

Potenzialstudie für die Kläranlage Heide

Klimafreundliche Abwasserbehandlung

Auftraggeber:



Abwasserzweckverband Region Heide

Hinrich-Schmidt-Str. 16
25746 Heide

Verantwortliche Leitung:

Herr Dipl.-Ing. **Carsten Heß**

Auftragnehmer:



Ingenieurgesellschaft Possel u. Partner GmbH

Rendsburger Landstraße 196-198
24113 Kiel

Tel.: 04 31 / 6 49 59 - 0
Fax: 04 31 / 6 49 59 - 59
E-Mail: info@ipp-gruppe.de

Verantwortliche Leitung:

Herr Dipl.-Ing **Harro Possel**

Projektleitung:

Herr B. Eng. **Marius Vogten**

Projektnummer (IPP):

2018-318

Anzahl der Seiten:

46 (inkl. Deckblatt)

Ort, Datum:

Kiel, den 30.06.2020

I. Inhalt

1	Zusammenfassung	5
2	Einleitung und Veranlassung	9
3	Grundlagen	10
3.1	<i>Kommunalrichtlinie</i>	10
3.2	<i>Darstellung der Anlage</i>	12
4	Bestandsaufnahme	14
4.1	<i>Energieflussdiagramm der Kläranlage Heide</i>	14
4.2	<i>Deckungsquote des Energiebedarfs</i>	18
4.3	<i>Spez. jährlicher Strombedarf der gesamten Anlage</i>	19
4.4	<i>Verbrauchermatrix</i>	20
5	Ermittlung der Optimierungspotenziale	24
5.1	<i>Vergleich Ist- vs. Idealwerte</i>	25
6	Maßnahmenkatalog	26
6.1	<i>Belebungsbecken</i>	26
6.2	<i>Belebungsbecken-Pumpen</i>	28
6.3	<i>Flockungsfiltration</i>	28
6.4	<i>Zulaufhebewerk</i>	29
6.5	<i>Sandfang-Gebläse</i>	30
6.6	<i>Weitere unabhängige Maßnahmen</i>	30
6.7	<i>Stickstoffelimination im Schlammwasser</i>	37
7	Wirtschaftlichkeit	44
7.1	<i>Belebungsbecken-Belüftung</i>	44
7.2	<i>Pumpen und Hebewerke</i>	45
7.3	<i>Weitere Maßnahmen</i>	45
8	Unterschriften	46

II. Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1-1: Maßnahmenkatalog</i>	6
<i>Tabelle 4-1: Gesamtenergiebezüge</i>	15
<i>Tabelle 4-2: Technische Daten BHKW</i>	15
<i>Tabelle 4-3: BHKW-Effizienz im Teillastbereich</i>	17
<i>Tabelle 4-4: Technische Daten Gaskessel mit Gebläsebrenner</i>	17
<i>Tabelle 4-5: Nutzenergieerzeugung nach Verlusten 2018</i>	17
<i>Tabelle 4-6: Verbrauchermatrix</i>	20
<i>Tabelle 5-1: ABC-Analyse</i>	24
<i>Tabelle 5-2: Energieanalyse elektrisch</i>	25
<i>Tabelle 6-1: Energiekennwerte der Maßnahmen am Belebungsbecken</i>	27
<i>Tabelle 6-2: Energiekennwerte Austausch der Belebungsbecken-Pumpen</i>	28
<i>Tabelle 6-3: Energiekennwerte Austausch der Flockungfiltrationspumpen</i>	29
<i>Tabelle 6-4: Energiekennwerte Zulauf-Pumpen</i>	29
<i>Tabelle 6-5: Energiekennwerte Sandfang-Gebläse (vgl. Tabelle 4-6: Verbrauchermatrix)</i> 30	
<i>Tabelle 6-6: Austauschmaßnahme Sandfang-Gebläse</i>	30
<i>Tabelle 6-7: Energiemengen Tischkühler</i>	31
<i>Tabelle 6-8: Gestehungskosten Tischkühler</i>	32
<i>Tabelle 6-9: Renditen durch die Einbindung eines Tischkühlers</i>	33
<i>Tabelle 6-10: Energiemengen Photovoltaik-Anlage</i>	34
<i>Tabelle 6-11: Investitionskosten Photovoltaik-Anlage</i>	35
<i>Tabelle 6-12: Gestehungskosten PV</i>	35

Tabelle 6-13: Renditen Aufdach-PV-Anlage	36
Tabelle 6-14: Vermiedene CO₂-Emissionen durch Wasserstoffanwendung im Mobilitätssektor	39
Tabelle 6-15: Energie- und Emissionsbilanz aktuell.....	40
Tabelle 6-16: Wirtschaftlichkeit der Graforce Technologie für die KA Heide.	43
Tabelle 7-1: Rahmenparameter Wirtschaftlichkeitsberechnung	44
Tabelle 7-2: Wirtschaftlichkeit Belebungsbecken-Belüftung	44
Tabelle 7-3: Wirtschaftlichkeit Pumpen und Hebewerke	45
Tabelle 7-4: Wirtschaftlichkeit Sandfang-Gebläse.....	45

III. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Verlauf der CO₂-Emmission und des Eigenversorgungsgrads mit elektrischer Energie der Maßnahmen.....	7
Abbildung 1-2: Klimaschutzfahrplan.....	8
Abbildung 4-1: Sankey-Diagramm KA Heide.....	14
Abbildung 4-2: Sortierter Lastgang der KWK-Stromerzeugung 2018.....	16
Abbildung 4-3: Deckungsquote des Energiebedarfs.....	18
Abbildung 4-4: Spezifischer jährlicher Strombedarf 2018	19
Abbildung 4-5: Anteil der Verbraucherkategorien am Gesamtstromverbrauch.....	22
Abbildung 4-6: Anteil der Verfahrensstufen am Gesamtstromverbrauch.....	23
Abbildung 6-1: Potenzialflächen zur Photovoltaiknutzung am Standort	34
Abbildung 6-2: Energiebilanz zum Einsatz der Graforce Technologie auf der KA Heide..	42

1 Zusammenfassung

Ausgehend von der Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld „Kommunalrichtlinie“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit vom 5. Juni 2019, welche die Förderung kommunaler Klimaschutzprojekte zum Inhalt hat, wurde für die Kläranlage in Heide eine Potenzialstudie zur klimafreundlichen Abwasserbehandlung durchgeführt. Im Zuge dieser wurden auf Grundlage einer Bestandsaufnahme der energetischen Ist-Situation Energie- und CO₂-Einsparpotenziale identifiziert, Maßnahmen für deren Erschließung abgeleitet, und diese anschließend wirtschaftlich bewertet. Zentrales Ergebnis der Studie ist ein Maßnahmenkatalog, der dem Anlagenbetreiber, dem Abwasserzweckverband Region Heide (kurz: AZV), konkrete Handlungsoptionen zur Energie-, CO₂- und Kosteneinsparung bei der Abwasserbehandlung aufzeigt.

Die Potenzialstudie ist so ausgestaltet, dass die darin enthaltenen Maßnahmen mindestens folgende Ziele erreichen

- Deckungsquote des Energiebedarfs für Strom und Wärme durch auf dem Grundstück mittels erneuerbarer Energien-Anlagen erzeugte Energie von mindestens 70 %,
- spezifischer jährlicher Strombedarf der gesamten Anlage (inklusive lokal umgewandelter Energie) von maximal 23 kWh/Einwohnerwert bezogen auf die tatsächliche Belastung im Jahresmittel.

Insgesamt wurden im Referenzjahr 2018 zum Betrieb der Kläranlage rund 2,4 MWh Nutzenergie aufgewendet, die sich ungefähr zu gleichen Teilen auf Strom- und Wärmanwendungen verteilte. Es wurden die Energieträger Strom, Erdgas und Klärgas eingesetzt und dadurch insgesamt 290 t CO₂ emittiert. Die wesentlichen Energieanwendungen am Stromverbrauch waren Gebläse mit 46%, Pumpenantriebe mit 36%, sowie Rührwerke mit 13%.

Im Bemessungszeitraum 2018 betrug der erneuerbare Anteil am Gesamtwärmebedarf der Anlage 95%. Stromseitig konnten 63% des anfallenden Strombedarfs aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden. Damit ist die Kläranlage Heide ausgehend von einem Benchmarking¹ energetisch bereits gut aufgestellt. Lediglich 20% der erfassten Anlagen wiesen einen höheren erneuerbaren Anteil am Strombedarf auf; mit einem spezifischen elektrischen Energiebedarf von 26,9 kWh/(EW*a) liegt die Kläranlage Heide zudem im oberen Drittel des Anlagenspiegels.

