



Stadt Rhede

Abschlussbericht

Potenzialanalyse der Kläranlage Rhede

Gefördert durch:



Havixbeck, im Januar 2020

Auftraggeber: Stadt Rhede
Rathausplatz 9
46414 Rhede

.....
Unterschrift

Aufgestellt durch: Ingenieurbüro Rummler + Hartmann GmbH
Hohenholter Straße 14 a
48329 Havixbeck

Bearbeitung: Emily Fokin M.Sc.
Jonas Sabe B.Eng.
Dipl.-Ing. Manfred Rummler



.....
Dipl.-Ing. Manfred Rummler

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

1	Veranlassung	1
2	Bestandsaufnahme	1
2.1	Beschreibung der Kläranlage Rhede	1
2.1.1	Anfallende Schlammengen und produzierte Faulgasmenge.....	5
2.1.2	Schlamm Entsorgung	5
2.1.3	Sanierungsbedarf von Bau-, Maschinen- und EMSR-Technik.....	5
2.2	Reinigungsleistung	6
2.3	Bestimmung des Stromverbrauchs.....	7
2.4	Wärmebedarf.....	10
2.5	Strom- und Wärmeerzeugung	11
2.6	Energiebilanz.....	11
3	Berechnung der anlagenbezogenen Idealwerte	13
3.1	Strombedarf	13
3.2	Wärmebedarf.....	18
3.3	Strom- und Wärmeerzeugung	19
4	Hinweise zur Berücksichtigung des Teillastverhaltens.....	19
5	Potenzialanalyse.....	20
5.1	Gegenüberstellung der Verbrauchswerte mit den Idealwerten	20
5.2	Ermittlung von Energieeffizienz- und Energieeinsparmaßnahmen.....	21
5.3	Definition von Einspar- und Versorgungszielen.....	23
5.4	Beschreibung der Kläranlage nach der geplanten energetischen Optimierung – Strategie zur Umsetzung der Ziele	23
6	Ableitung von Optimierungsmaßnahmen und Fahrplan zur Umsetzung	24
6.1	Retrospektive.....	24

6.2	Beschreibung der Energieeinspar- und Energieeffizienzmaßnahmen	25
6.2.1	Einsparpotenzial.....	25
6.2.2	Bautechnische Maßnahmen	26
6.2.3	Erneuerung der Belüftung	32
6.2.4	Erneuerung von Pumpen und Motoren.....	36
6.3	Kosten für die Maßnahmen zur energetischen Optimierung.....	41
6.4	Umsetzungsfahrplan	41
6.4.1	Kurzfristige Maßnahmen	42
6.4.2	Mittelfristige Maßnahmen.....	44
6.4.3	Langfristige Maßnahmen	45
7	Fazit und Ausblick	46
8	Literaturverzeichnis	47
9	Anlagen	I
I.	Fließschema Bestand	I
II.	Fließschema Planung	II

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Luftbild der Kläranlage (verändert nach Drohnenbild Bocholter Zeitung, 2017)	2
Abbildung 2: Fließschema Kläranlage - Bestand (IRH, 2019)	3
Abbildung 3: Energieverbrauch einzelner Verfahrensstufen der Kläranlage Rhede	9
Abbildung 4: Mittlere Verbrauchswerte einzelner Stromverbrauchsstellen auf Belebungsanlagen der GK 4 und 5 (Baumann, P. et al. (2014))	10
Abbildung 5: Spezifischer Stromverbrauch der KA Rhede vor der energetischen Optimierung (verändert und ergänzt nach DWA 216, 2015).....	12
Abbildung 6: Effizienzklassen nach DIN-EN 60034-30 (EnergieAgentur.NRW, 2010).....	36
Abbildung 7: Einfluss des Trockensubstanzgehaltes auf den Sauerstoffverbrauch bei Anlagen mit Nitrifikation/Denitrifikation (15° C Abwassertemperatur) nach Baumann, P. et al. (2014).....	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Reinigungsleistung Kläranlage Rhede (2018)	6
Tabelle 2: 31. DWA Leistungsvergleich aus 2018.....	7
Tabelle 3: Ergebnisse der überschlägigen Berechnung im Zeitraum 01.10.2018 bis 30.09.2019.....	8
Tabelle 4: Energiebilanz Stromverbrauch und -erzeugung.....	12
Tabelle 5: Stromverbrauch einzelner Aggregate entsprechend der Idealwertberechnung	17
Tabelle 6: Gegenüberstellung Energieverbrauch – Idealwerte.....	21
Tabelle 7: Zusammenstellung der Investitionskosten für Maßnahmen zur energetischen Optimierung.....	41

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Definition
$\cos \varphi$	Phasenwinkel zwischen den Phasen des Drehstroms
ΔT	Temperaturdifferenz
η	Wirkungsgrad
a	Jahr
BB	Belebungsbecken
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
E_{el}	elektrische Energie
e_{spez}	Spezifischer Energiebedarf
E_{th}	Thermische Energie
EVU	Energieversorgungsunternehmen
EW	Einwohnerwerte
FU	Frequenzumrichter
GK	Größenklasse einer Kläranlage
h_d	Einblastiefe
h_v	Druckverluste
I	Elektrische Stromstärke
kWh	Kilowattstunde
MID	Magnetisch-Induktive-Durchflussmengenmessung
MULNV NRW	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
MWh	Megawattstunde
N_{ges}	Gesamtstickstoff
NKB	Nachklärbecken
P	Leistung
PAK	Pulveraktivkohle
P_{el}	Elektrische Leistung

P_{ges}	Gesamtphosphor
PV	Photovoltaik
q_L	Spezifischer Lufteintrag
Q_L	Luftvolumenstrom
Q_{PS}	Primärschlammmenge
$Q_{üs}$	Überschussschlammmenge
RW	Rührwerk
SF	Sandfang
t	Laufzeit
TNb	Gesamtstickstoff (Total Nitrogen bounded)
TS	Trockensubstanz
U	Elektrische Spannung
V	Volumen
W	Watt

1 Veranlassung

Die Stadt Rhede beabsichtigt, im Rahmen eines Förderprogramms des Projektträgers Jülich, die Kläranlage Rhede bezüglich ihrer Stromverbräuche und des Wärmebedarfs zu bilanzieren sowie eine Potenzialstudie durchzuführen. Das Ingenieurbüro Rummler + Hartmann GmbH wurde, neben der Bearbeitung der Entwurfs- und Genehmigungsplanung zur Modernisierung und Leistungssteigerung der Kläranlage, mit der Erstellung dieser Potenzialanalyse beauftragt.

Im kommunalen Bereich ist die Abwasserreinigung der größte Einzelverbraucher von Energie. Daher sollten vor allem in diesem Bereich mögliche Einsparpotenziale untersucht und umgesetzt werden. Im Hinblick auf die stetig steigenden Energiekosten sowie der Einsparung von CO₂ stellt die Umsetzung einer Untersuchung zu möglichen Energiespar- und Energieeffizienzmaßnahmen auf Kläranlagen einen wichtigen Schritt dar.

Die Durchführung der Datenerhebung und die Untersuchungen zur energetischen Optimierung sollen gemäß der Vorgehensweise der „Potenzialstudie Abwasserbehandlung“ des Projektträgers Jülich durchgeführt werden. Die Erstellung der Untersuchung basiert auf dem Energiehandbuch NRW 2.0 „Energie in Abwasseranlagen“ sowie dem Arbeitsblatt der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) A 216 „Energiecheck und Energieanalyse“.

Für die Potenzialstudie auf der Kläranlage Rhede wurde der Zeitraum zwischen dem 1. Oktober 2018 und dem 30. September 2019 (1 Jahr) ausgewählt, um repräsentative und vergleichbare (vergleichbar mit Idealwerten) Ergebnisse zu erhalten. Grund dafür ist, dass es in dieser Zeit keine besonderen Betriebsbedingungen auf der Kläranlage gab. Anfang 2018 wurde das Belebungsbecken 2 (Nr. 18 in Abbildung 1) umfahren, sodass der Abwasservollstrom in Belebungsbecken 1 (Nr. 6 in Abbildung 1) behandelt wurde.

2 Bestandsaufnahme

2.1 Beschreibung der Kläranlage Rhede

Um einen besseren Überblick über die Kläranlage Rhede zu erlangen, ist nachstehend ein Luftbild des Geländes dargestellt. Im Wesentlichen besteht die Kläranlage aus den in Abbildung 1 ersichtlichen und im Folgenden aufgelisteten Anlagenkomponenten:



Abbildung 1: Luftbild der Kläranlage (verändert nach Drohnenbild Bocholter Zeitung, 2017)

1. Einlaufgruppe (Betriebsgebäude mit Zulaufpumpwerk, Rechenanlage, Sandfang sowie Rechen- und Sandfanggutbehandlung, Bandeindicker)
2. Hochlastbiologie (1.280 m³, bereits abgerissen, am Standort Neubau des Sozialgebäudes)
3. Zwischenklärung Hochlastbiologie (1.620 m³)
4. Primärschlammumpwerk/Rücklaufschlammumpwerk Hochlastbiologie
5. alte Biologie (2.050 m³, aktuelle Nutzung als Störfallbecken)
6. Belebungsbecken 1 (6.800 m³)
7. Nachklärbecken 1 (2.750 m³)
8. Rücklaufschlammumpwerk
9. Faulbehälter (1.100 m³)
10. Maschinenhaus mit Faulschlammumwälzung, Heizungsanlage und Werkstatt
11. Alter Voreindicker (213 m³, aktuelle Nutzung als Filtratwasserspeicher)
12. Sozialgebäude mit Labor
13. Nachklärbecken 2 (2.750 m³)
14. Gasspeicher (300 m³)
15. Schlammmentwässerungsgebäude
16. Biofilter

- 17. Fahrzeughalle
- 18. Belebungsbecken 2 (3.400 m³)
- 19. Statische Nacheindicker (2 x 260 m³)
- 20. Auslaufbauwerk/MID-Schacht

In Abbildung 2 sind die aktuellen Abwasser- und Schlammwege auf der Kläranlage Rhede ersichtlich.

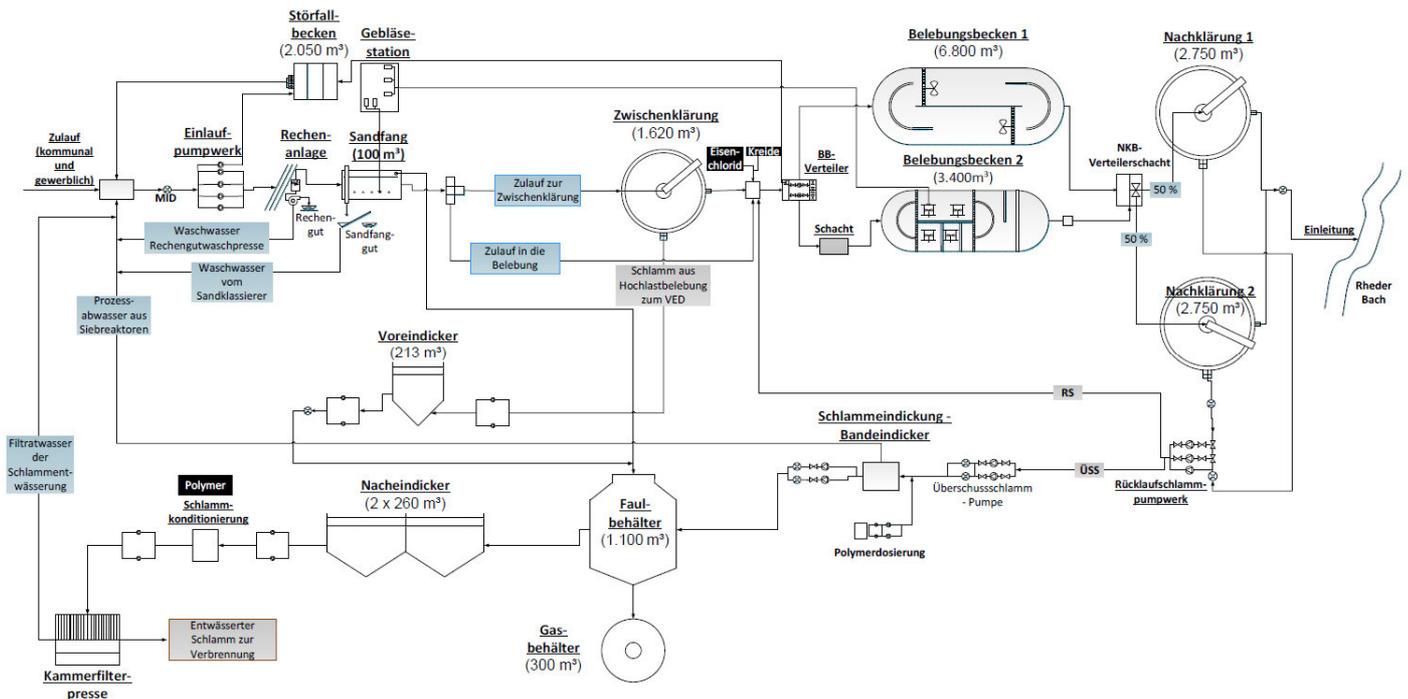


Abbildung 2: Fließschema Kläranlage - Bestand (IRH, 2019)

Die erste Ausbaustufe der Kläranlage Rhede wurde bereits in den Jahren 1956/57 errichtet. In den nachfolgenden Jahren wurde die Kläranlage ständig erweitert und an die entsprechenden Anforderungen angepasst (1969/71, 1979/81, 1991/92, 1996/99). Die letzten großen Umbauarbeiten erfolgten im Jahr 2010 mit dem Bau eines zweiten Nachklärbeckens. Die aktuelle Ausbaugröße von 43.000 EW der Kläranlage entspricht dem genehmigten Entwurf aus dem Jahr 1996.

Den verfahrenstechnischen Anfang der Kläranlage bildet der Kläranlagenzulauf in der sogenannten Einlaufgruppe (Betriebsgebäude im Zentrum des Kläranlagengeländes). Die Zuflüsse aus Rhede werden zunächst über vier Abwasserpumpen angehoben. Hinter dem Hebeschacht wird das Abwasser zur mechanischen Abwasserbehandlung geleitet. Zunächst wird der Rechen durchflossen. Es folgt der Sand- und Fettfang, in dem das Abwasser von den wesentlichen Sand- und Fettfrachten befreit wird.

Nach der mechanischen Reinigung wird das Abwasser derzeit über die Zwischenklärung geleitet. Die Zwischenklärung wird seit der Außerbetriebnahme der Hochlastbiologie als Vorklärung betrieben. Die Hochlastbiologie wird seit Weggang eines größeren Textilindustriebetriebes nicht mehr benötigt. Der anfallende Primärschlamm wird direkt in den Faulbehälter gepumpt. Das Abwasser wird anschließend in die zwei Belebungsbecken (derzeit Belebungsbecken 1 und 2) gleichmäßig aufgeteilt, womit die biologische Abwasserreinigung beginnt. Das flache Belebungsbecken 1 mit einem Volumen von $V_{BB1} = 6.800 \text{ m}^3$ ist als Umlaufbecken ausgeführt mit vorgeschalteter Denitrifikation und wird in den Nitrifikationszonen mittels Oberflächenbelüfter (Mammutroten) belüftet. Das Belebungsbecken 2 ist ebenfalls als Umlaufbecken ausgeführt, wird allerdings über Druckbelüfter vom Beckenboden aus belüftet. Es hat ein Volumen von $V_{BB2} = 3.400 \text{ m}^3$.

Die beiden Nachklärbecken mit einem Volumen von jeweils $V_{NKB} = 2.750 \text{ m}^3$ sind den Belebungsbecken nachgeschaltet und bildet die verfahrenstechnisch letzte Stufe der biologischen Abwasserreinigung, bevor das Wasser über den MID in den Rheder Bach geleitet wird.

Die Rücklaufschlammumpfen sind in einem Pumpenkeller zwischen den beiden Nachklärbecken untergebracht. Der Rücklaufschlamm wird mittels drei trocken aufgestellter Pumpen aus den beiden Nachklärbecken in die Belebungsbecken gefördert. Die Förderleistung pro Pumpe beträgt $400 \text{ m}^3/\text{h}$.

Der Überschussschlamm (ÜS) aus den Nachklärbecken wird im Betriebsgebäude (Einlaufgruppe), unter Zugabe von Polymeren mittels eines 2018 neu errichteten Bandeindickers maschinell eingedickt.

Der Faulbehälter weist ein Volumen von 1.100 m^3 auf. Die Faulschlammumwälzung erfolgt über zwei Pumpen. Die Faulschlammaufheizung erfolgt über einen zentral angeordneten, doppelwandigen Heizzylinder. Die technischen Ausrüstungen, wie Faulschlammumpfen, Wärmetauscher und Heizungsanlage, die zum Betrieb des aktuellen Faulbehälters benötigt werden, sind aktuell in einem Maschinengebäude in unmittelbarer Nähe zum Faulbehälter untergebracht.

Die Sozialräume für das Kläranlagenpersonal sind aktuell in einem Gebäude in unmittelbarer Nähe zum Faulbehälter untergebracht. Das Gebäude wurde nachträglich an das Faulbehälternebengebäude angebaut.

Der Gasbehälter der Kläranlage Rhede wurde vor kurzem erst erneuert und weist ein nutzbares Volumen von 300 m^3 auf. Er befindet sich in der Nähe des Nachklärbeckens 2 und des MID-Schachtes.

Der anfallende, ausgefaulte Klärschlamm wird auf der Kläranlage Rhede im Schlammwässerungsgebäude durch eine Kammerfilterpresse entwässert. Untergebracht ist die

Presse in einem separaten Gebäude, das zentral auf dem Kläranlagegelände liegt. Im Vorfeld der Entwässerung wird der Schlamm mittels Polymers konditioniert. Die technischen Anlagenteile für die Konditionierung sind im gleichen Gebäude untergebracht.

Eine interne Stromproduktion ist aufgrund der fehlenden Anlagentechnik zur Stromerzeugung derzeit nicht gegeben. Dennoch wäre aufgrund der Anschlussgröße und der gegebenen Bedingungen (vorhandenes Vorklärbecken und Faulbehälter) die Einrichtung eines BHKW wirtschaftlich zu betreiben. Der Eigenversorgungsgrad der Kläranlage liegt derzeit somit bei 0 %.

In Anlage 1 ist das Fließschema der bestehenden Kläranlage Rhede ersichtlich.

2.1.1 Anfallende Schlammengen und produzierte Faulgasmenge

Im Jahr 2018 wies die Kläranlage eine Schlammmenge, die zum Faulbehälter befördert wurde, von rund 200.700 m³/a auf. Daraus konnten etwa 210.000 m³/a Faulgas erzeugt werden.

