

Gemeinschaftsklärwerk Bad Pyrmont-Lügde



Potenzialstudie Energetische Feinanalyse

1. Ausfertigung

März 2020

PFI Planungsgemeinschaft GmbH & Co. KG

Geschäftsführer und Beratende Ingenieure

Dr.-Ing. Richard Rohlfing

Prof. Dr.-Ing. Johannes Müller-Schaper

Dr.-Ing. Christian Wolffson

Karl-Imhoff-Weg 4
30165 Hannover

Tel.: 0511 / 3 58 51 -0
Fax: 0511 / 3 58 51 -43

info@pfi.de
www.pfi.de

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Ausgangslage und Zielsetzung	1
2.	Aufnahme des IST-Zustandes	2
2.1	Beschreibung der Kläranlage	2
2.1.1	Zulauf.....	2
2.1.2	Mechanische Reinigung.....	3
2.1.3	Biologische Reinigung	4
2.1.4	Schlammbehandlung	6
2.2	Kläranlagenbelastung	7
2.2.1	Allgemeines	7
2.2.2	Wassermengen.....	7
2.2.3	Zulaufbelastung	8
2.2.4	Ablaufwerte.....	11
2.2.5	Festlegung der mittleren Kläranlagenbelastung	12
2.3	Datenerhebung elektrische Energie.....	12
2.3.1	Elektrischer Energieverbrauch	12
2.3.2	Elektrische Eigenversorgung der Kläranlage.....	16
2.4	Datenerhebung Wärmeenergie	16
2.4.1	Wärmebedarf	16
3.	Bewertung des IST-Zustandes	17
3.1	Energiecheck nach DWA-A 216 [1].....	17
3.1.1	Energieverbrauch Gesamtanlage.....	19
3.1.2	Energieverbrauch Belüftung.....	20
3.1.3	Energieverbrauch Abwasserpumpwerke	20
3.2	Berechnung der anlagenbezogenen Idealwerte nach DWA-A 216 [1]	23
3.2.1	Abwasserhebewerke.....	25
3.2.2	Mechanische Reinigung	27
3.2.3	Biologische Reinigung	29
3.2.4	Schlammbehandlung	32

4.	Maßnahmen.....	35
4.1	Sofortmaßnahmen (S)	35
4.1.1	S1: SPS-Einbindung Nitratmessung	35
4.1.2	S2: Betriebsanpassung der Zulaufschnecken	37
4.2	Kurzfristige Maßnahmen (K)	38
4.2.1	K1: Erneuerung Belüftungssystem Belebungsbecken 1/2	38
4.2.2	K2: Verfahrensumstellung Biologische Reinigung	42
4.2.3	K3: Neubau BHKW	45
4.3	Abhängige Maßnahmen (A)	48
4.3.1	A1: Neubau Sandfang und Vorklärung.....	48
4.4	Zusammenstellung der Maßnahmen.....	51
5.	Zusammenfassung.....	56
6.	Literatur	58

ANHANG

Anhang 1 Verbraucherliste

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Fließschema GKW Bad Pyrmont – Lügde	2
Abbildung 2-2: Zulaufhebwerk GKW Bad Pyrmont-Lügde	3
Abbildung 2-3: Sandfang und Vorklärbecken GKW Bad Pyrmont-Lügde	3
Abbildung 2-4: Belebungsbecken 1/2 GKW Bad Pyrmont-Lügde	4
Abbildung 2-5: Belebungsbecken 3/4 GKW Bad Pyrmont-Lügde	5
Abbildung 2-6: Ganglinie der Zulaufwassermengen	8
Abbildung 2-7: Mittlere Belastung 2016-2018, getrennt nach Parametern [EW]	9
Abbildung 2-8: Belastung [EW] der Parameter im Zeitraum 2016-2018.....	10
Abbildung 2-9: Ablaufkonzentration [mg/l] der verschiedenen Parameter	12
Abbildung 2-10: Übersicht Energieverbrauch nach Verbraucherliste.....	15
Abbildung 3-1: Spez. Gesamtenergieverbrauch für Belebungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung der GK 3-5 nach DWA-A 216 [1], rot: GKW Bad Pyrmont-Lügde	19
Abbildung 3-2: Spez. Stromverbrauch der Belüftung der Kläranlage nach DWA-A 216 [1], rot: GKW Bad Pyrmont-Lügde.....	20
Abbildung 3-3: Spez. Stromverbrauch von Abwasserpumpwerken nach DWA-A 216 [1] und in rot des Zulaufpumpwerkes des GKW Bad Pyrmont-Lügde	22
Abbildung 3-4: Spez. Stromverbrauch von Abwasserpumpwerken nach DWA-A 216 [1] und in rot des Streckungspumpwerks des GKW Bad Pyrmont-Lügde	23
Abbildung 3-5: Vergleich der ermittelten analgenbezogenen Idealwerte nach DWA-A 216 mit den IST-Werten nach Verbraucherliste	25
Abbildung 3-6: Gegenüberstellung der spezifischen Energieverbräuche der Abwasserhebwerke zu den Idealwerten nach DWA-A 216 [1]	26
Abbildung 3-7: Gegenüberstellung der spezifischen Energieverbräuche der mechanischen Reinigungsstufe zu den Idealwerten nach DWA-A 216 [1].....	28
Abbildung 3-8: Gegenüberstellung der spezifischen Energieverbräuche der biologischen Reinigungsstufe zu den Idealwerten nach DWA-A 216 [1].....	30
Abbildung 3-9: Gegenüberstellung der spez. Energieverbräuche der Belüftung der Belebungsbecken zu den Idealwerten nach DWA-A 216 [1].....	31
Abbildung 3-10: Gegenüberstellung der spezifischen Energieverbräuche der Schlammbehandlung zu den Idealwerten nach DWA-A 216 [1].....	33
Abbildung 4-1: Neuausrüstung Belüfterplatten Belebungsbecken 3/4.....	39
Abbildung 4-2: Kombiniertes Sandfang und Vorklärbecken.....	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	spezifische Kennwerte zur Belastungsermittlung $[g/(E \cdot d)]$	9
Tabelle 2-2:	Energieverbrauch der einzelnen Verfahrensstufen (gemäß Verbraucherliste) 14	
Tabelle 2-3:	Anteil der einzelnen Energieträger an der Energieerzeugung im Jahr 2018.....	15
Tabelle 3-1:	Relevante Kennwerte des Energiecheck für das GKW Bad Pyrmont-Lügde.	17
Tabelle 3-2:	Kennwerte des Energiechecks des GKW Bad Pyrmont-Lügde	18
Tabelle 3-3:	Vergleich der ermittelten anlagenbezogenen Idealwerte mit den IST-Werten	24
Tabelle 3-4:	Spezifischer elektrischer Energieverbrauch der Abwasserhebwerke	26
Tabelle 3-5:	Spezifischer elektrischer Energieverbrauch der mechanischen Reinigungsstufe	27
Tabelle 3-6:	Spezifischer elektrischer Energieverbrauch der biologischen Reinigungsstufe 29	
Tabelle 3-7:	Spezifischer elektrischer Energieverbrauch der Belebungsanlage	31
Tabelle 3-8:	Spezifischer elektrischer Energieverbrauch der Schlammbehandlung	33
Tabelle 4-1:	Kostenermittlung Maßnahme S1 SPS-Einbindung Nitratmessung	37
Tabelle 4-2:	Kostenermittlung S2 Betriebsanpassung Zulaufschnecken.....	38
Tabelle 4-3:	Kostenermittlung K1 Erneuerung Belüftungssystem BB 1/2.....	41
Tabelle 4-4:	Kostenermittlung K2 Verfahrensumstellung Biologische Reinigung	44
Tabelle 4-5:	Berechnung Stromerzeugung BHKW.....	46
Tabelle 4-6:	Kostenermittlung K3 Neubau BHKW.....	48
Tabelle 4-7:	Kostenermittlung A1 Neubau Sandfang und Vorklärung	51
Tabelle 4-8:	Maßnahmenübersicht	52
Tabelle 4-9:	Energiepotenzial durch Kombination der Maßnahmen.....	54

1. Ausgangslage und Zielsetzung

Die Entsorgung Bad Pyrmont AöR betreibt das Gemeinschaftsklärwerk Bad Pyrmont-Lügde, das für eine Bemessungsbelastung von rd. 65.000 EW ausgelegt ist. Nach Angaben des Betreibers sind aktuell ca. 43.500 EW angeschlossen. Es werden überwiegend kommunale Abwässer behandelt. Die Abwässer stammen aus der Stadt Bad-Pyrmont und den angrenzenden Ortsteilen sowie aus der Stadt Lügde.

Die Abwasserreinigung besteht aus einer mechanischen und einer biologischen Reinigungsstufe. In der mechanischen Reinigungsstufe werden Feststoffe mittels Rechen, belüftetem Sandfang und einem Vorklärbecken aus dem Abwasser entfernt. Die biologische Reinigung besteht aus zwei zweiteiligen Belebungsbecken und zwei Nachklärbecken. Zur Phosphorelimination wird Fällmittel hinzugegeben.

Die Behandlung des anfallenden Schlammes erfolgt über anaerobe Stabilisierung in einem Faulbehälter. Das entstehende Faulgas wird am Faulbehälterkopf entnommen, in einem Gasspeicher zwischengespeichert und in einer Mikrogasturbine energetisch verwertet sowie zu Heizzwecken genutzt. Der ausgefaulte Schlamm wird in einer Dekanter-Zentrifuge entwässert und anschließend entsorgt.

Die vorhandenen Belüfter im Belebungsbecken 1/2 sind technisch abgängig und sollen erneuert werden. Dies dient in erster Linie zur Einsparung von Elektroenergie für die Gebläse. Um eine Förderung im Rahmen des Förderprogramms „Klimaschutzprojekte im kommunalen Umfeld – Kommunalrichtlinie“ für die Erneuerung des Belüftungssystems in Belebungsbecken 1/2 erhalten zu können, ist die Durchführung einer energetischen Feinanalyse gefordert. Außerdem besitzt das Thema „Energieeffizienz“ auf Kläranlagen grundsätzlich einen sehr hohen Stellenwert. Deshalb wurde die PFI Planungsgemeinschaft mit der Erstellung einer energetischen Feinanalyse beauftragt.

Die energetische Feinanalyse für das Gemeinschaftsklärwerk Bad Pyrmont-Lügde wird hiermit vorgelegt.

2. Aufnahme des IST-Zustandes

2.1 Beschreibung der Kläranlage

Ein qualitatives Verfahrensfliessbild der Kläranlage ist in Abbildung 2-1 dargestellt.

In der nachfolgenden Kurzbeschreibung der Kläranlage werden die einzelnen Anlagenteile in der Reihenfolge des Fließweges näher erläutert.

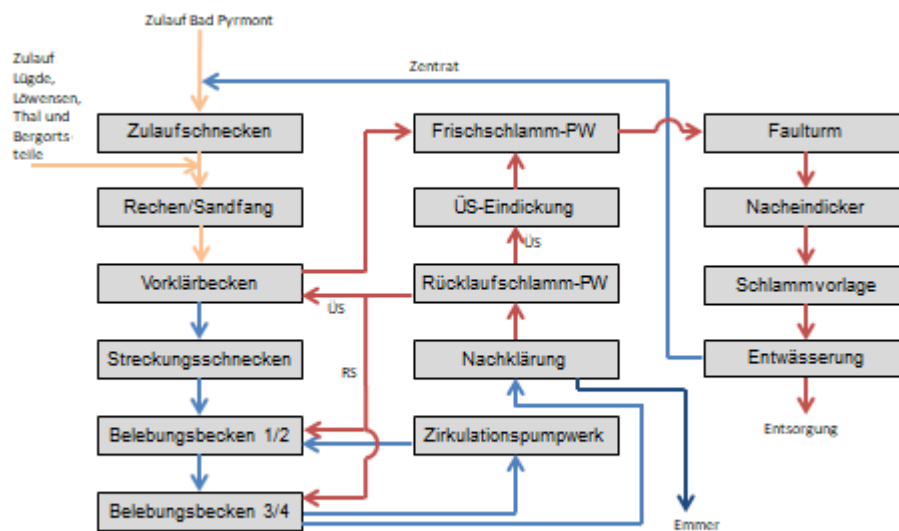


Abbildung 2-1: Fließschema GKW Bad Pyrmont – Lügde

2.1.1 Zulauf

Das dem Klärwerk zufließende Abwasser aus der Stadt Bad Pyrmont wird von einem 3-straßigen Schneckenpumpwerk (eine Trockenwetterschnecke, zwei Regenwetterschnecken) angehoben. Je nach Zulaufmenge wird die entsprechende Schnecke in Betrieb genommen. Die Förderhöhe der Zulaufschnecken beträgt 7,15 m.



Abbildung 2-2: Zulaufhebewerk GKW Bad Pyrmont-Lügde

Das Abwasser aus Lügde, Löwensen, Thal und den Bergortsteilen gelangt über Druckrohrleitungen zur Kläranlage und bindet in Abwasserfließrichtung hinter den Zulaufschnecken ein.

2.1.2 Mechanische Reinigung

Zuerst durchläuft das Abwasser die Rechenanlage, ausgerüstet mit Rechengutpresse und einem 2-straßigen belüfteten Sandfang. Der Sand wird über Tauchmotorpumpen aus dem Becken gefördert und in einer Sandwaschanlage behandelt.

Im Anschluss fließt das Abwasser weiter in ein Rundbecken zur Vorklärung.



Abbildung 2-3: Sandfang und Vorklärbecken GKW Bad Pyrmont-Lügde

2.1.3 Biologische Reinigung

Nach der Vorklärung wird das Abwasser mithilfe eines 2-straßigen Schneckenhebewerkes (Streckungspumpwerk) erneut angehoben und der biologischen Reinigungsstufe zugeführt. Diese besteht aus zwei Belebungsbecken und zwei Nachklärbecken. In den belüfteten Becken finden der Abbau der organischen Schmutzfracht (CSB, BSB₅) sowie die biologische Oxidation von Ammonium (NH₄) zu Nitrat (NO₃) statt. In den unbelüfteten Becken erfolgt die Denitrifikation von Nitrat zu elementarem Stickstoff. Neben der Stickstoffelimination findet eine Phosphorelimination über Fällmittelzugabe statt.

Im Regelfall wird das Abwasser zuerst in Belebungsbecken 1/2 geleitet. Hier erfolgt die Denitrifikation im äußeren Ring des Rundbeckens vorgeschaltet. Zur Umwälzung des Abwassers dienen zwei Rührwerke. Im inneren Bereich erfolgt die Belüftung des Abwassers über Druckbelüfter. Die Belüftungseinrichtungen bestehen aus Tellerbelüftern der Fa. GVA und sind nach nahezu 30 Betriebsjahren abgängig. Für die Umwälzung im Nitrifikationsbereich ist ein Rührwerk in der Mitte des Beckens angeordnet.



Abbildung 2-4: Belebungsbecken 1/2 GKW Bad Pyrmont-Lügde

Aus Belebungsbecken 1/2 fließt das gesamte Abwasser im Freigefälle in Belebungsbecken 3/4. In den Rechteckbecken erfolgt die Belüftung intermittierend über Plattenbelüfter der Fa. Messner, welche im Jahr 2014 erneuert wurden.



Abbildung 2-5: Belebungsbecken 3/4 GKW Bad Pyrmont-Lügde

Die Durchmischung des Belebungsbeckens erfolgt während der Denitrifikationsphasen mittels zweier Rührwerke.

Die Druckluftherzeugung für Belebungsbecken 1/2 erfolgt über zwei Drehkolbengebläse GM35S der Fa. Aerzener. Für Belebungsbecken 3/4 werden drei Gebläse der Fa. Aerzener, zwei „hybride“ Schraubenverdichter D24S und ein Drehkolbengebläse GM25S betrieben.

Die Belüftung wird über eine Zeit-Pause-Steuerung und eine NH_4 -Steuerung betrieben. Der Sauerstoffsollwert ist auf 2,0 mg/l eingestellt. Im Belebungsbecken sind Einrichtungen zur Messung der Konzentrationen von Ammonium, Nitrat, Phosphat und Sauerstoff sowie Temperatur und Trübung installiert.

Rund 95 % des der biologischen Reinigung zugeführten Abwasserstroms werden nach der Behandlung in Belebungsbecken 3/4 über das Zirkulationspumpwerk in Belebungsbecken 1/2 rezirkuliert. Das Zirkulationspumpwerk besteht aus drei Kreiselpumpen mit einer Leistung von je 13 kW, von denen eine Pumpe ständig in

Betrieb ist. Eine zweite Pumpe wird händisch in Abhängigkeit der Ammoniumkonzentration in der Belebung dazu geschaltet.

Das aus Belebungsbecken 3/4 abfließende Abwasser-Belebtschlamm-Gemisch wird auf zwei runde Nachklärbecken aufgeteilt. Der wiedervereinigte Ablauf beider Nachklärbecken wird in die Emmer eingeleitet.

Der Rücklauf- und Überschussschlamm aus den Nachklärbecken wird über ein 3-straßiges Schneckenhebewerk angehoben und hydraulisch aufgeteilt. Der Rücklaufschlamm wird in Belebungsbecken 1/2 und 3/4 gefördert.

2.1.4 Schlammbehandlung

Rund 2/3 des anfallenden Überschussschlamms wird maschinell in einem Bandeindicker eingedickt. Das restliche Drittel des Überschussschlamms wird in das Vorklärbecken gefördert.

Der eingedickte Überschussschlamm wird gemeinsam mit dem aus den Vorklärbecken abgezogenen Primärschlamm-Überschussschlamm-Gemisch über das Frischschlammumpwerk in den Heizschlammkreislauf des Faulbehälters eingespeist.

Nach Ausfäulung gelangt der Faulschlamm im Normalfall zunächst in zwei Faulschlammnacheindicker, in denen noch ein geringer Teil Trübwasser abgezogen wird, und danach in den Faulschlammvorlagebehälter, bevor der Schlamm in einer Hochleistungsentwässerungszentrifuge (max. 750 kg TR/h bzw. 30 m³/h) entwässert wird. Der entwässerte Schlamm wird über zwei Spiralförderer in einen Schubbodencontainer gefördert, aus dem der Schlamm direkt auf Sattelzüge zur Entsorgung geladen werden kann.

Das abgeschiedene, ammoniumreiche Schlammwasser (Zentrat) wird in einem Zentratspeicher zwischengespeichert und dosiert der Abwasserbehandlung zugegeben. Bei Bedarf kann das Zentrat auch direkt in den Zulauf oder in die Belebung dosiert werden.

Das bei der anaeroben Stabilisierung entstehende Faulgas wird am Faulbehälterkopf entnommen, in einem Gasspeicher zwischengespeichert und kann in einer Mikrogasturbine energetisch verwertet und zu Heizzwecken genutzt werden. Die Mikrogasturbine ist allerdings defekt und kann aufgrund der Insolvenz des Herstellers und somit fehlender Ersatzteile nicht repariert werden.

2.2 Kläranlagenbelastung

2.2.1 Allgemeines

Das Gemeinschaftsklärwerk Bad Pyrmont-Lügde ist auf 65.000 EW ausgelegt. Nach Angaben des Betreibers sind aktuell ca. 43.500 EW angeschlossen. Es werden überwiegend kommunale Abwässer behandelt. Die Abwässer stammen aus der Stadt Bad-Pyrmont und angrenzenden Ortsteilen sowie aus der Stadt Lügde.