Im Rahmen der Potenzialstudie wurden insgesamt neun Maßnahmen für eine verbesserte Energieeffizienz identifiziert (vgl. Tabelle 1-1). Drei davon – die Belüfter, Gebläse und Rührwerke des Belebungsbeckens– ergeben als verfahrenstechnische Einheit ein Maßnahmenpaket. Gesondert zu betrachten

¹ Gemäß DWA-A 216 (Dezember 2015)

sind die Maßnahmen zur Energieerzeugung (Photovoltaik-Anlage und BHKW-Tischkühler). Diese weisen keine direkte Energieeinsparung auf, senken aber den Bedarf an fossilen Energieträgern und somit auch die CO₂-Emission auf der Anlage. Mit der Umsetzung aller Maßnahmen ließe sich der Jahresenergieverbrauch um 206.433 kWh reduzieren und eine jährliche Einsparung von 153 t CO₂ erreichen. Von einer vollen Umsetzung aller Maßnahmen ausgehend ließe sich eine monetäre Einsparung von 84.859 €/a erzielen. Dem gegenüber steht eine Investition in Höhe von 970.200 €. Bis auf die Maßnahmen der Beschickungspumpen zum Belebungsbecken und zur Flockungsfiltration weisen alle Maßnahmen eine positive Rendite auf. Innerhalb der Kosten-Nutzen-Verhältnisse gibt es jedoch ein gemischtes Bild.

Tabelle 1-1: Maßnahmenkatalog

Nr.	Maßnahme	Investitionsvolumen in €	Einsparungen p.a.			Wirtschaftlichkeit		
			kWh	Euro	t CO ₂	Kapitalwert in €	Interne Verzinsung	Amortisation in Jahren
1-3	Belebungsbecken-Belüftung	712.803	172.177	55.506	92,5	159.396	3,0%	13
4	PV-Anlage	60.010	-	12.344	33,6	188.500	9,5%	5
5	BHKW-Tischkühler	10.000	-	5.966	8,6	62.400	24,3%	2
6	Flockungsfiltration Pumpen	57.757	11.025	3.554	5,9	-8.603	0,0%	16
7	Zulaufhebwerk	25.109	10.818	3.487	5,8	23.119	12,0%	7
8	Belebungsbecken-Pumpen	94.418	9.848	3.175	5,3	-50.512	-6,7%	30
9	Sandfang-Gebläse	10.102	2.564	827	1,4	1.331	3,7%	12
	Summe	970.200	206.433	84.859	153			

Bei der Belebungsbecken-Belüftung überwiegt das sehr große Einsparpotenzial die große Investition. Diese Maßnahmen werden ausdrücklich zur Erreichung der Klimaschutzziele der Kommunalrichtlinie empfohlen.

Als zweit- und drittgrößte CO₂-Einsparungsmaßnahmen weisen die PV-Anlage und der BHKW-Tischkühler zusätzlich gute Renditen von 9,5% und 24,3% auf. Diese Maßnahmen werden ebenfalls empfohlen.

Das Zulaufhebwerk auf einen drehzahlgeregelten Betrieb umzustellen sowie das alte Sandfang-Gebläse durch ein neues zu ersetzen zeigt zwar im Verhältnis kleine Einsparmöglichkeiten, in Hinblick auf die geringen Investitionssummen können diese Maßnahmen aber ebenfalls empfohlen werden.

Der Austausch der Flockungsfiltrations- und Belebungsbecken-Pumpen zeigt Energieeinsparpotenziale. Aufgrund der relativ hohen Investitionssummen der Flockungsfiltrations- und Belebungspumpen rechnen sich diese Maßnahmen nicht monetär. Somit werden diese Maßnahmen nur empfohlen, wenn die entsprechenden Aggregate das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben.

Abbildung 1-1 zeigt, dass wie bereits oben erwähnt, mit dem Maßnahmenpaket der Belebungsbecken-Belüftung die Klimaschutzziele der Kommunalrichtlinie erreicht werden können und der Eigenversor-

ungsgrad bei 75% liegt. Der spezifische elektrische Energiebedarf der Kläranlage Heide beträgt danach 22,8 kWh/(EW*a). Nach Durchführung aller Maßnahmen liegt dieser bei 21,5 kWh/(EW*a) und der Eigenversorgungsgrad bei 89%. Damit wäre die Kläranlage Heide nach dem DWA-Vergleich besser als etwa 95% der betrachteten Anlagen.

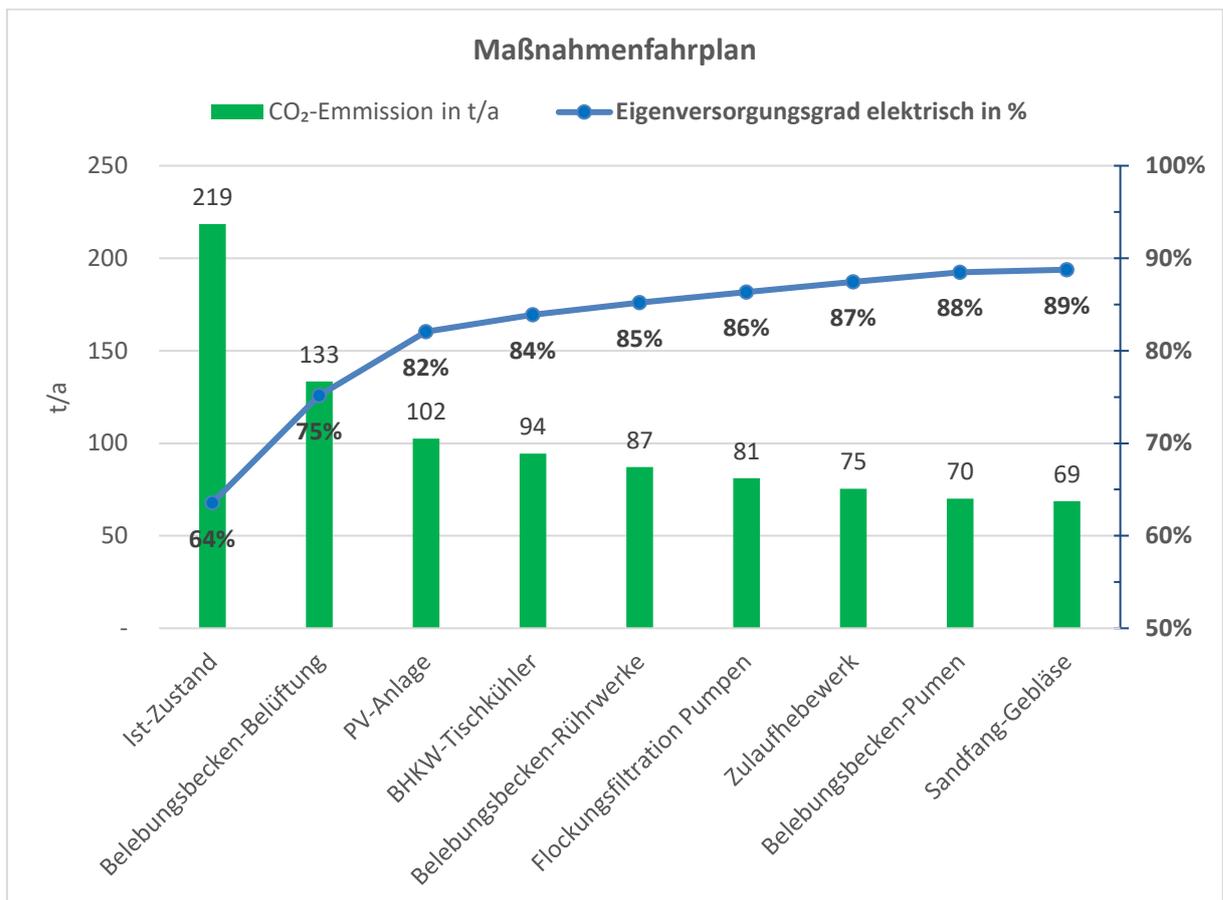


Abbildung 1-1: Verlauf der CO₂-Emission und des Eigenversorgungsgrads mit elektrischer Energie der Maßnahmen

Gesondert ist die Stickstoffelimination aus dem Schlammwasser zu betrachten. Deren Nutzen lässt sich nur feststellen, wenn die Untersuchung über die Grenzen der oben genannten Maßnahmen hinaus, also über die Kläranlage hinaus, erweitert wird. Es wurde eine Technologie zur Elimination von Stickstoff aus dem Schlammwasser mit gleichzeitiger Produktion von Wasserstoff mittels einer speziellen Art der Elektrolyse untersucht. Diese sorgt in den Grenzen der bisher genannten Maßnahmen und zum jetzigen Zeitpunkt für einen höheren Bedarf an elektrischer und thermischer Energie auf der Kläranlage. Allerdings zahlt sich die Technologie insgesamt durch die Vermeidung von Emissionen des sehr potenten Treibhausgases Lachgas, durch die Wasserstoffherzeugung und durch die Vermeidung der zukünftig benötigten Dosierung einer externen C-Quelle aus. In Zukunft könnten durch Stickstoffelimination pro Jahr ca. 2300 € generiert und etwa 160 t CO₂ Äquivalente eingespart werden.