2.1.2 Schlammmentsorgung

Der anfallende, ausgefaulte Klärschlamm der Kläranlage Rhede wird nach der Entwässerung mittels Kammerfilterpresse abtransportiert und einer thermischen Entsorgung zugeführt. Im Jahr 2018 betrug die Schlammabgabemenge rund 1.040 t.

2.1.3 Sanierungsbedarf von Bau-, Maschinen- und EMSR-Technik

Aufgrund der Tatsache, dass diverse Bau- und Anlagenteile auf der Kläranlage Rhede erhebliche Mängel aufweisen und sanierungsbedürftig sind, hat die Stadt Rhede entschlossen diese umfangreich zu modernisieren und teilweise komplett zu erneuern.

Das vorhandene Primärschlamm-Pumpwerk, das den anfallenden Primärschlamm aus der Zwischenklärung in den Faulbehälter fördert, ist aus den 60er Jahren und weist bereits eine alte Bausubstanz und eine unzureichende Wärmeisolierung auf. Das Pumpwerksgebäude muss im Zuge der Modernisierungsarbeiten erneuert und an die neuen Schlammengen angepasst werden.

Die Technik in Belebungsbecken 1 wird aufgrund des hohen Alters zurückgebaut und das Becken wird zukünftig als Havariebecken genutzt. So steht der Kläranlage im Fall eines Starkregenereignisses oder eines Chemieunfalls ein erhebliches Zwischenspeichervolumen zur Verfügung.

Der Faulbehälter mit einem Volumen von 1.100 m³ wurde Mitte der 50er Jahre errichtet und wird bis heute durchweg betrieben. Auf Grund der Tatsache, dass nach einer langen Betriebszeit erhebliche Schäden zu erwarten sind, wird der Faulbehälter im Rahmen der Modernisierung der Kläranlage abgerissen, sodass Platz für einen neuen Faulbehälter entsteht. Die technischen Ausrüstungen, wie Faulschlammumpfen, Wärmetauscher und Heizungsanlage, die zum Betrieb des aktuellen Faulbehälters benötigt werden, sind aktuell in einem Gebäude in unmittelbarer Nähe zum Faulbehälter untergebracht und weisen ebenfalls eine lange Betriebszeit auf. Das Gebäude, in dem die Aggregate und Anlagen untergebracht sind, stammt, wie der Faulbehälter aus den 50er Jahren und ist ebenfalls baufällig.

Für die Entwässerung wird eine in den 70er Jahren installierte Kammerfilterpresse verwendet. Die Presse wurde vor ca. 20 Jahren überarbeitet und die Kapazität erweitert. Aufgrund der langen Betriebszeit wird das Entwässerungsaggregat im Zuge der Modernisierung durch ein neues, energieeffizientes Aggregat ausgetauscht.

2.2 Reinigungsleistung

Die Reinigungsleistung der Kläranlage Rhede wurde auf Grundlage der Monatsberichte aus dem Jahr 2018 erstellt. Die mittleren Zu- und Ablaufwerte für die Parameter CSB, N_{ges} und P_{ges} können der Tabelle 1 entnommen werden. Ebenso wird dort die mittlere Eliminationsrate aufgeführt.

Tabelle 1: Reinigungsleistung Kläranlage Rhede (2018)

Reinigungsleistung			
	Parameter		
	CSB	N _{ges}	P _{ges}
Zulauf [mg/l]	917,6	95,0	13,0
Ablauf [mg/l]	31	4,8	0,45
Elimination	96,6 %	94,9 %	96,5 %

Werden die Konzentrationen der Tabelle 1 mit den mittleren Konzentrationen des 31. DWA-Leistungsvergleiches für Nordrhein-Westfalen aus Tabelle 2 verglichen, fallen verhältnismäßig hohe Zulaufkonzentrationen für den CSB, aber auch für die Parameter N_{ges} und P_{ges} auf.

Im Vergleich mit dem 31. DWA-Leistungsvergleich wird deutlich, dass die Kläranlage Rhede über eine durchschnittlich gute Abwasserreinigung verfügt. Insbesondere ist eine gute Eliminationsrate des Gesamtstickstoffs erkennbar.

Tabelle 2: 31. DWA Leistungsvergleich aus 2018

DWA Landesverband	Baden-Württemberg	Bayern	Hessen/Rheinland-Pfalz/Saartland	Nord	Nord-Ost	Nordrhein-Westfalen	Sachsen/Thüringen	DWA	ÖWAV**	
Kläranlagen (Anzahl)	898	1.585	1.190	521	289	476	503	5.462	775	
Jahresabwassermenge (Mio. m ³)	1.454	1.396	1.178	808	493	2.007	408	7.744	1.090	
Ausbau EW (Mio. E)	21,4	24,7	15,2	20,7	12,7	29,5	8,0	132,2	22,2	
mittlere EW-Belastung (Mio. E)	15,7	17,5	12,9	16,3	12,0	19,7	6,5	100,7	15,5	
Ausbau EW/mittlere EW-Belastung	1,37	1,40	1,18	1,27	1,06	1,50	1,23	1,31	1,43	
spez. Abwasseranfall [m ³ /(E*a)]	93	80	91	50	41	102	63	82	70	
spez. Energieverbrauch [kWh/(E*a)]	33,7	30,4	31,6	30,6	28,7	34,3	31,8	31,7	27,3	
gesamter Stromverbrauch [GWh/a]	520	518	397	489	342	672	203	3.139	401	
berücksichtigte Kläranlagen (Anzahl)	873	1.332	1.145	432	270	465	463	4.980	775	
gesamte Energieerzeugung [GWh/a]	201	n.e.	114	208	153	356	81	1.112	155	
berücksichtigte Kläranlagen (Anzahl)	255	n.e.	185	116	57	204	56	873	138	
CSB	Zulauf (mg/L)	472	579	483	884	1.068	459	698	582	624
	Ablauf (mg/L)	20	27	23	39	41	27	29	27	31
	Elimination (%)	95,8	95,4	95,2	95,6	96,1	94,2	95,8	95,3	95,1
GesN*	Zulauf (mg/L)	43,9	56,0	47,8	75,2	89,0	44,5	63,8	54,0	50,6
	Ablauf (mg/L)	9,5	9,9	8,8	9,1	11,4	7,3	10,0	9,0	9,2
	Elimination (%)	78,3	82,3	81,6	87,9	87,2	83,6	84,4	83,3	81,8
Pges	Zulauf (mg/L)	6,2	7,9	6,4	10,7	13,1	6,2	9,1	7,6	7,2
	Ablauf (mg/L)	0,42	0,78	0,61	0,54	0,53	0,42	0,86	0,56	0,58
	Elimination (%)	93,2	90,1	90,5	95,0	96,0	93,2	90,5	92,7	91,9
NH ₄ -N	Ablauf (mg/L)	0,66	1,60	1,73	1,29	0,94	0,94	1,35	1,18	1,30
NO ₃ -N	Ablauf (mg/L)	7,3	6,5	5,3	6,0	8,4	5,0	6,5	6,2	6,2
Nanorg	Ablauf (mg/L)	8,0	8,1	7,1	7,2	9,3	5,9	7,9	7,3	7,5

* GesN = Nanorg + Norg
 ** Österreich und Südtirol
 n.e. nicht erfasst

2.3 Bestimmung des Stromverbrauchs

Der Stromverbrauch im ausgewählten Zeitraum vom 1. Oktober 2018 und 30. September 2019 der Kläranlage Rhede wurde mithilfe von Stromzählern zur Ermittlung des Netzbezuges des EVU ermittelt und beträgt in dem genannten Zeitraum von einem Jahr 799.000 kWh/a.

Stromzähler an den einzelnen Aggregaten sind nicht installiert. Aufgrund dessen kann lediglich eine überschlägige Berechnung der elektrischen Wirkarbeit E_{el} in Anlehnung an Kapitel 6.3.1 des DWA 216 anhand der spezifischen Daten der unterschiedlichen Aggregate erfolgen. Zur Ermittlung der elektrischen Wirkarbeit wurden die beiden folgenden Berechnungsansätze herangezogen:

1. Rechenansatz: $E_{el} = (U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi) \cdot t$

2. Rechenansatz: $E_{el} = P_{el} \cdot t$

E_{el} : Energiebedarf/-erzeugung, elektrisch in kWh

U : Elektrische Spannung in V

I : Elektrische Stromstärke in A

$\cos \varphi$: Phasenwinkel zwischen den Phasen des Drehstroms

t : Laufzeit in h/a

P_{el} : Elektrische Wirkleistung

Die Ergebnisse der überschlägigen Berechnung wurden auf Grundlage der Monatsberichte zwischen dem 01. Oktober 2018 und 30. September 2019 ermittelt und können der Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: Ergebnisse der überschlägigen Berechnung im Zeitraum 01.10.2018 bis 30.09.2019

Pos.	Aggregat	Elektrizitätsverbrauch	
		(kWh/a)	(MWh/a)
1	Zulaufpumpwerk	91.178	91,18
2	Mechanische Reinigungsstufe	18.767	18,77
3	Belebungsbecken 1	335.209	335,21
4	Belebungsbecken 2	173.250	173,25
5	Nachklärung	6.241	6,24
6	Rücklaufschlammabzug	36.847	36,85
7	Primärschlammabzug	10.039	10,04
8	Überschussschlammbehandlung und Faulung	97.465	97,46
9	Schlammmentwässerung	66.402	66,40
10	Zuschlagstoffe	11.589	11,59
11	Arbeitsgeräte und sonstiges	4.380	4,38
12	Labor und Analytik	1.752	1,75
13	Sozialräume	3.413	3,41
14	Beleuchtung	1.060	1,06
		857.592	857,6

Es fällt auf, dass der überschlägig errechnete Stromverbrauch aus Tabelle 3 von dem EVU erfasstem Verbrauch um etwa 7 % abweicht. Die Differenz beträgt ca. 58.600 kWh/a. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Verbräuche der einzelnen Aggregate nur sehr grob anhand ihrer Nennleistung und den aufgezeichneten Betriebsstunden bilanziert wurden und somit Abweichungen von bis zu 10 % vertretbar sind.

Abbildung 3 gibt einen Überblick über den Anteil der verschiedenen Verfahrensstufen am Gesamtenergieverbrauch der Kläranlage Rhede.

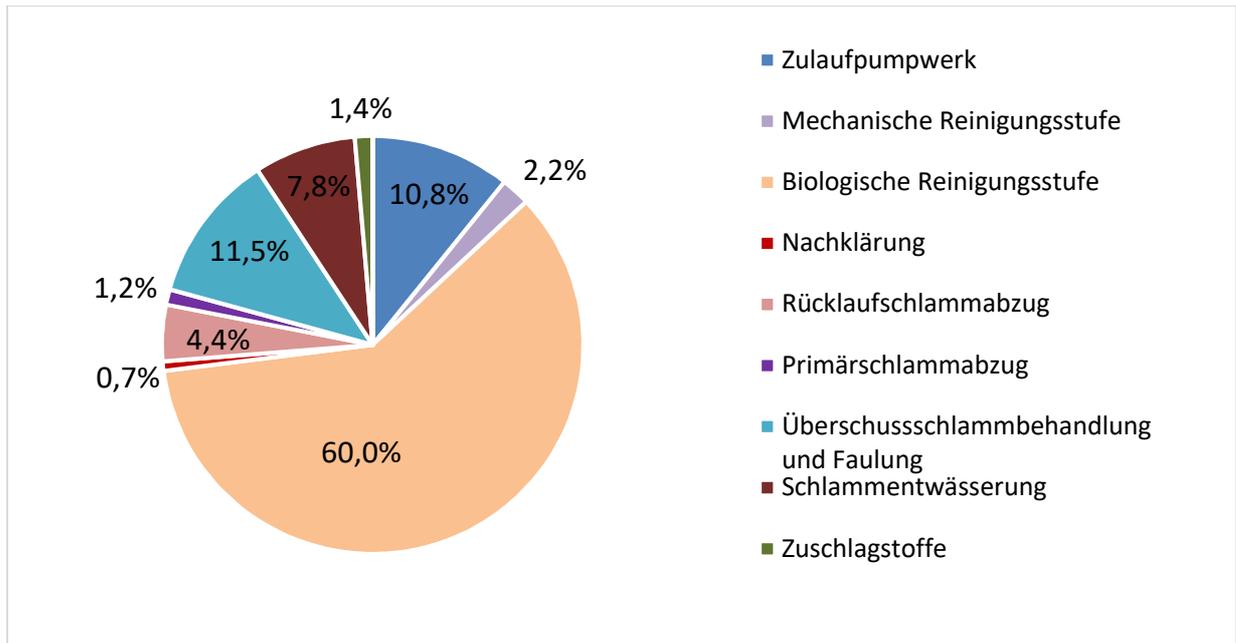


Abbildung 3: Energieverbrauch einzelner Verfahrensstufen der Kläranlage Rhede

Es wird deutlich, dass die biologische Reinigungsstufe mit rund 60 % den größten Anteil am Gesamtstromverbrauch aufweist. Grund dafür sind insbesondere die hohen Stromverbräuche der Mammutroteren zur Oberflächenbelüftung in Belebungsbecken 1.

Die Schlammbehandlung verursacht mit ca. 11,5 % den zweitgrößten Stromverbrauch. Die Verfahrensstufe der Schlammbehandlung setzt sich aus der Überschussschlammbehandlung, den Rührwerken der Schlammsilos sowie der Schlammförderung während der Schlammfaulung zur Umwälzung etc. zusammen.

Der drittgrößte Anteil des Energieverbrauchs liegt auf der Kläranlage Rhede mit etwa 10,8 % beim Zulaufpumpwerk. Unter dem Punkt „Zulaufpumpwerk“ werden die vier Zulaufpumpen, die den verfahrenstechnischen Anfang der Kläranlage bilden, sowie eine Störfallpumpe zusammengefasst. Aufgrund der geodätischen Höhe von ca. 9,5 m, die die Pumpen überwinden müssen, um das aus Rhede zufließende Abwasser auf das Kläranlagenniveau zu fördern, ist der hohen Energieverbrauch zu begründen.

Nachstehende Abbildung 4 aus dem Praxisleitfaden zur Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen (Baumann, P. et al., 2014) zeigt die mittleren Verbrauchswerte in kWh/(EW·a) auf Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5. Die Kläranlage Rhede gehört mit ihrer aktuellen Ausbaugröße von etwa 31.000 EW (85. Perzentil) zur GK 4 (10.001 bis 100.000 EW). Bei Betrachtung der Abbildung wird deutlich, dass durchschnittlich die Belüftung im Belebungsbecken den größten Verbrauchswert aufweist, gefolgt von Raumfiltern, die auf der Kläranlage Rhede nicht vorhanden sind, sowie dem Einlaufhebewerk. Kurz darauf folgt der Verbrauchswert für die Umwälzung des Faulbehälters. Die aufgezeigten Werte stimmen in

hohen Maßen mit den Energieverbräuchen der Kläranlage Rhede, die obenstehend beschrieben werden, überein.

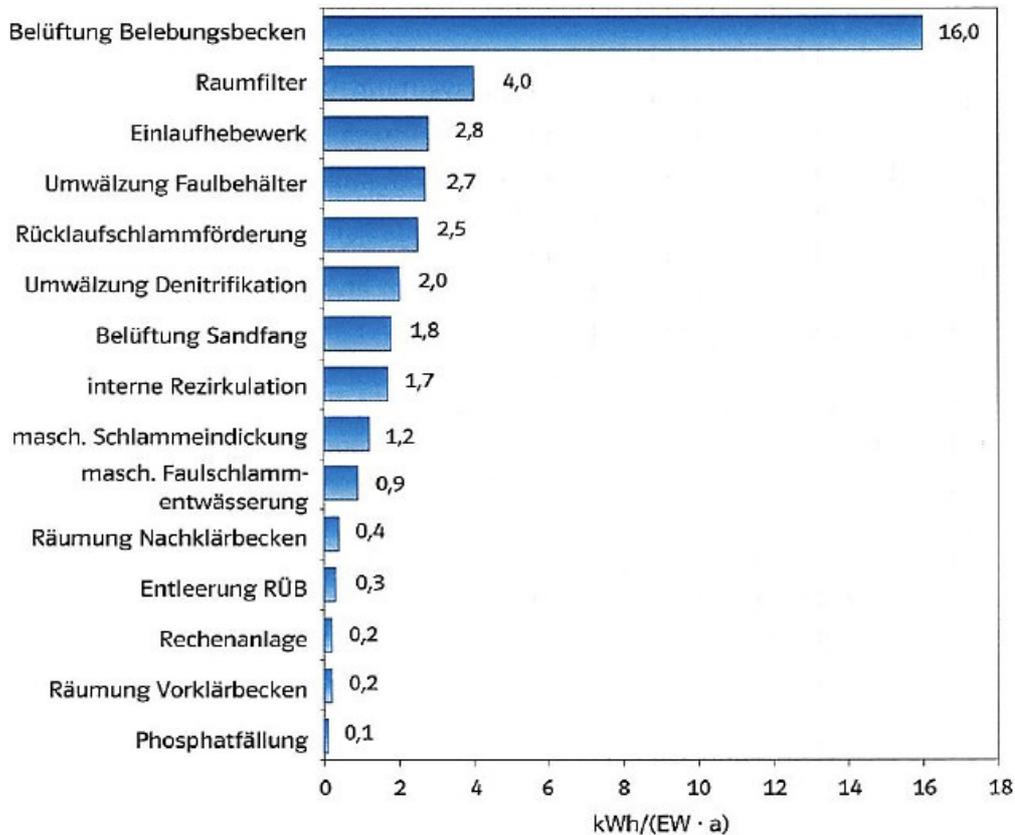


Abbildung 4: Mittlere Verbrauchswerte einzelner Stromverbrauchsstellen auf Belebungsanlagen der GK 4 und 5 (Baumann, P. et al. (2014))

2.4 Wärmebedarf

Der derzeitige Wärmebedarf der Kläranlage Rhede setzt sich zusammen aus der Wärme zur Beheizung des Faulturms und der Sozialräume sowie zur Warmwasseraufbereitung.

Aus den Betriebsaufzeichnungen konnte kein jährlicher Wärmebedarf entnommen werden, da keine Wärmemengenmessungen vorliegen.

2.5 Strom- und Wärmeerzeugung

Das auf der Kläranlage Rhede anfallende Faulgas wird lediglich für die Wärmeerzeugung genutzt; nicht aber zur Erzeugung elektrischer Energie. Eine Stromerzeugung mit KWK-Anlagen (z. B. BHKW) wird auf der Kläranlage nicht betrieben. Der elektrische Eigenversorgungsgrad liegt folglich bei 0 %.