Zur Ermittlung der aktuellen Kläranlagenbelastung werden die Betriebsdaten der Jahre 2016 bis 2019 ausgewertet. Als charakteristisches Jahr wird das Jahr 2018 gewertet.

Zulaufmengenmessungen werden im Zulauf zum Zulaufschneckenhebewerk und im Zulauf zum Vorklärbecken durchgeführt. Da hinter dem Zulaufschneckenhebewerk die Abwasserzuleitungen aus Lügde und den Ortsteilen Löwensen, Thal und der Bergortsteile einbinden wird für die Belastungen der Kläranlage die Durchflussmengenmessung im Zulauf zur Vorklärung als charakteristisch gewertet.

Die Messungen von absetzbaren Stoffen, CSB, Ammonium und Phosphor sowie pH-Wert und Temperatur finden in Fließrichtung hinter der Abwasserzuleitung aus den weiteren Ortsteilen statt und können somit zur Ermittlung der Schmutzfrachten im Zulauf zur Kläranlage herangezogen werden.

2.2.2 Wassermengen

Die Ganglinie der Zulaufmengenmessung ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

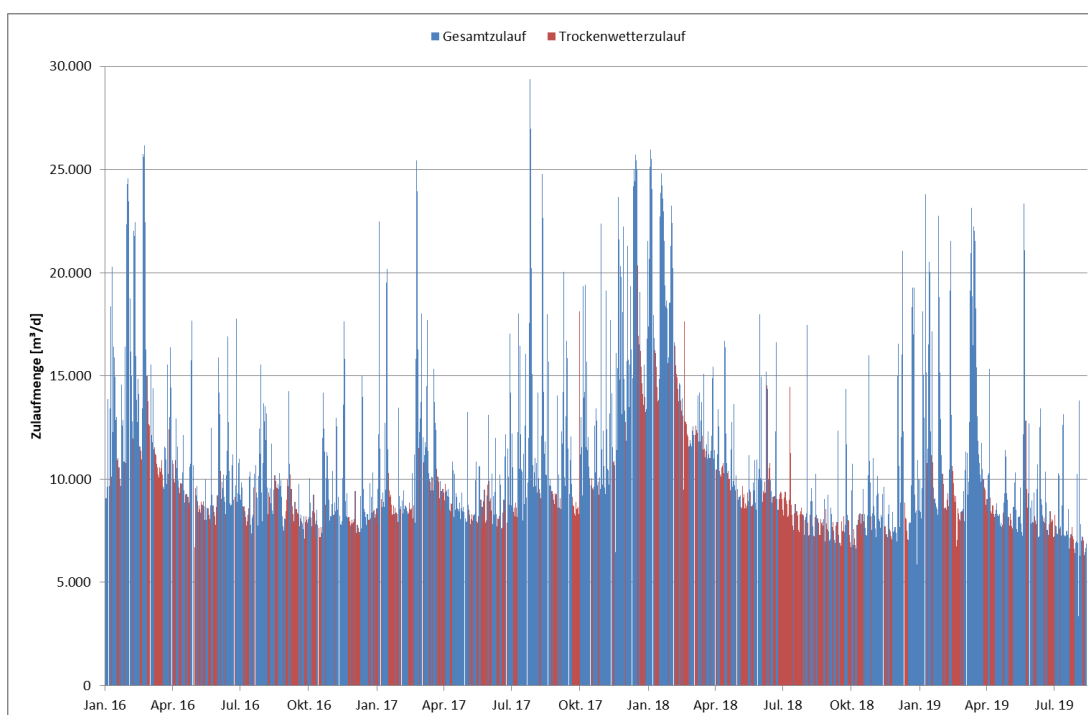


Abbildung 2-6: Ganglinie der Zulaufwassermengen

Die Zulaufwassermengen an Trockenwettertagen sind in roter Farbe dargestellt. Die Anzahl der Trockenwettertage liegt für den Zeitraum 2016 – Mitte 2019 bei 496 von insgesamt 1320 Tagen.

Als Trockenwettertage gelten solche mit < 1 mm Niederschlag und in kleinen Einzugsgebieten mit einem Nachlaufftag ohne Niederschlag. Diese werden im Betriebstagebuch markiert.

Der mittlere Trockenwetterzufluss des gesamten betrachteten Zeitraums $Q_{T,zu}$ beträgt $385 \text{ m}^3/\text{h}$ und der maximale Trockenwetterabfluss $Q_{T,max}$ liegt bei $848 \text{ m}^3/\text{h}$. Für das Jahr 2018 liegt der mittlere Trockenwetterzufluss bei $398 \text{ m}^3/\text{h}$ und der maximale Trockenwetterzufluss bei $736 \text{ m}^3/\text{h}$.

2.2.3 Zulaufbelastung

Im Zulauf zur Rechenanlage werden Proben genommen und auf CSB, $\text{NH}_4\text{-N}$ und P_{ges} analysiert.

Durch die Multiplikation der gemessenen Konzentration mit den Zulaufwassermengen zum Vorklärbecken ergeben sich die Frachten im Zulauf zur Kläranlage. Die Zulaufbelastung wird gemäß den einwohnerspezifischen Frachten nach DWA-

A 198 ermittelt. Die spezifischen Kennwerte zur Belastungsermittlung sind in Tabelle 2-1 dargestellt.

Tabelle 2-1: spezifische Kennwerte zur Belastungsermittlung [g/(E*d)]

	CSB	P _{ges}	N _{ges}
Zulauf KA	120	1,8	11
Ablauf VK	80	1,6	10

Für die verschiedenen Parameter wurde anhand der Betriebsdaten folgend dargestellte mittlere Zulaufbelastung der Jahre 2016, 2017 und 2018 ermittelt:

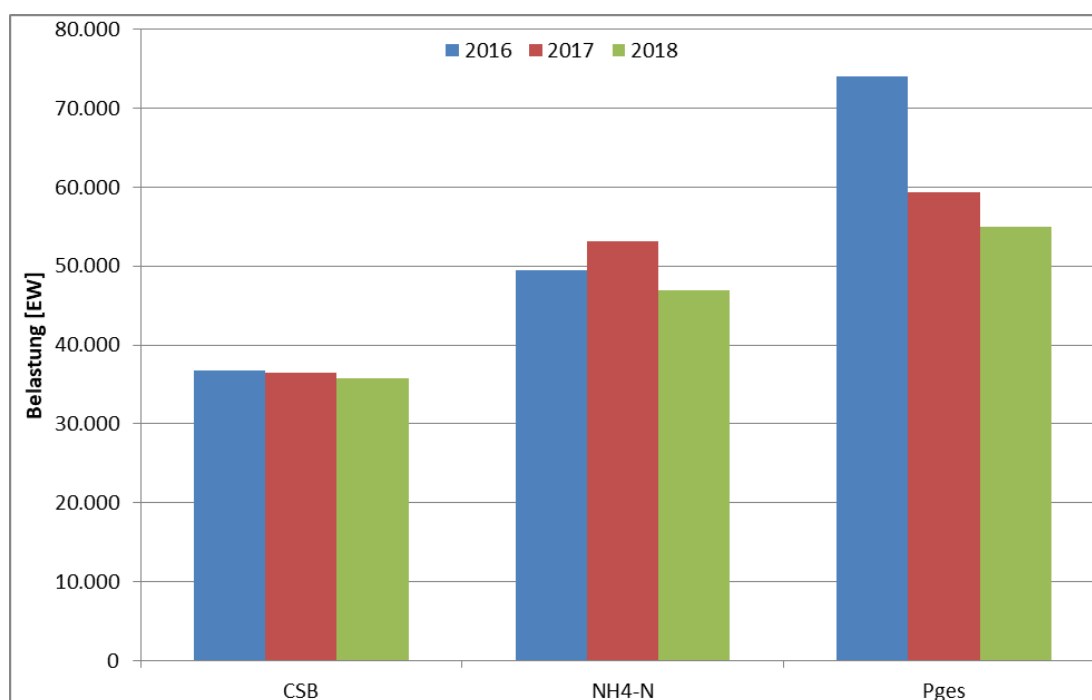


Abbildung 2-7: Mittlere Belastung 2016-2018, getrennt nach Parametern [EW]

Die Belastung der einzelnen Parameter liegt zwischen etwa 35.000 – 72.000 EW. Die mittlere Belastung jedes Parameters fällt im Jahr 2018 geringer als in den Jahren davor aus. Die CSB-Belastung der Kläranlage liegt allerdings weitgehend konstant bei 36.000 EW. Die Belastung der Kläranlage mit Ammonium und besonders mit Phosphor ist im Verhältnis deutlich erhöht. Ein möglicher Grund für diese Unverhältnismäßigkeit stellt die Art der Messprobenahme auf der Kläranlage dar. Die Messungen auf dem Gemeinschaftskläwerk Bad Pyrmont-Lügde finden stichprobenartig statt. Hingegen wird gemäß DWA-A 216 für die Durchführung der Energieanalyse empfohlen, 24h-Mischproben durchzuführen.

Zur Einordnung der Kläranlagenbelastung kann diese über den Schlammanfall gegengerechnet werden. Für die Menge an ausgefaultem Schlamm gibt es genaue Werte, da diese für den im vergangenen Jahr durchgeführten Neubau der Schlammmentwässerungsanlage ausgewertet wurden. Es fallen durchschnittlich 22.300 m³/a Faulschlamm mit einem Feststoffgehalt von 2,5 % TR an. Daraus errechnet sich eine tägliche Feststofffracht von rd. 1.530 kg TR/d. Gemäß Merkblatt DWA-M 368 beträgt die charakteristische Feststofffracht in kommunalem Abwasser 38 g TR/(E·d). Es resultiert eine Anschlussgröße der Kläranlage bezüglich des Faulschlammanfalls von rd. 40.000 EW.

Dieser Wert verdeutlicht, dass die gemessene CSB-Belastung von 36.000 EW in einem realistischen Bereich liegt. Daher kann dieser Wert, so wie es laut DWA-A 216 empfohlen wird, für die Einordnung der Kläranlagenbelastung im Zuge der energetischen Feinanalyse angewendet werden.

In Abbildung 2-8 sind die Tageswerte der Belastung der Jahre 2016 bis 2018 dargestellt. Die Werte schwanken in einem Bereich von rd. 15.000 und 120.000 EW. Es wird deutlich, dass es über den gesamten Zeitraum immer wieder zu Ausreißern kommt.

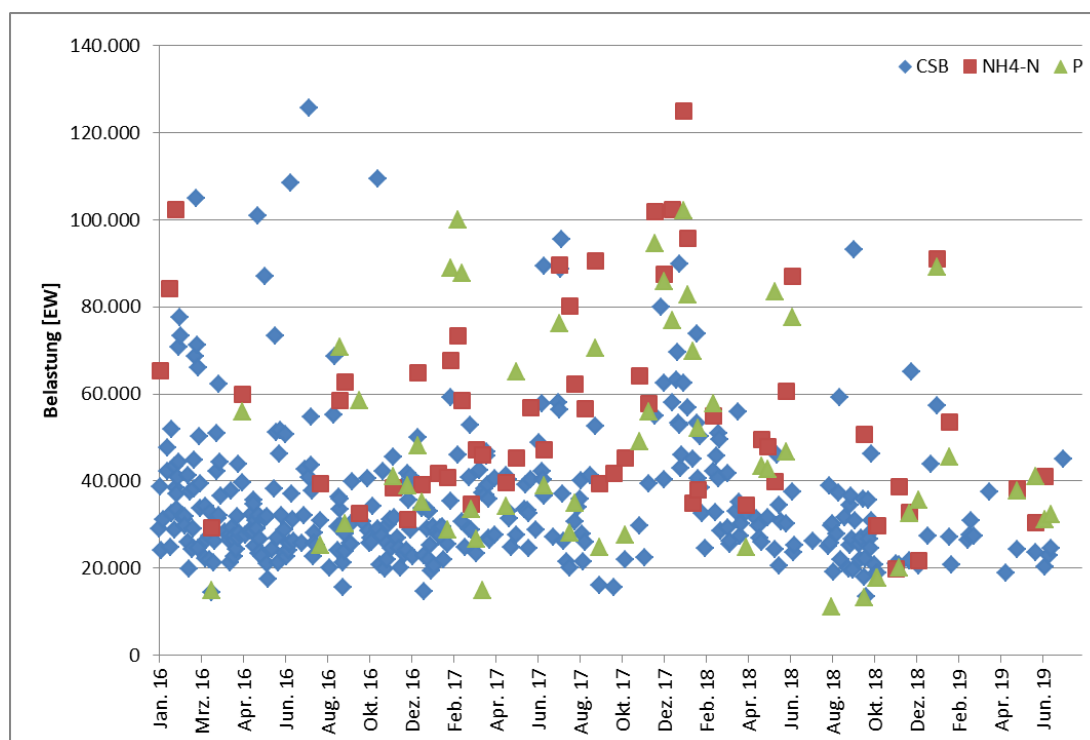


Abbildung 2-8: Belastung [EW] der Parameter im Zeitraum 2016-2018

2.2.4 Ablaufwerte

Im Ablauf der Kläranlage werden die Parameter CSB, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, P_{ges} , N_{anorg} und N_{ges} analysiert. Die Messungen werden wöchentlich durchgeführt. Die Beprobung erfolgt wochentags.

Die Ablaufkonzentrationen der einzelnen Parameter sind in Abbildung 2-9 dargestellt. Die CSB-Konzentration liegt durchgehend unter dem Überwachungswert von 40 mg/l mit einem 85%-Quantil von 23,0 mg/l und einem Mittelwert von 19,6 mg/l.

Die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration im Ablauf der Kläranlage liegt im Mittel bei 2,38 mg/l. Das 85%-Quantil liegt bei 4,1 mg/l. Der Überwachungswert von 7 mg/l wird im Betrachtungszeitraum bis auf einzelne wenige Ausnahmen eingehalten.

Gleiches gilt für die Ablaufkonzentration des Gesamtstickstoffs. Im Mittel liegt dieser bei 6,75 mg/l und das 85%-Quantil bei 9,63. Der Überwachungswert beträgt für diesen Parameter 14 mg/l.

Die Phosphor-Konzentration im Ablauf liegt mit im Mittel 0,26 mg/l und einem 85%-Quantil von 0,4 mg/l auf einem niedrigen Niveau und konstant unter dem Überwachungswert von 0,8 mg/l.

Im folgenden Diagramm sind die gemessenen Ablaufkonzentrationen der beschriebenen Parameter über den gesamten Betrachtungszeitraum dargestellt. Grundsätzlich werden alle Überwachungswerte im Ablauf des Gemeinschaftsklärwerks Bad Pyrmont-Lügde kontinuierlich eingehalten.

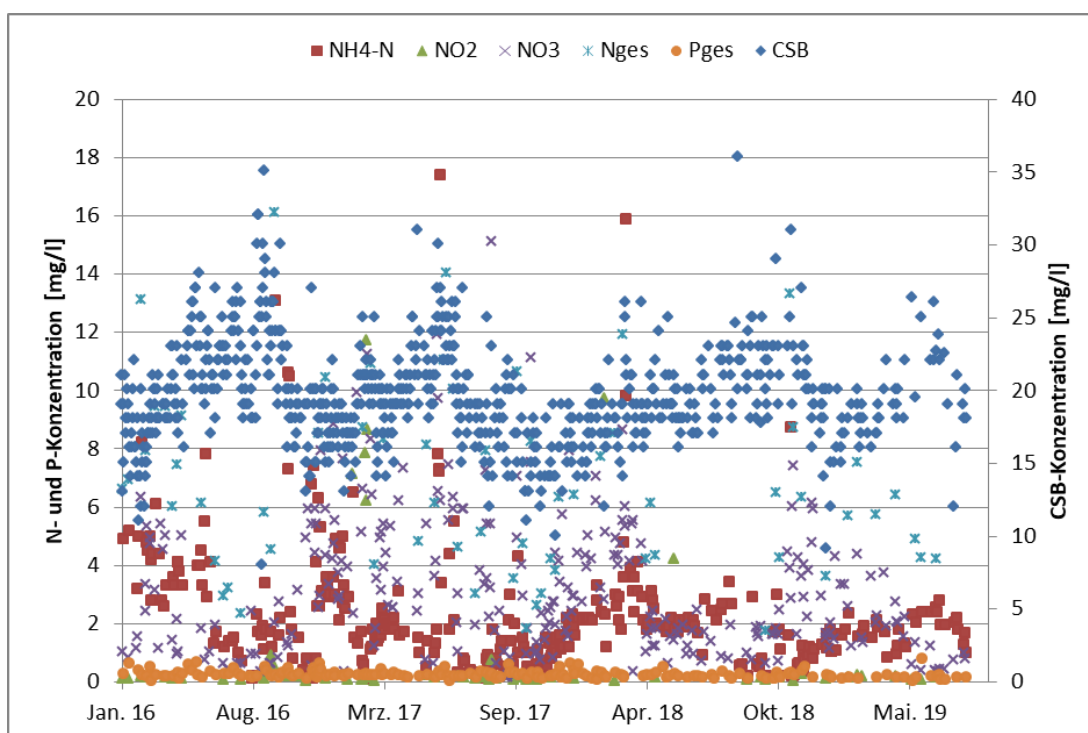


Abbildung 2-9: Ablaufkonzentration [mg/l] der verschiedenen Parameter

2.2.5 Festlegung der mittleren Kläranlagenbelastung

Für die nachfolgende Beurteilung des Energieverbrauchs des Gemeinschaftskläwerkes Bad Pyrmont-Lügde ist die Festlegung der mittleren Kläranlagenbelastung erforderlich. Maßgebend hierfür ist gemäß des neuen Handbuchs Energie in Abwasseranlagen NRW [2] und dem DWA-A 216 [1] die CSB-Last im Zulauf der Kläranlage. Nach altem MURL-Handbuch [3] wurde die BSB₅- bzw. CSB-Last herangezogen.

Für das Jahr 2018 wurde eine mittlere CSB-Zulaufbelastung von rund 36.000 EW ermittelt.

Somit gehört die Kläranlage nach Abwasserverordnung zur **Größenklasse 4** (10.001 bis 100.000 EW).

2.3 **Datenerhebung elektrische Energie**

2.3.1 Elektrischer Energieverbrauch

Als maßgebender Zeitraum für die Datenerhebung der elektrischen Energie wurde das Jahr 2018 festgelegt. Als Ausgangslage für die Ermittlung des Energieverbrauchs dient die Betriebsaufzeichnung, in denen der Energiebezug festgehalten

ist. Darin wird ein jährlicher Gesamtenergieverbrauch von 1.107.667 kWh/a aufgeführt.

Weiterhin wurden alle wesentlichen elektrischen Energieverbraucher der Kläranlage einzeln aufgenommen und zusammengestellt. Für die signifikanten Verbraucher (Verbraucher entweder mit hoher Betriebsdauer in einem Jahr oder Verbraucher mit einem hohen elektrischen Leistungsbedarf) wird die Betriebsdauer im Betriebstagebuch aufgezeichnet. Über die an den Aggregaten angezeigte Stromaufnahme der Verbraucher kann der Energieverbrauch errechnet werden. Für die Verbraucher, die über einen FU geregelt werden, müssen differenzierte Berechnungen durchgeführt werden. Die einzelnen Aggregate werden in Verfahrensgruppen eingeteilt und der Anteil der jeweiligen Gruppe an dem elektrischen Energieverbrauch errechnet.

