</sub> pro Person (*Quelle: Umweltbundesamt, Zahl aus 2021 mit Berücksichtigung Import und Export*) dem CO<sub>2</sub>- Ausstoß von ca. 34 Personen.

Die Verbrennung von Faulgas wird als emissionsfrei gewertet, da der Faulschlamm als Abfallstoff nicht erst angebaut werden muss. Hingegen werden bei der Verbrennung von Heizöl 2,66 kg CO<sub>2</sub>/l frei.

Für die Wärmebereitstellung steht bei Einsatz eines BHKW weniger Wärme für die Beheizung des Faulturms zur Verfügung, da ein Teil der Energie in Strom umgewandelt wird. In der weitergehenden Planung wäre zu überprüfen, ob die derzeitige Wärmemenge auch weiterhin bereitgestellt werden muss oder eventuell Einsparungen durch Sanierungen am Faulbehälter etc. erreicht werden können. Eventuell kann auch ein Teil des Faulgases – welche über der Leistungsaufnahme eines zukünftig installierten BHKW liegen – weiterhin über die Heizungsanlage verbrannt werden. Die nachfolgende Betrachtung bezieht sich darauf, dass das Wärmedefizit mit Ölverbrennung in der Heizung oder über Abwasserwärmenutzung bereitgestellt wird.

CO <sub>2</sub> Ausstoß bzgl. Wärmeerzeugung / Ölbezug				
		IST-Zustand	BHKW und Wärmeerzeugung über Öl	BHKW und Wärmeerzeugung über Abwasserwärmenutzung
Wärmeerzeugung über Faulgas	kWh	600.000	520.000	520.000
Wärmeerzeugung über Öl	kWh	200.000	280.000	0
Wärmeerzeugung Abwasserwärmenutzung (Strom aus deutschem Strommix)	kWh	0	0	280.000 davon 70.000 kWh el. Strom
CO <sub>2</sub> Emission	t CO <sub>2</sub> /a	53	74	30

Um die gleiche Wärmemenge bereitzustellen, die momentan notwendig ist, um den Faulturm und Betriebsgebäude zu erwärmen, kann die Wärme bspw. weiterhin über Öl oder alternativ durch Abwasserwärmenutzung mittels Wärmepumpe bereitgestellt

werden. Die Abwasserwärmenutzung weist einen um ca. 60 % geringeren CO<sub>2</sub> Ausstoß auf als die Beheizung mit Öl. Im Sinne des Klimaschutzes und dem Ziel der Stadt Eberbach bis 2035 Klimaneutralität zu erreichen ist das Heizen mit fossilen Energieträgern zu vermeiden.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen bezogen auf Strom- und Ölbezug sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Durch die Umsetzung der Maßnahmen zur Erzeugung erneuerbarer Energien und Abwärmenutzung werden die geringsten CO<sub>2</sub>- Emissionen erreicht.

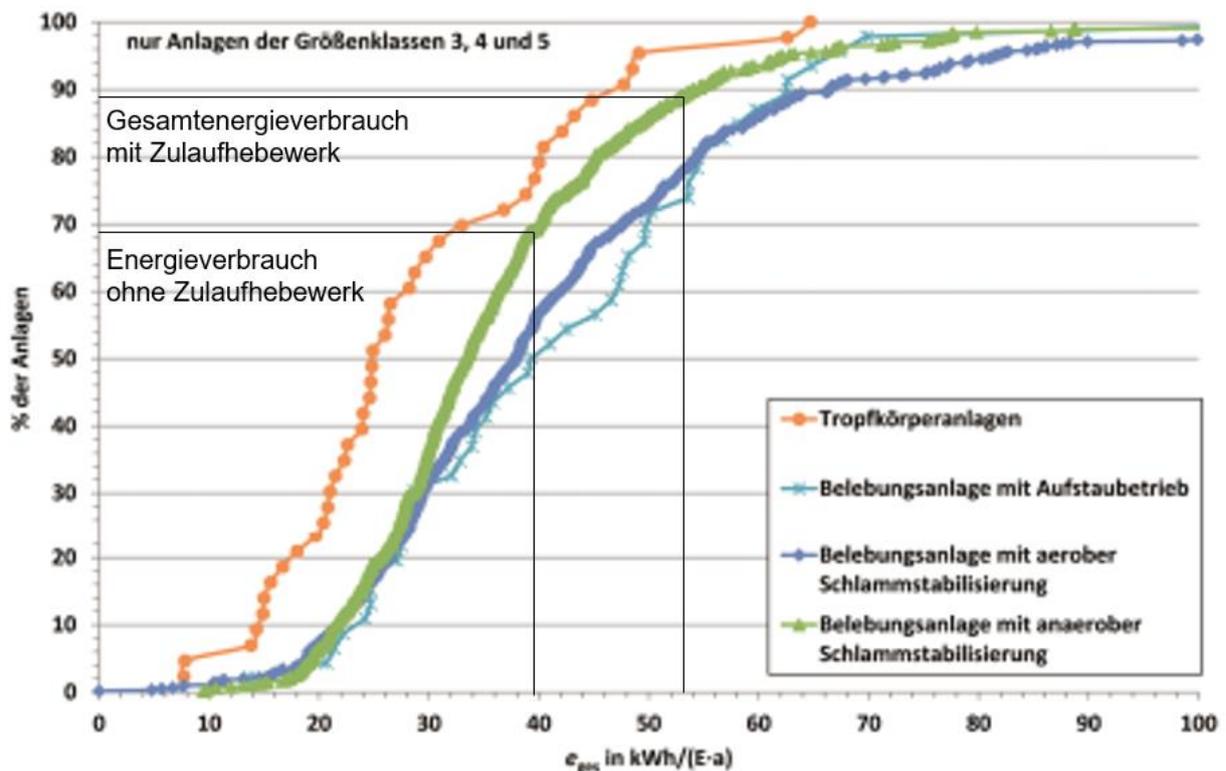
<b>CO<sub>2</sub> Ausstoß bzgl. Stromerzeugung und Wärmeerzeugung / Ölbezug</b>				
		<b>IST-Zustand</b>	<b>Nach Umsetzung Maßnahmen</b>	<b>+ Abwasserwärmenutzung</b>
Gesamtstromverbrauch	kWh/a	ca. 1.050.000	ca. 1.000.000 davon 820.000 erneuerbar	ca.1.070.000 davon 830.000 erneuerbar
Ölverbrauch	l/a	ca. 20.000	ca. 28.000	0
Gesamt CO <sub>2</sub> Emission	t CO <sub>2</sub> /a	509	152	104