Mit dem Betrieb der Faulgasheizung (kein Erdgasanschluss vorhanden) werden die Gebäude, der Faulturm sowie das Warmwasser beheizt. Der Heizungsbrenner ist ausgelegt für 60 - 300 kW (thermisch). Im Mittel wurden damit bei einem Betrieb von 4.391 h im Jahr 2018 etwa 702.614 kW/a erzeugt. Diese Wärmemenge reicht, zusätzlich zum Faulbehälter, aus, um die Sozialräume auf der Kläranlage Rhede zu beheizen sowie Warmwasser aufzubereiten. Weitere Brennstoffe sind auf der Kläranlage Rhede nicht notwendig.

2.6 Energiebilanz

Unter der Annahme, dass die Kläranlage Rhede mit aktuell 25.000 EW (mittlere CSB-Belastung) ausgelastet ist, errechnet sich ein spezifischer Stromverbrauch von etwa 34 kWh/(EW·a).

Der spezifische Stromverbrauch der Kläranlage vor der energetischen Optimierung wird in Abbildung 5 dargestellt und mit den spezifischen Stromverbräuchen anderer Kläranlagen entsprechend Bild 2 des DWA 216 verglichen. Es wird deutlich, dass die Kläranlage im Vergleich zu den in Abbildung 5 bewerteten Kläranlagen zu den oberen 48 % gehörte, also zu den Kläranlagen mit den höheren spezifischen Stromverbräuchen.

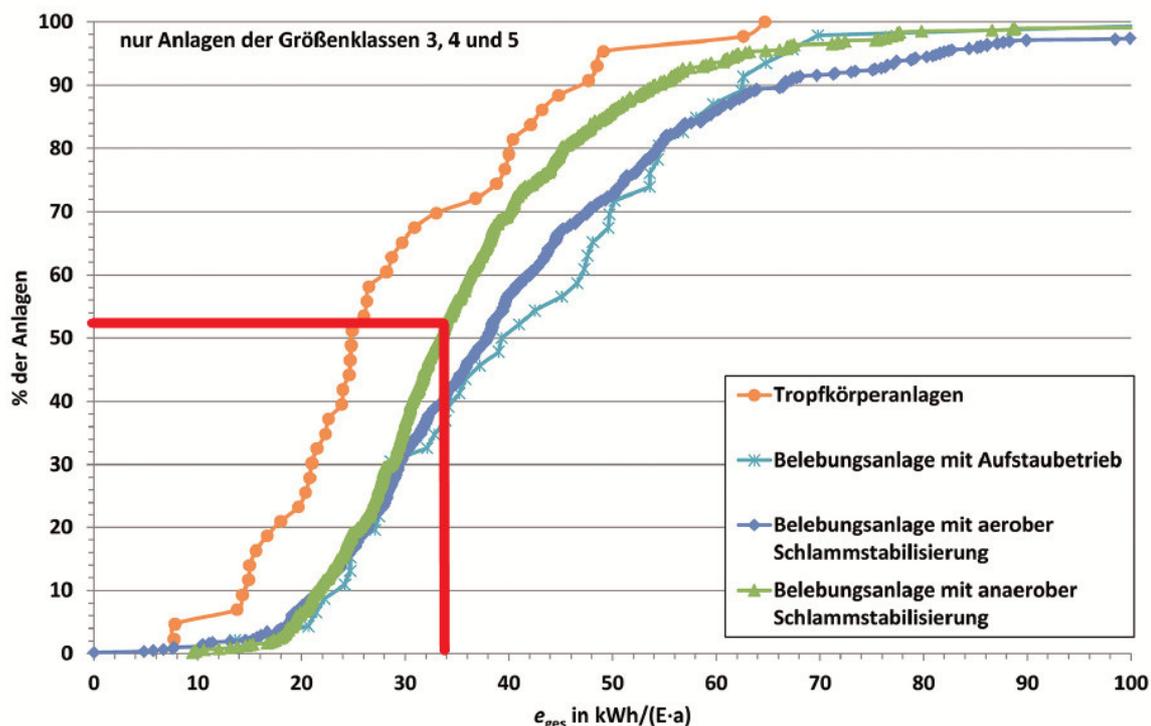


Abbildung 5: Spezifischer Stromverbrauch der KA Rhede vor der energetischen Optimierung (verändert und ergänzt nach DWA 216, 2015)

In Folge von betrieblichen Umstellungen während der letzten Jahre, konnte der Energieverbrauch der Kläranlage weiter gesenkt werden. Derzeit kommt die Kläranlage Rhede an ihre Grenzen bei den betrieblichen, energetischen Optimierungen im Bestand. Insbesondere die abbeschriebenen, ineffizienten Motoren und Pumpen verhindern die weitere Einsparung von Energie.

Tabelle 4: Energiebilanz Stromverbrauch und -erzeugung

Energiebilanz Strom	Einheit	Jahr
Stromverbrauch gemäß Verbrauchermatrix	MWh/a	858
Verluste Trafostation und internes Stromverteilungsnetz	MWh/a	0
Summe Stromverbrauch	MWh/a	858
Strombezug vom EVU	MWh/a	799
Rück einspeisung in das Netz des EVU	MWh/a	0
Nettostromerzeugung KWK-Anlagen aus Faulgas	MWh/a	0
Nettostromerzeugung KWK-Anlagen aus fossiler Energie	MWh/a	0
Stromerzeugung weiterer Anlagen	MWh/a	0
Summe Stromerzeugung	MWh/a	0
Eigenversorgungsgrad elektrisch		0%

Wie bereits beschrieben, liegt der elektrische Eigenversorgungsgrad durch die fehlenden Aggregate zur Stromerzeugung (KWK-Anlage) bei 0 %.

Auf die Darstellung einer Energiebilanz für Wärmeerzeugung und -verbrauch wurde verzichtet, da für den Wärmeverbrauch keine Wärmemengenmessungen vorliegen. Eine Treibhausgasbilanz ist aufgrund von fehlenden Daten auf der Kläranlage Rhede nicht möglich zu erarbeiten.

3 Berechnung der anlagenbezogenen Idealwerte

3.1 Strombedarf

Zur Ermittlung der anlagenbezogenen Idealwerte des Strombedarfs werden die spezifischen Idealwerte des optimalen Strombedarfs gemäß DWA-A 216 Anhang A.1 mit den vorhandenen Betriebsgrößen kombiniert. Darüber hinaus wird das Energiehandbuch des MULNV NRW (2018) berücksichtigt. Teilweise werden die Idealwerte aus bestehenden Energiewerten der Kläranlage abgeleitet. Für die Ermittlung von einwohnerspezifischen Idealwerten werden die angeschlossenen Einwohner entsprechend der mittleren CSB-Schmutzfracht aus dem Jahr 2018 (25.000 EW_{CSB}) ohne Berücksichtigung der internen Rückbelastung durch Prozesswässer zugrunde gelegt.

Insgesamt liegt der elektrische Energieverbrauch nach Umsetzung der Maßnahmen der idealerweise bei etwa 555.060 kWh/a. Der spezifische Idealwert würde somit bei 22,2 kWh/(EW·a) liegen.

Idealwert für das Zulaufpumpwerk:

Die Förderhöhe des Zulaufpumpwerks beträgt ca. 9,5 m. Die Zulaufwassermenge der Stadt Rhede betrug im Jahr 2018 im Mittel ca. 1.227.495 m³/a. Mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von $\eta_{ges} = 0,55$ (DWA-A 216, 2015) für Kreiselpumpen ergibt sich ein Idealwert für das Heben des Abwassers im Zulauf der Kläranlage von ca. 57.245,9 kWh/a.

(→ Ist-Wert = 91.178 kWh/a)

Idealwert für den Rechen:

Gemäß DWA-A 216 (2015) beträgt der spezifische Stromverbrauch für die Rechanlage inkl. Rechengutwäsche und -presse $e_{spez} = 0,05 - 0,10$ kWh/(E·a). Der mittlere Idealwert des Rechens beträgt bei der Ausbaugröße von 25.000 EW somit ca. 1.875 kWh/a.

(→ Ist-Wert = 2.719 kWh/a)

Idealwert für die Belüftung des Sandfangs:

Das belüftete Volumen des Sandfangs beträgt $V_{SF} = 100 \text{ m}^3$. Gemäß DWA-A 216 (2015) wurden der mittlere spezifische Lufteintrag zu $q_{L,SF} = 0,9 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ und der Wirkungsgrad zu $\eta_{ges} = 0,585$ gewählt. Die Einblastiefe von ca. 1,9 m konnte aus den vorhandenen Planunterlagen entnommen werden. Somit ergibt sich der Idealwert für die Belüftung des Sandfangs zu 7.160 kWh/a.

(→ Ist-Wert = 9.636 kWh/a)

Idealwert für den Sandfangräumer:

Gemäß DWA-A 216 (2015) beträgt der spezifische Stromverbrauch für die Räumer (Sandfang, VKB und NKB) $e_{spez} = 0,3 - 1,0 \text{ kW/Becken}$. Der mittlere Idealwert des Sandfangräumers beträgt somit ca. 110 kWh/a.

(→ Ist-Wert = 135 kWh/a)

Idealwert für den Vorklärbeckenräumer:

Gemäß DWA-A 216 (2015) beträgt der spezifische Stromverbrauch für die Räumer (Sandfang, VKB und NKB) $e_{spez} = 0,3 - 1,0 \text{ kW/Becken}$. Der mittlere Idealwert des Räumers beträgt somit ca. 1.898 kWh/a.

(→ Ist-Wert = 3.241 kWh/a)

Idealwert für die Belüftung der Belebung:

Der anlagenspezifische Idealwert für die Belüftung der Belebung wird über den Luftvolumenstrom ($Q_L = 1.435 \text{ m}^3/\text{h}$), die mittlere Einblastiefe ($h_d = 5,3 \text{ m}$) und die örtlichen Druckverluste ($h_v = 0,75 \text{ m}$) sowie über die Belüftungsdauern (t) berechnet. Somit ergibt sich ein Gesamt-Jahresenergieverbrauch für die Belüftung der beiden Belebungsbecken (Bestand Belebungsbecken 2, Neubau Belebungsbecken 3) von 236.156 kWh/a.

(→ Ist-Wert = 352.151 kWh/a für Gebläse inkl. Energiebedarf für Mammutrotoren)

Idealwert für die Durchmischung im Belebungsbecken (Rührwerke):

Das Belebungsbecken 2 weist ein Gesamtvolumen von $V_{BB,2} = 3.400 \text{ m}^3$ auf. Das Belebungsbecken 3 wird baugleich zu Becken 2 errichtet, somit beträgt das Beckenvolumen ebenfalls 3.400 m^3 .

Für Beckenvolumen von $V > 2.000 \text{ m}^3$ gilt $e_{spez} = 1,5 \text{ W/m}^3$ (DWA-A 216, 2015). Für die Denitrifikationszone des Belebungsbeckens 2/3 mit einem Volumen von $V_{BB,2/3,Deni} = 820 \text{ m}^3$ wurde $e_{spez} = 2,25 \text{ W/m}^3$ gewählt (DWA-A 216, 2015).

Das Volumen der Nitrifikationszone des Belebungsbeckens 2/3 beträgt insgesamt $V_{BB,2/3,Nitri} = 2.580 \text{ m}^3$. Zwei Rührwerke sind vorgesehen, die jeweils 1.290 m^3 Abwasser umwälzen. Hieraus resultiert $e_{spez} = 1,75 \text{ W/m}^3$ (DWA-A 216, 2015). Unter Zugrundelegung der jeweiligen Betriebsstunden ergeben sich folgende Idealwerte:

Rührwerk BB2 _{Deni} :	16.162 kWh/a (→ Ist-Wert = 17.539,72 kWh/a)
Rührwerk BB2 _{Nitri} :	12.360 kWh/a (→ Ist-Wert = 12.081,31 kWh/a)
Rührwerk BB2 _{Nitri} :	12.360 kWh/a (→ Ist-Wert = 13.116,86 kWh/a)
Rührwerk BB3 _{Deni} :	16.162 kWh/a
Rührwerk BB3 _{Nitri} :	12.360 kWh/a
Rührwerk BB3 _{Nitri} :	12.360 kWh/a

Idealwerte für die Nachklärbeckenaggregate (Räumer, Rinnenreinigung und Schwimmschlammumpen):

Zu den Aggregaten der beiden Nachklärbecken gehören die Nachklärbeckenräumer, die Rinnenreinigung sowie die Schwimmschlammumpen.

Gemäß DWA-A 216 (2015) beträgt der spezifische Stromverbrauch für die Räumer $e_{\text{spez}} = 0,3 - 1,0 \text{ kW/Becken}$. Der mittlere Idealwert der Nachklärbeckenräumer betragen bei einem 24h-Betrieb und $0,45 \text{ kW/Becken}$ somit jeweils ca. 2.628 kWh/a .

(→ Ist-Wert NKB1 = 3.504 kWh/a , Ist-Wert NKB2 = 2.190 kWh/a)

Der Idealwert für die Rinnenreinigung beträgt dabei jeweils etwa 55 kWh/a .

(→ Ist-Wert NKB1 = $87,6 \text{ kWh/a}$, Ist-Wert NKB2 = $60,2 \text{ kWh/a}$)

Die Förderhöhe des Schwimmschlammumpen beträgt ca. 2 m . Die Fördermenge wird im Mittel ca. $10 \text{ m}^3/\text{h}$ geschätzt. Mit einem Wirkungsgrad von $\eta_{\text{ges}} = 0,55$ (DWA-A 216, 2015) ergibt sich ein Idealwert für die Schwimmschlammumpen von insgesamt etwa 18 kWh/a .

(→ Ist-Wert NKB1 = $70,8 \text{ kWh/a}$, Ist-Wert NKB2 = $328,5 \text{ kWh/a}$).

Idealwert für die Rücklaufschlammumpen:

Die Förderhöhe der drei Rücklaufschlammumpen beträgt ca. 1 m . Bei drei unterschiedlichen Förderleistungen von $400 \text{ m}^3/\text{h}$, $200 \text{ m}^3/\text{h}$ und $100 \text{ m}^3/\text{a}$ und einem Wirkungsgrad von $\eta_{\text{ges}} = 0,55$ (DWA-A 216, 2015) ergibt sich ein Idealwert für die Rücklaufschlammumpen von ca. 12.164 kWh/a (Pumpe 1), 6.082 kWh/a (Pumpe 2) und 3.041 kWh/a (Pumpe 3). Der Gesamtenergieverbrauch für den Rücklaufschlammabzug würde sich idealerweise auf ca. 21.290 kWh/a belaufen.

(→ Ist-Wert gesamt 36.847 kWh/a)

Idealwert für die Primärschlammumpen:

Mit einer zu erwartenden Primärschlammmenge aus dem neuen Vorklärbecken von ca. $14.600 \text{ m}^3/\text{a}$ einer Förderhöhe von ca. $8,5 \text{ m}$ ergibt sich unter Zugrundelegung eines Wirkungsgrades von $\eta_{\text{ges}} = 0,55$ (DWA-A 216, 2015) ein Idealwert von insgesamt ca. 610 kWh/a für die Primärschlammpumpe.

(→ Ist-Wert Pumpe 1 = 3.484 kWh/a , Ist-Wert Pumpe 2 = 6.555 kWh/a)

Idealwert für das Überschussschlammbehandlung und Faulung:

Die Idealwerte für die Überschussschlammbehandlung und Faulung setzen sich zusammen aus nachfolgenden Pumpen: Dünnschlammumpen, Spülwasserpumpe für den Bandeindicker, Dickschlammumpen und Faulbehälterumwälzpumpen. Zudem werden die Idealwerte des Aggregates zur maschinellen Schlammeindickung und der Rührwerke in den Nacheindickern dazu gezählt.

Die Idealwerte der Pumpen basieren auf den Werten der vorhandenen Pumpen-Aggregate und wurden abgeschätzt (Annahme: mind. 50 % des derzeitigen Verbrauchs):

Dünnschlammumpen:	3.914 kWh/a
Spülwasserpumpe Bandeindicker:	5.667 kWh/a
Dickschlammumpen:	1.290 kWh/a
Umwälzpumpen Faulbehälter:	28.040 kWh/a

Der Idealwert des Bandeindickers auf der Kläranlage Rhede kann übernommen werden, da der neue Bandeindicker erst seit 2018 in Betrieb ist. Der Stromverbrauch liegt bei rund 2.000 kWh/a. Dieser Wert entspricht einer energetisch optimal laufenden Eindickungs-Maschine.

Idealwert für die Schlammmentwässerung:

Die bestehende Kammerfilterpresse wird im Zuge der Modernisierung und Leistungssteigerung der Kläranlage Rhede durch ein neues Entwässerungsaggregat ausgetauscht. Für die Idealwertberechnung wurde zunächst eine Bandfilterpresse ausgewählt. Bandfilterpressen haben laut DWA-A 216 (2015) einen spezifischen Stromverbrauch von 1,1 - 1,4 kWh/m³ Faulschlammmenge (inkl. Beschickungspumpen und Konditionierung). In Rhede werden zukünftig etwa 17.000 m³/a Faulschlamm erwartet. Der mittlere Idealwert der Schlammmentwässerung beträgt dann rund 20.990 kWh/a inkl. Beschickungspumpe und Konditionierungsanlage.

(→ Ist-Wert = 66.402 kWh/a)

Idealwert für die Zuschlagstoffe:

Unter dem Punkt „Zuschlagstoffen“ sind die Fällmitteldosierung und die Betriebsmittelpumpen zusammengefasst.

Nach dem Energie-Handbuch NRW (2018) ist der Energieverbrauch für die Fällmitteldosierung selbst gering und beträgt rund 0,5 Wh/m³ Abwassermenge. Auf der Kläranlage Rhede ergibt sich der Idealwert für die Fällmitteldosierung mit ca. 614 kWh/a.

(→ Ist-Wert = 1.460 kWh/a).

Die Betriebswasserpumpen müssen eine Förderhöhe von ca. 12,0 m überwinden. Bei einer jährlichen Fördermenge von im Mittel 23.233 m³/a pro Pumpe und einem Wirkungsgrad der Pumpen von $\eta_{ges} = 0,55$ (DWA-A 216, 2015) resultiert ein Idealwert der Betriebswasserpumpen von jeweils 1.369 kWh/a.

(→ Ist-Wert Pumpe 1 = 5.475 kWh/a, Ist-Wert Pumpe 2 = 4.106 kWh/a).

Tabelle 5 zeigt die Idealwerte des Stromverbrauchs aufgelistet nach einzelnen Aggregatgruppen.