Als Fahrplan für die Umsetzung der Maßnahmen dient Abbildung 1-2. Dafür wurde eine grobe Schätzung der Bearbeitungs- und Ausführungszeiten durchgeführt. Somit sind die Maßnahmen der Energieerzeugung sofort durchzuführen, da keine Fördermittel in Anspruch genommen werden können. Sämtliche anderen Maßnahmen nach Bearbeitung des Förderungsantrags.

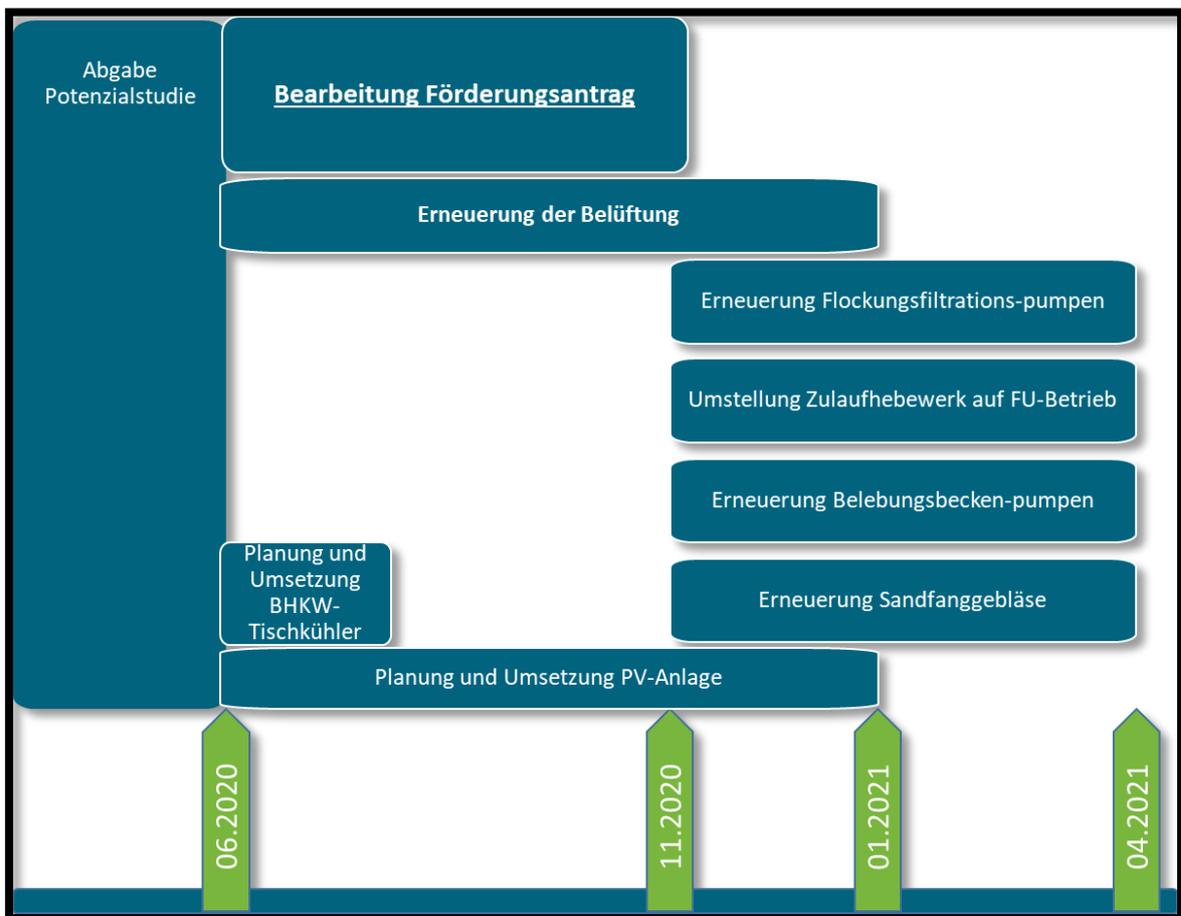


Abbildung 1-2: Klimaschutzfahrplan

2 Einleitung und Veranlassung

Der Abwasserzweckverband Region Heide (AZV Heide) betreibt in Heide ein Klärwerk. Hier wird das Schmutzwasser der beteiligten Gebietskörperschaften Stadt Heide und der Gemeinden Wöhrden, Loherickelshof und Nordhastedt gereinigt. Künftig soll auch das Schmutzwasser der Gemeinde Ostrohe in der Kläranlage Heide gereinigt werden.

Die Kläranlage Heide ist für einen CSB-bezogenen Einwohnerwert von 40.000 Einwohnern ausgelegt. Für den Bezugszeitraum 2018 lag dieser bei etwa 36.000 Einwohnern. Der AZV Heide sieht das Potenzial den Energieverbrauch und damit die Kosten der Abwasserbehandlung auf seiner Kläranlage zu reduzieren. Dafür sollen Fördermittel aus der Kommunalrichtlinie in Anspruch genommen werden.

Im Rahmen der Kommunalrichtlinie wird der Klimaschutz in Kommunen vom Bundesumweltministerium gefördert. Dabei werden einerseits strategische als auch investive Maßnahmen bezuschusst. In der Kommunalrichtlinie werden Maßnahmen gefördert, die für eine verbesserte und energieeffizientere Abwasserbehandlung sorgen können. Dazu zählen die Erneuerung der Belüftung, der Austausch von Motoren und Pumpen sowie die Anwendung neuer verfahrenstechnischer Maßnahmen.

Voraussetzung für die Inanspruchnahme von Fördermitteln ist, dass die beantragten Einzelmaßnahmen identifiziert und in einer zuvor durchgeführten energetischen Potenzialstudie als notwendig eingestuft wurden.

Die Ingenieurgesellschaft Possel u. Partner GmbH wurde beauftragt, eine Potenzialstudie für die Kläranlage Heide zu erstellen. Die Potenzialstudie zeigt, wie Treibhausgasemission der Abwasserreinigung auf der KA Heide kurz-, mittel- und langfristig gesenkt werden können.

3 Grundlagen

Mit der Potenzialstudie wird eine ganzheitliche Untersuchung der Optimierungsmöglichkeiten auf einer Kläranlage bezüglich der Einsparung von Treibhausgasemissionen und Energiekosten durchgeführt. Diese Studie umfasst die Abwasserbehandlung vom Zulauf ins Klärwerk bis zum Ablauf inkl. der Schlammbehandlung, Schlamm Trocknung und Klärgasnutzung.

3.1 Kommunalrichtlinie

Die Kommunalrichtlinie vom 05.12.2019 stellt an die zu erstellende Potenzialstudie bestimmte Anforderungen, die im Folgenden stichpunktartig dargestellt werden.

3.1.1 Bestandsaufnahme

- Aufnahme der Bestandssituation der Kläranlage (angeschlossene Einwohnergleichwerte, Alter der Anlage, Sanierungsbedarf von Technik und Peripherie, lokale Rahmenbedingungen, Kurzdarstellung des Reinigungsverfahrens, produzierte Faulgasmenge und Nutzung, anfallende und entsorgte Schlammengen, Art der Schlamm entsorgung, Grad der Automatisierung der Anlagen) und Darstellung aller Energieerzeugungsanlagen.
- Analyse des Energieverbrauchs (Aufnahme aller wichtigen Energieverbraucher, geordnet nach Anlagenteilen; Ermittlung des gesamten Stromverbrauchs sowie einzelner großer Verbrauchsdaten wie z. B. Belüftung, Pumpwerke, Hebewerke Motoren etc., Wärmeverbrauch für Gebäude und Faulung etc.);
- Ableitung einer Energie- und Treibhausgasbilanz auf Basis der aktuellen Energieverbrauchsdaten, Energieträger und Emissionsfaktoren;
- Bewertung anhand energetischer Beurteilungskriterien und Ermittlung spezifischer Kennzahlen wie z. B.: Abwassermenge, Gesamtstromverbrauch, Stromverbrauch für die Belüftung, Pumpwerke etc., Klärgasmenge, Eigenversorgungsgrad Strom und Wärme etc.;
- Gegenüberstellung von verbrauchter und erzeugter Energie.