Die Emission klimaschädlicher Gase wie Lachgas oder Methan ist nicht Teil der Studie, sollte für eine ganzheitliche Betrachtung der Treibhausgasemissionen der Kläranlage Eberbach allerdings berücksichtigt werden. Insbesondere bei der Schlammbehandlung ist ein Austreten von klimaschädlichen Gasen wie bspw. Methan zu minimieren. Hier bietet sich beispielsweise an, den Nacheindicker abzudecken. Ein zusätzlicher Vorteil ergibt sich daraus, dass der Schlamm weniger schnell abkühlt, was einen positiven Effekt auf die Entwässerbarkeit haben kann.

## 6. Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Kläranlage Eberbach ist für 28.000 EW ausgelegt und verfügt neben der Vorklä- rung über ein Anaerobbecken zur biologischen Phosphorelimination, zwei Straßen zur biologischen Reinigung mit vorgeschalteter Denitrifikation und einer anaeroben Schlammbehandlung mit Faulturm.

Für die mittlere biologische Belastung wird ein Wert von 20.000 EW angesetzt. Daraus ergibt sich ein einwohnerspezifischer Strombedarf von 52,7 kWh/(EW\*a) mit Zulaufhe- bewerk im Jahr 2022. Für die Vergleichbarkeit mit anderen Kläranlagen ohne Hebe- werk wird ein Strombedarf von 13,0 kWh/(EW\*a) für das Zulaufhebewerk abgezogen, so dass sich der spezifische Strombedarf auf 39,7 kWh/(EW\*a) ab. Damit liegt die Klär- anlage Eberbach in einem hohen mittleren Bereich der Vergleichswerte.



DWA-A 216, S.24, Bild 2: Spezifischer Gesamtstromverbrauch in Abhängigkeit vom Reinigungsverfahren

Der Stromverbrauch für die Belüftung liegt mit 10 kWh/EW\*a in einem niedrigen Be- reich der Vergleichswerte. Der spezifische Faulgasanfall liegt mit 31 l/(EW\*a) im oberen Bereich der Vergleichswerte.

Die Kläranlage Eberbach verfügt momentan über keine Möglichkeit der Eigenversor- gung mit Strom. In der Kläranlage wird in der Heizung Faulgas und Öl verbrannt. Der

externe Wärmebezug liegt mit einem Ölverbrauch von ca. 20.000 l im Jahr 2022 vergleichsweise hoch.