Tabelle 5: Stromverbrauch einzelner Aggregate entsprechend der Idealwertberechnung

Pos.	Aggregat	Elektrizitätsverbrauch	
		(kWh/a)	(MWh/a)
1	Zulaufpumpwerk	57.245,9	57,2
	Abwasserpumpen	57.245,9	57,2
2	Mechanische Reinigungsstufe	11.101,0	11,1
	Rechenantrieb (einschl. Rechengutwäsche und -presse)	1.875,0	1,88
	Sandfanggebläse	7.160,8	7,16
	Räumer Sandfang	109,5	0,11
	Räumer Vorklärbecken	1.898,0	1,90
	Fettfangpumpe	24,2	0,02
	Sandwasserpumpe	33,6	0,03
3 & 4	Biologische Reinigungsstufe	344.067,8	344,1
	Gebläse insgesamt	236.155,6	236,2
	Flygt Rührwerk 1 BB2	16.162,2	16,2
	Flygt Rührwerk 2 BB2	12.359,8	12,4
	Flygt Rührwerk 3 BB2	12.359,8	12,4
	Flygt Rührwerk 4 BB3	16.162,2	16,2
	Flygt Rührwerk 5 BB3	12.359,8	12,4
	Flygt Rührwerk 6 BB3	12.359,8	12,4
	Rezirkulationspumpe Belebung 2	13.074,3	13,1
	Rezirkulationspumpe Belebung 2	13.074,3	13,1
5	Nachklärung	5.383,4	5,4
	Räumerantrieb Nachklärbecken 1	2.628,0	2,6
	Rinnenreinigung Nachklärbecken 1	54,8	0,1
	Räumerantrieb Nachklärbecken 2	2.628,0	2,6
	Rinnenreinigung Nachklärbecken 2	54,8	0,1
	Schwimmschlammpumpe NK 1	9,0	0,009
	Schwimmschlammpumpe NK 2	9,0	0,009
6	Rücklaufschlammabzug	21.286,8	21,3
	Rücklaufschlammpumpe 1	12.163,9	12,2
	Rücklaufschlammpumpe 2	6.081,9	6,1

	Rücklaufschlammpumpe 3	3.041,0	3,0
7	Primärschlammabzug	609,2	0,6
	Primärschlammpumpe 1	304,6	0,3
	Primärschlammpumpe 2	304,6	0,3
8	Überschussschlammbehandlung und Faulung	79.873,1	79,9
	Rührwerk Nacheindicker 1	427,1	0,4
	Rührwerk Nacheindicker 2	427,1	0,4
	Antrieb Bandeindicker	2.003,0	2,0
	Rührwerk Faulbehälter NEU	38.106,0	38,1
	Dünnschlammumpen	3.914,0	3,9
	Spülwasserpumpe Bandeindicker	5.667,0	5,7
	Dickschlammumpen	1.289,5	1,3
	FB Umwälzpumpen	28.039,5	28,0
9	Schlamm entwässerung	20.987,5	21,0
	Bandfilterpresse inkl. Beschickungspumpen und Konditionierung	20.987,50	21,0
10	Zuschlagstoffe	3.898,5	3,4
	Fällmittelpumpen	613,7	0,614
	Betriebswasserpumpe 1	1.368,6	1,4
	Betriebswasserpumpe 2	1.368,6	1,4
	Kompressor Betriebswasser	547,5	0,5
11	Infrastruktur	10.604,7	10,6
	Infrastruktur	10.604,7	10,6
	Summe	555.058	555

3.2 Wärmebedarf

Der ideale Wärmebedarf setzt sich zusammen aus dem Wärmebedarf für die Schlammaufheizung, für die Transmissionsverluste des Faulbehälters sowie der Gebäude. Insgesamt wurde der ideale Wärmebedarf auf der Kläranlage Rhede mit 515.308 kWh/a ermittelt.

Für die Schlammaufheizung wurden folgende Idealwerte ermittelt:

$$E_{th} = Q_{PS+ÜS} \cdot \Delta T \cdot e_{spez} = 424.120 \text{ kWh/a}$$

E_{th} : Thermische Energie in kWh/a

$Q_{PS+ÜS}$: Rohschlammmenge = ca. 16.250 m³/a (bei aktueller mittlerer CSB-Be-
lastung)

ΔT : Temperaturdifferenz zwischen Rohschlamm und Faulbehälter
= 311,65 K – 289,15 K = 22,5 K

e_{spez} : Spezifischer Wärmebedarf = 1,16 kWh/(m³ · K)

Für die Transmissionsverluste des Faulbehälters wurden folgende Idealwerte ermittelt:

$$E_{th} = A \cdot \Delta T \cdot U \cdot 8,76 = 55.188 \text{ kWh/a}$$

E_{th} :	<i>Thermische Energie in kWh/a</i>
A :	<i>Oberfläche Faulbehälter $\approx 700 \text{ m}^2$</i>
ΔT :	<i>Temperaturdifferenz zw. Faulrauminhalt und Außentemperatur = $311,65 \text{ K} - 289,15 \text{ K} = 22,5 \text{ K}$</i>
U :	<i>Wärmedurchgangskoeffizient = $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$</i>

Für die Transmissionsverluste des Betriebsgebäudes wurden folgende Idealwerte ermittelt:

$$E_{th} = A \cdot e_{spez} = 36.000 \text{ kWh/a}$$

E_{th} :	<i>Thermische Energie in kWh/a</i>
A :	<i>Beheizte Gebäudefläche $\approx 450 \text{ m}^2$</i>
e_{spez} :	<i>Spezifischer Jahres-Heiz-Wärmebedarf = $80 \text{ kWh}/\text{m}^2$</i>

3.3 Strom- und Wärmeerzeugung

Die Kläranlage Rhede verfügt derzeit über keine eigene Stromerzeugerquelle. Durch den Betrieb der anaeroben Schlammstabilisierung wird lediglich mittels Faulgasheizung thermische Energie in Form von Wärme erzeugt.

Um das energetische Potenzial des Faulgases zu nutzen, ist vorgesehen, dass anfallende Gas durch eine KWK-Anlage zu verstromen. Durch den Neubau (und gleichzeitiger Verkleinerung) der Vorklärung und somit einen erhöhten Primärschlammanfall in Verbindung mit der Fettzugabe aus der Fettabscheidung des Sandfanges, kann ein erhöhter Gasanfall erreicht werden.

4 Hinweise zur Berücksichtigung des Teillastverhaltens

Werden Aggregate wie Motoren, Pumpen und Gebläse nicht ausreichend ausgelastet, sinkt der Wirkungsgrad der Aggregate. Aufgrund ständig wechselnder Betriebsbedingungen wird

nur selten der optimale Wirkungsgrad von Aggregaten erreicht. Ein geringerer Wirkungsgrad kann zu einem deutlich erhöhten spezifischen Strombedarf beitragen (DWA-A 216, 2015).

Aufgrund der wechselnden Betriebsbedingungen auf Kläranlagen kann bei der Berechnung des anlagenbezogenen Idealwerts laut DWA-A 216 (2015) nur in Ausnahmefällen mit dem optimalen Wirkungsgrad der Aggregate gerechnet werden. Die Auslastung der Aggregate sollte für häufige Betriebszustände ebenfalls überprüft werden, da sie Einfluss auf die Berechnung der anlagenbezogenen Idealwerte nehmen kann.

5 Potenzialanalyse

Im Rahmen der Potenzialanalyse wird der Ist-Zustand des Stromverbrauchs auf der Kläranlage Rhede (siehe Kapitel 2.3) bewertet. Im Anschluss an die Gegenüberstellung von Ist- und Idealzustand, können Bereiche mit dem höchsten Energieeinsparpotenzial aufgezeigt werden. Anschließend werden im folgenden Kapiteln grob einige Maßnahmen zur energetischen Optimierung hergeleitet sowie eine Strategie zur Umsetzung von Einsparzielen entwickelt.

5.1 Gegenüberstellung der Verbrauchswerte mit den Idealwerten

In Tabelle 6 wird der tatsächliche Stromverbrauch der Aggregate auf der Kläranlage Rhede mit den anlagenbezogenen Idealwerten des Stromverbrauchs verglichen. Somit lassen sich Verfahrensstufen mit einem hohem Energieeinsparpotenzial erkennen. Aggregate mit einem hohen Energieeinsparpotenzial sind in Tabelle 6 durch eine rote Schraffur gekennzeichnet (spezifische Abweichung $> 0,3 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a})$).

Tabelle 6: Gegenüberstellung Energieverbrauch – Idealwerte

mittlere CSB-Belastung:						
25.000 EW		Abweichung > 0,3 kWh/(EW·a)				
		0,01 < Abweichung < 0,3 kWh/(EW·a)				
		Abweichung < 0,00 kWh/(EW·a)				
A Energieverbrauch elektrisch						
Pos.	Verfahrensstufe / Aggregat	IST Absolut [kWh/a]	IST Spezifisch [kWh/(EW*a)]	Idealwert Absolut [kWh/a]	Idealwert Spezifisch [kWh/(EW*a)]	Abweichung Spezifisch [kWh/(EW*a)]
1	Zulaufpumpwerk	91.178	3,65	57.246	2,29	1,36
2	Mechanische Reinigungsstufe	18.767	0,75	11.101	0,44	0,31
3+4	Biologische Reinigungsstufe	508.460	20,34	344.068	13,76	6,58
5	Nachklärung	6.241	0,25	5.383	0,22	0,03
6	Rücklaufschlammabzug	36.847	1,47	21.287	0,85	0,62
7	Primärschlammabzug	10.039	0,40	609	0,02	0,38
8	Überschussschlammbehandlung und Faulung	97.465	3,90	79.873	3,19	0,70
9	Schlammmentwässerung	66.402	2,66	20.988	0,84	1,82
10	Zuschlagstoffe	11.589	0,46	3.899	0,16	0,31
11	Infrastruktur	10.605	0,42	10.605	0,42	0,00
1 - 11	Σ Energieverbrauch elektrisch	857.592	34	555.058	22,2	
	Bezug vom EVU elektrisch	799.000				
	Eigenproduktion elektrisch	0,00				
	Kontrollrechnung	58.592				
	Abweichung %	7%				

5.2 Ermittlung von Energieeffizienz- und Energieeinsparmaßnahmen

Tabelle 6 zeigt, dass nahezu in allen Verfahrensstufen eine Verbesserung der Energieeffizienz und eine Verminderung des Energieverbrauchs möglich ist. In sieben von elf Verfahrensstufen ist eine spezifische Abweichung von > 0,3 kWh/a erreichbar (in Tabelle 6 rot markiert).

Bei Betrachtung der Tabelle 6 wird zudem deutlich, dass das größte Energieeinsparpotenzial in der Modernisierung der Belebung liegt. Auch die Modernisierung der Schlammmentwässerung und der Einsatz energieeffizienterer Pumpen im Zulauf zur Kläranlage Rhede haben eine große Bedeutung bei der Einsparung von Energie.

Im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung zur Modernisierung und Leistungssteigerung der Kläranlage Rhede sind Maßnahmen geplant, die sowohl der Leistungssteigerung der Kläranlage dienen als auch eine energetische Optimierung von Anlagenteilen zur Folge haben.

Folgende konkrete Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz auf der Kläranlage Rhede sind zu nennen:

- Neubau eines Belebungsbeckens (baugleich zu Belebungsbecken 2) als Ersatz zu Belebungsbecken 1 mit Errichtung eines energieeffizienten Belüftungssystems
- Austausch des Belüftungssystems im vorhandenen Belebungsbecken 2 und Einsatz eines energieeffizienten Belüftungssystems
- Erneuerung der Gebläse für Belebungsbecken 2
- Einsatz von optimal dimensionierten Rührwerksgetrieben zur Durchmischung des Belebtschlamm-Gemisches in den Belebungsbecken
- Einsatz von optimal dimensionierten Rücklaufschlammumpfen
- Neubau eines Faulbehälters und eines neuen Vorklärbeckens zur Erzeugung von Faulgas aus der Faulung des Primär- und Überschussschlamm
- Einsatz von optimal dimensionierten Umwälzpumpfen
- Faulgasverstromung durch den Einsatz von zwei BHKW (oder Mikrogasturbinen) und Nutzung der thermischen Energie zur Aufheizung des Faulschlamm, zur Beheizung des Sozialräume und zur Warmwasseraufbereitung
- Einsatz von optimal dimensionierten Primärschlammumpfen
- Erneuerung Entwässerungsaggregat
- Installation von PV-Modulen auf den neu errichteten Gebäuden
- Einsatz energieeffizienter Zulaufpumpfen

5.3 Definition von Einspar- und Versorgungszielen

Im Rahmen der Potenzialanalyse der Kläranlage Rhede ist das oberste Ziel die Einsparung von Energie und somit die Verringerung von Energiekosten und CO₂-Emissionen.

Konkret soll die Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen mindestens folgende Einspar- und Versorgungsziele erreichen:

- Deckungsquote des Energiebedarfs für Strom und Wärme durch auf dem Kläranlagengelände erzeugte Energie von mindestens **70 %**
- Spezifischer jährlicher Strombedarf der gesamten Anlage (inkl. lokal umgewandelter Energie) von maximal **23 kWh/EW** bezogen auf die tatsächliche Belastung im Jahresmittel

5.4 Beschreibung der Kläranlage nach der geplanten energetischen Optimierung – Strategie zur Umsetzung der Ziele

Die bestehende Anlage, bestehend aus Zulaufpumpwerk, mechanischer Reinigungsstufe (Rechen, Sand- und Fettfang und Zwischenklärung), sowie der biologischen Reinigungsstufe (Phosphorelimination, Denitrifikation und Nitrifikation) und der angeschlossenen Schlammbehandlung einschließlich der Schlammfäulung hat einen spezifischen Energieverbrauch von etwa 34 kWh/(EW·a).

Im Zuge der Modernisierungsmaßnahmen wird Zwischenklärbecken durch ein neues, kleineres Vorklär-Rechteckbecken ($V = 330 \text{ m}^3$) ersetzt. Der anfallende organikreiche Primärschlamm wird direkt in den Faulbehälter gepumpt. Das Primärschlammumpwerk wird energetisch optimiert und an die Schlammengen des neuen Vorklärbeckens angepasst. Der Ablauf der neuen Vorklärung wird in die biologische Reinigungsstufe weitergeleitet, die aus dem bestehenden Belebungsbecken 2 und einem neu errichteten baugleichen Belebungsbecken 3 besteht. Sowohl Belüftungssystem als auch die Rührwerke im bestehenden Belebungsbecken 2 werden erneuert und energetisch optimiert. Das aufgrund der Mammutrotoren energetisch ineffiziente Belebungsbecken 1 soll zukünftig als Havarie- und Pufferbecken genutzt werden.

Der aus der Nachklärung abgezogene Schlamm wird mit Hilfe des Rücklaufschlammumpwerks der weiteren Schlammbehandlung zugeführt. Im Zuge der Modernisierungsarbeiten soll die Förderleistung des Rücklaufschlammumpwerks angepasst und die Pumpentechnik energetisch optimiert werden. Der abgezogene Überschussschlamm wird zunächst mittels

Bandeindicker, der im Jahr 2018 neu aufgestellt wurde, eingedickt. Der eingedickte Überschussschlamm wird anschließend der Faulung im neu geplanten Faulbehälter zugeführt.

Der bestehende Faulbehälter wird im Rahmen der Modernisierung der Kläranlage abgebrochen und durch einen neuen Faulbehälter ersetzt. Das bei der Faulung anfallende Klärgas soll im Zuge der Modernisierungsarbeiten thermisch und energetisch genutzt werden. Bestandteil der energetischen Optimierung ist folglich die Errichtung von zwei Blockheizkraftwerken (BHKW) im neu geplanten Maschinenhaus. Zudem ist zur weiteren Energieerzeugung, um die Deckungsquote des Energiebedarfs zu erreichen, die Installation von PV-Modulen auf einigen Gebäuden auf dem Kläranlagengelände vorgesehen. Somit kann die Kläranlage Rhede sowohl mit eigens erzeugter Wärme als auch mit Strom versorgt werden. Der ausgefaulte Klärschlamm wird derzeit im Schlammentwässerungsgebäude mittels Kammerfilterpresse entwässert. Die Presse soll zukünftig durch ein neues, energieeffizientes Entwässerungsaggregat ersetzt werden.

Im Rahmen der beschriebenen energetischen Optimierungsmaßnahmen ist es möglich die zuvor genannten Einspar- und Versorgungsziele umzusetzen. In Anlage 2 ist das Fließschema der geplanten Kläranlage Rhede ersichtlich. Dargestellt sind die geplanten, neuen Bauwerke sowie die Anlagenteile/-bereiche, die energetisch optimiert werden sollen.

6 Ableitung von Optimierungsmaßnahmen und Fahrplan zur Umsetzung

Die Ermittlung des Einsparpotenzials ergibt sich aus der Differenzbetrachtung der Ist-Werte und der Idealwerte für die Kläranlage Rhede.

6.1 Retrospektive

Auf der Kläranlage Rhede wurden in der Vergangenheit bereits Maßnahmen zur Energieeinsparung und Effizienzsteigerung durchgeführt. Folgende Maßnahmen sind zu nennen:

- Bau des Belebungsbeckens 2 (Belüftungstechnik dadurch erheblich energieeffizienter durch Druckbelüftungssystem als Mammutrotoren in Belebungsbecken 1).
- Austausch der alten Eindickungs-Aggregate (zwei Siebtrommeln) durch einen Band-eindicker im Jahr 2018.
- Außerbetriebnahme der alten Hochlastbiologie in Folge des Weggangs einer Textilfirma (Fa. Rössing) (Verringerung des Energieeinsatzes für Belüftung/Gebläse, Umwälzung, Rücklaufschlammförderung).

- Lufteintrag ins Sandfanggebläse wurde reduziert indem eins von zwei Gebläsen außer Betrieb genommen wurde (ausreichender Lufteintrag zur Umwälzung im Sandfang dadurch weiterhin gegeben).
- Provisorische Optimierung der Rücklaufschlammumpen durch betriebliche Anpassung der Laufzeiten (Rücklaufschlammumpen mit Förderleistung von 400 l/s überdimensioniert).

6.2 Beschreibung der Energieeinspar- und Energieeffizienzmaßnahmen

Im Folgenden werden die möglichen Energieeinspar- und Energieeffizienzmaßnahmen detailliert beschrieben. Zudem werden die daraus resultierenden Einsparungen für Strom und Wärme sowie die durch die Umsetzung voraussichtlich entstehenden Kosten erläutert.

6.2.1 Einsparpotenzial

Das energetische Einsparpotenzial errechnet sich aus der Differenz des derzeitigen Energieeinsatzes (Ist-Zustand) zu dem Zustand nach der Umsetzung der identifizierten Maßnahmen (Idealwerte) auf der Kläranlage Rhede. Vom derzeitigen Energieverbrauch mit ca. 857.592 kWh/a ist es durch die Umsetzung der Maßnahmen möglich einen zukünftigen Energieverbrauch von rund 554.830 kWh/a zu erreichen. Auf den Einwohner bezogen (mittlere CSB-Belastung) beläuft sich der spezifische Energieverbrauch somit auf 22,2 kWh/(EW·a).