3.1.2 Potenzialanalyse

- Ermittlung der kurz-, mittel- und langfristigen Energieeffizienzpotenziale (z.B. unter der Nutzung Erneuerbarer Energien; Ermittlung von Klimaschutzpotenzialen, die durch Digitalisierung in der Abwasserbehandlung und -entsorgung verbessert werden können, wie z.B. Erhöhung der Energieeffizienz durch Steuerung.
- Definition von kurz-, mittel und langfristigen Einspar- und Versorgungszielen;

- Entwicklung einer Strategie zur Umsetzung dieser Ziele.

3.1.3 Optimierungsmaßnahmen und Fahrplan zur Umsetzung

- Übersicht über die wichtigsten bereits durchgeführten Maßnahmen zur Energieeinsparung, Effizienzsteigerung sowie weitere Klimaschutzmaßnahmen und/oder Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel und deren Wirkungen (Retrospektive);
- Beschreibung möglicher Energieeinspar- und Energieeffizienzmaßnahmen, von Maßnahmen zur klimafreundlichen Betriebsoptimierung (Anlagentechnik, Anlagenbetrieb, Anlagenüberwachung) und zur effizienten und klimaschonenden Energieerzeugung (Strom und Wärme) mit folgenden Informationen:
 - erwartete Energieeinsparungen (Strom und Wärme)
 - erwartete Kosten der Umsetzung
 - erwartete Einsparung oder Mehraufwand an Betriebskosten bei bezogenen Energieträgern und THG-Emissionen

Zu allen Maßnahmen ist eine Kurzbeschreibung (inkl. relevanter Betriebsparameter, Grundannahmen, Anlagenzustände, Abgrenzungen usw.) zu erarbeiten. Anschließend sind ein Umsetzungsfahrplan sowie eine grobe technische Planung (Vorplanung) der kurzfristig umsetzbaren Maßnahmen zu erarbeiten. Für diese Maßnahmen sind technische Kennzahlen bzw. geeignete Indikatoren zu entwickeln, die für eine Erfolgskontrolle der Maßnahme notwendig sind.

Die Potenzialstudie muss so ausgestaltet sein, dass die darin enthaltenen Maßnahmen mindestens folgende Ziele erreichen:

- Deckungsquote des Energiebedarfs für Strom und Wärme durch auf dem Grundstück umgewandelte Energie von mindestens 70%;
- Spezifischer jährlicher Energiebedarf der gesamten Anlage (inkl. lokal umgewandelter Energie) von maximal 23 kWh/EW*a.

3.1.4 Förderbare Maßnahmen

Im Rahmen der Kommunalrichtlinie können bestimmte klimaschutzrelevante Maßnahmen mit einem Investitionszuschuss gefördert werden. Zuwendungsfähig sind:

- Die Erneuerung der Belüftung der Belebungsbecken. U.a. (I) der Austausch bestehender Kompressoren zur Belüftung durch neue, hocheffiziente, regelbare Kompressoren, (II) Ausgaben zur Anschaffung von Mess-, Steuer- und Regeltechnik zur Anpassung der Druckluftherzeugung an eine geeignete Messgröße, (III) Ausgaben für verfahrenstechnische Maßnahmen, die den

Druckluftbedarf für die Belebungsbecken dauerhaft senken und (IV) Ausgaben für die Installation bzw. Einrichtung durch qualifiziertes externes Fachpersonal.

- Der Ersatz von Pumpen und Motoren durch neue, hocheffiziente Pumpen und Motoren.
- Verfahrenstechnik zur Nutzung innovativer Verfahren zur Stickstoff-Elimination.

Die Förderquoten für die förderbaren Maßnahmen betragen jeweils 30%, mit einer Mindestzuwendung von 5.000 € und einer maximalen Zuwendung von 200.000 €.

3.2 Darstellung der Anlage

Die Verfahrensstufen bzw. Anlagenteile der Kläranlage Heide werden Nachfolgend kurz vorgestellt.

- Zulauf
 - Am Zulauf der Anlage befindet sich ein Hebewerk bestehend aus drei Schneckenpumpen.
- Mechanische Klärung
 - Über den Rechen werden die groben Feststoffe abgeschieden. Das Rechengut wird über eine Waschpresse entwässert, gepresst und entsorgt.
 - Die Feingutfraktion sowie die Leichtflüssigkeiten werden über den belüfteten Sandfang abgeschieden. Der Sand wird im Sandwäscher gereinigt und anschließend entsorgt. Die Leichtflüssigkeiten werden zusammen mit dem Primärschlamm zur Klärschlammbehandlung geschickt.
 - In den Vorklärbecken werden die weiteren Feststoffe abgetrennt.
- Biologische Klärung
 - Die Phosphorelimination findet biologisch im anoxischen und den zwei anaeroben Becken statt. In diesen Becken wird ausschließlich gerührt.
 - In den Belebungsbecken findet unter aeroben Bedingungen die Nitrifikation und unter anaeroben die Denitrifikation statt. Es wird belüftet und gerührt.
 - Der Überschussschlamm wird mechanisch voreingedickt und in die Faulung gepumpt.
- Chemisch
 - Im Zulauf der Nachklärbecken wird über Zugabe von Fe- oder Al-Salzen gelöster Phosphor gefällt.
- Nachklärung
 - Der Schlamm aus den Nachklärbecken wird als Rücklaufschlamm zurück in das anoxische Becken gefördert.
- Flockungsfiltration

- In den Klarlauf aus der Nachklärung wird Fe-Salz als Flockungsmittel dosiert. Über Beschickungspumpen wird der Klarlauf Dynasandfiltern zugeführt um die Phosphatkonzentration im Ablauf weiter zu reduzieren. Das Filtrat wird zum Vorfluter geschickt.
- Klärschlammbehandlung
 - Der Überschussschlamm wird unter Zugabe von Flockungshilfsmittel (FHM) im Voreindicker (Schneckenfilterpresse) auf 4%TS gebracht. Der voreingedickte Schlamm wird desintegriert und zusammen mit dem Primärschlamm aus der Vorklärung in den Faul-turm gefördert. Die Faulung findet bei 35 – 40 °C statt.
 - Der ausgefaulte Klärschlamm wird unter Zugabe von FHM in der Schneckenfilterpresse entwässert und in Containern zwischengelagert, bis er zur landwirtschaftlichen Nutzung abgeholt wird.
- Infrastruktur
 - Auf dem Klärwerksgelände befinden sich neben den verfahrenstechnischen Anlagen noch ein Betriebsgebäude, ein Labor, eine Garage sowie eine Werkstatt.
- Energieerzeugung
 - Ausschließlich mit Klärgas wird ein BHKW betrieben, welches Strom und Wärme bereitstellt. Stromspitzenlasten werden dem Netz entnommen bzw. wird Strom bei Nicht-abnahme auf der Anlage in das Netz ausgespeist.
 - Wärmespitzenlasten werden über einen Gas-Brennwertkessel gedeckt, der sowohl mit Klärgas als auch mit Erdgas befeuert werden kann.

Eine Besonderheit der Kläranlage Heide ist, dass der Wasserspiegel der Belebungsbecken etwa 2,3 m höher liegt, als der des Anaerobbeckens und somit ein zweites Hebewerk notwendig ist.

4 Bestandsaufnahme

In diesem Kapitel wird der energetische Ist-Zustand des Klärwerks Heide beschrieben. Hierzu erfolgt einleitend eine Darstellung des Energieflusses am Standort. Hiervon ausgehend werden die Energieträger und Erzeugungsprozesse am Standort beschrieben und wichtige Kennwerte dargestellt.

Abschließend erfolgt eine detaillierte Beschreibung aller Anlagenteile im Klärwerk. Die sogenannte Verbrauchermatrix beschreibt Verbräuche, Laufzeiten und Auslastungen aller Anlagenteile am Standort. Dies ermöglicht die Ermittlung energetischer Kennwerte.

4.1 Energieflussdiagramm der Kläranlage Heide

Das Energieflussdiagramm der KA Heide gibt einen zusammenfassenden Überblick über den Energiebezug und Klärgasverbrauch im Betrachtungszeitraum sowie alle wesentlichen Energieumwandlungsprozesse. Als Betrachtungszeitraum wird das Kalenderjahr 2018 herangezogen.