Als Ergebnis der Studie sind folgende Maßnahmen festzuhalten für die Reduzierung des Strombezugs aus dem Stromnetz, welche im Folgenden dann weiter zusammenfassend beschrieben sind:

- Optimierung Schneckenhebewerk zur Reduzierung des Strombedarfs
- Stromerzeugung aus Klärgas mittels BHKW
- Stromerzeugung mittels Photovoltaik
- Stromerzeugung durch Wasserkraft

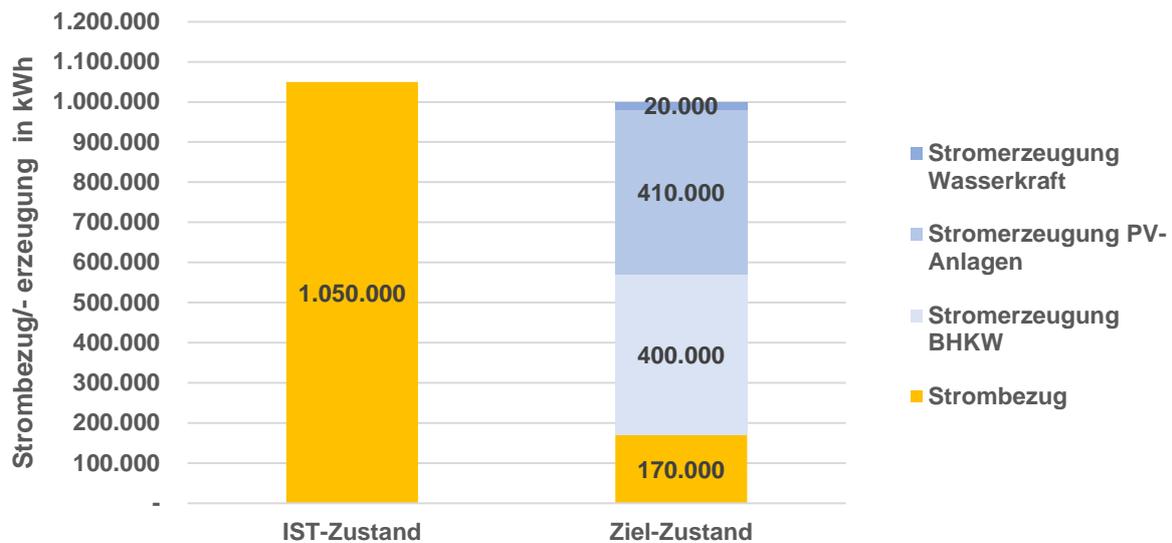
Bemerkung: Im Zuge der kontinuierlichen Optimierung ist der Einsatz von energieeffizienten Motoren bei Neuanschaffungen bzw. der sukzessive Tausch auf energieeffizientere Motoren im Rahmen der Instandhaltung als selbstverständlich anzusehen.

Als relevante Maßnahme der Reduktion des Strombedarfs wird die Optimierung des Schneckenhebewerks gesehen. Durch den Austausch der alten Motoren mit Keilriemen durch Getriebemotoren mit FU und einer bedarfsabhängigen Regelung wird in der Bearbeitungstiefe dieser Studie eine Energieeinsparung von 20 % abgeschätzt (siehe hierzu die Ausführungen in Kapitel 4.1.1). Des Weiteren werden durch die bedarfsabhängige Regelung des Schneckenhebewerks betriebliche Vorteile gesehen, einschließlich einem geringeren Verschleiß.

Um die Eigenstromerzeugung der Kläranlage Eberbach zu erhöhen, wird eine Vergrößerung des Gasspeichervolumens auf bis zu 300 m<sup>3</sup>, die Installation eines BHKW's und die Überdachung der Becken mit Photovoltaik und Photovoltaik auf dem Betriebsgebäude empfohlen. Hierdurch können ca. 810.000 kWh/a Strom erzeugt werden. Zusätzlich könnte im Abwasser-Ablauf der Kläranlage über eine rückwärts laufende Pumpe weitere ca. 20.000 kWh zurückgewonnen werden, wobei dies als "Leuchtturmprojekt" einzustufen wäre.

Weiterhin sollte geprüft werden, ob für die optimierte Ausnutzung des Faulbehälters die Annahme von Co-Substraten möglich ist, die zu einer Steigerung der Faulgasmenge führen kann, um mit dem BHKW mehr Strom und Wärme zu erzeugen.

In der folgenden Abbildung ist die Verringerung des Strombezugs gemäß den Ansätzen dieser Studie dargestellt (ohne Annahme von Co-Substraten).



Der Grad an elektrischer Eigenversorgung der Kläranlage läge nach Umsetzung der genannten Maßnahmen bei ca. 83 %.

Für o.g. Maßnahmen zur Verringerung des Strombezugs gemäß den Ansätzen dieser Studie sind in folgender Tabelle die Budgetansätze für Investitionen und die möglichen Amortisationsansätze zusammengefasst. Alle Amortisationsrechnungen sind ohne Annuitäten/Zinsen zu verstehen.