Insgesamt ist es durch Umsetzung der energetischen Optimierung der Anlagen- und Bautechnik möglich, ein energetisches Einsparpotenzial von etwa 302.762 kWh/a zu erreichen. Bei aktuellen Strompreisen von etwa 0,23 €/kWh ergeben sich folglich Einsparkosten von 69.635 €/a.

Der Anteil der Eigenstromversorgung durch den Einsatz neuer BHKWs und Photovoltaikmodule beläuft sich auf ca. 389.262 kWh/a. Dadurch ergibt sich nach Umsetzung aller Maßnahmen (energetische Optimierung der Anlagen- und Bautechnik sowie Eigenstromerzeugung durch neue BHKWs und Photovoltaikanlage) zukünftig ein Strombezug vom EVU von etwa 165.568 kWh/a.

Folgende Maßnahmen werden zur bau- und anlagentechnischen Optimierung in Betracht gezogen.

6.2.2 Bautechnische Maßnahmen

Neubau Vorklärbecken:

Das alte Zwischenklärbecken, aus dem derzeit Primärschlamm in den Faulbehälter befördert wird, weist aufgrund seines hohen Alters erhebliche Bauwerksschäden auf. Mit einem Durchmesser von 27 m und einem Volumen von 1.620 m³ ist das Becken zudem sehr groß. Bei einem Bemessungs- Trockenwetterzulauf von 356 m³/h ergibt sich eine Durchflusszeit von 4,5 h. Üblicherweise sollte die optimale Durchflusszeit zwischen 0,75 h und 2 h liegen. Bei höheren Durchflusszeiten wird sehr viel Kohlenstoff abgeschieden, der im späteren Prozessverlauf in der biologischen Stufe fehlt. Somit ist kein optimaler Betrieb des Zwischenklärbeckens möglich.

Das geplante neue Vorklärbecken wird als Rechteckbecken konzipiert. Dimensioniert wird es für den maximalen Trockenwetterzufluss $Q_{T,h,max}$. Im Vorklärbecken werden die festen Abwasserinhaltsstoffe entfernt. Diese schwereren Stoffe sinken als organikreicher Primärschlamm auf den Boden. Mittels eines Schlammschiebers wird der Primärschlamm in den Schlammtrichter geschoben, um von dort aus mit Hilfe einer Tauchmotorpumpe über eine Rohrleitung auf eine Excenterpumpe im Erdgeschoss der geplanten Betriebsgebäudeerweiterung befördert zu werden. Über die Excenterpumpe wird der Schlamm über das Rohrsystem und den Wärmetauscher im neuen Maschinengebäude in den Faulbehälter gefördert. Die Tauchmotorpumpe wird zeitabhängig geschaltet und kann kontinuierlich drehzahlgeleitet betrieben werden. Die leichten bzw. gelösten Schmutzstoffe fließen mit dem Abwasser in das Belebungsbecken. Zur Rückhaltung von Schwimmstoffen ist vor der Ablaufschwelle eine Tauchwand angeordnet. Der abgeschiedene Primärschlamm soll für die Erzeugung von Faulgas zur Verbesserung der Energiebilanz der Kläranlage genutzt werden.

Der in der Belebung anfallende Überschussschlamm wird über eine separate Rohrleitung zur maschinellen Überschussschlammvoreindickung und von dort ebenfalls über den Wärmetauscher in den Faulbehälter gefördert.

Das neue Vorklärbeckenbecken hat ein Gesamtvolumen von 330 m³. Der Ablauf der Vorklärung wird zum Belebungsbecken 2 und 3 weitergeleitet. Bei hohem Mischwasserzufluss wird der Abwasseranteil, der nicht in die Vorklärung fließt, über einen Bypass an der Vorklärung vorbei direkt in die Kaskadenbelebung geleitet (vom Verteilerschacht direkt zum Sammelschacht S1).

Bei den durchzuleitenden Wassermengen ergeben sich für den Trockenwetterzufluss Aufenthaltszeiten von 0,77 Stunden (Zeiten ohne Berücksichtigung von Störzonen im Ein- und Auslauf).

Bruttovolumen $V_{\text{brutto}} = 330 \text{ m}^3$

Nettovolumen $V_{\text{netto}} = 275 \text{ m}^3$

Oberfläche $A = 28 \text{ m} \times 5 \text{ m} = 140 \text{ m}^2$

Zu erwartende Aufenthaltszeit (ohne Berücksichtigung von Störzonen im Ein- und Auslauf:

bei Trockenwetterzufluss $Q_{T,h,\text{max}}$:
$$t_R = \frac{275 \text{ m}^3}{356 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,77 \text{ h}$$

An den Verteilergerinnen zwischen Sandfang und Vorklärung wird eine Rinne zur Umfahrung der Vorklärung vorgesehen. Damit kann die Vorklärung problemlos außer Betrieb genommen werden. Auch eine ständige Teilumfahrung kann hiermit betrieblich umgesetzt werden, um z. B. mehr Substrat für die Denitrifikation in der Belebungsanlage bereitzustellen.

Die Investitionskosten für Bau- und Maschinentechnik belaufen sich bei dem Neubau des Vorklärbeckens auf insgesamt ca. 342.720 € netto. Die Kosten für die Baustelleneinrichtung sind in diesen Kosten enthalten.

Neubau Belebungsbecken 3:

Es ist in Planung ein neues Belebungsbecken (Belebungsbecken 3) zu errichten, um zusätzliches Belebungsbeckenvolumen zu schaffen, sodass beim Wegfall des Belebungsbeckens 1 die Abwasserqualität im Ablauf der Nachklärung gewährleistet bleibt. Das Becken soll nahezu baugleich zu Belebungsbecken 2 errichtet werden. Lediglich die Beckentiefe sowie die Gestaltung der Brücken über das Belebungsbecken werden sich vom Belebungsbecken 2 unterscheiden. Planungstechnisch wurde eine Erweiterung im Entwurf von 1996 bereits berücksichtigt. Die Erweiterungsfläche befindet sich direkt unterhalb von Belebungsbecken 2. Im Zulaufschacht zu Becken 2 wurden bereits Öffnungen und Schieber vorgesehen, um eine neue Zulaufleitung zu Becken 3 einbinden zu können.

Verfahrenstechnisch soll durch eine neue Anordnung der Zu- und Ablaufleitungen die Möglichkeit geschaffen werden, die beiden Belebungsbecken als Kaskade zu betreiben. Das bedeutet, dass beide Becken hintereinander durchflossen werden. Der Zulauf des Abwassers aus der Vorklärung wird jedoch anteilmäßig aufgeteilt, um genügend Kohlenstoff für die Stickstoffelimination vorzuhalten. Das Verfahren der Kaskadendenitrifikation bringt einige Vorteile im Bereich der Stickstoffelimination, benötigt allerdings entsprechende hydraulische Verhältnisse. Durch den Neubau von Belebungsbecken 3, können diese hydraulischen Reserven vorgesehen werden. Die Zu- und Ablaufleitungen werden so angeordnet, dass ein Parallelbetrieb oder auch ein Einzelbetrieb der beiden Becken jederzeit möglich ist.

Die technische Ausrüstung (Rührwerke, Belüftung, Messtechnik) wird analog zu Belebungsbecken 2 ausgeführt werden. Auf die Anlagentechnik wird im folgenden Kapitel 6.2.3 und 6.2.4 Bezug genommen.

Durch die Aufgabe des Belebungsbeckens 1 (sehr hoher Energiebedarf durch den Einsatz von Oberflächenbelüftern) und den Neubau des Belebungsbeckens 3 ist es möglich besonders energieeffiziente Anlagentechnik im neuen Becken zu verbauen und einen großen Anteil an Energie einzusparen.

Die energetischen Einsparungen durch den Neubau des Belebungsbeckens 3 können nur im Vergleich zum bestehenden Belebungsbecken 1 aufgezeigt werden, da das neue Becken, das Alte ersetzt. Jedoch ist ein direkter Vergleich kaum möglich, da das Belebungsbecken 1 mit einem Beckenvolumen von ca. 6.800 m³ doppelt so groß ist, wie das geplante neue Becken.

Festzuhalten ist, dass durch die Abschaltung der ineffizienten Mammutrotoren in Belebungsbecken 1 sowie der Rührwerke und der Einsatz einer neuen Belüftungstechnik und energieeffizienter Rührwerksgetriebe im Belebungsbecken 3, sich im Idealfall eine Differenz von 176.250 kWh/a ergibt, was eine jährliche Ersparnis von rund 40.500 €/a ausmacht. Die detaillierten Ersparnisse durch den Ersatz der alten Anlagentechnik werden in dem folgenden Kapiteln erläutert.

Die Investitionskosten für Bau- und Maschinentechnik sowie technische Ausrüstungen und Metallbau-/und Schlosserarbeiten belaufen sich bei dem Neubau des Belebungsbeckens auf insgesamt ca. 1.212.850 € netto. Die Kosten für die Baustelleneinrichtung sind in diesen Kosten enthalten. Die Kosten für die Leitungsverlegungen zum und ab dem neuen Becken sind nicht berücksichtigt.

Neubau Faulbehälter:

Der Faulbehälter gehört zur Erstausrüstung der Kläranlage Rhede und wurde Mitte der 50er Jahre errichtet. Laut Aussage des Betriebspersonals wurde der Faulbehälter noch nie entleert. Aufgrund der sehr langen Betriebszeit ist davon auszugehen, dass sich mittlerweile erhebliche Schäden am und im Bauwerk befinden und, dass die Anlagentechnik und die Bauwerkssubstanz (Schlammumwälzung und Aufheizung) nicht mehr dem heutigen Stand der Technik entsprechen. Ein sicherer Betrieb ist somit nur noch schwerlich aufrecht zu erhalten. Somit ist der Neubau eines Faulbehälters anzustreben.

Konventionelle Faulbehälter wurden in der Vergangenheit meist in Eierform und aus Stahlbeton gebaut. Diese Bauweise ist sehr aufwendig und teuer. Seit einigen Jahren werden

immer mehr Faulbehälter, insbesondere auf kleineren Kläranlagen, in Form eines zylindrischen Stahlbehälters ausgeführt. Diese Behälter sind vergleichbar mit Biogasanlagen, werden aber üblicherweise in Edelstahl ausgeführt um die Langlebigkeit zu erhöhen. Die größten Vorteile dieser Stahlbehälter liegen in der deutlich kürzeren Bauzeit und dem geringeren Herstellungsaufwand. Der Aufbau und die technische Ausführung ähnelt der Stahlbetonausführung. Um die Temperatur im Inneren des Behälters konstant zu halten, wird der Behälter mit einer Isolierung versehen. Die Umwälzung erfolgt üblicherweise mittels Rührwerks.

Technische Angaben des Getriebemotors des Rührwerks:

Erf. Leistungsdichte: 5 W/m³

Umwälzung: 8 - 10 x pro Tag

Motornennleistung: 8,5 kW (inkl. Leistungsreserve)

Die Faulbehälterheizung erfolgt mittels außenliegenden Wärmetauschers der an den Schlammumwälzleitungen montiert ist.

Die Wärmeversorgung des Wärmetauschers erfolgt über die Abwärme des BHKWs. Gleichzeitig erfolgt hierdurch die Gebäudeheizung (einschl. neues Maschinengebäude) und die Warmwasserversorgung.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der bestehende Faulbehälter alterungsbedingt in jedem Fall ersetzt werden muss. Durch den Neubau des Faulbehälters wird durch effizientere Rührwerkstechnik eine höhere Faulgasbeute erwartet und somit eine größere Strommenge erzeugt. Der Eigenstromanteil wird erhöht.

Die Investitionskosten für Bau-, Anlagen- und Maschinenteknik belaufen sich bei dem alterungsbedingten Ersatz des Faulbehälters auf insgesamt ca. 965.500 € netto. Die Kosten für die Baustelleneinrichtung sind in diesen Kosten enthalten.

Erneuerung Entwässerungsaggregat:

Der anfallende Schlamm aus der Faulung wird aktuell mittels Kammerfilterpresse entwässert und im Anschluss einer thermischen Verwertung zugeführt. Die Filterpresse wurde in den späten 70er Jahren errichtet, 1999 überholt und ist auf dem Kläranlagengelände in einem separaten Schlammmentwässerungsgebäude untergebracht. Die derzeit betriebene Kammerfilterpresse weist bereits ein hohes Alter auf, sodass ein alterungsbedingter Ersatz notwendig ist.

Ein Großteil der im Schlammmentwässerungsgebäude untergebrachten Anlagenteile, wie z. B. die Schlammvorlagebehälter, das Kalksilo, der Eisen-III-Behälter sowie die entsprechende Pumpentechnik, werden in Zukunft nicht mehr benötigt und können zurück gebaut werden. Der freiwerdende Raum kann für die neue energieeffiziente Schlammmentwässerungsmaschine genutzt werden.

Durch den Einsatz einer energieeffizienteren Entwässerungsanlage, beispielsweise einer Bandfilterpresse, sind spezifische Idealwerte von 1,1 - 1,4 kWh/m³ Faulschlammmenge (inkl. Beschickungspumpe und Konditionierungsanlage) zu erreichen. Einsparungen von ca. 45.414 kWh/a und somit 10.445 €/a für Energiekosten sind durch den Ersatz der alten Kammerfilterpresse durch ein neues, energieeffizienteres Entwässerungsaggregat möglich.

Die Investitionskosten für den alterungsbedingten Ersatz des Entwässerungsaggregates belaufen sich auf etwa 160.000 € netto.

Faulgasverstromung durch den Einsatz neuer BHKWs:

Die BHKW-Anlage wird für den Grundlastbetrieb dimensioniert, wobei eine hohe Betriebsstundenzahl pro Jahr von mehr als 6.000 h/a angestrebt wird.

Zusätzlich zum BHKW wird ein Heizkessel installiert, der mit einem Zweistoffbrenner für Faulgas/Flüssiggas oder Faulgas/Öl ausgerüstet wird. Der Heizkessel dient zum einen als Sicherheitsreserve bei Ausfall des BHKWs und zum anderen für die Inbetriebnahme des neu errichteten Faulbehälters.

Es ist vorgesehen, dass bei der Faulung anfallende Gas durch das BHKW zu verstromen. Durch die Modernisierung und Verkleinerung der Vorklärung und somit einem erhöhtem Primärschlammfall in Verbindung mit der Fettzugabe aus der Fettabcheidung des Sandfanges soll ein hoher Gasanfall erreicht werden.

Bei der Leistungswahl der BHKWs ist darauf zu achten, dass das Aggregat nicht zu groß ausgelegt wird, da sich dann der Wirkungsgrad verschlechtert.

Aggregatauslegung und prozentuale Strombedarfsdeckung

Es werden zwei BHKW mit einer Leistung von jeweils etwa 31 kW elektrisch bzw. 55 kW thermisch vorgesehen. Hiermit ist, bei einem Gasanfall der für 24 h-Betrieb ausreicht, eine Eigenstromdeckung von etwa 45 - 50 % zu erreichen.

Werden die Berechnungsansätze zur Bestimmung des anlagenbezogenen Idealwerts für Strom- und Wärmeerzeugung des Anhangs A.3 DWA-A 216 angewandt, ergeben sich folgende Idealwerte:

$$E_{KWK,el.} = \eta_{el.} \cdot H_i \cdot Q_{FG,a} \cdot N_{KWK} \approx 294.262 \text{ kWh/a}$$

$$E_{KWK,th.} = \eta_{th.} \cdot H_i \cdot Q_{FG,a} \cdot N_{KWK} \approx 522.078 \text{ kWh/a}$$

$E_{KWK,el.}$:	<i>Stromerzeugung in kWh/a</i>
$E_{KWK,th.}$:	<i>Wärmeerzeugung in kWh/a</i>
$\eta_{el.}$:	<i>Elektrischer Wirkungsgrad $\approx 31 \%$</i>
$\eta_{th.}$:	<i>Thermischer Wirkungsgrad $\approx 55 \%$</i>
H_i :	<i>Heizwert Faulgas $\approx 6 \text{ kWh/m}^3$</i>
$Q_{FA,a}$:	<i>Jahressumme des Faulgasverbrauchs $\approx 166.531 \text{ m}^3/\text{a}$ (25.000 EW)</i>
N_{KWK} :	<i>Anteil des verstromten Faulgases $\approx 95 \%$</i>

Durch eine Stromerzeugung durch die BHKWs von 294.262 kWh/a, resultiert durch den Eigenstromanteil eine Verminderung der Energiebezugskosten von jährlich ca. 67.680 € (Annahme 0,23 €/kWh). Bei Investitionskosten für die Maschinentechnik und technische Ausrüstung von etwa 350.000 € netto für zwei Module würde sich die Anlage in weniger als 6 Jahren amortisieren.

Installation von Photovoltaikmodulen:

Um die Eigenstromdeckung auf der Kläranlage Rhede noch weiter zu steigern, ist die Installation von Photovoltaikanlagen sinnvoll.

Auf der Kläranlage Rhede gibt es derzeit und zukünftig einige Möglichkeiten die PV-Module zu platzieren. Anbieten würden sich die neu geplanten Gebäude (Sozialgebäude und Maschinenhaus) und ggf. die vorhandenen Gebäude (Einlaufgruppe, Schlammwässerung und Fahrzeughalle).

Folgende Dachflächen stehen zur Verfügung:

Sozialgebäude (neu)	246,84 m ²	
Maschinengebäude (neu)	193,06 m ²	
Fahrzeughalle (Bestand)	81,325 m ²	(Nr. 17 im Luftbild, Abbildung 1)
Schlammbehandlung (Bestand)	282,02 m ²	(Nr. 15 im Luftbild, Abbildung 1)
<u>Einlaufgruppe (Bestand)</u>	<u>636,00 m²</u>	<u>(Nr. 1 im Luftbild, Abbildung 1)</u>
	1.439,00 m²	

(Bemerkung: Bei bestehenden Gebäuden ist die Statik zu prüfen!)

Ließen sich auf den Dachflächen der Gebäude auf rund 750 m² PV-Module mit einer Leistung von 0,157 kWp/m² installieren (117,75 kWp) bei einer Ertragsprognose von 830 kWh pro 1 kWp-Nennleistung, können damit dann etwa im Jahresmittel

$$750 \text{ m}^2 \cdot 0,157 \text{ kWp/m}^2 \cdot 830 \text{ kWh} \approx \mathbf{95.000 \text{ kWh/a}} \text{ (117,75 kWp)}$$

erzeugt werden.