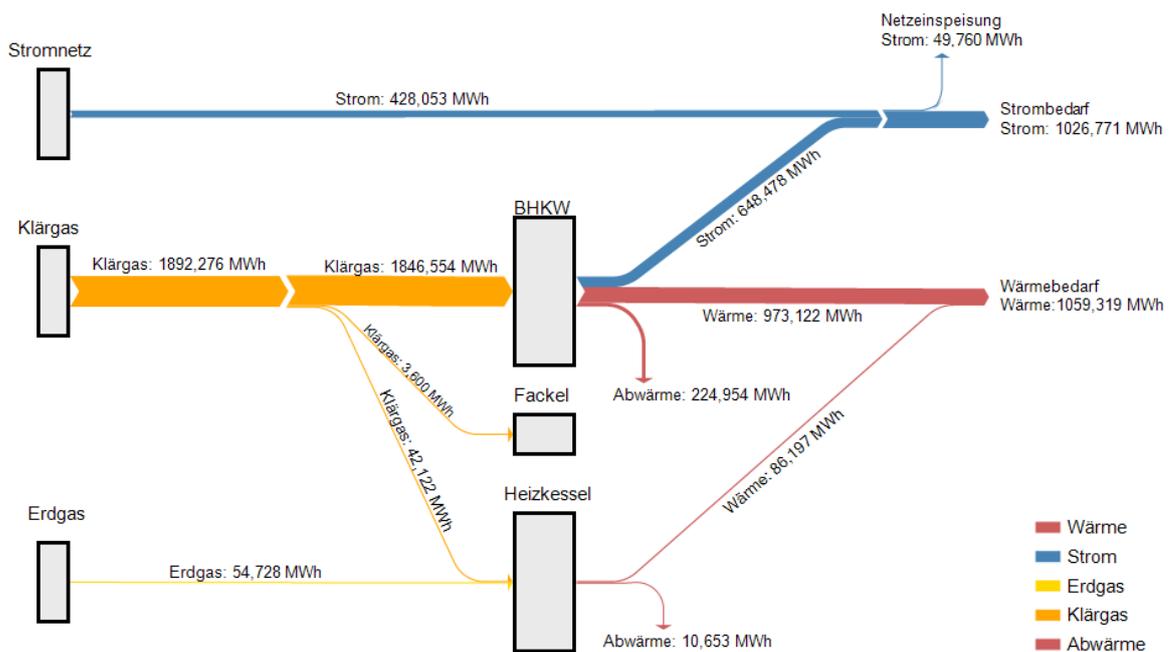


Abbildung 4-1: Sankey-Diagramm KA Heide

4.1.1 Energieträger

Insgesamt wurden ca. 2.375.057 kWh Energie für den Betrieb der Kläranlage aufgewandt. Diese verteilen sich auf die Energieträger Strom, Erdgas und Klärgas. Die Positionen Strom und Erdgas markieren ca. 20 % am Energiebezug, die übrigen 80 % entfallen auf das am Standort gewonnene Klärgas.

Den dargestellten Energieverbräuchen aller Energieträger werden die entstandenen Energiekosten und CO₂-Emissionen im Betrachtungszeitraum zugeordnet.

Tabelle 4-1: Gesamtenergiebezüge

Energiebezug	Menge [kWh]	Anteil Energie [%]	Kosten [€]	Anteil Kosten [%]	Emissionfaktor ¹ [t CO ₂ /MWh]	CO ₂ [t]	Anteil CO ₂ [%]	Verbrauchserfassung
Strom	428.053	18%	137.994	97,77%	0,537	230	79%	EVU
Erdgas	54.728	2%	3.142	2,23%	0,202	11	4%	EVU
Klärgasverbrauch	1.892.276	80%	0	0,00%	0,026	49	17%	Messung
Summe Gesamt	2.375.057	100%	141.135	100%		290	100%	

¹ CO₂-Emissionfaktoren nach BAFA & UBA 2013

Aufgrund des deutlich höheren Anteils am Gesamtverbrauch und den höheren spezifischen Kosten überwiegen die Energiekosten des Strombezugs deutlich gegenüber dem des Erdgases. Das Klärgas wird prozessbedingt intern gewonnen, so dass der Großteil der Energiebereitstellung kostenneutral erfolgt.

4.1.2 Energieerzeugung

Im Zentrum der Strom- und Wärmeerzeugung steht das 2015 neuerrichtete BHKW, welches ausschließlich mit dem im Klärprozess gewonnenen Klärgas betrieben wird. Tabelle 4-2 zeigt eine Übersicht der technischen Rahmendaten.

Tabelle 4-2: Technische Daten BHKW

Blockheizkraftwerk	
Hersteller	2G Energietechnik GmbH
ID No.	G4215
Typ	2G-KWK-190-BGG
Elektrische Leistung	190 kW
Thermische Leistung	218 kW
Elektrischer Wirkungsgrad (H _i)	38,7 %
Thermischer Wirkungsgrad (H _i)	44,4 %

Das BHKW kann stufenlos moduliert werden. Abbildung 4-2 zeigt den sortierten Stromlastgang des BHKWs im Jahr 2018. Es wird deutlich, dass das BHKW ca. 65 % des Jahres im Teillastbereich bei etwa 90 kW betrieben wird. Das entspricht nur ca. 47 % der elektrischen Nennleistung.

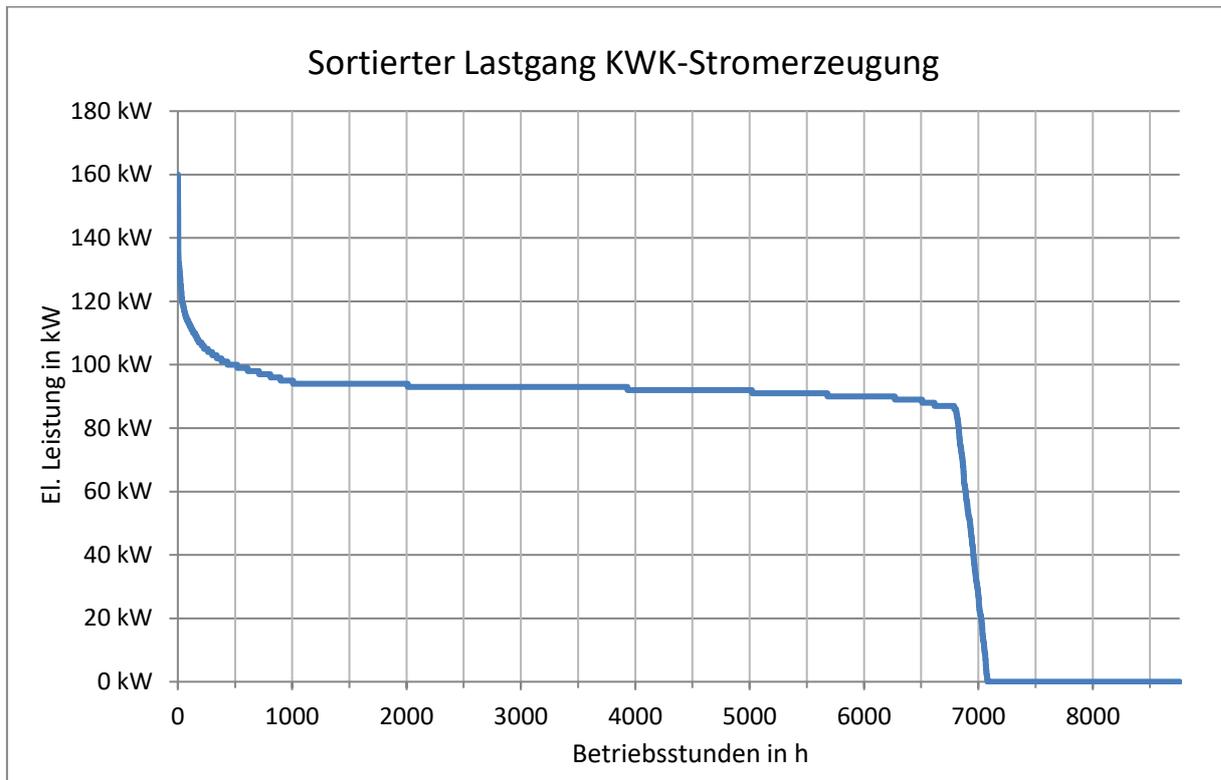


Abbildung 4-2: Sortierter Lastgang der KWK-Stromerzeugung 2018

Der häufige Teillastbetrieb ist im Wesentlichen auf zwei Ursachen zurückzuführen. Zum einem ist die zur Verfügung stehende Klärgasmenge nicht zu jedem Zeitpunkt ausreichend gewährleistet. Zum anderen führt eine unvollständige Rückkühlung des Gasgemisch-Kühlkreises selbst bei einer ausreichenden Klärgaszufuhr zu einer Leistungsreduzierung am BHKW. Über Wärmetauscher in den Schlammumwälzleitungen wird das Gasgemisch über den zirkulierenden Faulschlamm gekühlt. Ist die Temperaturdifferenz nicht ausreichend groß, um eine Kühlung des Gasgemisch-Rücklaufs auf unter 42°C zu erreichen, regelt das BHKW automatisch ab. Damit wird verhindert, dass zu heißes Klärgas ins BHKW gelangt und eine unkontrollierte Verbrennung stattfindet (sog. Klopfen). Die Abregelung und der damit verbundene Betrieb im Teillastbereich führen zu einem ineffizienten Betrieb, bei dem insbesondere der elektrische Wirkungsgrad stetig abnimmt. Tabelle 4-3 zeigt die Effizienz des BHKWs im Teillastbereich nach Herstellerangaben.