	Budgetansatz Invest zzgl. Baunebenkosten/ Planungshonorare € brutto	Einsparung €/a brutto	Amortisationszeit ohne Baunebenkosten/ Planungshonorare a
Optimierung Schneckenhebewerk	150.000	18.200	9
PV-Anlagen	1.430.000	145.000	10
BHKW + 300m <sup>3</sup> Gasspeicher	1.100.000	140.000	8
Wasserkraft	100.000	7.700	13
<b>Gesamt</b>	<b>ca. 2.800.000</b>	<b>ca. 300.000</b>	<b>ca. 10</b>

Der Budgetansatz der 4 Maßnahmen liegt bei ca. 2,8 Mio. Euro. Die Amortisationszeit für alle Maßnahmen wird mit 10 Jahren abgeschätzt.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen zur Verringerung des Strombezugs kann der CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch die Eigenversorgung mit Strom und Reduktion des Energieverbrauchs **von 509 t CO<sub>2</sub>/a auf 152 t CO<sub>2</sub>/a** abgesenkt werden. Hierbei wurden, gemäß Umweltbundesamt 2022, 434 g CO<sub>2</sub> pro kWh Strom aus dem deutschen Strommix angesetzt. Bei einer Veränderung der deutschen Stromerzeugung z.B. durch Anstieg der erneuerbaren Energien im Strommix können die Werte entsprechend sinken.

In weiteren Planungsphasen sind Förderkredite für Photovoltaik von der KfW diesbezüglich zu prüfen.

Für die Optimierung des Wärmebedarfs und Abwärmenutzung sind folgende wesentlichen Punkte festzuhalten:

Es wird im Verlauf weiterer Planungen empfohlen die Wärmebilanzen detaillierter zu untersuchen. Mit einer Wärmebildkamera können eventuelle Schwachstellen in der Isolierung des Faulbehälters sichtbar gemacht werden. Möglicherweise können hier einfache Sanierungsarbeiten zu einer Reduktion des Wärmebedarfs führen.

Hinsichtlich des Bestrebens der Stadt zur Klimaneutralität sollte auf die Wärmeerzeugung mit fossilen Brennstoffen verzichtet werden. Hierfür kann auf der Kläranlage auch Gebläseabwärme und Abwasserabwärme genutzt werden. Die Kosten für die Abwasserwärmenutzung werden inklusive der Abschreibung der Investition auf ca. 35 ct/kWh (auf Basis von einer von der iat durchgeführten Studie bei einer anderen Kläranlage) abgeschätzt.

Das theoretische Wärmepotenzial bei der Abwasserwärmenutzung liegt bei 6,8 Mio. kWh/a. Eine Versorgung von Gebäuden in der Umgebung der Kläranlage oder ein Anschluss an ein städtisches Wärmenetz ist zu prüfen. Förderungsmöglichkeiten wie die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze sind hierbei zu prüfen.

Wird die Wärmebereitstellung auf der Kläranlage zusätzlich von Öl auf Abwasserwärmenutzung umgestellt, kann der CO<sub>2</sub> Ausstoß **von 152 t CO<sub>2</sub>/a auf 104 t CO<sub>2</sub>** (bei 434 g CO<sub>2</sub> pro kWh Strom aus dem deutschen Strommix gemäß Umweltbundesamt 2022) reduziert werden. Bei einem deutschlandweiten Anstieg der erneuerbaren Energien im Strommix kann dieser Wert entsprechend sinken.