Eine Deckungsquote des Energiebedarfs für Strom von mindestens 70 % (im Jahresmittel) ist mit der Faulgasverstromung und dem Einsatz von PV-Modulen erreichbar.

Im Fall von Energieerzeugungsspitzen (sonnige Tage und volle Auslastung der BHKWs bei gleichzeitiger betrieblicher Minimalauslastung der Anlagen- und Maschinenteknik) wird möglicherweise mehr Energie erzeugt, als sie auf der Kläranlage benötigt wird. Dies hat zu Folge, dass ein Stromanteil in das öffentliche Netz eingespeist würde. Um diesen Effekt zu vermeiden, da durch die Einspeisung von Strom die Vergütung sehr gering ausfällt, ist es denkbar den Betrieb des auf dem Kläranlagengeländes vorhandenen Gasspeichers so zu optimieren, dass das Gas insbesondere dann umgewandelt wird, wenn die PV-Anlage keinen Strom erzeugt. Dies wäre nachts und an sehr bewölkten Tagen der Fall. Wie genau eine solche betriebliche Maßnahme umgesetzt werden kann, kann erst im Laufe des Betriebs erprobt und festgestellt werden.

Durch eine Stromerzeugung durch die PV-Module von 95.000 kWh/a, resultiert durch den Eigenstromanteil eine Verminderung der Energiebezugskosten von jährlich ca. 21.850 € (Annahme 0,23 €/kWh). Bei Investitionskosten für die Maschinenteknik und technische Ausrüstung von etwa 170.000 € netto (20 Jahre Laufzeit) für 800 m² Modulflächen würde sich die Anlage in weniger als 8 Jahren amortisieren.

6.2.3 Erneuerung der Belüftung

Um das hohe Energieeinsparpotenzial im Bereich der Belüftung der Belebung zu nutzen, wird eine Erneuerung des Belüftungssystems inkl. Ersatz der Gebläse für das Belebungsbecken 2 vorgesehen. Im Rahmen des Neubaus des Belebungsbeckens 3 werden grundsätzlich energieeffiziente Belüfter und Gebläse vorgesehen.

Austausch der Belüfterelemente:

Im Rahmen der Erneuerung des Belüftungssystems kann als eine weitere Optimierungsmaßnahme ein Austausch der Belüfterelemente in Belebungsbecken 2 vorgesehen werden. Derzeit werden auf der Kläranlage Rhede Schlauchbelüfter eingesetzt. Diese Belüfter haben

eine Lebensdauer von ca. sieben bis zehn Jahren, können bei gesteigerter Luftbeaufschlagung aber deutlich früher Verschleißerscheinungen aufweisen. Die derzeitige Nutzungsdauer beträgt derzeit ca. 5 Jahre.

Der Eintrag des Sauerstoffs erfolgt dann nicht mehr optimal, was zu gesteigerten Laufzeiten der Gebläse führt. Erkennbar sind diese Verschleißerscheinungen an einem unregelmäßigen Blasenbild an der Wasseroberfläche. In diesem Fall sollten die Belüfter entweder gereinigt oder ausgetauscht werden. Aufgrund des fortgeschrittenen Alters der Belüfterelemente besteht die Möglichkeit, das Belüftungssystem gegen ein moderneres System zu ersetzen.

Derzeit am Markt angebotene Systeme führen nachweislich zu erheblichen Energieeinsparungen. Bei der Wahl eines geeigneten Systems sind zudem lange Standzeiten erreichbar. Aktuell werden immer häufiger Plattenbelüfter oder Streifenbelüfter eingesetzt, die einen höheren Sauerstoffeintrag sowie längere Standzeiten aufweisen.

Der Energieverbrauch für die Druckbelüftung des Belebungsbeckens 2 beträgt gemäß Verbrauchermatrix ca. 116.901 kWh/a. Durch den Einsatz großformatiger Plattenbelüfter können bis zu 20 - 30 % Belüftungsenergie eingespart werden. Unter der Annahme einer Einsparung von 20 % entspräche dies ca. 23.380 kWh/a. Bei einem Strompreis von ca. 0,23 €/kWh ergibt sich eine Einsparung von ca. 5.377 € pro Jahr.

Die derzeit am Markt verfügbaren großformatigen Membranplattenbelüfter sind relativ kostenintensiv. Vorteilhaft ist die hohe Lebensdauer von ungefähr 20 Jahren. Ein weiterer Vorteil von Membranplattenbelüftern liegt darin, dass das vorhandene Luftzuführungssystem weitestgehend erhalten und weiterverwendet werden kann. Die Modernisierungskosten bleiben dadurch geringer. Für die Membranplattenbelüfter wären Investitionskosten von ca. 60.000 € netto notwendig. Gegebenenfalls sind Re-Investitionskosten zu berücksichtigen.

Einsatz energieeffizienter Gebläse (Belebungsbecken)

Die auf der Kläranlage Rhede verwendeten drei Drehkolbengebläse zur Erzeugung der im Belebungsbecken benötigten Druckluft sind seit knapp 20 Jahren im Einsatz. Im Gebäude der Einlaufgruppe sind drei Gebläse mit einer Förderleistung von je 700 Nm³/h und zuzüglich ein Reserveaggregat untergebracht und in Betrieb.

Für die mittlere Einwohnerbelastung von 25.000 EW wurde der maximale Luftbedarf in der Belebungsanlage, für beide Belebungsbecken, mit 1.435 m³/h ermittelt. Die Gebläse müssen diese Luftmenge mindestens gewährleisten. In Hinblick auf eine mögliche zukünftige Belastungssteigerung der Kläranlage Rhede, sollte daher die Gebläsestation um zwei neue Gebläse mit einer Förderleistung von jeweils 1.000 m³/h erweitert werden. Um die Energieeffizienz

im Belebungsbecken weiter zu steigen, stellt möglicherweise auch der Austausch der vorhandenen drei Gebläse eine energetisch sinnvolle Maßnahme dar. Geplant ist zunächst der Austausch eines Gebläses. Die vorhandene Förderleistung von jeweils 700 m³/h kann als ausreichend angesehen werden.

Im Allgemeinen sind bei der Auslegung der Gebläse die mechanischen Grenzen des Gebläses für die maximale und minimale Drehzahl sowie der maximale Gegendruck und die maximale Austrittstemperatur einzuhalten. Bei der Auslegung von Gebläsen ist zudem darauf zu achten, dass bei gleichem Normvolumenstrom höhere Drehzahlen energieeffizienter sind. Die Inkaufnahme eines erhöhten Verschleißes sollte in Hinblick auf die Instandhaltung allerdings vertretbar sein. Eine 100 %-ige Auslastung des Gebläseblocks und des E-Motors sollte daher aufgrund von erhöhtem Verschleiß vermieden werden. Oft liegt das Optimum im 2/3-Bereich. Dies hängt allerdings stark von den Einflussgrößen und der Betriebsweise ab (Bauer, 2009).

Hinweis: Zur Vermeidung einer 100 %-Auslastung der Gebläse gilt folgende Auslegungsf Faustregel:

$$\begin{aligned} \text{Maximale Gebläsedruckauslegung} &= \text{Wassersäule} / \text{Einblastiefe (100 mbar/m} + \\ &\text{Druckverluste durch Belüfter (50 mbar))} + \text{Rohrleitung ((30 mbar) + Reserve (20 mbar))} \\ &+ \text{Zusatzreserve (bis zu 5 - 10 \%)} \end{aligned}$$

Der Elektromotor sollte bei einer Auslastung im Grenzbereich eine Stufe größer gewählt werden.

Zur Verbesserung des Verschleißverhaltens und Verlängerung der Standzeiten sind kritische Daueröltemperaturen über 120°C zu vermeiden. Kritische Endtemperaturen über 120 °C entstehen nach Bauer (2009) durch:

- hohe Gegendrücke (u. a. durch Druckverluste in Rohrleitung und Belüfterelementen)
- zu hohe Ansauglufttemperaturen z. B. durch hohe Umgebungstemperaturen im Gebläseraum
- niedrige Drehzahlen, die nicht so effizient sind

Mögliche Gegenmaßnahmen hierfür sind nach Bauer (2009):

- kühlere Ansaugluft direkt von außen auf die Gebläse führen (hierbei den möglichen Schallaustrag nach außen und den zusätzlichen Aufwand für die Luftzuführung berücksichtigen)
- Isolierung der Sammeldruckrohrleitung und möglichst kurze Leitungswege im Gebläseraum zur Vermeidung von Strahlungswärme
- optimale Auslegung der Zu- und Abluftanlage (Nachweis mittels Kühllast- und Luftbedarfsberechnung durch den Planer/Ausrüster)

Inzwischen werden auch am Markt befindliche, energieeffizientere Schraubenkompressoren eingesetzt. Diese Kompressoren haben einen nochmals niedrigeren Energieverbrauch und ermöglichen einen weiteren Regelbereich als Drehkolbengebläse. Bei gleichem Volumenstrom sind zudem geringere Motorleistungen ausreichend (Xylem Water Solutions, 2017). Da auf der Kläranlage Rhede zwei neue Gebläse angeschafft und ein Gebläse ausgetauscht werden sollen, können als Ersatz optional Schraubenkompressoren vorgesehen werden.

Die Investitionskosten für die drei neuen Gebläse (inkl. Schallhauben) belaufen sich auf 54.000 € netto.

Einsatz neuer Rührwerke:

Das Belebungsbecken 2 der Kläranlage Rhede ist mit insgesamt drei Rührwerken ausgestattet. Ein Sohlrührwerk mit einer Nennleistung von 3,4 kW befindet sich in der ersten Zone, der Denitrifikationszone. Zwei weitere sind in der Nitrifikationszone des Beckens angeordnet (Nennleistung = 3,5 bzw. 3,8 kW).

Erfahrungsgemäß sollten Rührwerke einen Leistungseintrag von ca. 1,5 - 4,0 W/m³ aufweisen. Aufgrund ihres hohen Alters und der schlechten Energieeffizienz der alten Rührwerke ist ein alterungsbedingter Ersatz der Rührwerke vorgesehen. Dabei sind effizientere Rührwerke, welche für einen Frequenzumrichterbetrieb zur Drehzahlregelung geeignet sind, zu empfehlen. Mit diesen Rührwerken kann die Propellerdrehzahl an die vorhandenen Gegebenheiten angepasst werden. Gleichzeitig ist ein sanfter Anlauf und ebenso eine sanfte Abgrenzung des Motors gewährleistet. In der Nitrifikationszone erfolgt die Belüftung intermittierend. Der volle Schub der Rührwerke ist nur in der belüfteten Phase erforderlich, da die aufsteigenden Luftblasen einen Widerstand darstellen, der vom Rührwerk überwunden werden muss. In der unbelüfteten Phase kann dann die Propellerdrehzahl reduziert werden (Xylem Water Solutions, 2017).

Bei alterungsbedingtem Ersatz der Rührwerke kann als weitere Maßnahme der Einbau energieeffizienter Motoren vorgesehen werden. Da es sich bei den Umwälzpropellern um Dauerläufer handelt, ist dementsprechend eine relativ hohe Energieeinsparung zu erwarten.

Die Investitionskosten für die Erneuerung der drei Rührwerk in Belebungsbecken 2 (inkl. Halterung und Aushebevorrichtung) liegen bei 48.000 € netto.

6.2.4 Erneuerung von Pumpen und Motoren

Die Hersteller von Elektromotoren haben sich im Rahmen eines europaweiten Abkommens verpflichtet, die Wirkungsgrade von Elektromotoren eindeutig anzugeben. Absteigend in der Effizienz wurde bis zum Jahr 2009 zwischen drei Wirkungsgraden EFF1 – EFF2 – EFF3 unterschieden. Die bisherigen europäischen Effizienzklassen (EFF) wurden jedoch durch die weltweit gültigen Effizienzklassen IE1 (\cong EFF2), IE2 (\cong EFF1) sowie IE3 ersetzt, welche aufsteigend in der Effizienz IE1 – IE2 – IE3 sind. Die Energieeffizienzklasse wird auf dem Typenschild des Motors angegeben oder kann den Herstellerunterlagen entnommen werden. Kann keine Energieeffizienzklasse ermittelt werden, kann für alte Motoren die Effizienzklasse EFF3 unterstellt werden.

Abbildung 6 stellt die elektrischen Wirkungsgrade in den verschiedenen Energieeffizienzklassen für einen 4-poligen Motor mit 50 Hz Nennfrequenz dar.

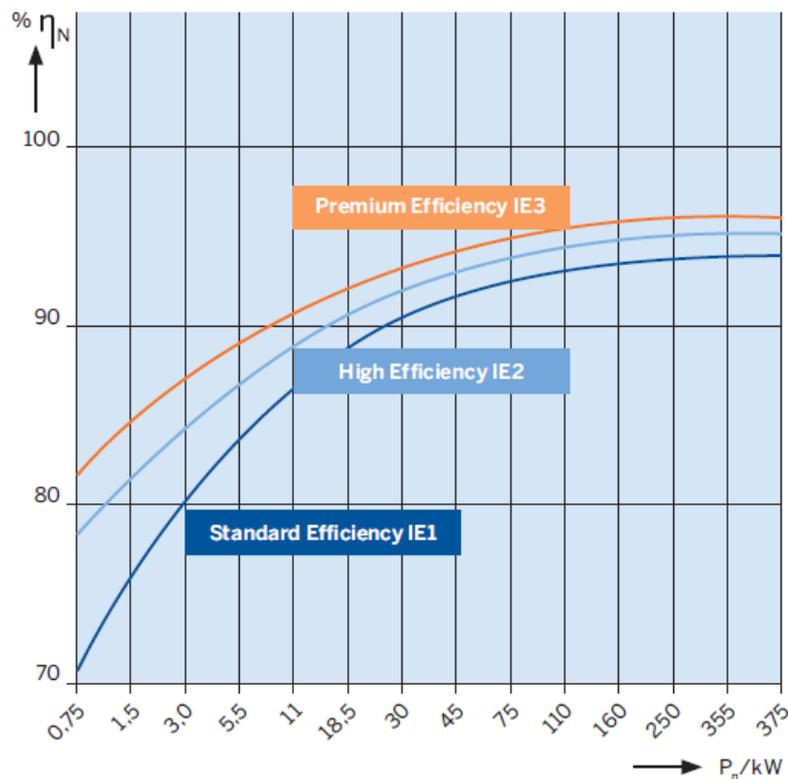


Abbildung 6: Effizienzklassen nach DIN-EN 60034-30 (EnergieAgentur.NRW, 2010)

Aufgrund des Alters der auf der Kläranlage Rhede eingesetzten Antriebe ist davon auszugehen, dass überwiegend Antriebe der Effizienzklasse EFF3 in Verwendung sind. Müssen zukünftig verschleißbedingt Motoren ersetzt werden, bietet es sich an, diese Motoren durch energieeffizientere Antriebe auszutauschen. Die erhöhten Investitionskosten beim

Einsatz von hocheffizienten Motoren rechnen sich oftmals relativ kurzfristig durch die wirkungsvollere Energieaufnahme. Insbesondere bei Dauerläufern besteht daher oft ein hohes Energieeinsparpotenzial.

Kreiselpumpen auf der Kläranlage Rhede:

Folgende zusätzliche Hilfsmittel- und Methoden können helfen, den Stromverbrauch von Kreiselpumpen im Allgemeinen zu senken.

Durch stärkeren Einstau im Pumpensumpf ist es möglich, die Förderhöhe zu verringern und somit den elektrischen Energieverbrauch der jeweiligen Pumpe. Dabei ist zu prüfen, ob und inwieweit der Ein- bzw. Ausschaltpunkt nach oben versetzt werden kann.

Grundsätzlich, vor allem bei defekten Laufrädern, ist der Einsatz unterschiedlicher Laufradformen zu prüfen. Der Wirkungsgrad von Kreiselpumpen ist insbesondere eben von dieser abhängig, da Laufräder, die unempfindlich gegen Verzopfungen sind, tendenziell geringere Wirkungsgrade aufweisen.

Vorbeugende Kontrollen und Wartungen der Kreiselpumpen nach den Wartungsvorschriften der Hersteller sind wichtig zur Ermittlung von unnötigen Verlusten bzw. einer übermäßigen Motorbeanspruchung. Ein merklicher Anstieg der Stromaufnahme ist als Warnsignal zu werten. Aus diesem Grund sind die jeweiligen Amperemeteranzeigen regelmäßig zu kontrollieren, zu dokumentieren und zu verfolgen (Baumann, P. et al. 2014).

Einsatz energieeffizienter Zulaufpumpen:

Die derzeit betriebenen vier Zulaufpumpen, sowie eine Störfallpumpe bilden den verfahrenstechnischen Anfang der Kläranlage Rhede. Mit Hilfe der Pumpen wird das Abwasser, das hauptsächlich aus dem Stadtgebiet Rhede zur Abwasserbehandlungsanlage kommt, auf das Kläranlagenniveau gehoben, um die Kläranlage im freien Gefälle zu durchfließen. Derzeit liegt der Stromverbrauch des Zulaufpumpwerks bei 91.178 kWh/a. Ein hoher Energiebedarf ist, aufgrund einer manometrischen Höhe von 9,5 m, nicht ungewöhnlich.

Durch den Einsatz optimal dimensionierter und energieeffizienter Zulaufpumpen lässt sich der Stromverbrauch bei einem Wirkungsgrad der Pumpen von 0,55 (Durchschnitt von 0,5 - 0,6 für Einkanalrad-Kreiselpumpen) bei derselben zu überwindende Höhe ein Energiebedarf auf 57.246 kWh/a verringern.

Durch eine Erneuerung der Förderpumpe kann entsprechend der Differenz aus Ist- und Idealwert eine Energieeinsparung von ca. 33.932 kWh/a erreicht werden. Unter Zugrundelegung eines Strompreises von ca. 0,23 €/kWh ergibt sich eine monetäre Einsparung von ca.

7.800 € pro Jahr. Die erforderlichen Investitionskosten betragen ca. 75.000 €. Gegebenenfalls sind Re-Investitionskosten zu berücksichtigen. Nach ca. 10 Jahren würden sich die Pumpen amortisieren.

Einsatz energieeffizienter Rücklaufschlammumpen:

Der Rücklaufschlamm der Kläranlage Rhede wird aus den beiden Nachklärbecken abgezogen und über das Rücklaufschlammumpwerk zurück in die Belebung geführt. Die Rücklaufschlammumpen sind in einem Pumpenkeller zwischen den beiden Nachklärbecken untergebracht. Der Rücklaufschlamm wird mittels drei trocken aufgestellter Pumpen gefördert. Die Förderleistung pro Pumpe beträgt 400 m³/h. Diese kann mittels Frequenzumformer angepasst werden. Die Pumpen wurden im Jahr 2010 erneuert. Die neuesten Betriebserfahrungen haben gezeigt, dass die Förderleistung der drei Pumpen von je 400 m³/h an den meisten Trockenwettertagen deutlich zu groß ist und aus diesem Grund häufig zu viel Rücklaufschlamm aus dem Belebungsbecken abgezogen wird.