Zur Prüfung der Plausibilität der aufgestellten Verbraucherliste, wird der rechnerisch ermittelte Gesamtenergieverbrauch mit den Daten des Energiezählers für die gesamte Kläranlage abgeglichen. Anhand des gewählten Ansatzes ergibt sich gemäß Verbraucherliste ein elektrischer Energieverbrauch der Kläranlage von 1.132.144 kWh/a. Dies entspricht einer Abweichung von 2,2 % im Vergleich zu den Betriebsaufzeichnungen. Aufgrund des geringen Fehlers wird die Energieberechnung anhand der Verbraucherliste als hinreichend genau bewertet, auch wenn nicht alle kleineren Verbraucher aufgrund fehlender Betriebsdaten erfasst werden konnten. In der nachfolgenden Tabelle 2-2 sind die Energieverbräuche aus dem Bezugsjahr 2018 der einzelnen Bereiche der Kläranlage aufgeführt. Für die Verfahrensstufen der mechanischen Reinigung, der biologischen Reinigung und der Schlammbehandlung sind zusätzlich die Verbräuche der größten Verbraucher aufgelistet.

Tabelle 2-2: Energieverbrauch der einzelnen Verfahrensstufen (gemäß Verbraucherliste)

	Inhalt	Jahresenergieverbrauch [kWh/a]	Anteil [%]	Anteil ges. [%]
<u>Gesamt</u>	Hebewerke	205.397		18,1
	Mechanische Reinigung	34.361		3,0
	Biologische Reinigung	713.976		63,1
	Schlammbehandlung	178.410		15,8
	Summe:	1.132.144		100
Hebewerke	Zulaufschnecken	173.176	84,3	15,3
	Streckungsschnecken	32.222	15,7	2,8
	Summe:	205.397	100,0	18,1
Mechanische Reinigung	Rechen	2.912	8,5	0,3
	Sandfang	29.899	87,0	2,6
	Vorklärung	1.549	4,5	0,1
	Summe:	34.361	100,0	3,0
Biologische Reinigung	Gebläse	453.882	63,6	40,1
	Rührwerke	76.795	10,8	6,8
	Nachklärung	19.710	2,8	1,7
	RLS-Pumpwerk	60.882	8,5	5,4
	Zirkulation	102.707	14,4	9,1
	Summe:	713.976	100,0	63,1
Schlamm- behandlung	ÜS-Eindickung	10.920	6,1	1,0
	Schlammförderung	12.831	7,2	1,1
	Umwälzung Faulturm	96.360	54,0	8,5
	Rührwerk Vorlage	6.299	3,5	0,6
	Entwässerung	52.000	29,1	4,6
	Summe:	178.410	100,0	15,8

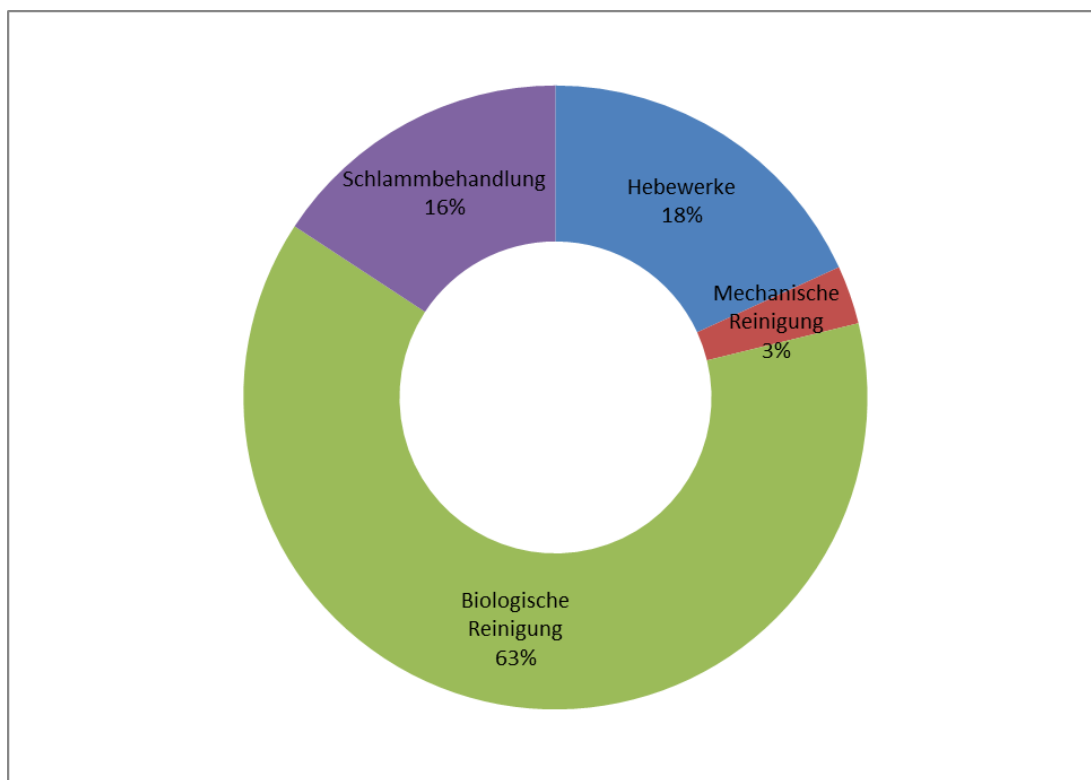


Abbildung 2-10: Übersicht Energieverbrauch nach Verbraucherliste

Aus der Tabelle 2-2 und der Abbildung 2-10 ist ersichtlich, dass rd. 63 % der von der Kläranlage bezogenen elektrischen Energie für die biologische Reinigung benötigt wird. Dabei stellt die Belüftung der Belebungsbecken mit 40 % des Gesamtverbrauchs den mit Abstand der größten Verbraucher dar.

Die Kläranlage bezieht ihre elektrische Energie von den Stadtwerken Bad Pyrmont. Die Energie die dieses Unternehmen liefert, wird aus folgenden Energieträgern gewonnen:

Tabelle 2-3: Anteil der einzelnen Energieträger an der Energieerzeugung im Jahr 2018

Energieträger	Anteil [%]
Kernkraft	8,7
Fossile und sonstige Energieträger	35,7
Erneuerbare Energien	55,6

Aufgrund dieser Anteile der einzelnen Energieträger wird pro generierter kWh Wirkarbeit bzw. 1,25 kWh Scheinarbeit elektrischer Energie 281 g CO₂ emittiert und es fallen 230 µg an radioaktiven Abfallprodukten an. Im Vergleich dazu liegt gemäß dem deutschen Strommix 2018 der CO₂-Anfall je kWh an elektrischer Energie bei 421 g CO₂. (Quelle: Stromkennzeichnung der Stadtwerke Bad Pyrmont)

2.3.2 Elektrische Eigenversorgung der Kläranlage

Das Gemeinschaftskläranlage Bad Pyrmont-Lügde besitzt die Möglichkeit mittels einer Mikrogasturbine elektrische Energie zum Zweck der Eigenversorgung über die Verstromung von Faulgas zu generieren.

Aufgrund wiederkehrender Betriebsprobleme wird die Mikrogasturbine nicht mehr betrieben. Durch die Insolvenz des Turbinenherstellers können keine Ersatzteile zur Reparatur der Maschine geliefert werden.

Aus diesem Grund findet aktuell keine Eigenversorgung mit elektrischer Energie auf dem Gemeinschaftskläranlage Bad Pyrmont-Lügde statt.

2.4 **Datenerhebung Wärmeenergie**

2.4.1 Wärmebedarf

Wärme wird auf der Kläranlage durch eine Gasheizung erzeugt. Diese versorgt das Betriebsgebäude sowie den Faulbehälter mit der benötigten Wärme. Die Gasheizung kann sowohl mit Erdgas als auch mit Faulgas betrieben werden.

Für die Menge an Gas, die im Heizkessel zur Wärmeerzeugung genutzt wird besteht auf der Kläranlage keine Messung. Somit kann der Gesamtwärmebedarf der Kläranlage lediglich annäherungsweise über charakteristische Kennwerte berechnet werden.

Über die Größe und Geometrie des Faulbehälters und des Betriebsgebäudes ergibt sich ein überschlägiger Wärmebedarf von 720.000 kWh_{th}/a. Dieser kann nahezu vollständig durch die thermische Nutzung des produzierten Faulgases bereitgestellt werden. Die Mengen an extern bezogener Wärmeenergie von rd. 4.500 kWh_{th}/a in Form von Erdgas sind vergleichsweise gering und werden nur in den Wintermonaten bei geringer Faulgasproduktion notwendig.

3. Bewertung des IST-Zustandes

3.1 Energiecheck nach DWA-A 216 [1]

„Gegenstand eines Energiechecks ist eine energetische Bestandsaufnahme einer Abwasseranlage verbunden mit einer ersten Positionsbestimmung hinsichtlich Energieverbrauch und Eigenenergieerzeugung.“ [1]

„Im Rahmen des Energiechecks werden nur wenige, relativ einfach zu ermittelnde energetische Kennwerte bestimmt.“ [1] Gegenstand des Energiechecks für das Gemeinschaftskläwerk Bad Pyrmont-Lügde sind die folgenden Parameter:

Tabelle 3-1: Relevante Kennwerte des Energiecheck für das GKW Bad Pyrmont-Lügde

Formelzeichen	Einheit	Bezeichnung	Formel	Definition verwendeter Größen
Kläranlagen				
e_{ges}	[kWh/(E·a)]	Spez. Stromverbrauch Gesamt	$e_{ges} = \frac{E_{ges}}{EW_{CSB}}$	E_{ges} Gesamtstromverbrauch [kWh/a] EW_{CSB} Einwohnerwert [E]
e_{Bel}	[kWh/(E·a)]	Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel} = \frac{E_{Bel}}{EW_{CSB}}$	E_{Bel} Stromverbrauch Belüftung [kWh/a] EW_{CSB} Einwohnerwert [E]
Pumpwerke				
e_{PW}	[Wh/(m³·m)]	Spez. Stromverbrauch Abwasserpumpwerke	$e_{PW} = \frac{E_{PW} \cdot 1000}{Q_{PW} \cdot h_{man}}$	E_{PW} Stromverbrauch des Pumpwerks [kWh/a] h_{man} manometrische Förderhöhe [m] Q_{PW} Fördermenge [m³/a]

„Aus den Ergebnissen des Energiechecks sind die augenscheinlichsten Defizite identifizierbar, jedoch ohne verlässliche qualitative Aussagen, und ohne detaillierte Ursachenbestimmung. Diese liefert die Energieanalyse. Zur eigenen Positionsbestimmung wird die Durchführung eines jährlichen Energiechecks empfohlen, z.B. im Rahmen der Selbstüberwachung, eines Benchmarkings bzw. zur Veranschaulichung von zwischenzeitlich erreichten Fortschritten.“ [1]

Für den Energiecheck des Gemeinschaftskläwerkes Bad Pyrmont-Lügde wird mit einer mittleren Kläranlagenbelastung von **36.000 EW** gerechnet. Für das Bezugsjahr 2018 werden die Kennwerte des Energiechecks gemäß Tabelle 3-2 ermittelt.

Tabelle 3-2: Kennwerte des Energiechecks des GWK Bad Pyrmont-Lügde

Formel- zeichen	Bezeichnung	Berechnung
Kläranlagen		
e_{ges}	Spez. Stromverbrauch Gesamt	$e_{ges} = \frac{E_{ges}}{EW_{CSB}} = \frac{1.107.667 \text{ kWh/a}}{36.000 \text{ E}} = 30,8 \text{ kWh/(E} \cdot \text{a)}$
e_{Bel}	Spez. Stromverbrauch Belüftung	$e_{Bel} = \frac{E_{Bel}}{EW_{CSB}} = \frac{453.882 \text{ kWh/a}}{36.000 \text{ E}} = 12,6 \text{ kWh/(E} \cdot \text{a)}$
Pumpwerke		
e_{PW}	Spez. Stromverbrauch Zulaufpumpwerk	$e_{PW,1} = \frac{E_{PW} \cdot 1000}{Q_{PW} \cdot h_{man}} = \frac{173.176 \text{ kWh/a} \cdot 1.000}{3.000.000 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 7,15 \text{ m}} = 8,1 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$
e_{PW}	Spez. Stromverbrauch Streckungspumpwerk	$e_{PW,2} = \frac{E_{PW} \cdot 1000}{Q_{PW} \cdot h_{man}} = \frac{32.222 \text{ kWh/a} \cdot 1.000}{4.000.000 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 0,90 \text{ m}} = 9,0 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$

Zur ersten Orientierung werden die ermittelten Kennwerte des Gemeinschaftsklärwerks Bad Pyrmont-Lügde mit den zugehörigen Unterschreitungshäufigkeiten in Relation gesetzt.

„Die Unterschreitungshäufigkeit des spezifischen Gesamtstromverbrauchs [...] beruht auf Datenmaterial aus dem Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen der DWA. Die (übrigen) Unterschreitungshäufigkeiten [...] sind auf der Grundlage einer Datenerhebung in den Ländern Hamburg, Berlin, Schleswig-Holstein, Baden-Württemberg, Brandenburg und Bayern sowie durch Bereitstellung von Betriebsdaten verschiedener Städte und Abwasserverbände ermittelt worden.“ [1]

„Bei den Kennzahlen zum elektrischen Energieverbrauch weisen Daten mit einer höheren Unterschreitungshäufigkeit mit großer Wahrscheinlichkeit auf ein energetisches Optimierungspotenzial hin.“ [1]

Alle Kläranlagen lassen sich einer von fünf Größenklassen zuordnen. Die Einteilung der Größenklassen erfolgt anhand des Einwohnerwertes. Das Gemeinschaftsklärwerk Bad Pyrmont-Lügde fällt in die Größenklasse 4 (10.001 – 100.000 EW).

„Hierbei ist zu berücksichtigen, dass in Deutschland die Datenverfügbarkeit des spezifischen Gesamtstromverbrauchs der Kläranlagen zurzeit am größten ist. Für die übrigen Kennzahlen gibt es derzeit deutlich weniger zugängliche Datensätze. Daher wurde in den (entsprechenden) Bildern [...] keine Differenzierung hinsichtlich der Größenklasse von Kläranlagen vorgenommen.“ [1]

3.1.1 Energieverbrauch Gesamtanlage

Für das Bezugsjahr 2018 beläuft sich der Energieverbrauch des Gemeinschaftsklärwerks Bad Pyrmont-Lügde auf rd. **1.107.667 kWh** elektrischer Energie. Der daraus ermittelte spezifische Gesamtenergieverbrauch e_{ges} beträgt dementsprechend rd. **31 kWh/(E·a)** und ist gemeinsam mit der Häufigkeitsverteilung der Energieverbräuche 600 weiterer kommunaler Belebungsanlagen mit aerober Schlammstabilisierung der Größenklasse 3 bis 5 im nachfolgenden Diagramm aufgetragen.

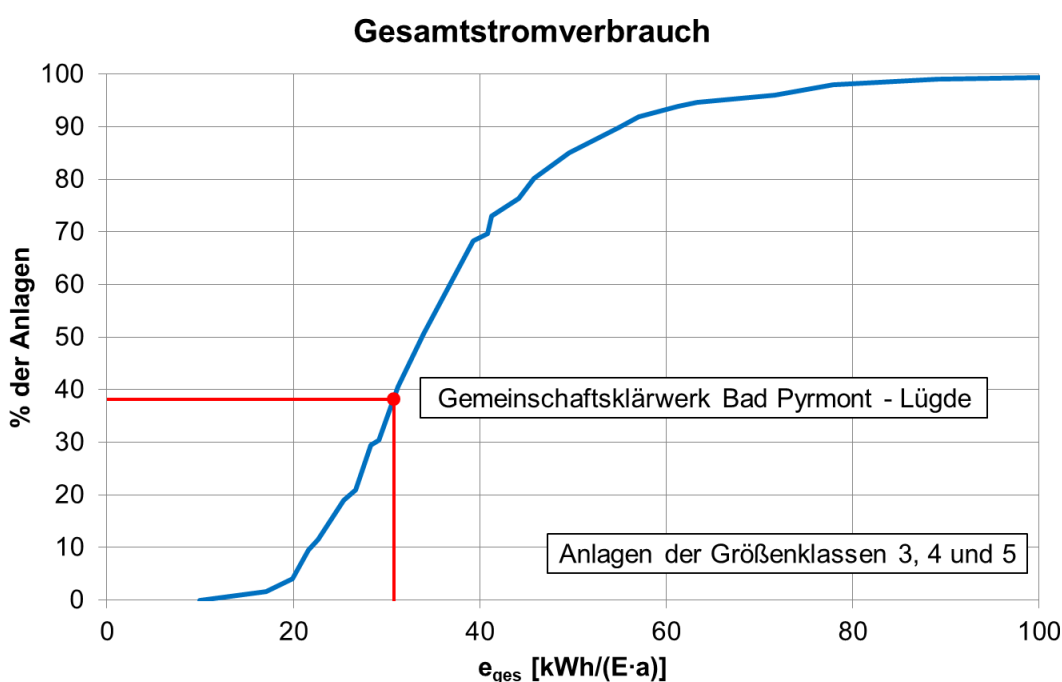


Abbildung 3-1: Spez. Gesamtenergieverbrauch für Belebungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung der GK 3-5 nach DWA-A 216 [1], rot: GKW Bad Pyrmont-Lügde

In Abbildung 3-1 zeigt sich, dass der spezifische Gesamtenergieverbrauch des Gemeinschaftsklärwerks Bad Pyrmont-Lügde besser als der Durchschnitt der im Datenumfang enthaltenen Belebungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung liegt. Die Unterschreitungshäufigkeit der liegt bei rd. 39 %. Der im Energiecheck ermittelte spezifische Energieverbrauch e_{ges} liegt demnach um rund 20% unter dem Median von etwa 37,3 kWh/(E·a).

Aus diesem ersten Vergleich zeigt sich, dass der Energieverbrauch der Kläranlage bereits positiv zu bewerten ist, aber trotzdem ein weiteres Optimierungspotenzial besteht. Im Folgenden werden die Belüftung und die Pumpwerke betrachtet, um mögliche Energieeinsparpotenziale zu spezifizieren.

3.1.2 Energieverbrauch Belüftung

Bei der Belüftung handelt es sich üblicherweise um den größten Energieverbraucher einer Kläranlage. Daher „wird im Rahmen des Energiechecks mit der Einführung eines spezifischen Stromverbrauchs für die Belüftung des Belebungsbeckens e_{Bel} direkt auf den größten Verbrauch in diesem Bereich abgezielt.“ [1]. Durchschnittlich verbraucht die Belüftung des Gemeinschaftsklärwerks Bad Pyrmont-Lügde 453.882 kWh/a elektrischer Energie.