erstellt, Stuttgart im September 2023  
iat-Ingenieurberatung GmbH



Rainer Röseler  
Geschäftsführer



i.A. Laura Krautheimer  
Projektleitung

**Aggregatliste Kläranlage Eberbach**

in roter Schrift Abschätzungen																			
Anzahl	Bezeichnung Einbauort	Fabrikat	Nennleistung P2 (an der Welle abgegebene Leistung)	Spannung	Nennstrom	cos phi	Anschlussleistung P1 (Leistungsaufnahme) bei Nennstrom berechnet: U <sup>2</sup> /cos.phi <sup>2</sup> * 3 * I <sup>2</sup>	Laufzeit	Stromverbrauch jährlich berechnet mit Nennleistung [kWh/a]	Direktanlauf	Stern-Dreieck-Anlauf	Drehzahlverstellung (FU)	Nenn Drehzahl [1/min]	Förderhöhe	Fördermenge	Baujahr	Bemerkung		
<b>Hebewerk 1</b>																			
2	Schneckenpumpe Stufe 1	Spaans Babcock	16	400	31,5	0,86	18,77						1460	n/a	n/a		außerhalb der Kläranlage, nicht in Gesamtstromverbrauch enthalten		
	Schneckenpumpe Stufe2		8	400	28,5	0,53	10,47						730	n/a	n/a		außerhalb der Kläranlage, nicht in Gesamtstromverbrauch enthalten		
<b>Hebewerk 2</b>																			
2	Schneckenpumpe	Landustrie LANDY-140/91/1450-K1	45	400	79	0,9	49,26	8.760	260.000	nein	ja	nein	26,6/17/7	9,42	576/377	2001	Schneckendurchmesser 1400 mm, Beschaulungslänge 1450 mm, Rohrlänge 1490 mm, Gewicht 5000 kg, Stromverbrauch über Teilleistungen berechnet		
	bzw.		30	400	56	0,86	33,37	8.760											
<b>Rechenanlage</b>																			
1	Stufenrechen	Huber SSF 3500	1,5	400	3,6	0,8	2,00	1.000	2.000	ja	nein	nein	n/a	3	n/a	2004	s=6,0 mm, Kanalbreite 1200 mm, Kanaltiefe 1440 mm,		
1	Schieber Zulauf Stufenr.																		
1	Schieber Ablauf Stufenr.																		
1	Waschpresse	Rotamat BG 4	3	400	6,4	0,85	3,77	1.000	3.000				1.420	3m	n/a	n/a			
2	Filterrechen	FSM FRS 800/6	1,8	400	4,05	0,85	2,39			ja	nein	nein	n/a	3	n/a	1996	s=6,0 mm		
1	Schieber Zulauf Filterr.																		
1	Rechengutwäsche	FSM SF 400 WL	3	400	6,5	0,85	3,83	200	1.000	ja	nein	nein	n/a	2,3	n/a	2004			
<b>Sand-Fettfang</b>																			
1	Sandpumpe		3,4	400	6,3	0,85	3,71	2.190	7.000	ja	nein	nein	n/a	3	n/a	2010	6 h am Tag		
1	Sandwaschanlage	Huber Coanda RoSF 4; BG 2	0,55	400	1,6	0,75	0,83	2.190	1.000	ja	nein	nein	n/a	2,5	n/a	2004	vernachlässigbarer Energiebedarf		
1	Räumerbrücke	AWT BSS 3,5	0,25	230	1,32	0,77	0,40	4.380	1.000	ja	nein	nein	n/a	n/a	n/a	2004	spätestens alle 2 h, halbe Stunde pro Räumung-> ca. 12 mal am Tag		
2	Sandfanggebläse	Aerzen GM 3 S	2,11	400	n/a	0,84		8.760	18.000	nein	nein	ja	2840	n/a	141	2003	laufen jeweils 24h im Wechsel		
<b>Vorklärbecken</b>																			
1	Primärschlammpumpe	SEW Eurodrive	5,5	400	11,4	0,81	6,40	1.000	6.000	ja	nein	nein	1430/246	n/a	30	2005	pumpt aus Primärschacht		
1	Balkenräumer	Windhoff	11	220	39	0,83	12,33	8.760	96.000	ja	nein	nein	n/a	n/a	n/a	2007			
1	Rührwerk Primärschacht																		
1	Mazerator		5,5					1.000	6.000										
1	Beschickungspumpe Bio-P		11	400	21,7	0,8	12,03	8.760	96.000										
<b>AN-Becken</b>																			
2	Rührwerke	Flygt Tauch-Motor Rührwerk SR Bananas	0,9	400	2,9	0,65	1,31	8.760	16.000	ja	nein	nein	940	n/a	n/a	2010			
<b>BB alt</b>																			
1	Rezirkulationspumpen	Wilo	3,5	400	7,9	0,82	4,49						1410	n/a	n/a	n/a	nicht in Gebrauch, Rezirkulation über Rücklaufschlamm		
1	Rührwerk	Flygt Tauch-Motor Rührwerk SR Bananas	0,9	400	2,9	0,65	1,31	8.760	8.000	ja	nein	nein	940	n/a	n/a	2010			
2	RS-Schneckenpumpen	Rehart AFS 600/3	4	400	8,7	0,78	4,70	8.760	70.000	nein	nein	ja	1425-1440	5	30-55	2008	D=600mm, Winkel 35°,		
<b>BB neu</b>																			
3	Rezirkulationspumpen		0,75	230	5,7			8.760	20.000	nein	ja	nein		12,5	n/a	2005	immer 2 Pumpen laufen auf 50 Hz		