Im Zuge der Modernisierungsarbeiten soll das Rücklaufschlammumpwerk angepasst und die Pumpentechnik optimiert werden. Die Pumpen sollen durch Aggregate ersetzt werden, die eine geringere Förderleistung aufweisen und regelbar ausgeführt sind.

Die Pumpen sollen wie folgt gestaffelt werden

- 1 x 100 m³/h,
- 1 x 200 m³/h und
- 1 x 400 m³/h.

Somit soll eine alte Pumpe bestehen bleiben und zwei neue, kleinere Pumpen verbaut werden. Zusätzlich soll die Fördermenge über Drosselschieber in der Saugleitung reguliert werden können. Die Schaltanlagen inkl. Frequenzumrichter (FU) sollen ebenfalls erneuert werden.

Der Stromverbrauch des Rücklaufschlammumpwerks beträgt derzeit rund 37.000 kWh/a. Durch den Austausch zweier alter Pumpen durch optimal dimensionierte, kleinere Pumpen, die mit Frequenzumrichter ausgestattet sind und einen besseren Wirkungsgrad aufweisen, kann der Stromverbrauch unter Zugrundelegung der gleichen Betriebsstunden je Pumpe entsprechend der Idealwertberechnung auf ca. 21.300 kWh/a reduziert werden. Diese Energieeinsparung von ca. 15.700 kWh/a entspricht bei einem Strompreis von ca. 0,23 €/kWh einer monetären Einsparung von ca. 3.611 € pro Jahr. Die erforderlichen Investitionskosten betragen ca. 22.500 € netto. Bei den genannten Investitionskosten für den Ersatz der drei Rücklaufschlammumpen würde sich die Pumpen in weniger als 7 Jahren amortisieren. Gegebenenfalls sind Re-Investitionskosten zu berücksichtigen.

Auslegung der Rücklaufschlammumpfen:

Wahl des Rücklaufverhältnisses bei Mischwasserzufluss ($RV = Q_{RS}/Q_M \leq 0,75$):

$$RV = 0,75$$

Erf. Förderleistung:

$$Q_{RS} = 0,75 \cdot Q_M = 0,75 \cdot 653 \text{ m}^3/\text{h} \approx \mathbf{490 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Gewählt: drei Mehrkanal- oder Spiralrad-Pumpen mit einem Wirkungsgrad von $\eta_{\text{ges}} = 0,65 - 0,75$; eine Pumpe mit $100 \text{ m}^3/\text{h}$ Förderleistung, eine Pumpe mit $200 \text{ m}^3/\text{h}$ und eine Pumpe mit $400 \text{ m}^3/\text{h}$ Förderleistung als Reserve im Falle maximaler Förderung ($Q_{RS} = Q_M$).

Einsatz energieeffizienter Primärschlammumpfen:

Das vorhandene Pumpwerk ist aus den 60er Jahren und wurde seitdem noch nicht modernisiert. Das Pumpwerk, das derzeit den anfallenden Primärschlamm aus der Zwischenklärung in den Faulbehälter fördert, muss im Zuge der Modernisierungsarbeiten komplett erneuert und an die neuen Schlammengen angepasst werden. Des Weiteren muss die komplette Steuerungstechnik, die sich in einem Raum oberhalb des Pumpenkellers befindet, erneuert werden. Der Austausch der vorhandenen Primärschlammumpfen durch energieeffizientere Pumpen ist vorgesehen. Der umlaufend verglaste Raum, in dem die Schaltanlage aufgestellt ist, muss aufgrund der alten Bausubstanz und der unzureichenden Wärmeisolierung ebenfalls komplett erneuert werden.

Geplant ist, dass der Primärschlamm mit zwei frequenzgeregelten Exzentrerschneckenumpfen aus dem Schlammtrichter des Vorklärbeckens auf den Faulbehälter gefördert wird, wobei eine Exzentrerschneckenpumpe als Reserveaggregat vorgehalten wird.

gewählt:

Aggregat: 2 Exzentrerschneckenumpfen

Motorleistung: 7,5 kW

Fördermenge: $15 \text{ m}^3/\text{h} - 25 \text{ m}^3/\text{h}$

Förderhöhe: gegen 6 bar

Zur Homogenisierung und Zerkleinerung von Fettstoffen, Verzopfungen etc. wird der Primärschlamm zuvor über einen Mazerator (Zerkleinerer) gepumpt.

Aggregat: 1 Zerkleinerer

Motorleistung: 4 kW

Durchsatzleistung: max. 25 m³/h

Derzeit liegt der Stromverbrauch der Primärschlammabzug auf der Kläranlage Rhede bei rund 10.000 kWh/a. Die vorhandenen zwei Pumpen werden jeweils 2 Stunden am Tag im Wechsel betrieben.

Der geplante neue Primärschlammabzug soll über eine Exzenterpumpe erfolgen, wobei die zweite geplante Pumpe als Reservepumpe dienen soll. Durch die optimale Dimensionierung der Pumpen angepasst an das neu geplante Vorklärbecken (siehe Kapitel 6.2.2) liegt der Idealwert der Pumpen bei insgesamt etwa 610 kWh/a. Der Austausch der Primärschlammumpen weist ein hohes Energieeinsparpotenzial auf. Durch die Einsparung von rund 9.430 kWh/a ergeben sich Einsparungen von ca. 2.170 €.

Die erforderlichen Investitionskosten für zwei Primärschlammumpen betragen ca. 20.000 €. Bei den genannten Investitionskosten für den Ersatz der drei Rücklaufschlammumpen würde sich die Pumpen in weniger als 10 Jahren amortisieren. Gegebenenfalls sind Re-Investitionskosten zu berücksichtigen.

Einsatz energieeffizienter Umwälzpumpen:

Durch den Neubau des Faulbehälters wird die Verfahrenstechnik zur Umwälzung des Faulschlammes geändert. Geplant ist ein Rührwerk sowie an der Außenwand befestigte Strömungsbrecher zur Durchmischung des Faulbehälterinhalts. Aktuell wird die Umwälzung des gesamten Faulschlammes über Umwälzpumpen gewährleistet.

Der Einsatz von Rührwerken weist Vorteile gegenüber dem Umpumpen des Schlammes auf; nicht nur in Effizienz, sondern auch in energetischer Hinsicht. Bei alleiniger Nutzung von Umwälzpumpen geht ein erheblicher Teil der eingesetzten Energie durch Rohrreibung verloren. Zudem ist das Durchmischungsergebnis im Vergleich zu innenliegenden Rührwerken grundsätzlich schlechter. Die Gefahr vor sogenannten Nestern, Bereiche in denen keine Durchmischung erfolgt, ist durch den Einsatz von Umwälzpumpen höher als bei dem Einsatz innenliegender Durchmischungsaggregate wie Schraubenschaufler oder Rührwerke. Eine fehlende bzw. schlechte Faulschlammumwälzung im Behälter führt zu einem verminderten Gasanfall und somit zu einem geringeren Stromertrag.

Zukünftig werden die Umwälzpumpen zur Beschickung des Rohschlammes sowie zur Aufheizung des Schlammes genutzt werden. Zweitrangig erst zur Durchmischung des Faulbehälterinhalts. Durch die Erneuerung der Verfahrenstechnik verringert sich der Energieverbrauch für die Umwälzung des Schlammes. Es wird angenommen, dass mindestens 50 % der aktuellen Energieverbrauchs für die Umwälzpumpen benötigt wird. Von aktuell

56.080 kWh/h verringert sich der Verbrauch auf 28.040 kWh/a. Bei einer Einsparung von 28.040 kWh/a und Zugrundelegung des Strompreises von ca. 0,23 €/kWh, ergibt sich eine monetäre Einsparung von etwa 6.450 €/a.

6.3 Kosten für die Maßnahmen zur energetischen Optimierung

In nachstehender Tabelle 7 sind nochmals die Investitionskosten für die Bau- und Maschinenteknik der zuvor genannten Maßnahmen zusammengefasst.

Tabelle 7: Zusammenstellung der Investitionskosten für Maßnahmen zur energetischen Optimierung

Pos.	Kurztext	Gesamtpreis in €
1.	Neubau Vorklärbecken	342.720 €
2.	Neubau Belebungsbecken 3	1.212.850 €
3.	Neubau Faulbehälter inkl. Umwälzung und Schlammaufheizung	965.500 €
4.	Ersatz Entwässerungsaggregat	160.000 €
5.	Neubau Blockheizkraftwerk (BHKW)	350.000 €
6.	Neubau Photovoltaikanlagen	170.000 €
7.	Ersatz Belüfterelemente Belebungsbecken 2	60.000 €
8.	Ersatz Gebläse	54.000 €
9.	Ersatz Rührwerke	48.000 €
10.	Ersatz Zulaufpumpen	75.000 €
11.	Ersatz Rücklaufschlammumpen	22.500 €
12.	Ersatz Primärschlammumpen	20.000 €
	Zwischensumme netto	3.480.570 €
	Baunebenkosten 18 %	626.503 €
	Zwischensumme	4.107.073 €
	+ 19 % MwSt.	780.344 €
	Gesamtsumme Investitionskosten	4.887.416 €

6.4 Umsetzungsfahrplan

Nachdem im vorherigen Kapitel die Einsparpotenzial der einzelnen Maßnahmen aufgezeigt wurde, kann mit u. a. mit den Ergebnissen eine Priorisierung bzw. zeitliche Einteilung der Maßnahmen in kurz-, mittel- und langfristige Maßnahmen erfolgen. Eine Priorisierung basiert nicht rein auf einen Abgleich von Zahlen, sondern verlangt auch die Berücksichtigung der folgenden Kriterien.

Neben dem Energieeinsparpotenzial sind weitere Bewertungskriterien der Planungsaufwand, die Genehmigung sowie weitere Randbedingungen (z. B. bereits vorliegende Planungen, lokale Gegebenheiten etc.).

Die Maßnahmen wurden nach drei Realisierungsphasen zeitlich unterteilt:

- Kurzfristige Maßnahmen sind sehr rentabel, haben geringe Investitionen und können aufgrund der technischen und betrieblichen Randbedingungen und den Anforderungen an die Reinigungsqualität sofort realisiert werden.
- Mittelfristige Maßnahmen sind insgesamt wirtschaftlich, sie sind aber mit entsprechenden Investitionen verknüpft und müssen deshalb zunächst in einer detaillierten Planung näher untersucht werden.
- Langfristige Maßnahmen sind an bestimmte Bedingungen geknüpft. So ist es zum Beispiel erst sinnvoll, einen hocheffizienten neuen Motor nach dem altersbedingten Ersatz des bestehenden Motors, d. h. nach Ablauf der Nutzungsdauer einzusetzen.

6.4.1 Kurzfristige Maßnahmen

Kurzfristige Maßnahmen sind Maßnahmen zur Einsparung von Energie, die ohne bzw. mit geringem Mitteleinsatz im laufenden Betrieb umgesetzt werden können. Die betriebliche Durchführung sollte sukzessive durchgeführt und dokumentiert werden.

Auf der Kläranlage Rhede sind folgende Maßnahmen möglich und vom Betrieb auf mögliche Umsetzbarkeit zu prüfen:

- Beim Belebtschlammverfahren ist der Feststoffgehalt im Belebungsbecken (Trockensubstanz (TS)-Gehalt) möglichst genau auf die erforderliche Biomassekonzentration im System anzupassen. Das bedeutet, dass in Abhängigkeit von der Belastung und der Temperatur unterschiedliche TS-Konzentrationen des Belebtschlammes erforderlich und zur Minimierung des Energieverbrauchs einzustellen sind. Der Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) in der Biologie kann möglicherweise verringert werden. Ein unnötig hoher TS-Gehalt hat einen höheren Sauerstoffbedarf zur Folge. Gleichzeitig wird das Reinigungsergebnis nicht verbessert. Insbesondere in den Sommermonaten ist durch betriebliche Umstellungen ein geringerer TS-Gehalt im Belebungsbecken anzustreben. Bei zu hohen TS-Gehalten ist zudem die Gefahr von Schlammabtrieb aus der Nachklärung erhöht. Abbildung 7 zeigt den Sauerstoffbedarf in Abhängigkeit vom TS-Gehalt im Belebungsbecken.

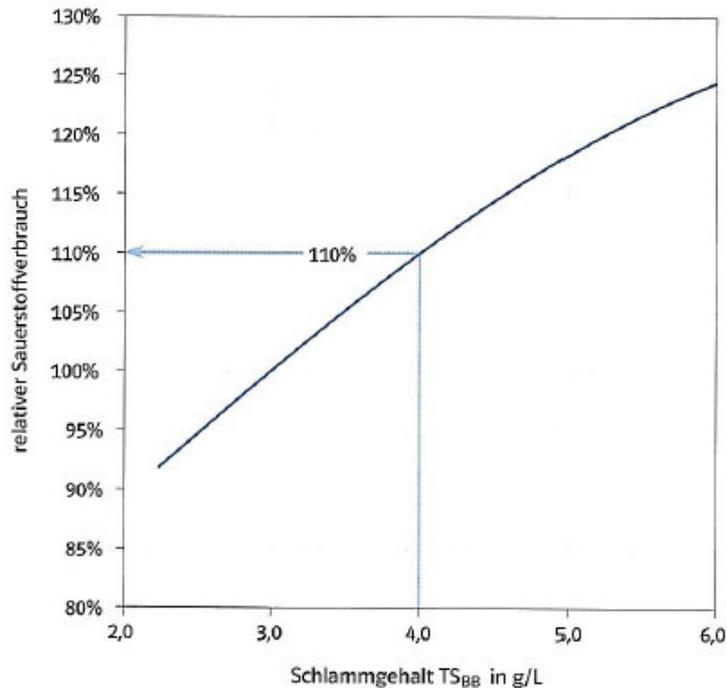


Abbildung 7: Einfluss des Trockensubstanzgehaltes auf den Sauerstoffverbrauch bei Anlagen mit Nitrifikation/Denitrifikation (15° C Abwassertemperatur) nach Baumann, P. et al. (2014)

Es ist erkennbar, dass durch eine Differenz des TS-Gehaltes von 1 mg/l (bspw. bei einer TS-Erhöhung von 3 auf 4 mg/l) ein Strommehrverbrauch von bis zu 10 % entsteht. Ein ausreichendes aerobes Schlammalter von 5 Tagen sollte dabei allerdings zwingendeingehalten werden. Außerdem sollten TS-Gehalte von 2,0 g/l aus betrieblichen Gründen nicht unterschritten werden, da andernfalls die Gefahr besteht, dass sich der Schlamm in der Nachklärung schlechter absetzt (Baumann, P. et al. 2014).

- Eine weitere Optimierungsmaßnahme ist die Herabsenkung des Sauerstoffgehalts in den Belebungsbecken. Bei einer Sauerstoffkonzentration von 2 mg/l ist mit stabilen Verhältnissen für die Nitrifikation zu rechnen. Bei einer konstant hohen Sauerstoffkonzentration ist zwischen der lediglich leicht erhöhten Umsatzrate und dem deutlich erhöhten Energieverbrauch abzuwägen. Ein konstanter Wert von 2 mg/l im aeroben Milieu ist daher oftmals nicht erforderlich. Grundsätzlich ist ein möglichst geringer Wert anzustreben, der jedoch die jeweils erforderlichen aeroben Verhältnisse in den Nitrifikationszonen gewährleisten muss. Betriebserfahrungen aus Kläranlagen zeigen, dass sich die Sauerstoffkonzentration vor allem im Sommer auf Werte deutlich unterhalb von 2 mg/l reduzieren lässt (z. T. unterhalb von 1 mg/l). Die Reduzierung des Sauerstoffeintrags darf nur unter der Voraussetzung erfolgen, dass keine Verschlechterung der Ablaufwerte durch eine verminderte Reinigungs-

leistung eintritt. Die Reduzierung der Sauerstoffkonzentration bedarf einer kontinuierlichen Überwachung. Für die Überwachung der Sauerstoffkonzentration kann eine online Ammonium- und Nitratsonde im Ablauf des Belebungsbeckens in die Steuerung einbezogen werden. Durch die Messung der Ammonium- und Nitratkonzentration ist eine optimale Steuerung des Sauerstoffeintrags möglich. Dadurch können ca. 2 - 3 % der Belüftungsenergie eingespart werden (Baumann, P. et al. 2014).

- Im Allgemeinen wird durch eine Nitrifikation der Sauerstoffverbrauch erhöht, wohingegen eine Denitrifikation Sauerstoff (ca. 1/3 der für die Nitrifikation verbrauchten Menge) zurückgewinnt. Folglich kann durch die Optimierung der Denitrifikation indirekt Belüftungsenergie eingespart werden. Eine Optimierung erfolgt zum Beispiel durch die Schaffung von anoxischen Bereichen durch die Drosselung der Belüftung am Ende der Nitrifikation bzw. durch Abschaltung der Luftzufuhr und Einsatz von Rührwerken in Zeiten, in denen eine geringere Belastung bzw. höhere Abwassertemperaturen vorherrschen. Durch eine angepasste Nitratrückführung und die Zuschaltung von unbelüfteten Kaskadenteilen, die allerdings auch belüftbar sind, kann die Denitrifikation zudem optimiert werden (Baumann, P. et al. 2014).
- Die Erneuerung von Rührwerken im Belebungsbecken 2 kann kurzfristig umgesetzt werden. Die Rührwerke sind bereits beschrieben und alterungsbedingt alsbald zu ersetzen.