Die Abbildung 3-2 zeigt, dass die Streuung des spezifischen Stromverbrauchs über alle erfassten Anlagen relativ groß ist. Das Gemeinschaftsklärwerk Bad Pyrmont-Lügde liegt mit einem spezifischen Energieverbrauch für die Belüftung von **12,6 kWh/(E·a)** niedriger als rund 75% der übrigen Anlagen, was ein sehr gutes Ergebnis darstellt.

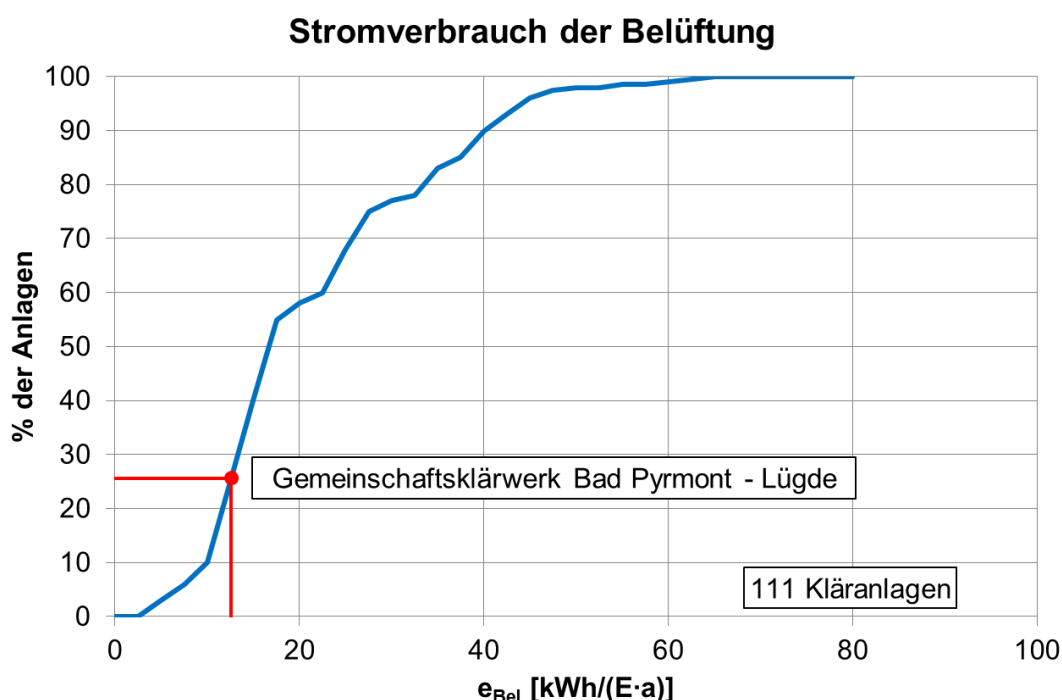


Abbildung 3-2: Spez. Stromverbrauch der Belüftung der Kläranlage nach DWA-A 216 [1], rot: GKW Bad Pyrmont-Lügde

3.1.3 Energieverbrauch Abwasserpumpwerke

„Die Kennzahl Stromverbrauch pro Kubikmeter geförderten Abwassers liefert für die energetische Bewertung des Pumpwerks wichtige Hinweise. Über eine entsprechende Zeitreihe lassen sich damit erste Verschleißerscheinungen feststellen.“ [1]

Im Energiecheck werden das Zulaufpumpwerk, sowie das Streckungspumpwerk des Gemeinschaftsklärwerks Bad Pyrmont-Lügde berücksichtigt. Zu beachten ist, dass das untersuchte Jahr 2018 ein niederschlagsarmes Jahr war, wodurch der Fremdwasserzufluss und damit die Fördermenge maßgeblich beeinflusst werden. Zwischen Fördermenge und Energieverbrauch muss nicht zwangsläufig ein linearer Zusammenhang bestehen.

Zulaufpumpwerk

Im Zulaufpumpwerk werden die Wassermengen des Zulaufs des Stadtgebiets Bad Pyrmont und die internen Kreisläufe der Kläranlage, im Speziellen Zentrat, gehoben. Dies sind in Summe rd. 75 % der auf der Kläranlage ankommenden Abwassermenge. Der übrige Abwasserstrom gelangt über Druckleitungen zur Kläranlage und ist daher für die Betrachtung des Zulaufpumpwerks nicht relevant.

Das Zulaufpumpwerk besteht aus drei Zulaufschneckenpumpen.

Im Durchschnitt liegt der Energieverbrauch des Zulaufpumpwerks bei rd. 173.176 kWh. Zusammen mit einer manometrischen Förderhöhe von rd. 7,15 m und einer Zulaufwassermenge von insgesamt rd. 3 Mio. m³ im Jahr ergibt sich ein in Abbildung 3-3 dargestellter spezifischer Energieverbrauch von **8,1 Wh/(m³·m)**.

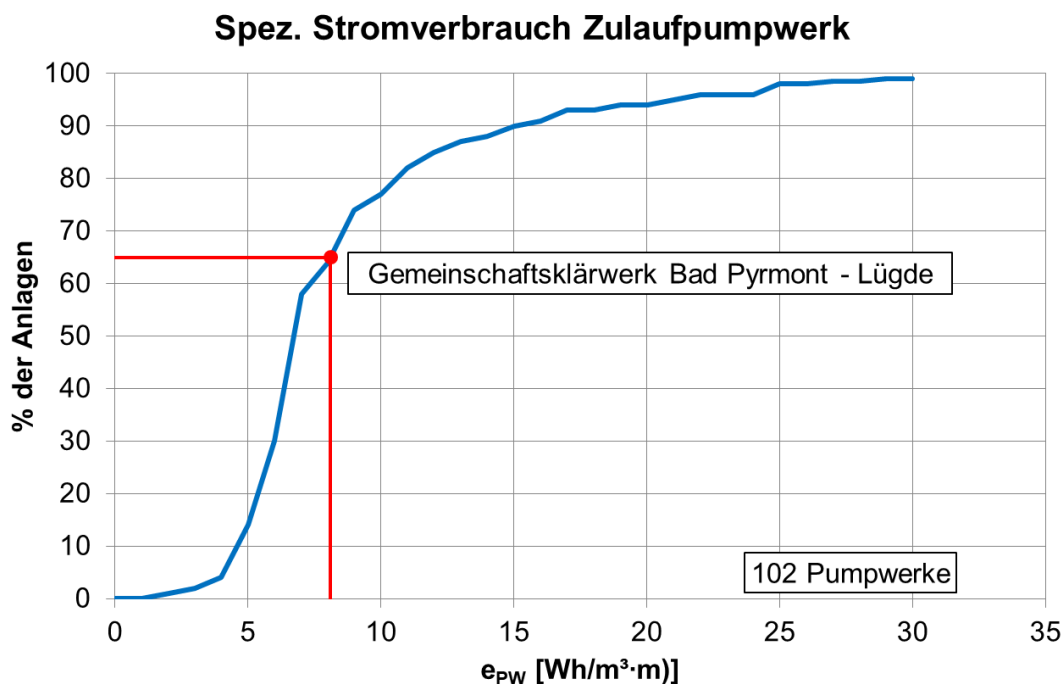


Abbildung 3-3: Spez. Stromverbrauch von Abwasserpumpwerken nach DWA-A 216 [1] und in rot des Zulaufpumpwerkes des GKW Bad Pyrmont-Lügde

Etwa 65 % der im Datenumfang enthaltenen Abwasserpumpwerke weisen einen gleichen oder kleineren spezifischen Energieverbrauch auf. Die Abbildung zeigt, dass für das Zulaufpumpwerk ein deutliches Optimierungspotenzial besteht.

Streckungspumpwerk

Im Streckungspumpwerk werden die gesamte Zulaufmenge aus dem Zulaufpumpwerk sowie das Abwasser aus den Druckleitungen aus der Stadt Lügde, den Ortsteilen Löwensen, Thal und den Bergortsteilen gehoben. Im Jahr 2018 lag die gehobene Schmutzwassermenge bei rd. 4 Mio. m³/a, die mithilfe von 2 Schnecken über eine manometrische Förderhöhe von etwa 90 cm gehoben wird.

Im Durchschnitt liegt der Energieverbrauch des Streckungspumpwerks bei rd. 32.222 kWh. Im Energiecheck ergibt sich daraus ein spezifischer Energieverbrauch von **9,0 Wh/(m³·m)**.

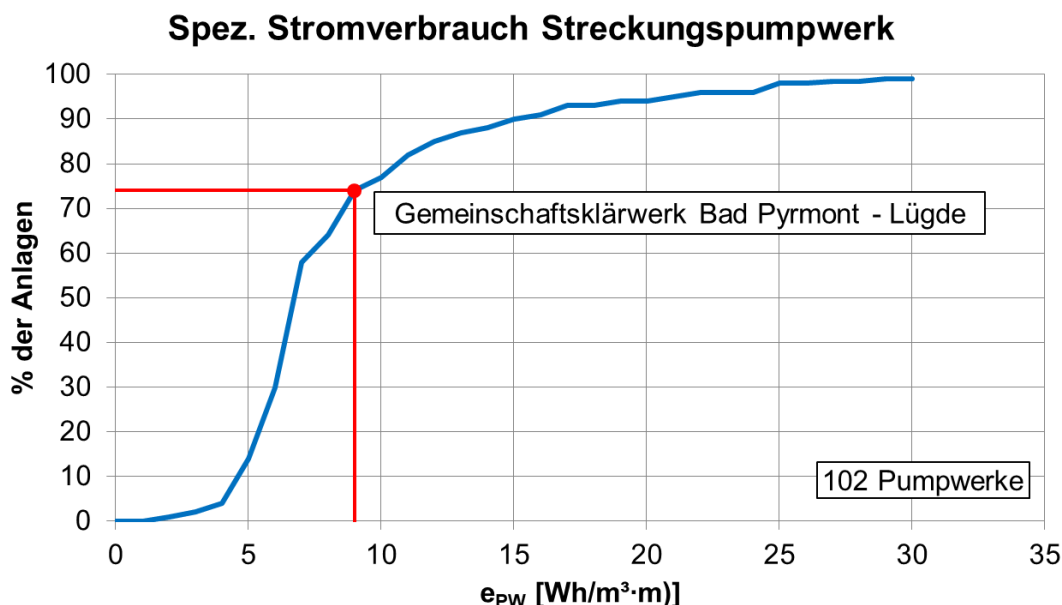


Abbildung 3-4: Spez. Stromverbrauch von Abwasserpumpwerken nach DWA-A 216 [1] und in rot des Streckungspumpwerks des GKW Bad Pyrmont-Lügde

Wie in Abbildung 3-4 dargestellt, weisen rd. 74 % der im Datenumfang enthaltenen Abwasserpumpwerke einen vergleichbaren oder besseren spezifischen Energieverbrauch auf. Damit besteht auch für das Streckungspumpwerk Optimierungspotenzial.

3.2 Berechnung der anlagenbezogenen Idealwerte nach DWA-A 216 [1]

Zur Bewertung des ermittelten IST-Zustands der Kläranlage werden gemäß DWA-A 216 [1] anlagenbezogene Idealwerte bestimmt. Die ermittelten anlagenbezogenen Idealwerte werden anschließend den Werten der aufgestellten Verbraucherliste gegenübergestellt.

„Der anlagenbezogene Idealwert einer Kläranlage setzt sich aus den anlagenbezogenen Idealwerten der einzelnen verfahrenstechnischen Einheiten zusammen. Die einzelnen anlagenbezogenen Idealwerte sind keine Fixwerte, sondern sind abhängig von den Randbedingungen der vorhandenen Anlagenkonfiguration und Betriebsweise.“ [1]

Im Rahmen der Energetischen Feinanalyse wurden für die Verfahrensschritte Zulaufhebewerk, Mechanische Reinigung, Biologische Reinigung und Schlammbehandlung anlagenspezifische Idealwerte nach Anhang A.1 des DWA-

Arbeitsblattes 216 [1] ermittelt. Dabei wurden die größeren Verbraucher der Kläranlage betrachtet.

„Zur Bewertung werden die Werte des Ist-Zustands den anlagenbezogenen Idealwerten gegenübergestellt. [...] Aus der Differenz kann für die jeweiligen Aggregate oder Verfahrensgruppen ein Einsparpotenzial erkannt werden.“ [1]

In der nachstehenden Tabelle 3-3 sind die zuvor ermittelten anlagenbezogenen Idealwerte gemeinsam mit den IST-Werten der Verbraucherliste aufgeführt.

Tabelle 3-3: Vergleich der ermittelten anlagenbezogenen Idealwerte mit den IST-Werten

Gesamtanlage Bad Pyrmont-Lügde	E-Verbrauch laut Verbraucher- liste	spez. Energie- verbrauch	Idealwerte DWA-A 216	E-Verbrauch laut Idealwert DWA-A 216
	[kWh/a]	[kWh/(EW·a)]		[kWh/a]
Abwasserhebewerke	205.397	5,71	3,38	121.500
Mechanische Reinigung	34.361	0,95	0,40	14.260
Biologische Reinigung	713.976	19,83	13,86	499.030
Schlammbehandlung	178.410	4,96	4,18	150.323
Summe Kläranlage	1.132.144	31,4	21,8	785.113

Der ermittelte Idealwert nach DWA-A 216 für den elektrischen Energieverbrauch der Gesamtanlage beträgt rd. 21,8 kWh/(E·a). Die Differenz zum IST-Wert beträgt **9,6 kWh/(E·a)**. Daraus ergibt sich, dass der Verbrauch an elektrischer Energie rd. **44,2 %** oberhalb des ermittelten Idealwertes liegt. Im nachfolgenden Diagramm sind die ermittelten Idealwerte gegen die IST-Werte aufgetragen.

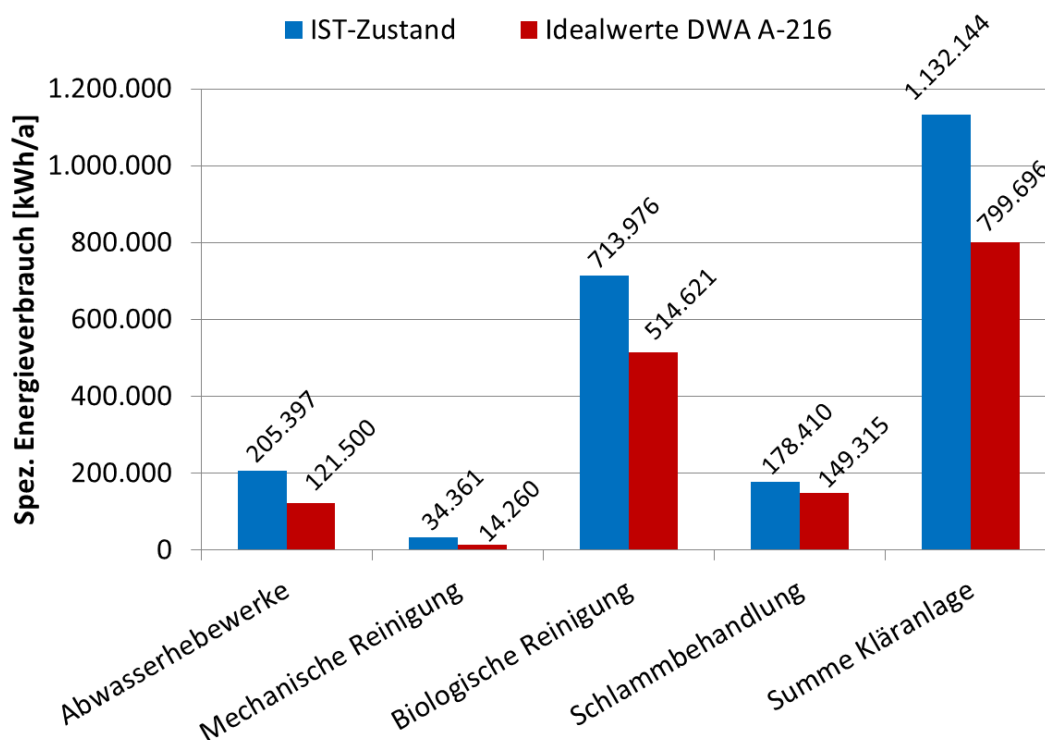


Abbildung 3-5: Vergleich der ermittelten analgenbezogenen Idealwerte nach DWA-A 216 mit den IST-Werten nach Verbraucherliste

Im Folgenden werden die einzelnen Verfahrensschritte detailliert betrachtet und auf ihre Energieeffizienz hin überprüft.

3.2.1 Abwasserhebwerke

Die beiden Abwasserhebwerke (Zulaufpumpwerk rd. 75 % des Gesamtzulaufs und Streckungspumpwerk 100 % des Gesamtzulaufs) weisen zusammen einen Energieverbrauch von rd. 205.397 kWh/a auf, was rd. 18,1 % des Gesamtverbrauchs entspricht. Die ermittelten Idealwerte für den elektrischen Energieverbrauch liegen hier in Summe bei rd. 121.500 kWh/a.

In der nachfolgenden Tabelle 3-4 sind der spezifische elektrische Energieverbrauch und die ermittelten Idealwerte aufgeführt. In Abbildung 3-6 werden diese Werte einander graphisch gegenüber gestellt.

Tabelle 3-4: Spezifischer elektrischer Energieverbrauch der Abwasserhebwerke

Abwasser- hebwerke	E-Verbrauch laut Verbraucher- liste	spez. Energie- verbrauch	Idealwerte DWA-A 216	E-Verbrauch laut Idealwert DWA-A 216
	[kWh/a]	[kWh/(EW·a)]		[kWh/a]
Zulaufhebwerk	173.176	4,81	2,93	105.300
Streckungshebwerk	32.222	0,90	0,45	16.200
Gesamt	205.398	5,71	3,38	121.500

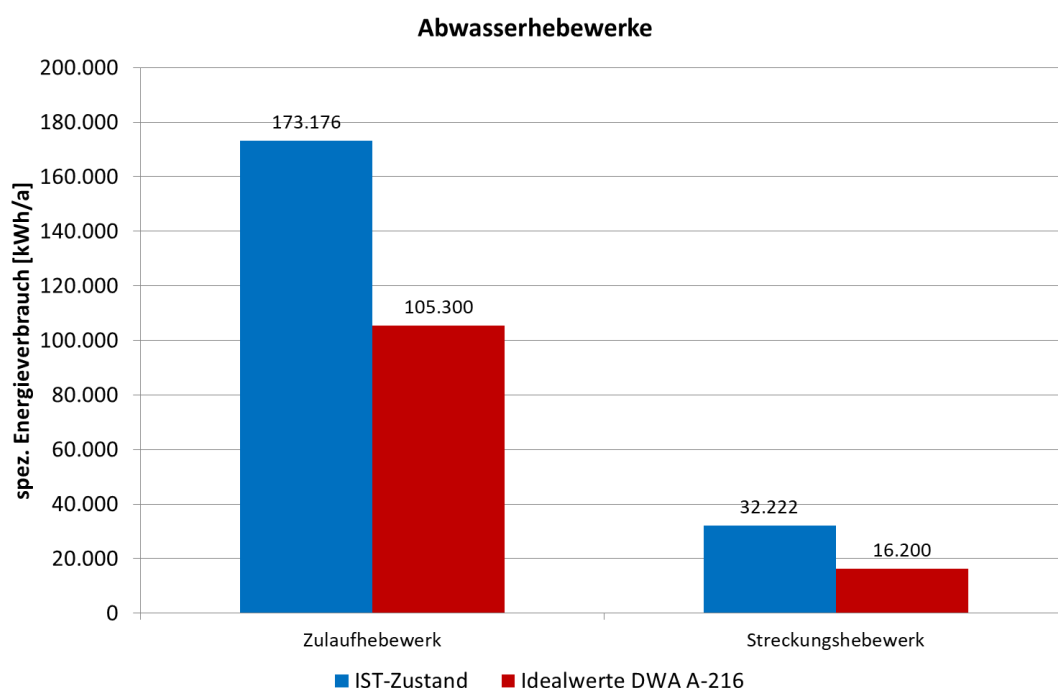


Abbildung 3-6: Gegenüberstellung der spezifischen Energieverbräuche der Abwasserhebwerke zu den Idealwerten nach DWA-A 216 [1]

Der spezifische Energieverbrauch der Abwasserhebwerke liegt mit 205.389 kWh/a deutlich oberhalb des Idealwerts nach DWA-A 216 von 121.500 kWh/a. Die verhältnismäßig größte Abweichung weist das Streckungshebwerk auf, dessen spezifischer Energieverbrauch rd. doppelt so hoch liegt wie der Idealwert.