3	Rührwerke	Flygt Tauch-Motor Rührwerk SR Bananas	0,9	400	2,9	0,65	1,31	8.760	24.000	ja	nein	nein	940	n/a	n/a	2010	Flygt Tauch-Motor Rührwerk SR Bananas		
<b>RS+ÜS Pumpwerk</b>																			
2	RS-Pumpen		11	400	21,7	0,8	12,03	8.760	96.000				1450	14,1	125	2020	wechseln sich ab, eine läuft ca. 17 h/d		
2	ÜS-Pumpen	Allweiler, AE1L 381	4	460	8,02	0,83	5,30	8.760	70.000				1750	n/a	261	2017	wechseln sich ab, es läuft eine jeweils 6 h/d		
<b>Gebälsestation</b>																			
4	Gebälse	AERZEN Drehkolbenverdichter Delta Hybrid D24S	30,9	400	37			8.760	200.000	nein	ja	ja	3294	n/a	1283	2017	es laufen maximal 2 Gebläse, für Trockenwetter ist eins bereits überdimensioniert, im Durchschnitt läuft 1 Gebläse, Stromverbrauch Messwert		
<b>NKB alt</b>																			
2	Balkenräumer	Passavant Geiger	11	240	22,5	0,83	7,76	8.760	193.000	nein	ja	ja	n/a	n/a	n/a	2008	Angabe von Betriebspersonal, unplausibel		
2			0,37					8.760	6.000								Abschätzung		
<b>NKB neu</b>																			
2	Balkenräumer	AWT	0,37	230	1,52	0,83	0,50	8.760	6.000	nein	ja	ja	n/a	n/a	n/a	2008			
2	Schwimmschlammpumpe	KSB Ama Drainer A405	2	400	5,87					nein	ja	nein	1460	8,7	4	2005	kaum in Gebrauch		
<b>Fällmitteldosierung</b>																			
2	Dosierpumpen	PumpenSondermann	1,5	230/400	n/a	n/a		4.380	13.000	ja	nein	nein	370	8,5	1	2008	Anlage Conaqua,		
<b>Brauchwasser</b>																			
1	Förderpumpe BW-Station		10	380	2,3								2940	n/a	n/a	n/a			
2	BW-Pumpen Betriebsgeb.	Foras KB 1000 T	10	380	13,9								2900	80,7	n/a	2005	Drehzahl 2900 U/min, laufen 3-6 h/Tag, 6h wenn MÜSE läuft		
<b>Prozesswassersp.</b>																			
1	Rührwerk		3,5	400	7,9	0,82	4,49						1410	n/a	n/a	n/a			
<b>MÜSE</b>																			
MÜSE läuft ca. 3 x in der Woche für ca. 4,5 h																			
1	Rührwerk im Reaktor		1,1	220	6,8	0,72	1,87	700	1.000				91	n/a	n/a	n/a			
1	Trommeleindicker		0,75	220	3,4	0,8	1,04	700	1.000				1400	n/a	n/a	n/a	Fabr. Roefilt, WA 70 207-47, Durchsatz 27-30 m³/h; Bj. 1989		
1	Dickschlamm-Pumpe		3	380	6,54	0,8	3,44	700	2.000				1415	n/a	n/a	n/a			
1	FHM-Aufbereitung		0,25	380	0,9		0,00	700					376	n/a	n/a	n/a	Fabr. Roedos, Größe II, WA 70214, Durchsatz 460-2700 l/h, Bj. 1989,		
1	Dünnschlammpumpe		3	380	6,54	0,8	3,44	700	2.000				1415	n/a	n/a	n/a			
<b>Faulbehälter</b>																			
1	Umwälzpumpe		15	380	29,5	0,85	16,50	4.380	66.000				1760	n/a	n/a	n/a	Fabr. Börger, FL 776, Bj. 2001, Drehkolbenpumpe		
1	Umwälzpumpe		5,5	380	11,8	0,81	6,29	4.380	24.000				1445	n/a	n/a	15	Fabr. Börger, CL 390, Bj. 2006, Drehkolbenpumpe		
1	Mazerator		9,2	380	18,9	0,8	9,95	8.760	81.000				n/a	n/a	n/a	n/a			
<b>Nacheindicker</b>																			
1	Rührwerk		5,5	400	17	0,65		8.760	48.000				475	20	n/a	2013	Fabr. Wilo		
<b>Zentrifuge</b>																			
1	Zentrifuge		18,5	400	36,5			1.000	19.000				4500	n/a	n/a	2022	Fabr. Westfalia, AD 0509, Bj. 2007, Maschinenummer 8004-964		
2	Beschickungspumpen		3	230	10,9	0,8	7,66	1.000	6.000				1450	n/a	n/a	2022	Fa Börger Drehkolbenpumpe		
1	Flockungsmittelpumpe		0,09	220	0,5	0,77	0,15	1.000					1350	n/a	n/a	n/a			
1	FHM-Aufbereitung		0,37	220	2,1	0,72	0,58	1.000					920	n/a	n/a	n/a	Fabr. Alltech, Polymat 1000 V7-2FD, Bj. 2006		
2	Dosierpumpen FHM		0,75	230	3,6	0,71	1,02	1.000	2.000				1400	n/a	n/a	2006	Fabr. Netzsch, NM021BY01L06B, Mohnopumpen, Bj. 2006,		
<b>Schlamm-silo</b>																			
1	Stellförderer		11	230,00	2,5		0,00	700	8.000				n/a	n/a	n/a	n/a			
1	Silo			400													Fabr. Ostra, V=50m³,		
<b>Sonstige</b>																			
1	Klärgasfackel																Muche Kläranlagenbau, Typ FV 60, Bj. 2005		
2	Zwangsbeflüfter		24	400	7,5		0,00	1.000	48.000				n/a	n/a	4500	n/a			
									Summe Gesamt										1.527.000
									Gemessen 2022										1.053.500