Tabelle 4-3: BHKW-Effizienz im Teillastbereich

Last	el. Leistung	η_{el}	η_{th}	η_{ges}
50%	95	35%	47%	81,90%
75%	143	38%	46%	83,80%
100%	190	39%	44%	83,20%

Quelle: Herstellerangaben 2G

Ergänzt wird das BHKW um einen Niedertemperaturkessel mit Gebläsebrenner (vgl. Tabelle 4-4), der neben Klärgas auch Erdgas verwerten kann. So ist auch bei nicht ausreichender Wärmeproduktion des BHKWs die Wärmedeckung über Erdgas gewährleistet.

Tabelle 4-4: Technische Daten Gaskessel mit Gebläsebrenner

Kesselanlage	
Niedertemperaturkessel	
Hersteller	Buderus
Typ	Logano GE515 Niedertemperaturkessel
Thermische Leistung	201-240 kW
Thermischer Wirkungsgrad (H_i)	89 %
Gebläsebrenner	
Hersteller	-Weishaupt-
Brennertyp	WM – G10/1-A
Baujahr	2015
Leistung	65-310 kW

Die Gesamtenergieerzeugung aus BHKW und Kessel auf dem Gelände der KA Heide im Bezugszeitraum ist in Tabelle 4-5 dargestellt. Die Messwerte weichen geringfügig von den BAFA-Werten ab. Im Laufe der Studie wurden für die dynamischen Berechnungen die Messwerte genutzt. Für die statischen Berechnungen die BAFA-Werte.

Tabelle 4-5: Nutzenergieerzeugung nach Verlusten 2018

Erzeugung	Menge [kWh]	Anteil Energie [%]	Erfassung/Quelle
KWK-Nettostrom	648.478	37,97%	Messung
davon Netzausspeisung	-49.760	8%	Messung
davon Eigenverbrauch	598.718	92%	Messung
KWK-Nutzwärme	973.122	56,98%	Messung
Kesselwärme	86.197	5,05%	Messung
davon Klärgas	37.488	43%	Messung
davon Erdgas	48.707	57%	Messung
Summe Gesamt	1.707.797	100%	

4.2 Deckungsquote des Energiebedarfs

Für das Referenzjahr 2018 ergeben sich Deckungsquoten des Energiebedarfs durch erneuerbare bzw. fossile Erzeugung nach Abbildung 4-3.

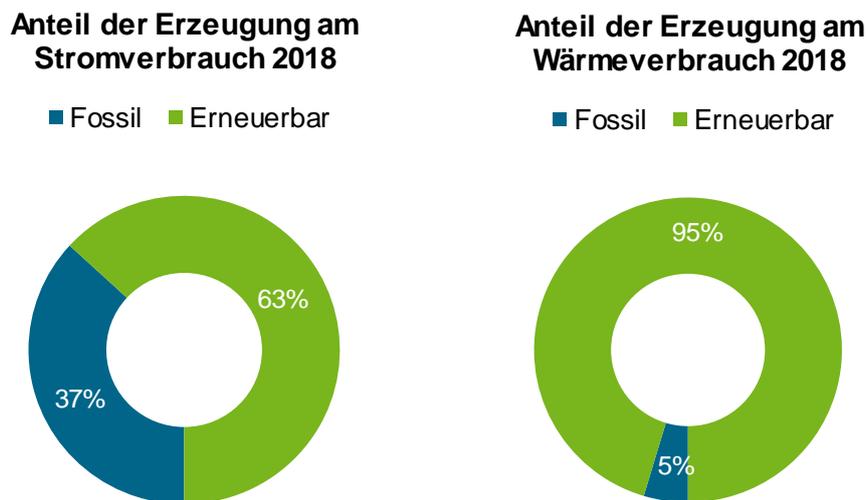


Abbildung 4-3: Deckungsquote des Energiebedarfs

Die dargestellten Anteile ergeben sich entsprechend Kapitel 4.1 folgendermaßen:

- Deckungsquote des Strombedarfs

Aus der Summe des Strombezugs und der KWK-Nettostrommenge abzüglich der ausgespeisten Strommenge ergibt sich der Gesamtstrombedarf der Anlage zu:

$$E_{el,Ges} = E_{el,EVU} + E_{el,KWK,Netto} - E_{el,KWK,aussp.} \quad \text{(Formel 4-1)}$$

$$E_{el,Ges} = (428.053 + 648.478 - 49.760) \frac{\text{kWh}}{\text{a}} = \underline{\underline{1.026.771 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}}}$$

Das Energieflussdiagramm zeigt, dass zur Deckung des Strombedarfs im Jahr 2018 428.053 kWh Strom extern bezogen wurden. Die verbleibende sowie ausgespeiste Strommenge hat das BHKW erneuerbar bereitgestellt. Somit ergibt sich ein erneuerbarer Anteil am Gesamtstrombedarf von 63% (vgl. Abbildung 4-3).

- Deckungsquote des Wärmebedarfs

Der Gesamtwärmebedarf ergibt sich aus der Summe der KWK-Nutzwärme und der Kesselwärme zu:

$$E_{th,Ges} = E_{th,KWK,Nutz} + E_{th,Kessel} \quad \text{(Formel 4-2)}$$

$$E_{th,Ges} = (973.122 + 86.197) \frac{\text{kWh}}{\text{a}} = \underline{\underline{1.059.319 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}}}$$

Der Wärmebedarf der KA Heide wurde im Jahr 2018 zu 92 % aus dem BHKW und zu 8 % aus dem Heizkessel gedeckt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Wärmeleistung des Kessels anteilig erneuerbar bereitgestellt wurde: 57 % Anteil Erdgas, 43 % Anteil Klärgas. Somit beträgt der erneuerbare Anteil am Gesamtwärmebedarf in Summe 95 % (vgl. Abbildung 4-3).

Für eine Förderung geplanter Maßnahmen im Sinne der Kommunalrichtlinie ist eine Deckungsquote des Energiebedarfs für Strom und Wärme durch auf dem Grundstück mittels erneuerbarer Energieanlagen erzeugte Energie von mindestens 70 % zu erreichen. Somit ist wärmeseitig bereits ein sehr hoher Deckungsanteil vorhanden. Eine wärmeseitige Optimierung findet im Rahmen dieser Potenzialstudie nur im Ansatz statt (6.6.3). Das Augenmerk dieser Potenzialstudie liegt auf der stromseitigen Optimierung.

4.3 Spez. jährlicher Strombedarf der gesamten Anlage

Für das Referenzjahr 2018 ergibt sich entsprechend Kapitel 4.1 der folgende spezifische jährliche Strombedarf der gesamten Anlage. Die lokal erzeugte Strommenge des BHKWs ist hierbei berücksichtigt.

Spez. jährl. Strombedarf 2018	
Strombezug	428.053 kWh
KWK-Stromerzeugung	598.718 kWh
Summe Strombedarf	1.026.771 kWh
Einwohnerwert	38.211 Ew
spez. Strombedarf	26,87 kWh/Ew

Abbildung 4-4: Spezifischer jährlicher Strombedarf 2018

Eine statistische Auswertung der im Land NRW geförderten Energieanalysen hat ergeben, dass ein spezifischer Strombedarf von 42 kWh/(EW*a) nur von der Hälfte der Anlagen unterschritten wird. Ein

Kennwert von 32 kWh/(EW*a) sogar nur von 25 %.² Der ermittelte Kennwert von 26,9 kWh/(EW*a) ist im branchenvergleich also bereits ein guter Wert. Um allerdings eine Förderung für geplante Maßnahmen im Sinne der Kommunalrichtlinie zu erhalten, ist ein Kennwert von maximal 23 kWh/Ew zu erreichen.

4.4 Verbrauchermatrix

An den Verbrauchern wurden Messungen zu typischen Durchflussmengen und Lastzuständen durchgeführt und Laufzeiten in Rücksprache mit dem Klärwerkpersonal abgeschätzt. Die Auslastung der Verbraucher wird über die Abweichung der Zulaufmengen zum Messungszeitpunkt korrigiert. Daraus ergeben sich die jährlichen Strombedarfe der Verbraucher (Tabelle 4-6).