Die mengenmäßig größte Abweichung weist das Zulaufhebwerk auf, wo ein theoretisches Einsparpotenzial von rd. 68.000 kWh/a besteht. Der Anteil dieses Pumpwerks am Gesamtenergieverbrauch der Kläranlage liegt bei 15,3 %. Daher ist hier mit einem relevanten Energieeinsparpotenzial zu rechnen.

Wie bereits beim Energiecheck festgestellt, weist somit auch der Vergleich mit den anlagenbezogenen Idealwerten ein großes Energieeinsparpotenzial bei den Abwasserhebewerken auf.

3.2.2 Mechanische Reinigung

Die mechanische Reinigung verbraucht rd. 34.361 kWh/a an elektrischer Energie und hat somit einen Anteil von rd. 3 % am gesamten elektrischen Energieverbrauch der Kläranlage.

Den Großteil der von der mechanischen Reinigung benötigten Energie verbraucht der Sandfang mit rd. 29.899 kWh/a, entsprechend rd. 87 %. Der Rechen (8,5 %) und der Vorklärbeckenräumer (4,5 %) sind die übrigen Verbraucher der mechanischen Reinigungsstufe.

In der nachfolgenden Tabelle 3-5 sind von diesen Verbrauchern die spezifischen elektrischen Energieverbräuche und die ermittelten Idealwerte aufgeführt. In Abbildung 3-7 werden diese Werte einander graphisch gegenüber gestellt.

Tabelle 3-5: Spezifischer elektrischer Energieverbrauch der mechanischen Reinigungsstufe

Mechanische Reinigung	E-Verbrauch laut Verbraucher- liste	spez. Energie- verbrauch	Idealwerte DWA-A 216	E-Verbrauch laut Idealwert DWA-A 216
	[kWh/a]	[kWh/(EW·a)]		[kWh/a]
Rechenanlage	2.912	0,08	0,08	2.765
Sandfang	29.889	0,83	0,30	10.866
Vorklärung	1.549	0,04	0,02	629
Gesamt	34.350	0,95	0,40	14.260

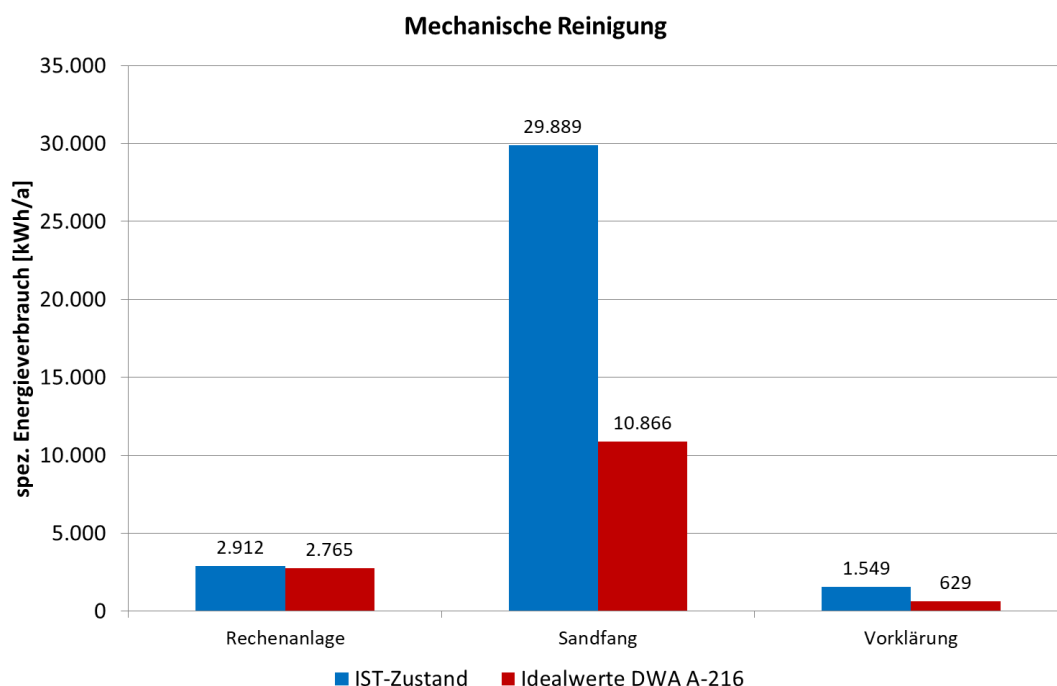


Abbildung 3-7: Gegenüberstellung der spezifischen Energieverbräuche der mechanischen Reinigungsstufe zu den Idealwerten nach DWA-A 216 [1]

Der spezifische Energieverbrauch der Rechenanlage liegt nur minimal unter dem anlagenspezifischen Idealwert.

Der Verbrauch der Sandfanganlage hingegen ist beinahe dreimal so hoch wie der Idealwert. Hauptverbraucher der Sandfanganlage ist die Belüftung. Hier besteht augenscheinlich ein erhöhtes Einsparpotenzial. Hier ist zu überprüfen, ob ein Austausch der Sandfanggebläse energetisch sinnvoll ist. Weiterhin kann eine Optimierung des Lufteintrags zu einer Energieeinsparung führen.

Der spezifische Energieverbrauch des Vorklärbeckenräumer ist zwar doppelt so hoch wie der Idealwert, da allerdings der Anteil des Gesamtverbrauchs der Kläranlage lediglich bei 0,1 % liegt ist dieser Wert bei der Gesamtbetrachtung zu vernachlässigen.

Insgesamt ist bei der mechanischen Reinigungsstufe bei einem Anteil von rd. 3 % am Gesamtstromverbrauch der Kläranlage mit einem vergleichsweise geringen energetischen Einsparpotenzial zu rechnen.

3.2.3 Biologische Reinigung

Die biologische Reinigungsstufe verbraucht gemäß Verbraucherliste rd. 713.976 kWh/a an elektrischer Energie. Dies entspricht einem Anteil von rd. 63,1 % am Gesamtenergieverbrauch der Kläranlage.

Der Energieverbrauch der biologischen Reinigung teilt sich in die Verbraucher Belüftung, Umwälzung, Nachklärung, Rücklaufschlammförderung sowie Rezirkulation auf. Die Belüftung macht mit einem Verbrauch von rd. 453.882 kWh/a den Großteil des Energieverbrauchs der biologischen Reinigungsstufe aus. Die Zirkulation ist mit rd. 102.707 kWh/a der zweitgrößte und die Umwälzung mit rd. 76.795 kWh/a der drittgrößte Verbraucher der biologischen Reinigung.

In der nachfolgenden Tabelle 3-6 sind von diesen Verbrauchern die spezifischen elektrischen Energieverbräuche und die ermittelten Idealwerte aufgeführt. In Abbildung 3-8 werden diese Werte einander graphisch gegenüber gestellt.

Tabelle 3-6: Spezifischer elektrischer Energieverbrauch der biologischen Reinigungsstufe

Biologische Reinigung	E-Verbrauch laut Verbraucher- liste	spez. Energie- verbrauch	Idealwerte DWA-A 216	E-Verbrauch laut Idealwert DWA-A 216
	[kWh/a]	[kWh/(EW·a)]		[kWh/a]
Belüftung	453.882	12,61	10,55	379.667
Umwälzung	76.795	2,13	1,66	59.775
Rezirkulation	102.707	2,85	0,86	30.780
Nachklärung	19.710	0,55	0,32	11.388
Rücklaufschlammförderung	60.882	1,69	0,92	33.011
Gesamt	713.976	19,8	14,3	514.621

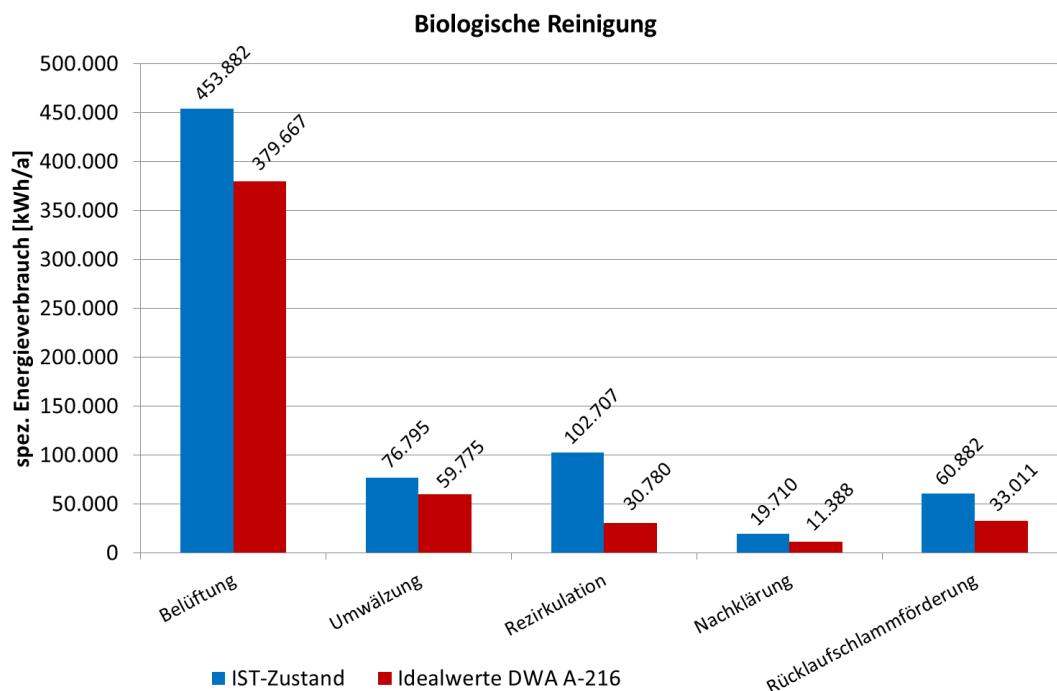


Abbildung 3-8: Gegenüberstellung der spezifischen Energieverbräuche der biologischen Reinigungsstufe zu den Idealwerten nach DWA-A 216 [1]

Der größte Teil des Energieverbrauchs der biologischen Reinigungsstufe entfällt auf die Belüftung der Belebung während der Nitrifikationsphasen. Die Belüftung macht einen Anteil von rd. 64 % des Energieverbrauchs der biologischen Reinigung aus. Laut Tabelle 3-6 besteht für die Belüftung zwischen dem aktuellen spezifischen Energieverbrauch und dem Idealwert nach DWA-A 216 eine Differenz von etwa 74.000 kWh/a. Aufgrund der verfahrenstechnischen Trennung der Belebungsbecken 1/2 und 3/4 auf dem Gemeinschaftsklärwerk Bad Pyrmont-Lügde werden die Belüftungssysteme gesondert betrachtet. In der nachfolgenden Tabelle 3-7 sind die jeweiligen spezifischen elektrischen Energieverbräuche und die ermittelten Idealwerte aufgeführt. In Abbildung 3-9 werden diese Werte einander graphisch gegenüber gestellt.

Tabelle 3-7: Spezifischer elektrischer Energieverbrauch der Beleuchtungsanlage

Beleuchtungsanlage	E-Verbrauch laut Verbraucher- liste	spez. Energie- verbrauch	Idealwerte DWA-A 216	E-Verbrauch laut Idealwert DWA-A 216
	[kWh/a]	[kWh/(EW·a)]		[kWh/a]
Belüftung BB 1/2	238.885	6,64	4,64	167.053
Belüftung BB 3/4	214.997	5,97	5,91	212.613
Umwälzung BB 1/2	44.983	1,25	1,08	38.775
Umwälzung BB 3/4	31.812	0,88	0,58	21.000
Gesamt	530.677	14,74	12,21	439.441

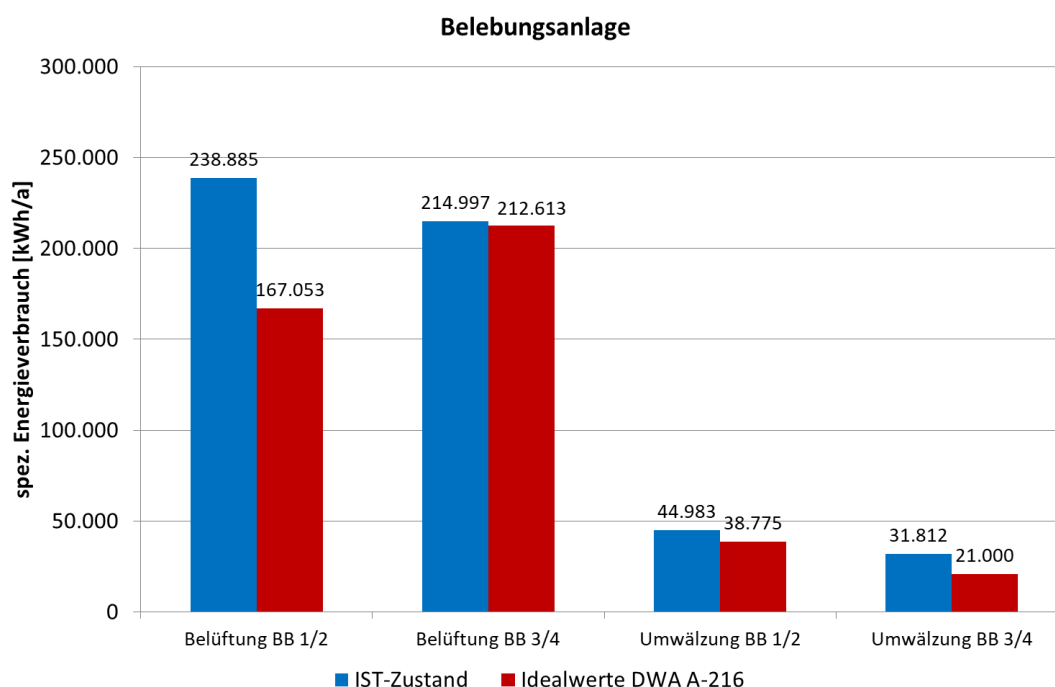


Abbildung 3-9: Gegenüberstellung der spez. Energieverbräuche der Belüftung der Beleuchtungsbecken zu den Idealwerten nach DWA-A 216 [1]

Laut Verbraucherliste liegt der elektrische Energieverbrauch der Belüftung des Beleuchtungsbeckens 1/2 bei rd. 238.885 kWh/a, entsprechend rd. 53 % der benötigten elektrischen Energie der Belüftung. Der spezifische Energieverbrauch liegt etwa 43 % oberhalb des berechneten Idealwertes. Die Differenz beträgt rd. 2,0 kWh/(EW·a), was ein vergleichsweise hohes Einsparpotenzial von rd. 72.000 kWh/a an elektrischer Energie bedeutet.

Die übrigen rd. 47 % der von der Belüftung bezogenen elektrischen Energie entfallen mit einem Energiebedarf von rd. 214.997 kWh/a auf die Belüftung der Belebungsbecken 3/4. Mit einer Differenz zwischen dem Wert des IST-Zustands und dem Idealwert von rd. 0,07 kWh/(EW·a) (rd. 1,12 %) zeigt der elektrische Energieverbrauch der Belüftung der Belebungsbecken 3/4 kein signifikantes Einsparpotenzial. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Belüftung in den Belebungsbecken 3/4 im Jahr 2014 erneuert wurde.

Der spezifische Energieverbrauch der Umwälzung der Belebungsbecken liegt im Vergleich zum Idealwert bereits in einem sehr guten Bereich. Der Energieverbrauch der Nachklärung liegt zwar deutlich oberhalb des Idealwertes, aufgrund des sehr geringen Anteils am Gesamtenergieverbrauch der Kläranlage ist hier jedoch nur mit einem geringen Einsparpotenzial zu rechnen.

Die spezifischen Energieverbräuche der Rücklaufschlammförderung und besonders zur Rezirkulation liegen deutlich oberhalb der jeweiligen Idealwerte. Mit einem theoretischen Einsparpotenzial von rd. 28.000 kWh/a für die Rücklaufschlammförderung und rd. 88.000 kWh/a für die Rezirkulation, ist zu prüfen, ob in diesen Bereichen Einsparmaßnahmen umsetzbar sind.

3.2.4 Schlammbehandlung

Mit einem elektrischen Energieverbrauch von rd. 178.410 kWh/a hat die Schlammbehandlung einen Anteil von rd. 15,8 % am Gesamtenergieverbrauch der Kläranlage.

Die Schlammbehandlung teilt sich in die Energieverbraucher Überschussschlammeindickung, Schlammförderung, Umwälzung Faulbehälter, Rührwerk Vorlagebehälter und Schlamm entwässerung auf. Die Umwälzung des Faulbehälters trägt hier mit 96.360 kWh/a zu dem größten Anteil des Energieverbrauchs bei, gefolgt von der Schlamm entwässerung mit 52.000 kWh/a.

In der nachfolgenden Tabelle 3-8 werden die spezifischen elektrischen Verbräuche und die ermittelten anlagenbezogenen Idealwerte der Schlammbehandlung nach DWA-A 216 aufgeführt. In Abbildung 3-10 werden diese Werte einander graphisch gegenüber gestellt.