Ermittlung der Idealwerte nach DWA-Arbeitsblatt A 216

Pumpen		$E=Q \cdot h \cdot 2,7 / \eta_{ges} / 1000$								$E_{min}$	$E_{max}$
	Q	$h_{geo}$	$h_v$	$h_{ges}$	$\eta_{Pumpe}$	$\eta_{Motor}$	$\eta_{ges,min}$	$\eta_{ges,max}$	[kWh/a]	[kWh/a]	
	[m³/a]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[-]			
Hauptpumpwerk (Schnecken)	3.300.000		9,4	9,4			0,50	0,60	139.590	167.508	
Rücklaufschlammumpfen Str. 1 (Schnecken)	k.A.		5	5			0,60	0,70			
Rücklaufschlammumpfen Str. 2 (Kreiselpumpen)	k.A.			14,1			0,65	0,75			
Rezirkulation (Str. 2)	k.A.			12,5			0,50	0,65			

Rechen		$E=e_{spez} \cdot EW_{CSB}$			$E_{min}$	$E_{max}$
	$EW_{CSB}$	$e_{spez,min}$	$e_{spez,max}$	[kWh/a]	[kWh/a]	
	[E]	[kWh/(EW*a)]				
Rechen	40.000	0,05	0,10	2.000	4.000	

Sandfang (Belüftung)		$E= P \cdot t = Q_L \cdot h \cdot t / (\eta_{Geb\laese} \cdot 367)$								$E_{min}$	$E_{max}$
	$V_{SF}$	$Q_{L,min}$	$Q_{L,max}$	$h_d$	$h_v$	$h$	$t$	$\eta_{Geb\laese,min}$	$\eta_{Geb\laese,max}$	[kWh/a]	[kWh/a]
	[m³]	[m³/(m³ <sub>SF</sub> *h)]	[m³/h]	[m]	[m]	[m]	[h/a]	[-]	[-]		
Sandfang	96	0,5		48	2	2	4	8.760	0,55	7.392	21.665
		1,3		124,8	2	2	4	8.760	0,62		

Belebung (Belüftung)		Belüftung I: $E=SOTR \cdot t / SAE$ Belüftung II: $E=(SOTR \cdot \Delta p \cdot t \cdot 2,72) / (SSOTE \cdot \eta_{ges} \cdot h_d)$ Belüftung III: $E=(Q_L \cdot \Delta p \cdot t) / (\eta_{Geb\laese} \cdot 367)$										$E_{min}$	$E_{max}$	
	SOTR	t	$SAE_{min}$	$Q_{L,min}$	$SAE_{max}$	$Q_{L,max}$	h	$\Delta p$	$SSOTE_{min}$	$\eta_{Geb\laese,min}$	$SSOTE_{max}$	$\eta_{Geb\laese,max}$	[kWh/a]	[kWh/a]
	[kg O₂/h]	[h/a]	[kg O₂/kWh]	[m³/h]	[kg O₂/kWh]	[m³/h]	[m]	[m]	[%/m]	[-]	[-]	[-]		
Belüftung I	130	8.760	4,2				4,8					0,55	253.067	271.143
Belüftung II			4,5									0,62		
Belüftung III														

Räumer		$E=P \cdot t$			$E_{min}$	$E_{max}$
	$P_{min}$	$P_{max}$	t	[kWh/a]	[kWh/a]	
		[kW]	[h/a]			
Sandfang		0,3	1	2.190	657	2.190
Vorklärbecken		0,3	1	2.190	657	2.190
Str. 1 Nachklärbecken 1		0,3	1	8.760	2.628	8.760
Str. 1 Nachklärbecken 2		0,3	1	8.760	2.628	8.760
Str. 2 Nachklärbecken 1		0,3	1	8.760	2.628	8.760
Str. 2 Nachklärbecken 2		0,3	1	8.760	2.628	8.760

Rührwerke		$E=V_{BB} \cdot e_{spe} \cdot t / 1000$					$E_{min}$	$E_{max}$
	Anzahl	$V_{BB}$	$e_{spez,min}$	$e_{spez,max}$	t	[kWh/a]	[kWh/a]	
	[-]	[m³]	[W/m³]	[W/m³]	[h/a]			
Str. 1 DN/N-Zone	1	672	2	2,5	8.760	11.773	14.717	
Str. 2 DN/N-Zone	2	1.170	1,5	2	8.760	30.748	40.997	
Anaerobbecken	2	545	2	2,5	8.760	19.097	23.871	
Nacheindicker	1	300	2,5	4	4.380	3.285	5.256	

Faulschlammumwälzung		$E=V_{FB} \cdot e_{spez} \cdot t / 1000$				$E_{min}$	$E_{max}$
	$V_{FB}$	$e_{spez,min}$	$e_{spez,max}$	t	[kWh/a]	[kWh/a]	
	[m³]	[Wh/m³ <sub>FB</sub> ]	[Wh/m³ <sub>FB</sub> ]	[h/a]			
Durchmischung FB	2.240	6	10	8.760	117.734	196.224	