6.4.2 Mittelfristige Maßnahmen

Zu den mittelfristigen Maßnahmen werden alle diejenigen Maßnahmen gezählt, die im Rahmen der anstehenden Modernisierung und Leistungssteigerung der Kläranlage Rhede geplant sind und in den nächsten Jahren umgesetzt werden. Im Zuge der Entwurfs- und Genehmigungsplanung wurden zur Umsetzung die Maßnahmen in drei Bauabschnitte unterteilt. Folgenden Aufteilung und somit zeitliche Umsetzung ist geplant:

Bauabschnitt 1:

- Neubau eines Faulbehälters und eines neuen Vorklärbeckens zur Erzeugung von Faulgas aus der Faulung des Primär- und Überschussschlammes
- Einsatz von optimal dimensionierten Umwälzpumpen
- Faulgasverstromung durch den Einsatz von zwei BHKW (oder Mikrogasturbinen) und Nutzung der thermischen Energie zur Aufheizung des Faulschlammes, zur Beheizung des Sozialräume und zur Warmwasseraufbereitung
- Einsatz von optimal dimensionierten Primärschlammumpen

Bauabschnitt 2:

- Neubau eines Belebungsbeckens (baugleich zu Belebungsbecken 2) als Ersatz zu Belebungsbecken 1 mit Errichtung eines energieeffizienten Belüftungssystems
- Austausch des Belüftungssystems im vorhandenen Belebungsbecken 2 und Einsatz eines energieeffizienten Belüftungssystems
- Erneuerung der Gebläse für Belebungsbecken 2
- Einsatz von optimal dimensionierten Rührwerksgetrieben zur Durchmischung des Belebtschlamm-Gemisches in den Belebungsbecken
- Einsatz von optimal dimensionierten Rücklaufschlammumpfen

Bauabschnitt 3:

- Erneuerung Entwässerungsaggregat
- Auswechslung Kammerfilterpresse und Ersatz durch Bandfilterpresse

Die Installation von PV-Modulen auf den neu errichteten bzw. vorhandenen Gebäuden sind weitere mittelfristige Maßnahmen, die in den nächsten Jahren zur Steigerung der Energieeffizienz auf der Kläranlage umgesetzt werden sollten.

6.4.3 Langfristige Maßnahmen

Zur Reduzierung des Stromverbrauchs auf der Kläranlage Rhede wird im Rahmen der Potenzialanalyse deutlich, dass ein hohes Einsparpotenzial im Austausch der Zulaufpumpen liegt. Da diese Maßnahme nicht direkt im Zuge in der Modernisierung und Leistungssteigerung geplant ist, sollte sie mindestens direkt im Anschluss erfolgen. Auch der Austausch weiterer abgeschriebener Antriebe und Pumpen (wie beispielsweise die Rührwerke im Nacheindicker, die Filtratwasserpumpen etc.) sollte dann geplant werden.

7 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Potenzialanalyse behandelt die Energieoptimierung der Kläranlage Rhede hinsichtlich energetischer und verfahrenstechnischer Gesichtspunkte. Eine Optimierung wird auf Kläranlagen aufgrund damit einhergehender CO₂-Emissionen, die beim Einsatz von Strom und Energie für die Abwasseraufbereitung entstehen, und steigender Strompreise immer wichtiger. Zudem wird der Energiebedarf auf Kläranlagen in der nächsten Zeit weiter steigen, da immer höhere Anforderungen an die Aufbereitung gestellt werden, möglicherweise z. B. durch die Einführung einer 4. Reinigungsstufe zur Mikroschadstoffelimination aus dem Abwasser.

Es existieren viele verschiedene Instrumente zur Durchführung von Energieanalysen. In dieser Arbeit wurden die in Deutschland am häufigsten zum Einsatz kommenden Leitfäden vorgestellt: das Handbuch „Energie in Kläranlagen“ (2018) des MURL und das Arbeitsblatt DWA-A 216.

Die energetische Betrachtung der Kläranlage Rhede hat einen jährlichen Stromverbrauch von ca. 857.592 kWh/a ergeben. Dieser wurde anhand der Nennleistungen der einzelnen Aggregate sowie deren aufgezeichneten Betriebsstunden berechnet. Die Belebung konnte mit ca. 60 % des gesamten Stromverbrauchs als größter Energieverbraucher festgestellt werden. Der elektrische Eigenversorgungsgrad durch die Umwandlung des Klärgases in Strom liegt aufgrund von fehlenden KWK-Anlagen bei 0 %.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass trotz recht guter Kennzahl auf der Kläranlage Rhede noch Potenzial zur energetischen Optimierung vorhanden ist. Nach Durchführung der geplanten Maßnahmen sinkt der spezifische Gesamtenergiebedarf auf unter 23 kWh/(EW·a). Die Belebung erreicht davon einen Wert von 13,8 kWh/(EW·a). Die Differenz des Strombedarfs vom Ist-Zustand zum Idealwert beläuft sich auf 302.535 kWh/a. Dies entspricht einem Anteil von etwa 35 % des derzeitigen Gesamtbedarfs. Der Energiebezug der abzüglich des Eigenversorgungsgrad übrig bleibt liegt nach Umsetzung aller Optimierungsmaßnahmen bei rund 165.800 kWh/a. Ein positiver Effekt ist ebenfalls beim Eigenversorgungsgrad zu verzeichnen. Dieser optimiert sich von 0 % auf 70 %.

8 Literaturverzeichnis

Bauer, T. (2009) Seminar Energieoptimierung auf Kläranlagen 1. Oktober 2009, Berlin, Vortrag Dipl. Ing. Thomas Bauer, Gummersbach

Baumann, P., Maurer, P, Roth, M. (2014) Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen - Praxisleitfaden, Handbuch für den Betrieb von Kläranlagen (Heft 4), Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.), Hennef

DWA (2015) DWA-A 216 Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.), Hennef, Dezember 2015

DWA (2018) 31. Leistungsnachweis kommunaler Kläranlagen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.), Hennef, Abruf am 29.10.2019. Abruf unter: https://de.dwa.de/files/_media/content/06_SERVICE/Zahlen%20%7C%20Fakten%20%7C%20Umfragen/Leistungsnachweis%202018_netz.pdf

EnergieAgentur.NRW (2010) Elektrische Antriebe – Potenziale zur Energieeinsparung. Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Düsseldorf, Mai 2010

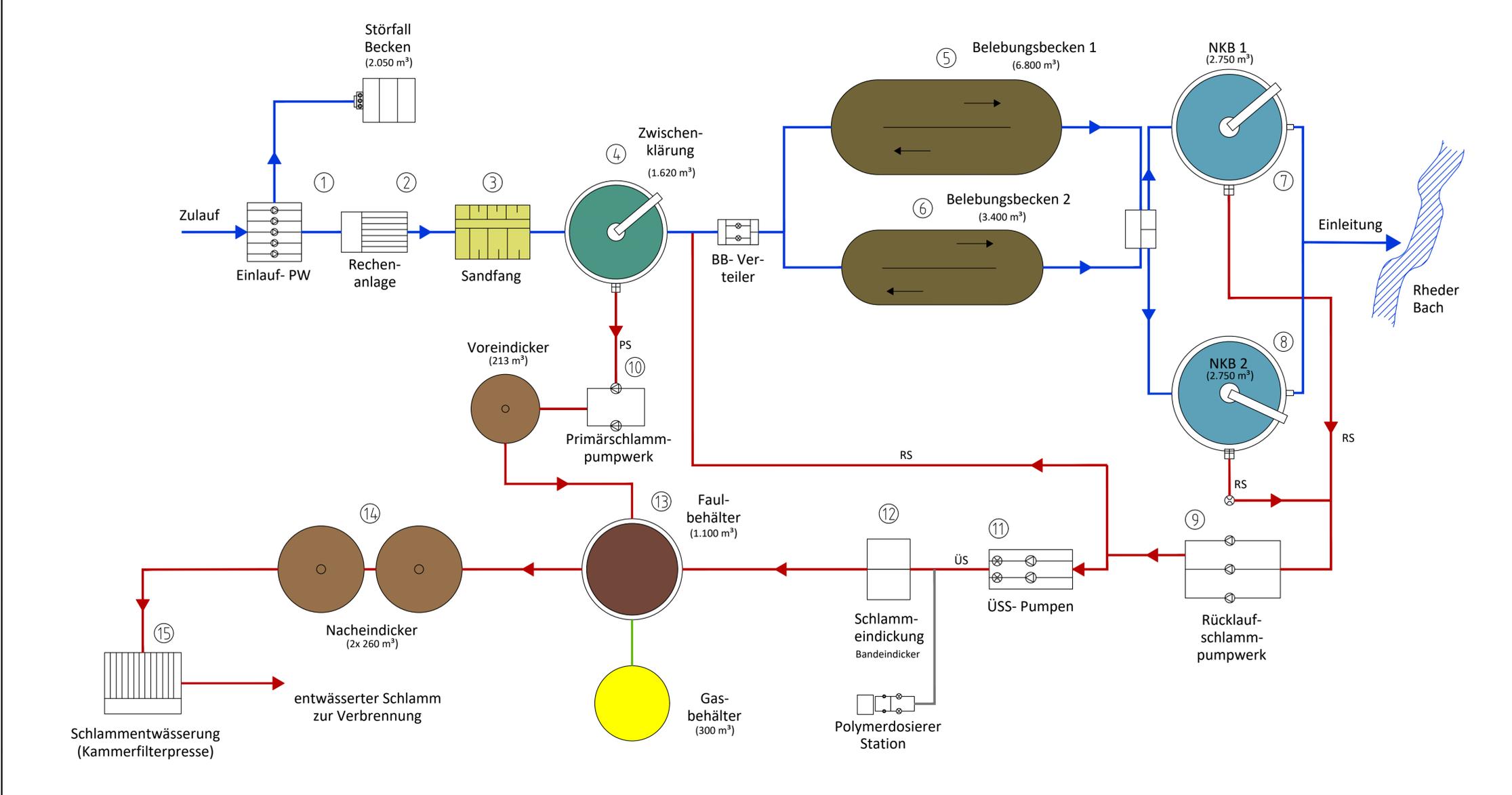
MULNV NRW (2018): Energie in Abwasseranlagen – Handbuch NRW – 2. Vollständig überarbeitete Fassung. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Düsseldorf, Januar 2018

I. Fließschema Bestand

Der Empfänger dieser Zeichnung ist verpflichtet, diese vertraulich zu behandeln. Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage, Verwendung und Mitteilung ihres Inhaltes - auch auszugsweise - ist nicht gestattet, soweit nicht schriftlich zugestanden. Die hier gezeigten Anordnungen und Systeme sind unser geistiges Eigentum und stehen unter Urheberrecht. Alle Rechte vorbehalten.

Ing.-Büro
Rummler + Hartmann GmbH
Havixbeck, den 30.01.2020

① Vorpumpwerk Abwasserpumpe 1 15 kW Abwasserpumpe 2 15 kW Abwasserpumpe 3 15 kW Abwasserpumpe 4 15 kW Störfallpumpe 30,0 kW	② Rechen Antrieb 0,75 kW	③ Sand- und Fettfang Fahrertrieb 1,1 kW Gebläse 1 1,1 kW Gebläse 2 1,1 kW	④ Zwischenklärung Fahrertrieb 0,37 kW	⑤ Belebungsbecken 1 Belüftermotor 1-4 45 kW Rührwerk 1-4 4,3 kW	⑥ Belebungsbecken 2 Gebläse 1-3 22 kW Rührwerk 1 3,0 kW Rührwerk 2-3 4,0 kW Rezirkulationspumpe 2,5 kW	⑦ Nachklärbecken 1 Räumer 0,4 kW Rinnenreinigung 0,7 kW Schwimmschlammpumpe 1,6 kW
---	--------------------------------	---	---	---	--	--



ZEICHENERKLÄRUNG:

—	Schlammleitung
—	Abwasserleitung
—	Gasleitung
RS	Rücklaufschlamm
ÜS	Überschussschlamm
PS	Primärschlamm

⑧ Nachklärbecken 2 Räumer 0,25 kW Rinnenreinigung 0,55 kW Schwimmschlammpumpe 4,6 kW	⑨ Rücklaufschlamm-pumpwerk Pumpe 1 12,6 kW Pumpe 2 12,6 kW Pumpe 3 11,0 kW	⑩ Primärschlamm-pumpwerk Pumpe 1 4,5 kW Pumpe 2 7,5 kW	⑪ Überschuss-schlamm-pumpen Pumpe 1 3 kW Pumpe 2 3 kW	⑫ Maschinelle Schlamm-eindickung Antrieb 0,75 kW Spülwasserpumpe 4,0 kW	⑬ Faulbehälter Umwälzpumpe 1 5,5 kW Umwälzpumpe 2 5,5 kW	⑭ Nacheindicker Rührwerk 1 2,5 kW Rührwerk 2 2,5 kW	⑮ Schlammwässerung (Kammerfilterpresse) Plattenantrieb 0,75 kW Hydraulikanlage 4,0 kW
--	--	--	---	---	--	---	--

STADT RHEDE
Das Lächeln im Münsterland.

Bauherr - Auftraggeber: **Stadt Rhede**
Krs. Borken, Reg.-Bez. Münster

Projekt: **Energie- und Potenzialanalyse Kläranlage Rhede**

Zchng.-Nr.: 1932-01	Archiv-Nr.: 41/004	Zchng.: 0,34 m ²
Maßstab: o. M.	gez.: Plot./SH.	gepr.:
Anlage:	1	

Ingenieurbüro Rummler + Hartmann GmbH

Havixbeck, im Januar 2020
Ingenieurbüro Rummler + Hartmann GmbH
Höhenholter Straße 14 a
48329 Havixbeck

Telefon: 02507 / 987 55 - 0
Fax: 02507 / 987 55 - 25
info@ingenieure-havixbeck.de
www.ingenieure-havixbeck.de

■ Abwassertransport ■ Wasserbau
■ Abwasserreinigung ■ Landschaftsbau

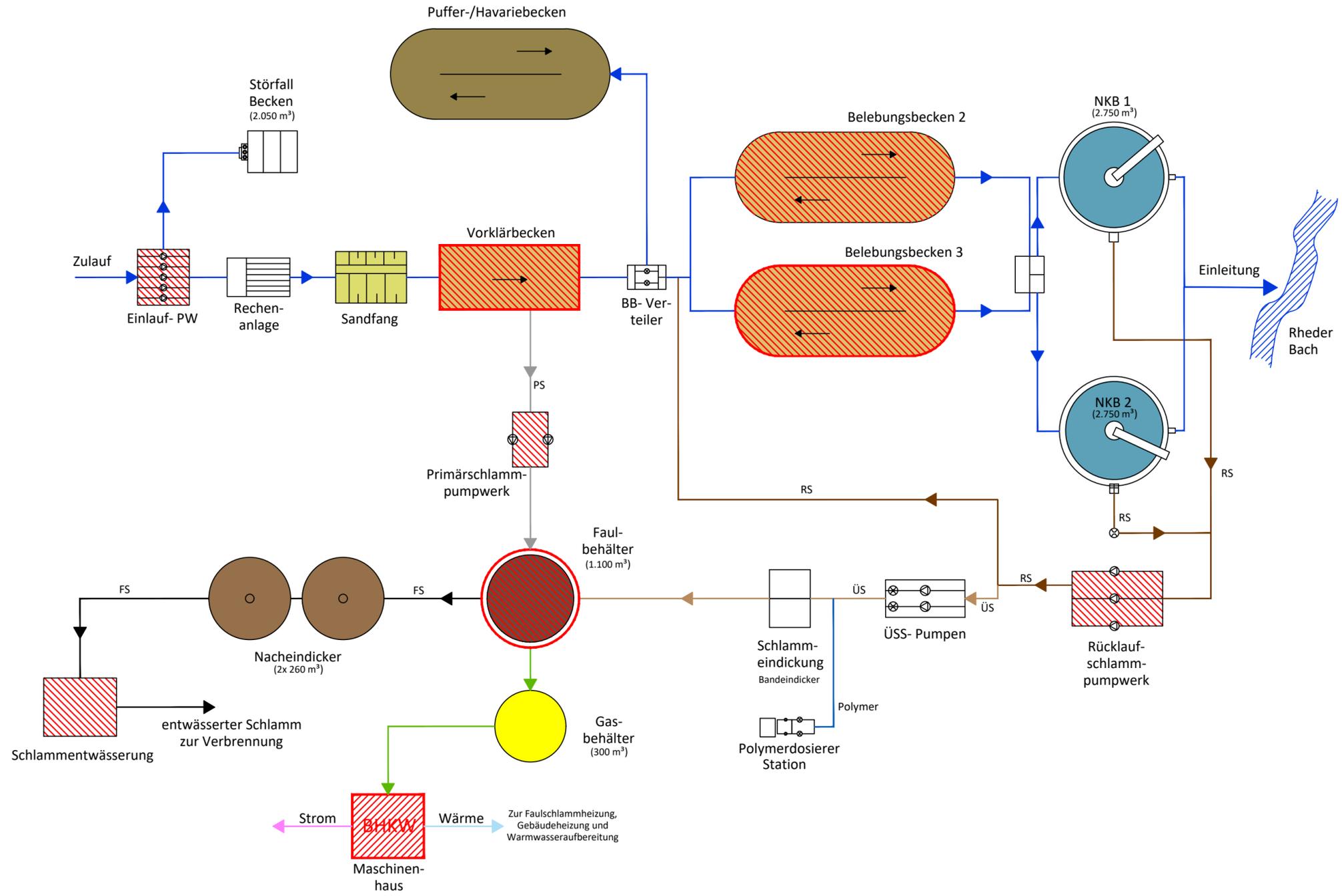
Rummler

K:\DATEN\Rhede\1932_Energieanalyse + Potenzialanalyse\1932-01-Fließschema Bestand.dwg

II. Fließschema Planung

Der Empfänger dieser Zeichnung ist verpflichtet, diese vertraulich zu behandeln. Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage, Verwendung und Mitteilung ihres Inhaltes - auch auszugsweise - ist nicht gestattet, soweit nicht schriftlich zugestanden. Die hier gezeigten Anordnungen und Systeme sind unser geistiges Eigentum und stehen unter Urheberschutz. Alle Rechte vorbehalten.

Ing.-Büro
Rummler + Hartmann GmbH
Havixbeck, den 30.01.2020



ZEICHENERKLÄRUNG:

- Rücklaufschlamm (RS)
- Überschussschlamm (ÜS)
- Primärschlamm (PS)
- Faulschlamm (FS)
- Abwasserleitung
- Gasleitung
- Wärme
- Strom
- Polymer
- Neubau Bauwerke
- Umsetzung von Maßnahmen zur energetischen Optimierung

STADT RHEDE
Das Lächeln im Münsterland.

Bauherr - Auftraggeber
Stadt Rhede
Krs. Borken, Reg.- Bez. Münster

Projekt: Energie- und Potenzialanalyse Kläranlage Rhede

Fließschema Planung	Zchng.-Nr.: 1932-02	Archiv-Nr.: 41/004	Zchng.: 0,17 m ²
	Maßstab: o. M.	gez.: Plot./SH.	gepr.:
	Anlage:	2	

Ingenieurbüro Rummler + Hartmann GmbH

■ Abwassertransport

■ Wasserbau

■ Abwasserreinigung

■ Landschaftsbau

Havixbeck, im Januar 2020
Ingenieurbüro Rummler + Hartmann GmbH
Hohenholter Straße 14 a
48329 Havixbeck
Telefon: 02507 / 987 55 - 0
Fax: 02507 / 987 55 - 25
info@ingenieure-havixbeck.de
www.ingenieure-havixbeck.de

K:\DATA\Rhede\1932 Energieanalyse + Potenzialanalyse\1932-02 Fließschema Planung.dwg