Tabelle 3-8: Spezifischer elektrischer Energieverbrauch der Schlammbehandlung

Schlammbehandlung	E-Verbrauch laut Verbraucher- liste	spez. Energie- verbrauch	Idealwerte DWA-A 216	E-Verbrauch laut Idealwert DWA-A 216
	[kWh/a]	[kWh/(EW·a)]		[kWh/a]
ÜS-Eindickung	10.920	0,30	0,15	5.400
Schlammförderung	12.831	0,36	0,07	2.665
Umwälzung Faulturm	96.360	2,68	2,68	96.360
Ruhrwerk Vorlage	6.299	0,17	0,07	2.520
Entwässerung	52.000	1,44	1,18	42.370
Gesamt	178.410	5,0	4,1	149.315

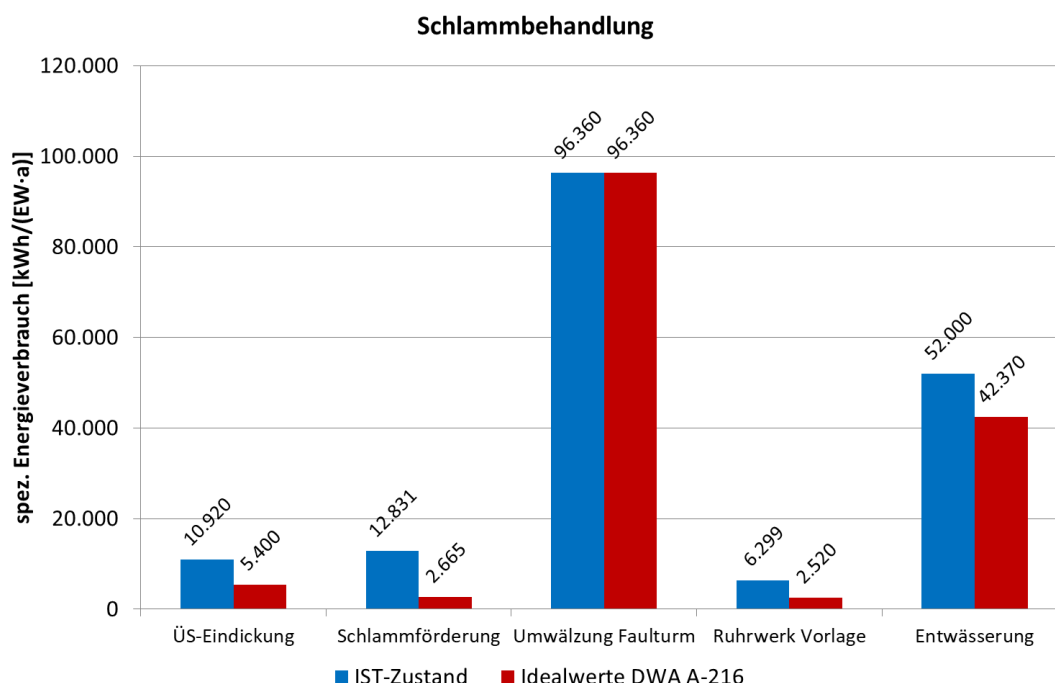


Abbildung 3-10: Gegenüberstellung der spezifischen Energieverbräuche der Schlammbehandlung zu den Idealwerten nach DWA-A 216 [1]

Bei Berechnung des anlagenbezogenen Idealwerts der Faulturmwälzung ergibt einen Wert, der über dem tatsächlichen Verbrauchswert der Umwälzung liegt. Dies deutet ggf. auf eine unzureichende Schlammumwälzung im Faulbehälter hin. Für die weitere Betrachtung des energetischen Optimierungspotenzials des Gemeinschaftsklärwerks Bad Pyrmont-Lügde wird der Idealwert für die Faulturmwälzung dem Verbrauchswert gleichgesetzt. Dies hat zur Konsequenz, dass für

diesen Anlagenteil kein energetisches Optimierungspotenzial besteht. Es sollte allerdings beachtet werden, dass durch eine verbesserte Umwälzung des Faulbehälters eine erhöhte Faulgasausbeute resultieren würde.

Bei der Schlammmentwässerung besteht ein theoretisches Einsparpotenzial von rd. 10.000 kWh/a. Allerdings stammen die Verbrauchswerte aus dem Zeitraum, bevor die Schlammmentwässerung erneuert wurde. Für die neue Entwässerungsanlage sind bislang noch keine Verbrauchsdaten vorhanden. Da die Anlage aber nach dem neusten Stand der Technik errichtet wurde, kann davon ausgegangen werden, dass kein weiteres realistisches Einsparpotenzial besteht.

Die spezifischen Energieverbräuche der Überschussschlammeindickung, der Schlammförderung und der Umwälzung des Vorlagebehälters liegen oberhalb der berechneten Idealwerte nach DWA-A 216. Jedoch ergibt sich aus dem geringen Energieverbrauch dieser Anlagenteile nur ein geringes absolutes Energieeinsparpotenzial. Dem entsprechend lassen sich nur geringe wirtschaftliche Einsparungen erzielen und unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten können keine empfehlenswerten investiven Maßnahmen vorgeschlagen werden.

4. Maßnahmen

Im Folgenden werden verschiedene Maßnahmen zur Verbesserung der verfahrenstechnischen und energetischen Situation auf dem Gemeinschaftsklärwerk Bad Pyrmont-Lügde dargestellt. Dabei werden die Maßnahmen in drei Kategorien unterteilt: „Sofortmaßnahmen“, „Kurzfristige Maßnahmen“ und „Abhängige Maßnahmen“.

Sofortmaßnahmen (S) sind sehr rentabel, haben geringe Investitionen und können aufgrund der technischen und betrieblichen Randbedingungen und den Anforderungen an die Reinigungsqualität sofort realisiert werden.

Realisierungshorizont: 0 – 2 Jahre

Kurzfristige Maßnahmen (K) sind insgesamt wirtschaftlich, sie sind aber mit entsprechenden Investitionen verknüpft und müssen deshalb zunächst in einer detaillierten Planung näher untersucht werden.

Realisierungshorizont: 1 – 5 Jahre

Abhängige Maßnahmen (A) sind an bestimmte Bedingungen geknüpft. So ist es z.B. erst sinnvoll, einen hocheffizienten Motor zum Zeitpunkt des altersbedingten Ersatzes des bestehenden Motors, d.h. nach Ablauf der Nutzungsdauer einzusetzen. Abhängige Maßnahmen können vielfach erst mittel- oder langfristig realisiert werden.

Realisierungshorizont: 1 – 10 Jahre

Zur Berechnung der Einsparpotenziale wird der aktuelle elektrische Energiepreis von 0,268 €/kWh (brutto) angesetzt. Bei zukünftigen, vermutlich höheren Energiepreisen erhöht sich das Einsparpotenzial dementsprechend.

Die CO₂-Einsparungen werden nach dem Strommix der Stadtwerke Bad Pyrmont mit 281 g CO₂ je eingesparter kWh an elektrischer Energie berechnet.

4.1 Sofortmaßnahmen (S)

4.1.1 S1: SPS-Einbindung Nitratmessung

Wie aus der Potenzialanalyse hervorgeht, wird für die unregelmäßige Rückförderung des nitrifizierten Abwassers aus Belebung 3/4 in Belebung 1/2 (Zirkulation) rund 103.000 kWh/a an Energie verbraucht. Das Zirkulationspumpwerk besteht aus

drei Propellerpumpen, von denen eine im Dauerbetrieb läuft und eine bei hoher Nitratbelastung manuell zugeschaltet wird.

Die Zu- und Abschaltung der zweiten Zirkulationspumpe soll durch Umsetzung dieser Maßnahme automatisiert in Abhängigkeit der Nitratkonzentration in Belebungsbecken 3/4 erfolgen. Diese wird im Ablauf der jeweiligen Nitrifikationszone von einer Nitratsonde erfasst und an die SPS übergeben. Zusätzlich soll eine Kopplung zu den Zulaufmengen erfolgen. Die Einsparungen durch eine bedarfsgerechte Regelung der Rezirkulation sind schwer zu ermitteln. Grundsätzlich kann von einer energetischen Einsparung von rd. 5 % ausgegangen werden (5.100 kWh/a). Dementsprechend werden die CO₂-Emissionen um rd. 1,4 t CO₂ pro Jahr reduziert.

Für die Umsetzung dieser Maßnahme muss die Einbindung der bereits durchgeführten Nitratmessung in die Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) der Kläranlage erfolgen. Die Regelung der Zirkulationspumpe kann anschließend in Abhängigkeit der Nitratkonzentration über den bestehenden Frequenzumrichter automatisiert erfolgen.

Unter Berücksichtigung einer Investitionssumme von rd. 3.570 € (brutto) für die Programmierung, einer Abschreibungszeit von 10 Jahren und einem jährlichem Realzins von 3 % ergibt sich daraus eine jährliche Kosteneinsparung von 948 € (brutto).

Weitere Investitionen für einen Frequenzumrichter, die EMSR-Technik und die Planungsleistung sind aufgrund der bestehenden Verhältnisse nicht notwendig. Diese Maßnahme ist daher sowohl energetisch als auch wirtschaftlich zu empfehlen.

Die detaillierte Kostenermittlung ist der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 4-1: Kostenermittlung Maßnahme S1 SPS-Einbindung Nitratmessung

S1: SPS-Einbindung Nitratmessung	
<u>Investitionen</u>	
Programmierung (netto)	3.000 €
Programmierung (brutto)	3.570 €
Abschreibungszeit	10 a
Zinssatz	3,00 %
Annuität	0,1172 -
Jahreskosten	419 €/a
<u>Energieeinsparung</u>	
Zirkulation (5 %)	5.100 kWh/a
Energiekosteneinsparung	1.367 €/a
Kostenbilanz	948 €/a

4.1.2 S2: Betriebsanpassung der Zulaufschnecken

Durch die Anhebung des der Kläranlage zufließenden Abwassers werden jährlich rd. 173.000 kWh/a elektrische Energie verbraucht. Die Potenzialanalyse zeigt, dass für diesen Anlagenteil ein bedeutendes Energieeinsparpotenzial besteht.

Das Zulaufhebwerk besteht aus drei Schneckenpumpen, die jeweils mit FU ausgestattet wird. Die FUs werden allerdings nicht zur Regelung der Pumpenleistung in Abhängigkeit des Abwasserzuflusses genutzt sondern lediglich zum Anfahren der Schneckenpumpen.

Durch den Ausbau der Frequenzumrichter kann dessen Eigenstromverbrauch von rd. 4 % des Gesamtstromverbrauchs der Schnecken vermieden werden. Gleichzeitig kann die aktuelle Funktion der FUs, das behutsame Anfahren der Pumpen, durch den Einbau von Sanftstartern ersetzt werden. Es resultiert eine potenzielle Elektroenergieeinsparung von rd. 6.900 kWh/a und entsprechend eine Einsparung an CO₂-Emissionen von ca. 1,9 t CO₂/a.

Durch den Austausch der FUs entstehen Brutto-Investitionskosten von rd. 7.260 €.

Insgesamt entsteht durch die Umsetzung dieser Sofortmaßnahme ein Kostenvorteil von 998 €/a (brutto). Die detaillierte Kostenermittlung ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 4-2: Kostenermittlung S2 Betriebsanpassung Zulaufschnecken

S2: Betriebsanpassung Zulaufschnecken	
<u>Investitionen</u>	
Ausbau FU's	1.000 €
Sanftstarter	5.100 €
Summe (netto)	6.100 €
Summe (brutto)	7.259 €
Abschreibungszeit	10 a
Zinssatz	3,00 %
Annuität	0,1172 -
Jahreskosten	851 €/a
<u>Energieeinsparung</u>	
Zulaufschnecken (4 %)	6.900 kWh/a
Energiekosteneinsparung	1.849 €/a
Kostenbilanz	998 €/a

4.2 Kurzfristige Maßnahmen (K)

4.2.1 K1: Erneuerung Belüftungssystem Belebungsbecken 1/2

Im Rahmen der Bewertung des IST-Zustandes hat sich herausgestellt, dass das Belüftungssystem der Belebungsbecken 1/2 nennenswerte Energieeinsparpotenziale aufweist. Die derzeit in Betrieb befindliche Druckbelüftung in diesem Belebungsbecken besteht aus zwei Drehkolbengebläsen der Fa. Aerzener und Tellerbelüftern der Fa. GVA, die im inneren Bereich des Rundbeckens montiert sind. Zur Umwälzung des äußeren Beckenrings, dem Denitrifikationsbereich dienen zwei Rührwerke. Ein weiteres Rührwerk ist in der Mitte des Nitrifikationsbeckens angeordnet.

Die Tellerbelüfter sowie die drei Rührwerke sind seit dem Bau des Beckens Anfang der 1990er Jahre in Betrieb. Die Gebläse wurden zuletzt im Jahr 2017 erneuert. Diese werden mit Frequenzumrichtern betrieben.

Das bestehende Belüftungssystem ist nach knapp 30 Betriebsjahren abgängig und bedarf sowohl aus energetischer als auch aus betrieblicher Sicht einer Sanierung. Das vorhandene eher ungleichmäßige und grobblasige Blasenbild bestätigen diesen Eindruck ebenso wie der erhöhte Energieverbrauch der Belüftung dieses Belebungsbeckens im Vergleich zum Belebungsbecken 3/4, in dem die Belüfterelemente im Jahr 2014 erneuert wurden. Im Betrachtungsjahr 2018 verbrauchte die Belüftung des Belebungsbeckens 1/2 rd. 238.885 kWh/a an elektrischer

scher Energie. Der Idealwert für die Belüftung wurde mit rd. 167.053 kWh/a berechnet.

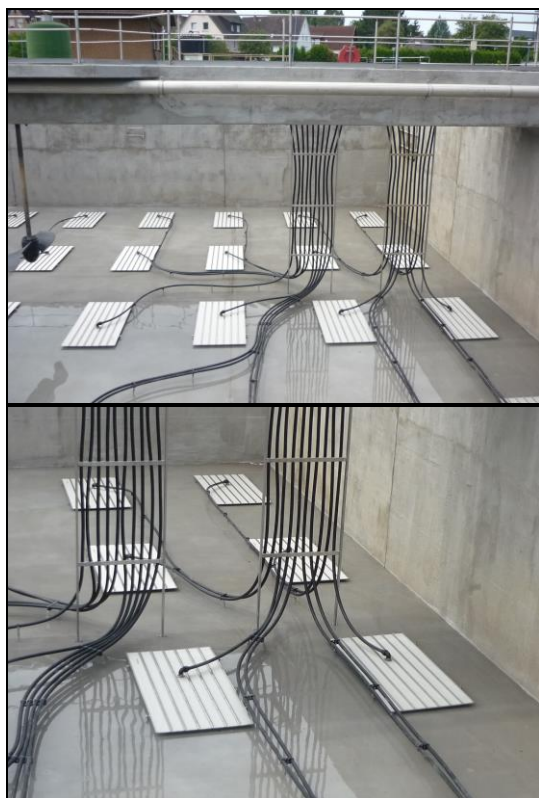


Abbildung 4-1: Neuausrüstung Belüfterplatten Belebungsbecken 3/4

Im Zuge dieser Maßnahme wird eine vollständige Erneuerung des Belüftungssystems vorgesehen. Die bestehenden Tellerbelüfter werden demontiert. Stattdessen wird auf der gesamten Beckengrundfläche des inneren Beckens ein neues hoch-effizientes Belüftungssystem installiert. Bei einem vollständig neuen Belüftungssystem stehen verschiedenste Belüftertypen (Schlauchbelüfter, Plattenbelüfter, Streifenbelüfter) zur Verfügung.

Zusätzlich wird der Austausch eines der beiden dem Becken 1/2 zugeordneten Drehkolbengebläse durch einen energieeffizienteren „hybriden“ Drehkolbenverdichter betrachtet. Drehkolbenverdichter stellen eine Kombination aus herkömmlichen Drehkolbengebläsen und Schraubenverdichtern dar. Sie sind aufgrund ihrer Konstruktion insbesondere bei Drücken > 500 mbar effizienter als herkömmliche Drehkolbengebläse. Drehkolbengebläse sind aufgrund der prozentual ansteigenden Spaltverluste im Teillastbereich deutlich weniger effizient als im Volllastbereich.

Da die Belüftung der Belebungsbecken auf dem Gemeinschaftsklärwerk Bad Pyrmont-Lügde meist im Teillastbereich stattfindet und der Betriebsdruck bei über

500 mbar liegt ist zu überlegen, ob eins der bestehenden Drehkolbengebläse gegen einen Drehkolbenverdichter ausgetauscht wird. Die Drehkolbenverdichter werden von der Fa. Aerzener unter der Bezeichnung „Delta Hybrid“ angeboten und sind etwas teurer als herkömmliche Drehkolbengebläse. Allerdings amortisieren sich die höheren Anschaffungskosten durch den geringeren Energieverbrauch von 10 - 15 % i.d.R. nach wenigen Jahren.

Neben dem Austausch der Belüftungseinrichtungen wird ebenso der Austausch der drei Rührwerke berücksichtigt, da diese ebenfalls nach knapp 30 Betriebsjahren abgängig sind und durch neue energieeffizientere Aggregate ersetzt werden können.

Durch den vollständigen Austausch des Belüftungssystems kann der erforderliche Lufteintrag erheblich verbessert werden und damit der Energieverbrauch der Belüftung maßgeblich reduziert werden. Es wird eine mittlere Sauerstoffausnutzung SSOTR von $22 \text{ gO}_2/(\text{Nm}^3 \cdot \text{m}_{\text{ET}})$ entsprechend der Beckengeometrie angesetzt. Damit berechnet sich eine mittlere erforderliche Luftmenge für das Belebungsbecken 1/2 von rd. $813 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Die maximal erforderliche Luftmenge beträgt voraussichtlich etwa $2.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Die Kosten für die beschriebene Maßnahme werden auf rd. 212.000 € brutto abgeschätzt.

Energetisches Einsparpotenzial:

Durch die Erneuerung des Belüftungssystems kann eine erhebliche Reduzierung des Energieverbrauchs in Belebungsbecken 1/2 dem IST-Zustand erzielt werden. Es ergibt sich eine Energieeinsparung um etwa 27 %. Rd. 78.000 kWh/a können durch diese Maßnahme eingespart werden. Der Energieverbrauch für Belebungsbecken 1/2 (Belüftung + Umwälzung) reduziert sich von 284.000 kWh/a auf 206.000 kWh/a. Bei dem gegebenen Strompreis von 26,8 ct/kWh ergibt sich durch die Elektroenergieeinsparung eine jährliche Kosteneinsparung von rd. 21.000 €/a (brutto).

Zusätzlich ist vorgesehen durch eine Anpassung/Optimierung der Belüftungssteuerung einen möglichst geringen Energieverbrauch bei gleichbleibend guten Ablaufwerten zu erzielen.

Die durch die Energieeinsparung der Belüftung emittierten Mengen an CO_2 reduzieren sich um $21,9 \text{ t CO}_2/\text{a}$. ($281 \text{ gCO}_2/\text{kWh}$)

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung:

Die Investitionskosten, die für diese Variante anfallen, werden unter Berücksichtigung einer Abschreibungsdauer von 15 Jahren und einem Realzins von 3 % zu einem Kapitaldienst von 17.743 €/a (brutto) zusammengefasst. Unter Betrachtung dieses Kapitaldienstes und der jährlichen Stromkosteneinsparung resultiert ein Kostenvorteil von 3.171 €/a (brutto) der durch die Umsetzung dieser Variante entsteht. Die detaillierte Kostenermittlung ist in der folgenden Tabelle übersichtlich dargestellt.