Überschussschlammwindung		$E=e_{spez} \cdot Q_{US}$ $E=e_{spez} \cdot B_{aM, TM}$								$E_{min}$	$E_{max}$
	$Q_{US,dünn}$	$Q_{US,dick}$	$e_{spez,min}$	$e_{spez,max}$	$e_{spez,min}$	$e_{spez,max}$	TS	$B_{aM, TM}$	[kWh/a]	[kWh/a]	
	[m³/a]		[kWh/m³]	[kWh/m³]	[kWh/Mg]	[kWh/Mg]	[Mg/m³]	[Mg/a]			
Überschussschlammwindung	4.000		0,6	1,0					2.400	4.000	

Faulschlammwässerung		$E=e_{spez} \cdot Q_{FS}$ $E=e_{spez} \cdot B_{aM, TM}$								$E_{min}$	$E_{max}$
	$Q_{FS}$	$Q_{FS,entw.}$	$e_{spez,min}$	$e_{spez,max}$	$e_{spez,min}$	$e_{spez,max}$	TS	$B_{aM, TM}$	[kWh/a]	[kWh/a]	
	[m³/a]		[kWh/m³]	[kWh/m³]	[kWh/Mg]	[kWh/Mg]	[Mg/m³]	[Mg/a]			
Faulschlammwässerung	15.000		1,6	2,2	60	90	0,025	375	24.000	33.000	
									22.500	33.750	

Wärmebedarf		$E_{th}=Q_{PS+US} \cdot \Delta T \cdot e_{spez}$					$E_{th}$
	$Q_{PS+US}$	$T_{RS+US}$	$T_{FT}$	$\Delta T$	$e_{spez}$	[kWh/a]	
	[m³/a]	[°C]	[°C]	[K]	[kWh/(m³*K)]		
Rohschlammheizung	17.000	14,0	40,0	26,0	1,163	514.046	

Transmissionsverluste FT		$E_{th}=A \cdot \Delta T \cdot U \cdot 8,76$					$E_{th}$
	A	$T_{au\beta en}$	$T_{FT}$	$\Delta T$	U	[kWh/a]	
	[m²]	[°C]	[°C]	[K]	[W/(m²*K)]		
Faulturm gesamt	1.000	12,0	40,0	28,0	1,00	245.280	

**Bemerkungen zu Idealwerten**

<b>Pumpen</b>		
Hauptpumpwerk (Schnecken)	Q [m³/a] h <sub>ges</sub> [m]	Gesamtabwassermenge aus Betriebsanweisung
Rücklaufschlammumpen Str. 1 (Schnecken)	Q [m³/a] h <sub>ges</sub> [m]	Fördermenge 125 m³/h laut Betriebsanweisung, bei 2 Schnecken, max. 2.19 Mio. m³ abgeschätzt
Rücklaufschlammumpen Str. 2 (Kreiselpumpen)	Q [m³/a] h <sub>ges</sub> [m]	unklar, laut BTB RS-Menge NK 2.1 + RS-Menge NK 2.2 4.400.000 m³/a, laut Pumpendaten können Pumpen max. 125 m³/h fördern aus Pumpendaten
Rezirkulation (Str. 2)	Q [m³/a] h <sub>ges</sub> [m]	keine Daten aus Pumpendaten
<b>Rechen</b>		
	EW <sub>CSB</sub>	ungefähr Zulauf Kläranlage
<b>Sandfang (Belüftung)</b>		
	hd [m] hv [m]	abgeschätzt abgeschätzt
<b>Belebung (Belüftung)</b>		
SOTR	[kg O2/h]	aus Bemessung mit mittlerer Sauerstoffbedarf mit theoretischen Frachten laut Auslegung 28.000 EW
<b>Räumer</b>		
Sandfang	t [h/a]	spätestens alle 2 h, halbe Stunde pro Räumung
Vorklärbecken	t [h/a]	Bandräumer, läuft durch
Nachklärbecken	t [h/a]	Bandräumer, laufen durch
<b>Rührwerke</b>		
Str. 1 DN/N-Zone	V [m³]	Volumen entsprechend Betriebsanweisung
Str. 2 DN/N-Zone	V [m³]	Volumen entsprechend Betriebsanweisung
Anaerobbecken	V [m³]	Volumen entsprechend Betriebsanweisung
Nacheindicker	V [m³]	Volumen entsprechend Betriebsanweisung
<b>Faulschlammumwälzung</b>		
Durchmischung FB	V [m³]	entsprechend Planunterlagen
<b>Faulschlammwässerung</b>		
Q <sub>FS</sub>	V [m³/a]	entsprechend BTB Schlamm zur Zentrifuge
<b>Transmissionsverluste FT</b>		
Fläche Faulturm	A [m²]	abgeschätzt, wenn Faulbehälter zylindrisch