Tabelle 4-6: Verbrauchermatrix

Ort/Raum	Art des Verbrauchers	Lfd. Nr.	Typ/Hersteller	Leistung in W	Anzahl	Laufzeit in h/a	Leistungs-faktor	Strombedarf in kWh/a	CO ₂ -Emission
Zulaufbewerk	Schneckenmotor 1	ZL-P01	Spaans Babcock / CMEC	18.500	1	2.920	44,50%	24.039	12.909 t
Zulaufbewerk	Schneckenmotor 2	ZL-P02	Spaans Babcock / CMEC	18.500	1	2.920	44,50%	24.039	12.909 t
Zulaufbewerk	Schneckenmotor 3	ZL-P03	Spaans Babcock / CMEC	18.500	1	2.920	44,50%	24.039	12.909 t
Mechanische Klärung	Rechenmotor 1	VK-E01	Getriebebau NORD GmbH	1.100	1	634	62,61%	437	0,234 t
Mechanische Klärung	Rechenmotor 2	VK-E02	Getriebebau NORD GmbH	1.100	1	682	64,69%	485	0,260 t
Mechanische Klärung	Waschpressenmotor	VK-E03	Getriebebau NORD GmbH	3.600	1	426	52,61%	807	0,433 t
Mechanische Klärung	Sandfang Gebläse 1	VK-G01	KAESER Kompressoren	5.500	1	4.380	64,37%	15.508	8,328 t
Mechanische Klärung	Sandfang Gebläse 2	VK-G02	AERZEN / Schorch	5.500	1	4.380	75,02%	18.072	9,705 t
Mechanische Klärung	Druckluftheber Sandfang	VK-K01	KAESER Kompressoren	7.500	1	4	56,62%	15	0,008 t
Mechanische Klärung	Sandfangräumer Antriebsmotor	VK-E01	Siemens	300	1	151	56,38%	26	0,014 t
Mechanische Klärung	Sandfangräumer Schildmotor	VK-E02			1	2	0,00%	0	0,000 t
Mechanische Klärung	Sandwäscher Austragsschnecke	VK-P01	Getriebebau NORD GmbH	1.100	1	6	43,25%	3	0,002 t
Mechanische Klärung	Sandwäscher Gebläse	VK-G04		550	1	671	79,53%	293	0,158 t
Mechanische Klärung	Sandwäscher Motor	VK-E03		960	1	3.212	46,55%	1.435	0,771 t
Mechanische Klärung	Vorklärbeckenräumer	VK-E04	ABB Motors	370	1	8.760	52,65%	1.706	0,916 t
Biologische Klärung	Anox Rührwerk 1	AO-R01	FLYGT	900	1	8.760	72,02%	5.678	3,049 t
Biologische Klärung	Anox Rührwerk 2	AO-R02	FLYGT	900	1	8.760	73,24%	5.774	3,101 t
Biologische Klärung	Anaerobbecken 1 Rührwerk 1	AN-R01	FLYGT	900	1	8.760	75,68%	5.967	3,204 t
Biologische Klärung	Anaerobbecken 1 Rührwerk 2	AN-R02	FLYGT	900	1	8.760	75,68%	5.967	3,204 t
Biologische Klärung	Anaerobbecken 2 Rührwerk 1	AN-R03	FLYGT	900	1	8.760	73,24%	5.774	3,101 t
Biologische Klärung	Anaerobbecken 2 Rührwerk 2	AN-R04	FLYGT	900	1	8.760	72,02%	5.678	3,049 t
Biologische Klärung	Beschickungspumpe 1	BB-P01	VEM Motors GmbH	22.000	1	2.920	83,19%	53.439	28.697 t
Biologische Klärung	Beschickungspumpe 2	BB-P02	VEM Motors GmbH	22.000	1	2.920	84,76%	54.447	29.238 t
Biologische Klärung	Beschickungspumpe 3	BB-P03	VEM Motors GmbH	22.000	1	2.920	46,30%	29.742	15.971 t
Biologische Klärung	Gebläse 1	BB-G01	ABB Motors	75.000	1	3.309	76,00%	188.599	101.278 t
Biologische Klärung	Gebläse 2	BB-G02		72.000	1	604	71,00%	30.851	16.567 t
Biologische Klärung	Gebläse 3	BB-G03			1	0	0,00%	0	0,000 t
Biologische Klärung	Gebläse 4	BB-G04			1	0	0,00%	0	0,000 t
Biologische Klärung	Gebläse 5	BB-G05		72.000	1	604	71,00%	30.851	16.567 t
Biologische Klärung	Gebläse 6	BB-G06	ABB Motors	75.000	1	3.309	76,00%	188.599	101.278 t
Biologische Klärung	Gebläse Belüfter 1	BB-G01	Ziehl-Abegg	310	1	2.734	71,00%	602	0,323 t
Biologische Klärung	Gebläse Belüfter 2	BB-G02	Ziehl-Abegg	310	1	0	0,00%	0	0,000 t
Biologische Klärung	Gebläse Belüfter 3	BB-G03	Ziehl-Abegg	310	1	0	0,00%	0	0,000 t
Biologische Klärung	Gebläse Belüfter 4	BB-G04	Ziehl-Abegg	310	1	0	0,00%	0	0,000 t
Biologische Klärung	Gebläse Belüfter 5	BB-G05	Ziehl-Abegg	310	1	0	0,00%	0	0,000 t
Biologische Klärung	Gebläse Belüfter 6	BB-G06	Ziehl-Abegg	310	1	2.734	71,00%	602	0,323 t
Biologische Klärung	Rührwerk 1	BB-R01	FLYGT	4.300	1	8.760	45,70%	17.215	9,244 t
Biologische Klärung	Rührwerk 2	BB-R02	FLYGT	4.300	1	8.760	48,29%	18.191	9,769 t
Biologische Klärung	Rührwerk 3	BB-R03	FLYGT	4.300	1	8.760	48,62%	18.314	9,834 t
Biologische Klärung	Rührwerk 4	BB-R04	FLYGT	4.300	1	8.760	48,62%	18.314	9,834 t
Biologische Klärung	Nachbelüfter Rührwerk	BB-R05	FLYGT	1.700	1	8.760	51,65%	7.692	4,130 t
Nachklärung	Brückenmotor	NK-E01	SEW-Eurodrive	370	1	8.760	46,38%	1.503	0,807 t
Nachklärung	Brückenmotor	NK-E02	SEW-Eurodrive	370	1	8.760	51,73%	1.677	0,900 t
Nachklärung	Brückenmotor	NK-E03	SEW-Eurodrive	370	1	8.760	42,81%	1.388	0,745 t