Tabelle 4-3: Kostenermittlung K1 Erneuerung Belüftungssystem BB 1/2

K1: Erneuerung Belüftungssystem BB 1/2			
<u>Investitionen</u>	<u>ME</u>	<u>EP</u>	<u>GP</u>
Belüfterelemente	52 Stck	1.200 €	62.400 €
Falleleitungen	52 Stck	200 €	10.400 €
Ringleitung DN 400	70 m	300 €	21.000 €
Gebläse D52S	1 Stck	24.000 €	24.000 €
Rührwerk	3 Stck	8.200 €	24.600 €
Summe (netto)			142.400 €
Summe (brutto, inkl 25% Baunebenkosten)			211.820 €
Abschreibungszeit			15 a
Zinssatz			3,00 %
Annuität			0,0838 -
Jahreskosten			17.743 €/a
<u>Energieeinsparung</u>			
Belüftung BB 1/2			71.832 kWh/a
Rührwerke			6.208 kWh/a
Summe Energieeinsparung			78.040 kWh/a
Energiekosteneinsparung			20.915 €/a
Kostenbilanz			3.171 €/a

Berücksichtigt man, dass für die Erneuerung des Belüftungssystems Fördermittel im Rahmen der Kommunalrichtlinie 2019 in Höhe von 30 % beantragt werden können, ergibt sich ein zusätzlicher Kostenvorteil. Insgesamt erhöht sich dieser durch die Förderung auf 7.643 €/a (brutto).

Bei der weitergehenden Planung dieser Maßnahme ist zu beachten, dass eine vollständige Bemessung der Belebungsanlage nach aktuellem DWA-A 131 (2016) durchzuführen ist. Außerdem sollten im weiteren Verlauf 2-3 Belüfterhersteller um eine Auslegung des Belüftungssystems gebeten werden.

Einem geschätzten Aufwand von rd. 18.000 €/a, bzw. 13.000 €/a bei Fördermittelzuwendung, steht ein Einsparpotenzial von rd. 21.000 €/a gegenüber. Somit ist die Umsetzung dieser Maßnahme sowohl aus energetisch-ökologischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll.

4.2.2 K2: Verfahrensumstellung Biologische Reinigung

Das übergeordnete Ziel dieser Maßnahme ist es, den enormen Stromverbrauch des Zirkulationspumpwerks von rd. 103.000 kWh/a für die Anhebung von durchschnittlich 434 m³/h Abwasser über eine geodätische Förderhöhe von 70 cm zu reduzieren.

Aktuell fließt das gesamte Abwasser im Freigefälle aus Belebungsbecken 1/2 in Belebungsbecken 3/4, in dem die Belüftung intermittierend stattfindet und wird anschließend mit einer 95 %-igen Rezirkulationsrate über das Zirkulationspumpwerk zurück in Belebungsbecken 1/2 gefördert. Eine interne Rezirkulation innerhalb des Belebungsbeckens 1/2 von dem Nitrifikationsbereich zum Denitrifikationsbereich findet aktuell nicht statt. Im Ablauf von Belebungsbecken 3/4 wird das Abwasser hydraulisch auf die beiden vorhandenen Nachklärbecken aufgeteilt.

Durch die verfahrenstechnische Anpassung der Belebungsanlage zu einer zwei-straßigen Betriebsweise kann auf den Betrieb des Zirkulationspumpwerks verzichtet werden. Die erste Belebungsstraße besteht aus dem Belebungsbecken 1/2, in dem die Denitrifikation vorgeschaltet stattfindet und Nachklärbecken 2. Die zweite Belebungsstraße besteht aus dem intermittierend belüfteten Belebungsbecken 3/4 und Nachklärbecken 1.

Um die Fließwege dementsprechend zu realisieren kann die vorhandene Rohrleitungsinfrastruktur genutzt werden. Es müssen lediglich einzelne Schieber geöffnet bzw. geschlossen werden.

Die Verteilung des Abwassers auf die beiden Belebungsstraßen wird in Abhängigkeit der Behandlungsvolumina durchgeführt. Dementsprechend werden rund 63 % des Abwassers in der ersten Belebungsstraße (BB 1/2, NKB 2) und 37 % der Abwassermenge in der zweiten Belebungsstraße (BB 3/4, NKB 1) behandelt. Die Verteilung des Abwassers findet im Ablauf des Streckungspumpwerks statt und kann entweder hydraulisch über Überfallschieber oder zeitgesteuert erfolgen. Diesbezüglich sind Umbaumaßnahmen am bestehenden Gerinne erforderlich.

In der ersten Belebungsstraße erfolgt die Denitrifikation im äußeren Ring des Belebungsbeckens 1/2 vorgeschaltet. Zur Nitratrückführung muss eine Rezirkula-

tion des Abwassers aus dem Nitrifikationsbereich in den Denitrifikationsbereich stattfinden. Die interne Rezirkulation kann durch den Bau einer horizontal ausgerichteten Propellerpumpe in der Beckenwand zwischen Innen- und Außenring realisiert werden. Die Rezirkulationsmenge beträgt üblicherweise 400 – 500 % des Beckenzulaufs.

Die Belüftung von Belebungsbecken 3/4 erfolgt wie bislang intermittierend. Daher sind keine interne Rezirkulation und keine weiteren verfahrenstechnischen Anpassungen für diese Belebungsstraße notwendig.

Durch die volumenabhängige Aufteilung des Abwassers proportional zu den Belebungsbeckenvolumina wird in Straße 1 der größere Anteil des Abwassers behandelt. So muss nach Umsetzung dieser Maßnahme das Nachklärbecken 2 rd. 288 m³/h aufnehmen. Die Oberfläche dieses Beckens beträgt rd. 1.000 m². Daraus resultiert eine mittlere Oberflächenbeschickung von 0,3 m/h. Dieser Wert wird als ausreichend angesehen.

Die Förderung des Rücklauf- und Überschussschlammes kann über das bestehende Rücklaufschlammumpwerk separat für beide Belebungsstraßen umgesetzt werden. Für die Verteilung bzw. Aufteilung des Rücklauf- und Überschussschlammes sind allerdings bautechnische Anpassungsarbeiten im Ablaufschacht und in den Gerinnen notwendig. Außerdem ist die Anordnung einer zusätzlichen Überschussschlammpumpe für die erste Belebungsstraße notwendig.

Energetisches Einsparpotenzial:

Durch die Vermeidung des Betriebs des Zirkulationspumpwerks können 103.000 kWh/a eingespart werden. Hinzu kommt durch die Umsetzung dieser Variante Energieaufwand für den Betrieb der internen Rezirkulationspumpe in Belebungsbecken 1/2 in Höhe von rd. 14.000 kWh/a sowie für die zusätzlich auszuführende Überschussschlammpumpe in Höhe von rd. 8.300 kWh/a. In Summe ergibt sich eine Energieeinsparung von 80.413 kWh/a. Dies entspricht einer Vermeidung von CO₂-Emissionen in Höhe von 22,6 t CO₂/a.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung:

Investitionen fallen für den Umbau der Abwasserverteilung, die interne Rezirkulationspumpe und den Umbau der Rücklauf-/Überschussschlammverteilung an. Insgesamt fallen Kosten von rd. 150.000 € (brutto) an. Bei Umlage dieser Kosten über den Abschreibungszeitraum von 15 Jahren errechnet sich ein Kapitaldienst von 12.460 €/a (brutto). Demgegenüber steht eine Kosteneinsparung für Elektro-

energie von 21.551 €/a (brutto). Daraus resultiert ein jährlicher Kostenvorteil durch die Umsetzung dieser Maßnahme von 9.090 €/a (brutto). Somit kann diese Maßnahme sowohl energetisch als auch wirtschaftlich sinnvoll dargestellt werden.

Tabelle 4-4: Kostenermittlung K2 Verfahrensumstellung Biologische Reinigung

K2: Verfahrensumstellung Biologische Reinigung			
<u>Investitionen</u>	<u>ME</u>	<u>EP</u>	<u>GP</u>
Verteilerschachtbauwerk	1 psch	50.000 €	50.000 €
Rezi-Pumpe Flygt P 4650	1 Stck	15.000 €	15.000 €
Rücklaufschlammverteilung	1 psch	20.000 €	20.000 €
ÜS-Pumpe BB 1/2	1 Stck	15.000 €	15.000 €
Summe (netto)			100.000 €
Summe (brutto, inkl 25% Baunebenkosten)			148.750 €
Abschreibungszeit			15 a
Zinssatz			3,00 %
Annuität			0,0838 -
Jahreskosten			12.460 €/a
<u>Energieeinsparung</u>			
Zirkulationspumpwerk (100 %)			102.707 kWh/a
Stromverbrauch Rezi BB 1/2			-14.016 kWh/a
Stromverbrauch ÜS-Pumpe BB 1/2			-8.278 kWh/a
Summe Energieeinsparung			80.413 kWh/a
Energiekosteneinsparung			21.551 €/a
Kostenbilanz			9.090 €/a

Neben der Einsparung von Elektroenergie und Kosten, führt diese Maßnahme voraussichtlich zu einer Verbesserung der Ablaufwerte, da durch die geänderte Verfahrensführung die Ausnutzung des im Abwasser vorhandenen Kohlenstoffs zur Denitrifikation in Belebungsbecken 3/4 deutlich verbessert wird. Bisher gelangt lediglich bereits denitrifiziertes Abwasser durch die hintereinander-geschaltete Betriebsführung in Belebungsbecken 3/4, was die Leistung der intermittierenden Denitrifikation aufgrund von mangelndem Kohlenstoff beeinträchtigt. Dieser Umstand wird durch die Umstellung auf eine zweistraßige Belebungsanlage verhindert.

Für die konkrete Umsetzung dieser Maßnahme empfiehlt es sich, zunächst eine detaillierte Nachrechnung der Belebungsanlage durchzuführen.

4.2.3 K3: Neubau BHKW

Die auf dem Gemeinschaftsklärwerk Bad Pyrmont-Lügde bestehende Mikrogasturbine zur Energieerzeugung aus Faulgas ist außer Betrieb und kann aufgrund der Insolvenz des Herstellers und somit fehlender Ersatzteile nicht mehr instand gesetzt werden.

Für den Betrieb einer Kläranlage mit anaerober Schlammstabilisierung ist eine funktionstüchtige energetische Verwertung des entstehenden Faulgases allerdings aus wirtschaftlicher, energetischer und ökologischer Sicht essentiell.

Für die Strom- und Wärmeerzeugung aus Faulgas werden auf Kläranlagen heute vornehmlich Blockheizkraftwerke (BHKW) in Form von Gas-Otto-Motoren eingesetzt. Aus diesem Grund wird die Möglichkeit auch für das Gemeinschaftsklärwerk Bad Pyrmont-Lügde in Betracht gezogen. Diese Maßnahme beinhaltet dementsprechend neben dem Bau eines neuen BHKWs, die Demontage der bestehenden Mikrogasturbine.

Faulgas enthält neben den Hauptkomponenten Methan und Kohlendioxid weitere Bestandteile, die sich schädlich auf den Betrieb des Gassystems und der Verbrennungsmaschinen auswirken können. Zu den potenziell schädlichen Gasbestandteilen zählen hauptsächlich Schwefelverbindungen und Siliziumverbindungen. Durch die Oxidation dieser Verbindungen bilden sich korrosive Säuren und problematische Beläge, die Teile des Motors und der Wärmetauscher schädigen, Ölwechselintervalle verkürzen bzw. den Verschleiß erhöhen. Daher ist die Entfernung von Schwefel und Siliziumverbindungen aus dem Klärgas der Kläranlage unerlässlich. Zur Gasreinigung stellt ein Aktivkohlefilter die wirtschaftlichste Option dar.

Die Ausbauleistung des BHKWs hängt von mehreren Faktoren ab, vor allem vom Gasanfall und den täglichen Betriebsstunden. Um eine energetisch und wirtschaftlich optimale technische Ausführung der energetischen Gasverwertung zu ermitteln empfiehlt es sich, eine detaillierte BHKW-Studie durchzuführen.

Eine kostengünstige Möglichkeit der Aufstellung eines BHKWs ist die Ausführung in Containerbauweise. Als Ort der Aufstellung bietet sich der aktuelle Aufstellungsort der Mikrogasturbine an. Nach der Demontage der Maschinentechnik kann die bestehende Leichtbau-Einhausung der Mikrogasturbine an einen anderen Ort auf dem Gelände der Kläranlage umgestellt werden und als Lager oder zu

sonstigen Zwecken dienen. Alternativ kann geprüft werden, ob die bestehende Einhausung zur Aufnahme eines Gas-Otto-Motors umgenutzt werden kann.

Energetisches Potenzial:

Das energetische Potenzial eines BHKW hängt maßgeblich vom Gasanfall und dessen Zusammensetzung ab. Auf dem Gemeinschaftsklärwerk Bad Pyrmont-Lügde wird die Menge des produzierten Faulgases durch eine Mengenmessung der Fa. Binder bestimmt. Diese Messergebnisse sollten kritisch hinterfragt werden, da sie grundsätzlich als fehlerbehaftet gelten. Im Auswertungszeitraum wird ein mittlerer Faulgasanfall von 775 m³/d gemessen. Der einwohnerspezifische Faulgasanfall gemäß DWA-A 368 beträgt 20 l i. N./(E·d). Für das Gemeinschaftsklärwerk Bad Pyrmont-Lügde resultiert daraus ein theoretischer Gasanfall von 720 m³/d. Für die weitere Betrachtung wird von einer täglichen Faulgasmenge von 700 m³/d ausgegangen.

In der folgenden Tabelle sind die grundlegenden Parameter zur Berechnung der Energieerzeugung aus Faulgas dargestellt.

Tabelle 4-5: Berechnung Stromerzeugung BHKW

Faulgasmenge	Heizwert Methan	CH ₄	WG _{elektr.}	Stromerzeugung
700 m ³ /d	10 kWh/m ³	62 %	33 %	522.753 kWh/a

Durch den Bau eines BHKWs können also theoretisch jährlich rd. 523.000 kWh/a Strom erzeugt werden. Dies entspricht einer Vermeidung von CO₂-Emissionen durch konventionelle Stromproduktion in Höhe von 146,9 t CO₂/a.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung:

Die Investitionskosten zur Umsetzung dieser Maßnahme betragen in Summe rd. 380.000 € (brutto). Umgelegt über die Abschreibungszeit von 15 Jahren ergibt dies einen Kapitaldienst von rd. 32.000 €/a (brutto).

Zu den Abschreibungskosten kommen im Zuge dieser Maßnahme weitere Betriebskosten, die mitbetrachtet werden müssen. Für Wartung und Unterhaltung fallen jährlich rd. 13.000 € (brutto) an. Außerdem muss für die Stromerzeugung in einem BHKW die EEG-Umlage gezahlt werden. Die EEG-Umlage 2020 beträgt 6,756 ct/kWh (brutto). Davon müssen bei der Erzeugung in einem BHKW allerdings nur 40 % gezahlt werden. Bei der beschriebenen Stromerzeugung ergibt dies jährliche Kosten für die EEG-Umlage in Höhe von rd. 14.000 € (brutto).

In einem BHKW wird neben Strom auch Wärme produziert. Der thermische Wirkungsgrad von modernen BHKWs liegt bei rd. 50 %. Somit würde sich eine jährliche erzeugte Wärmemenge von rd. 790.000 kWh_{th}/a errechnen. Diese Menge reicht theoretisch aus um die jährlich benötigte Wärmeenergie der gesamten Kläranlage zu decken. Praktisch allerdings wird in den Wintermonaten zeitweise mehr Wärmeenergie benötigt als durch die Faulgasverwertung im BHKW produziert werden kann. In den vergangenen Jahren wurde das entstehende Faulgas entweder direkt über den Heizkessel oder über die Mikrogasturbine mit einem deutlich höheren thermischen Wirkungsgrad als in einem BHKW thermisch verwertet. Trotzdem wurden jährlich im Schnitt rd. 4.500 kWh/a Erdgas aus externer Quelle bezogen um Wärmeenergie für die Beheizung des Faulbehälters und des Betriebsgebäudes bereitzustellen. Bei vollständiger Faulgasnutzung im BHKW kann in etwa von einer Verdopplung des Bedarfs an extern bezogener Wärmeenergie auf rd. 9.000 kWh/a ausgegangen werden. Somit kommt es laut Berechnung über den Gaspreisrechner der Stadtwerke Bad Pyrmont zu zusätzlichen Erdgaskosten von 255 €/a (brutto).

Zusammengefasst ergeben sich für den Bau eines BHKWs mit zugehöriger Peripherie Jahreskosten in Höhe von 59.000 €/a (brutto). Durch die Stromerzeugung lassen sich im Gegenzug 140.000 €/a (brutto) einsparen. Die resultierende Kosteneinsparung von rd. 81.000 €/a (brutto) verdeutlicht das enorme wirtschaftliche Potenzial das durch diese Maßnahme besteht.

In der nachfolgenden Tabelle ist die Kostenermittlung detailliert dargestellt.

Tabelle 4-6: Kostenermittlung K3 Neubau BHKW

K3: Neubau BHKW			
Investitionen	ME	EP	GP
BHKW	1 Stck	150.000 €	150.000 €
Gasreinigung	1 Stck	50.000 €	50.000 €
Container	1 Stck	20.000 €	20.000 €
Infrastrukturmaßnahmen	1 psch	30.000 €	30.000 €
Demontage Mikrogasturbine	1 psch	5.000 €	5.000 €
Summe (netto)			255.000 €
Summe (brutto, inkl 25% Baunebenkosten)			379.313 €
Abschreibungszeit			15 a
Zinssatz			3,00 %
Annuität			0,0838 -
Kapitaldienst			31.774 €/a
<u>Betriebskosten</u>			
Wartung & Unterhaltung			13.000 €/a
EEG-Umlage			14.127 €/a
Zusätzlicher Erdgasbezug			255 €/a
Jahreskosten			59.156 €/a
<u>Energieeinsparung</u>			
Stromproduktion			522.753 kWh/a
Stromkosteneinsparung			140.098 €/a
Kostenbilanz			80.942 €/a

Aus den genannten wirtschaftlichen und ökologischen Vorteilen empfiehlt es sich dringend die Umsetzung dieser Maßnahme in Angriff zu nehmen.

4.3 Abhängige Maßnahmen (A)

4.3.1 A1: Neubau Sandfang und Vorklärung

Diese Maßnahme beinhaltet den kompletten Neubau des Sandfanges, eines Vorklärbeckens und eines Misch- und Speicherbeckens. Neben den energetischen Einsparpotenzialen begründet sich diese Maßnahme vor allem durch die verschlissene und abgängige bau- und anlagentechnische Ausrüstung dieser Bereiche.

Die Reinigungsleistung des bestehenden Sandfanges wird als unzureichend angesehen und entspricht nicht mehr dem Stand der Technik. Dies führt zu betrieblichen Problemen in den nachgeschalteten Anlagenteilen. Die unzureichende Sandabscheidung sorgt vor allem bei maschinentechnischen Anlagen wie z.B. Pumpen zu einem erhöhten Verschleiß. Außerdem besteht die Gefahr, dass sich

langfristig große Mengen Sand im Faulbehälter absetzen und somit das Faulraumvolumen kontinuierlich verringern.

Es ist der Bau eines neuen 2-straßigen belüfteten Sand- und Fettfanges vorgesehen einschließlich der zugehörigen anlagentechnischen Ausrüstung. Dies beinhaltet auch die Erneuerung der Sandfanggebläse, für die in der Potenzialanalyse ein deutliches Energieeinsparpotenzial aufgezeigt wurde.

Das vorhandene Vorklärbecken hat ein Volumen von rd. 2.800 m³. Dieses Volumen ist bezogen auf das der Kläranlage zufließende Abwasser stark überdimensioniert. Um eine ordnungsgemäße Reinigungsleistung der Vorklärung zu gewährleisten sollte eine Aufenthaltszeit von ungefähr einer Stunde bei maximalem Trockenwetterzufluss im Vorklärbecken eingehalten werden. Dementsprechend würde für die vorherrschenden Verhältnisse ein Vorklärbeckenvolumen von rd. 800 m³ ausreichen. Dieser Wert entspricht einer Grobdimensionierung. In einem nächsten Schritt sollte eine detaillierte Bemessung stattfinden. Es wird allerdings bereits deutlich, dass sich durch eine Verkleinerung des Vorklärbeckens die Eindickung des Primärschlammes verbessert werden würde. Es ist denkbar, dass sich dadurch ebenfalls die Faulgasqualität verbessern lassen würde. Dies lässt sich allerdings nicht konkret beziffern.



Abbildung 4-2: Kombiniertes Sandfang und Vorklärbecken

Neben dem Vorklärbecken wird ein Misch- und Speicherbecken vorgesehen um Zulaufwasserspitzen im Regenwetterfall bzw. bei Starkregenereignissen puffern zu können.

Energetisches Potenzial:

Zwischen dem auf der Kläranlage bestehenden Sandfang und Vorklärbecken besteht ein vergleichsweise großer Höhenunterschied, durch den große Mengen an potenzieller Energie verloren gehen. Die Lage der Vorklärbeckensohle führt

außerdem dazu, dass zur Förderung des Abwassers in die Belebungsbecken ein erneutes Anheben durch das Streckungspumpwerk erforderlich ist.

Das neue Vorklärbecken sollte gegenüber dem bestehenden deutlich höher gebaut werden. Ziel ist es, dass das Abwasser im Freigefälle von Rechen über Sandfang und Vorklärung in die Belebungsbecken fließen kann. Dadurch wird der Betrieb bzw. die Nutzung des Streckungspumpwerks mit einem Energieverbrauch von rd. 32.000 kWh/a hinfällig.

Durch die maschinentechnische Erneuerung von Sandfang und Vorklärung reduziert sich der Energieverbrauch von Sandfanggebläse, Sandbehandlung, Sandfangräumer und Vorklärbeckenräumer. Es wird davon ausgegangen, dass durch den Neubau der maschinentechnischen Ausrüstung die im Zuge der Potenzialanalyse berechneten Idealwerte für den spezifischen Energieverbrauch der einzelnen Aggregate erreicht werden können. Dies hat eine Energieeinsparung von rd. 20.000 kWh/a zur Folge.

Insgesamt summiert sich das Energieeinsparpotenzial durch den Neubau des Sandfangs und der Vorklärung zu rd. 131.000 kWh/a. Dies entspricht einer Einsparung an CO₂-Emissionen von 36,7 t CO₂/a.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung:

Die durch die Umsetzung dieser Maßnahme eingesparte Elektroenergie führt zu Stromkosteneinsparungen von rd. 35.000 €/a. Demgegenüber stehen Investitionskosten von d. 3,7 Mio. €, die umgelegt über die Abschreibungsdauer Jahreskosten von rd. 190.000 €/a verursachen. Eine Übersicht ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 4-7: Kostenermittlung A1 Neubau Sandfang und Vorklärung

A1: Neubau Sandfang und Vorklärung			
Investitionen	ME	EP	GP
Neubau Sandfang + Sandfanggebläse	1 psch	1.000.000 €	900.000 €
Neubau Vorklärung + Ausgleichsbecken	1 psch	2.000.000 €	1.600.000 €
Summe (netto)			2.500.000 €
Summe (brutto, inkl 25% Baunebenkosten)			3.718.750 €
Abschreibungszeit			30 a
Zinssatz			3,00 %
Annuität			0,0510 -
Jahreskosten			189.728 €/a
Energieeinsparung			
Streckungspumpwerk (100 %)			32.222 kWh/a
SF-Gebläse			16.620 kWh/a
SF-Räumer			2.413 kWh/a
VKB-Räumer			920 kWh/a
Summe Energieeinsparung			52.175 kWh/a
Energiekosteneinsparung			13.983 €/a
Kostenbilanz			-175.745 €/a

Es lässt sich sagen, dass die Umsetzung dieser Variante vor dem Hintergrund der Energiekosteneinsparung nicht wirtschaftlich ist. Allerdings muss beachtet werden, dass die Erneuerung des Sandfangs und der Vorklärung aus den genannten betrieblichen Gründen sowieso in naher Zukunft stattfinden muss. Dies ist unabhängig vom Energieverbrauch bzw. dem Energieeinsparpotenzial.

Somit lässt sich zusammenfassen, dass die genannten Kosten zwangsläufig für eine weiterhin gesicherte leistungsgemäße Abwasserreinigung des Gemeinschaftsklärwerks Bad Pyrmont-Lügde anfallen werden, dadurch aber positive energetische bzw. ökologische Auswirkungen entstehen.

4.4 Zusammenstellung der Maßnahmen

Eine Zusammenstellung der ermittelten Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz des GKW Bad Pyrmont-Lügde mit einer entsprechenden Handlungsempfehlung ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 4-8: Maßnahmenübersicht

Nr.	Maßnahmen Energieanalyse Bad Pyrmont	Investitions- kosten (brutto)	Elektroenergie- einsparung	Jahreskosteneinsparung (brutto)	Handlungsempfehlung
S1	PLS-Einbindung Nitratmessung	3.600 €	5.100 kWh/a	950 €/a	direkte Umsetzung
S2	Betriebsanpassung Zulaufschnecken	7.300 €	6.900 kWh/a	1.000 €/a	direkte Umsetzung
K1	Erneuerung Belüftungssystem BB 1/2	212.000 €	78.000 kWh/a	3.200 €/a (ohne Förderung) 7.600 €/a (mit Förderung)	direkte Umsetzung
K2	Verfahrensumstellung Biologie	149.000 €	80.400 kWh/a	9.000 €/a	Nachrechnung Biologie und Prüfung betrieblicher Rahmenbedingungen
K3	Neubau BHKW	379.000 €	523.000 kWh/a	80.000 €/a	direkte Umsetzung
A1	Neubau Sandfang und Vorklärung	3.700.000 €	52.200 kWh/a	-176.000 €/a	langfristige Umsetzung

Die beiden Sofortmaßnahmen können ohne großen Aufwand direkt durchgeführt werden. Daher kann die zeitnahe Umsetzung dieser Maßnahmen empfohlen werden, trotz des vergleichsweise geringen Energieeinsparpotenzials.

Die kurzfristige Maßnahme K1 Erneuerung des Belüftungssystems in Belebungsbecken 1/2 wird als grundsätzlich notwendig betrachtet. Die bestehenden Belüterelemente sowie Rührwerke sind abgängig und die bestehenden Drehkolbengebläse können durch effizientere „hybride“ Drehkolbenverdichter ersetzt werden. Da diese Maßnahme auf der einen Seite ohnehin notwendig ist und auf der anderen Seite im Rahmen der Kommunalrichtlinie 2019 mit bis zu 30 % gefördert werden kann, empfiehlt sich die zeitnahe Umsetzung. Auf Grundlage dieser Studie sollte im Anschluss eine detaillierte Entwurfsplanung für die Erneuerung des Belüftungssystems in Belebungsbecken 1/2 mit dem Ziel der maschinentechnischen Ausführung durchgeführt werden.

Die kurzfristige Maßnahme K2 Verfahrensumstellung der biologischen Reinigung beinhaltet ein hohes Energie- und Kosteneinsparpotenzial. Die Umsetzung dieser Maßnahme ist allerdings mit einem gewissen betrieblichen Aufwand verbunden, da die gesamte Verfahrenstechnik der Belebungsanlage umgestellt wird. Das Betriebspersonal muss bezüglich der neuen Verfahrensweise geschult werden. Außerdem besteht ein Risiko bezüglich der Dauer der Anlaufphase der geänderten Betriebsführung. Somit ist eine tiefergehende Prüfung der betrieblichen Rahmenbedingungen erforderlich. Um ein detailliertes Konzept für die Verfahrensweise zu entwickeln, sollte eine Nachrechnung der biologischen Reinigungsstufe durchgeführt werden. Grundsätzlich kann diese Maßnahme nur erfolgreich umgesetzt werden, wenn vorher die beschriebene Maßnahme K1 Erneuerung des

Belüftungssystems BB 1/2 umgesetzt wurde, da eine funktionstüchtige Belüftung der Belebungsbecken für die Verfahrensumstellung vorausgesetzt wird.

Die kurzfristige Maßnahme K3 Neubau eines BHKWs sollte schnellstmöglich umgesetzt werden. Da die bestehende Mikrogasturbine langfristig nicht reparierbar ist, gehen ohne den Betrieb eines BHKWs täglich große Mengen an potenziell erzeugbarer Elektroenergie verloren. Die Verbrennung von Faulgas über die Gasfackel sollte aus ökologischen und wirtschaftlichen Gründen vermieden werden. Die vorhandene Notfackel ist zudem nicht auf den Dauerbetrieb ausgelegt. Daher wird die Durchführung einer BHKW-Studie zur Ermittlung der standortspezifischen Parameter für einen darauffolgenden Neubau eines BHKWs empfohlen.

Die abhängige Maßnahme A1 Sanierung des Sandfanges und der Vorklärung sollte zur Sicherstellung einer ordnungsgemäßen mechanischen Abwasserreinigung langfristig umgesetzt werden. Die bestehende Sandabscheidung ist unzureichend. Das bestehende Vorklärbecken ist betontechnisch sanierungsbedürftig und aufgrund der zusätzlichen Funktion als Ausgleichsbecken verfahrenstechnisch für die eigentliche Funktion der Abwasserreinigung deutlich zu groß dimensioniert. Neben der betrieblichen Verbesserung führt diese Maßnahme ebenso zu einer bedeutsamen Energieeinsparung. Da diese allerdings in keinem Verhältnis zu den enormen Investitionskosten stehen, kann die Umsetzung dieser Maßnahme nicht auf Grundlage der Energiekosteneinsparung begründet werden. Dennoch sollte diese Maßnahme langfristig für eine leistungsgerechte Abwasserreinigung umgesetzt werden.

Die genannten Maßnahmen lassen sich auf unterschiedliche Art und Weise kombinieren, sodass der theoretische Energiebedarf der Kläranlage nach Umsetzung der Maßnahmen deutlich reduzieren lässt. Die Maßnahme K3 Neubau BHKW führt nicht zu einer direkten Energieeinsparung, sondern zu einer zusätzlichen Energieproduktion. Diese Maßnahme ist unabhängig von den anderen dargestellten Maßnahmen. Betrachtet man die Maßnahmen, die zu einer direkten Stromeinsparung führen bestehen Abhängigkeiten zwischen diesen. Die Maßnahmen S1 PLS-Einbindung Nitratmessung und K2 Verfahrensumstellung Biologie beziehen sich beide auf den Energieverbrauch des Zirkulationspumpwerks. Da durch die Verfahrensumstellung der Biologie das Zirkulationspumpwerk gänzlich entfällt, wird nur diese Maßnahme für das Gesamteinsparpotenzial betrachtet. Dieses Gesamteinsparpotenzial resultiert aus der Kombination der Maßnahmen:

- S2 Betriebsanpassung Zulaufschnecken (6.900 kWh/a)
- K1 Erneuerung Belüftungssystem BB 1/2 (78.000 kWh/a)
- K2 Verfahrensumstellung Biologie (80.400 kWh/a)
- A1 Neubau Sandfang und Vorklärung (52.200 kWh/a)

und summiert sich zu rd. **217.500 kWh/a**.

Die Maßnahme K2 Verfahrensumstellung Biologie ist, wie beschrieben, abhängig von vorherigen Umsetzung der Maßnahme K1 Erneuerung Belüftungssystem BB 1/2.

Der Neubau von Sandfang und Vorklärung kann entweder in Kombination mit der Verfahrensumstellung der Biologie oder separat ausgeführt werden. Im Falle der Kombination der beiden Maßnahmen werden sowohl das Zirkulationspumpwerk, als auch das Streckungspumpwerk nicht mehr benötigt. Wenn nur Sandfang und Vorklärung neu gebaut werden, die Biologie aber nicht umgestellt wird, kann die Zirkulation des Abwassers über das Streckungspumpwerk durchgeführt werden. Die vorhandene Infrastruktur und Hydraulik lässt dies zu. Somit könnte auf das bestehende Zirkulationspumpwerk verzichtet werden. In Summe lässt sich jedoch mehr Energie einsparen, wenn beide Maßnahmen umgesetzt werden.

In der folgenden Tabelle sind die Potenziale der Elektro- und Wärmeenergie aus der Kombination der Maßnahmen dargestellt.

Tabelle 4-9: Energiepotenzial durch Kombination der Maßnahmen

	IST-Zustand	Erwartung nach Umsetzung der Maßnahmen
Stromverbrauch	1.107.667 kWh/a	890.000 kWh/a
Gesamtstromeinsparpotenzial	-	217.500 kWh/a
Eigenstromerzeugung	0 kWh/a	523.000 kWh/a
Wärmebedarf Kläranlage	720.000 kWh/a	720.000 kWh/a
Erdgasverbrauch Kläranlage	4.500 kWh/a	9.000 kWh/a
Eigenwärmeversorgungsgrad	99,4 %	98,8 %
Spezifischer Energiebedarf	30,8 kWh/(E·a)	10,3 kWh/(E·a)
Anteil der Eigenenergieerzeugung	39,1 %	76,6 %

Durch die Gesamtstromeinsparung von 217.500 kWh_{el}/a und die Eigenstromerzeugung von 523.000 kWh_{el}/a unter Berücksichtigung des Mehrverbrauchs an Wärme von 4.500 kWh_{th}/a würde sich insgesamt der spezifische Energieverbrauch des Gemeinschaftsklärwerks Bad Pyrmont-Lügde auf **10,3 kWh/(E·a) reduzieren.**

Der berechnete Anteil der Eigenenergieerzeugung beträgt nach Umsetzung der Maßnahmenkombination **76,6 %**. Dieser setzt sich zusammen aus einem Eigenstromversorgungsgrad von $523.000 / 890.000 = 59,8 \%$ und dem Eigenwärmeverorgungsgrad von 98,8 %.

5. Zusammenfassung

Das Gemeinschaftsklärwerk Bad Pyrmont-Lügde ist für eine Bemessungsbelastung von 65.000 EW ausgelegt. Die mittlere CSB-Belastung wurde im Zuge der energetischen Feinanalyse auf 36.000 EW festgelegt.

Der Gesamtstromverbrauch der Kläranlage beläuft sich für das Jahr 2018 auf rd. 1.107.000 kWh/a. Davon werden 100 % von den Stadtwerken Bad Pyrmont bezogen. Die Kosten für den elektrischen Energiebezug betragen bei einem gegenwärtigen Strompreis von etwa 0,268 €/kWh rd. 297.000 €/a.

Anhand einer erstellten Verbraucherliste wird der Gesamtstromverbrauch der Kläranlage auf die vier Verfahrensstufen Abwasserhebwerke, mechanische Reinigung, biologische Reinigung und Schlammbehandlung aufgeteilt. Größter Verbraucher ist mit deutlichem Abstand die biologische Reinigung. Der hohe Energieverbrauch für die biologische Reinigung resultiert hauptsächlich aus der Druckbelüftung der Belebungsbecken.

Zur Bewertung des aktuellen Stromverbrauchs wird dieser mit den berechneten anlagenspezifischen Idealwerten nach DWA-A 216 [1] verglichen. Für das Gemeinschaftsklärwerk Bad Pyrmont-Lügde ergibt sich ein spezifischer Energieverbrauch von 30,8 kWh/(E·a). Dieser Wert ist im groben Vergleich mit anderen Anlagen etwas besser als der Durchschnitt, aber der für die Anlage errechnete Idealwert von 21,8 kWh/(E·a) zeigt, dass noch ein deutliches Optimierungspotential besteht.

Zur Verringerung des Energieverbrauchs und zur Verbesserung des Anlagenbetriebs wurden die im Folgenden aufgelisteten Maßnahmen entwickelt. Diese werden in Sofortmaßnahmen (S), Kurzfristige Maßnahmen (K) und Abhängige Maßnahmen (A) unterteilt.

- S1 PLS-Einbindung Nitratmessung
- S2 Betriebsanpassung Zulaufschnecken
- K1 Erneuerung Belüftungssystem BB 1/2
- K2 Verfahrensumstellung Biologie
- K3 Neubau BHKW
- A1 Neubau Sandfang und Vorklärung

Eine Maßnahme, die entscheidend zur Reduzierung des Energieverbrauchs beiträgt, ist die Erneuerung des Belüftungssystems für Belebungsbecken 1/2. In diesem Bereich besteht ohnehin Handlungsbedarf, da ein Großteil der Anlagenausrüstung altersbedingt erneuerungsbedürftig ist. Daher sind in diesem Bereich Investitionen unumgänglich. Dies sollte man zum Anlass nehmen die Belüftung auch energetisch auf den neuesten Stand zu bringen. Zudem besteht die Möglichkeit für die Erneuerung des Belüftungssystems Fördermittel über die Kommunalrichtlinie 2019 zu beantragen. Diese energetische Feinanalyse kann als Grundlage zur Fördermittelbeantragung genutzt und dem Antrag beigelegt werden.

Mit Umsetzung der Maßnahmen kann der spezifische Energieverbrauch schrittweise verringert werden. Da die Maßnahmen der PLS-Einbindung der Nitratmessung und die Verfahrensumstellung der Biologie sich beide auf die Reduzierung des Stromverbrauchs des gleichen Pumpwerks beziehen, wird zur Ermittlung des Gesamteinsparpotenzials die PLS-Einbindung der Nitratmessung nicht berücksichtigt.

Wird die empfohlene Kombination der Maßnahmen vollständig umgesetzt, kann ein spezifischer Energiebedarf des Gemeinschaftsklärwerks Bad Pyrmont-Lügde von 10,3 kWh/(E·a) erreicht werden. Der Idealwert nach DWA-A 216 wurde zu 7,7 kWh/(E·a) berechnet (inklusive Eigenenergieerzeugung).

Bis auf den Neubau von Sandfang und Vorklärung können alle Maßnahmen durch das Energiekosteneinsparpotenzial als wirtschaftlich dargestellt werden. Der Neubau von Sandfang und Vorklärung wird aus betrieblichen Gründen langfristig dennoch empfohlen.

Das aufgezeigte Energieeinsparpotential bedeutet eine CO₂-Reduktion von rd. 208 t CO₂/a. Die Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen stellt somit auch einen nennenswerten Beitrag zum Klimaschutz dar.

Aufgestellt

Hannover, im April 2020

Prof. Dr.-Ing. J. Müller-Schaper

6. Literatur

- [1] DWA-A 216 (2015): Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrsg.), Hennef
- [2] PINNEKAMP, J.; SCHRÖDER, M.; BOLLE, F.-W.; GRAMLICH, E.; GREDIGK-HOFFMANN, S.; KOENEN, S.; LODERHOSE, M.; MIETHIG, S.; OOMS, K.; RIßE, H.; SEIBERT-ERLING, G.; SCHMITZ, M.; WÖFFEN, B.; (2017): Energie und Abwasser Handbuch NRW; Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Düsseldorf
- [3] MINISTERIUM FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT (MURL) DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (1999): Handbuch Energie in Kläranlagen, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Düsseldorf