² siehe Arbeitsblatt DWA-A 216, Anhang B, Seite 54, Dezember 2015

Flockungsfiltration	Kompressor 1	FF-K01	BOGE	11.000	1	2.400	79,82%	21.071	11.315 t
Flockungsfiltration	Kompressor 2	FF-K02	BOGE	11.000	1	131	77,41%	1.118	0,601 t
Flockungsfiltration	Zulauf Filtration Pumpe 1	FF-P01	VEM Motors GmbH	15.000	1	2.920	56,92%	24.930	13,387 t
Flockungsfiltration	Zulauf Filtration Pumpe 2	FF-P02	VEM Motors GmbH	15.000	1	2.920	62,63%	27.434	14,732 t
Flockungsfiltration	Zulauf Filtration Pumpe 3	FF-P03	VEM Motors GmbH	15.000	1	2.920	68,35%	29.938	16,077 t
Schlammbehandlung	Rücklaufschlamm Pumpe 1	SB-P01	VEM motors GmbH	11.000	1	2.920	15,46%	4.965	2,666 t
Schlammbehandlung	Rücklaufschlamm Pumpe 2	SB-P02	VEM motors GmbH	11.000	1	2.920	22,17%	7.122	3,825 t
Schlammbehandlung	Rücklaufschlamm Pumpe 3	SB-P03	VEM motors GmbH	11.000	1	2.920	20,02%	6.431	3,453 t
Schlammbehandlung	Dickschlamm Pumpe	SB-P04	Marelli Motori	7.500	1	0	14,20%	0	0,000 t
Schlammbehandlung	Dünnschlamm Pumpe 1	SB-P05		5.500	1	8.760	12,14%	5.850	3,141 t
Schlammbehandlung	Dünnschlamm Pumpe 2	SB-P06			1	0	0,00%	0	0,000 t
Schlammbehandlung	Ansatz Pumpe (Umfüllpumpe)	SB-P07	Marelli Motori	750	1	1.420	67,36%	717	0,385 t
Schlammbehandlung	Ansatz Rührwerk 1	SB-R01	VEM motors GmbH	550	1	5.183	58,57%	1.670	0,897 t
Schlammbehandlung	Ansatz Rührwerk 2	SB-R02	VEM motors GmbH	550	1	5.183	51,68%	1.473	0,791 t
Schlammbehandlung	FHM Pumpe	SB-P08			1	0	0,00%	0	0,000 t
Schlammbehandlung	Nachverdünnung Pumpe	SB-P09	ABB Motors	1.200	1	0	19,23%	0	0,000 t
Schlammbehandlung	Nachverdünnung Rührwerk	SB-R03	Siemens	750	1	8.760	54,21%	3.561	1,912 t
Schlammbehandlung	Reaktor Rührwerk	SB-R04	Eberhard Bauer	370	1	6.220	38,53%	887	0,476 t
Schlammbehandlung	Schneckenmotor	SB-E01	Eberhard Bauer	2.200	1	6.220	12,22%	1.672	0,898 t
Schlammbehandlung	Spühmotor	SB-E02	Steinlen Elektromaschinenbau GmbH	40	1	923	172,17%	64	0,034 t
Schlammbehandlung	Desintegration Pumpe	SB-P10	Nord	2.200	1	8.760	7,83%	1.508	0,810 t
Schlammbehandlung	Biosonator compact 3kW	SB-A01	SC Consult GmbH	1.000	3	8.760	35,50%	9.329	5,010 t
Faulturm	Rührwerk	SB-R05		4.000	1	2.332	68,95%	6.433	3,454 t
Faulturm	Rohschlammpumpe 1	SB-P11	ABB Motors	7.500	1	383	26,26%	755	0,406 t
Faulturm	Rohschlammpumpe 2	SB-P12	ABB Motors	7.500	1	383	30,30%	871	0,468 t
Faulturm	Umwälzpumpe 1	SB-P13	AEG	4.000	1	4.380	90,58%	15.870	8,522 t
Faulturm	Umwälzpumpe 2	SB-P14	AEG	4.000	1	4.380	94,48%	16.553	8,889 t
Schlammbehandlung	Dünnschlamm Pumpe	SB-P15	Nord	2.200	1	3.834	6,09%	514	0,276 t
Schlammbehandlung	FHM Aufbereitung Pumpe	SB-P16	Nord	1.500	1	3.834	4,66%	268	0,144 t
Schlammbehandlung	FHM Aufbereitung Rührwerk	SB-R06		750	1	4.793	41,36%	1.487	0,798 t
Schlammbehandlung	Ishigaki Antriebsmotor 1	SB-E03	SEW-Eurodrive	2.200	1	3.834	9,84%	830	0,446 t
Schlammbehandlung	Ishigaki Antriebsmotor 2 (Auffuhrschnecke)	SB-E04		1.100	1	3.870	53,66%	2.284	1,227 t
Schlammbehandlung	Ishigaki Antriebsmotor 3 (Verteilerschnecke)	SB-E05		750	1	3.870	59,47%	1.726	0,927 t
Schlammbehandlung	Kontainer Befüllungsmotor 1	SB-E06		750	1	2.130	55,97%	894	0,480 t
Schlammbehandlung	Kontainer Befüllungsmotor 2	SB-E07		750	1	1.740	55,97%	730	0,392 t
Schlammbehandlung	Reaktor Rührwerk	SB-R07	SEW-Eurodrive	370	1	3.870	21,40%	306	0,165 t
Schlammbehandlung	Nacheindicker_Rührwerk	SB-R08		5.500	1	710	66,36%	2.591	1,392 t
Prozesswasser	Brauchwasserpumpe	PW-P01		7.500	1	1.562	68,67%	8.045	4,320 t
Infrastruktur	HQL	IN-AB01		160	4	2.982	100,00%	1.908	1,025 t
Infrastruktur	HQL	IN-AB02		125	4	2.982	100,00%	1.491	0,801 t
Infrastruktur	HQL	IN-AB03		80	3	2.982	100,00%	716	0,384 t
Infrastruktur	LSR	IN-AB04		65	4	2.982	100,00%	775	0,416 t
Infrastruktur	LED	IN-AB05		33	1	2.982	100,00%	98	0,053 t
Infrastruktur	LED	IN-AB06		25	3	2.982	100,00%	224	0,120 t
Infrastruktur	Heizungspumpe Rechenraum 1	IN-P01		1.500	1	1.704	85,00%	2.173	1,167 t
Infrastruktur	Heizungspumpe Rechenraum 2	IN-P02		1.500	1	1.704	85,00%	2.173	1,167 t
	Summe Stromverbrauch berechnet							1.027.220	551,617 t
	Summe Stromverbrauch gesamt							1.029.918	

Abbildung 4-5 zeigt, dass fast die Hälfte der verbrauchten elektrischen Energie auf die Druckluftherzeugung zurückzuführen ist. Rund ein Drittel fällt über Pumpenantriebe an. Mit 13% machen Rührwerke einen weiteren größeren Teil der Verbraucher aus.

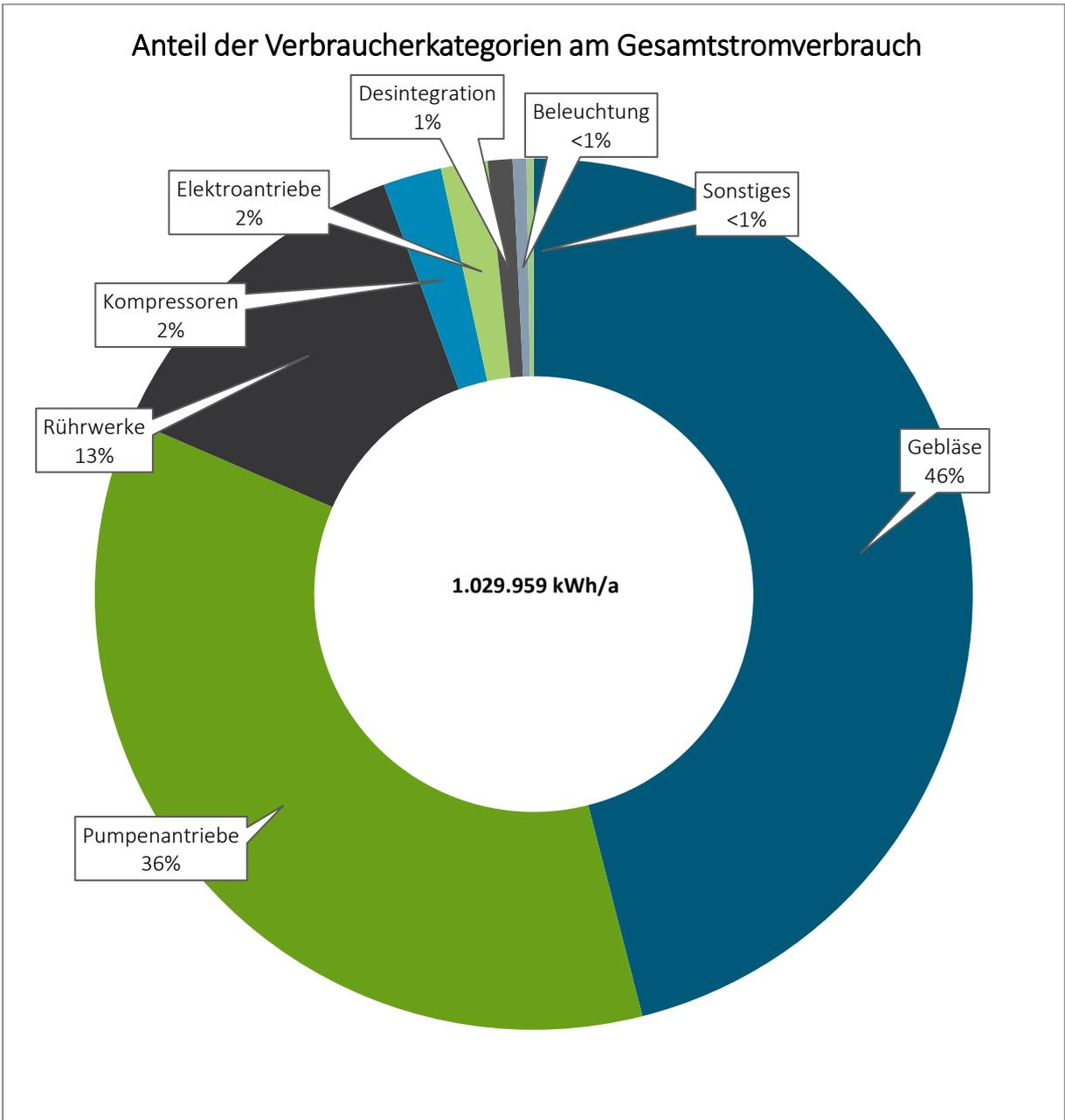


Abbildung 4-5: Anteil der Verbraucherkategorien am Gesamtstromverbrauch

Die Anteile der einzelnen Verfahrensstufen am Gesamtstromverbrauch werden in Abbildung 4-6 abgebildet. Es ergeben sich für die biologische Stufe 69% des Gesamtenergiebedarfs. Dabei geht auch das Zwischenpumpwerk mit ein. Die Filtration macht noch 9% aus, gefolgt vom Zulaufhebewerk mit 7% und der Schlammbehandlung mit 6%.

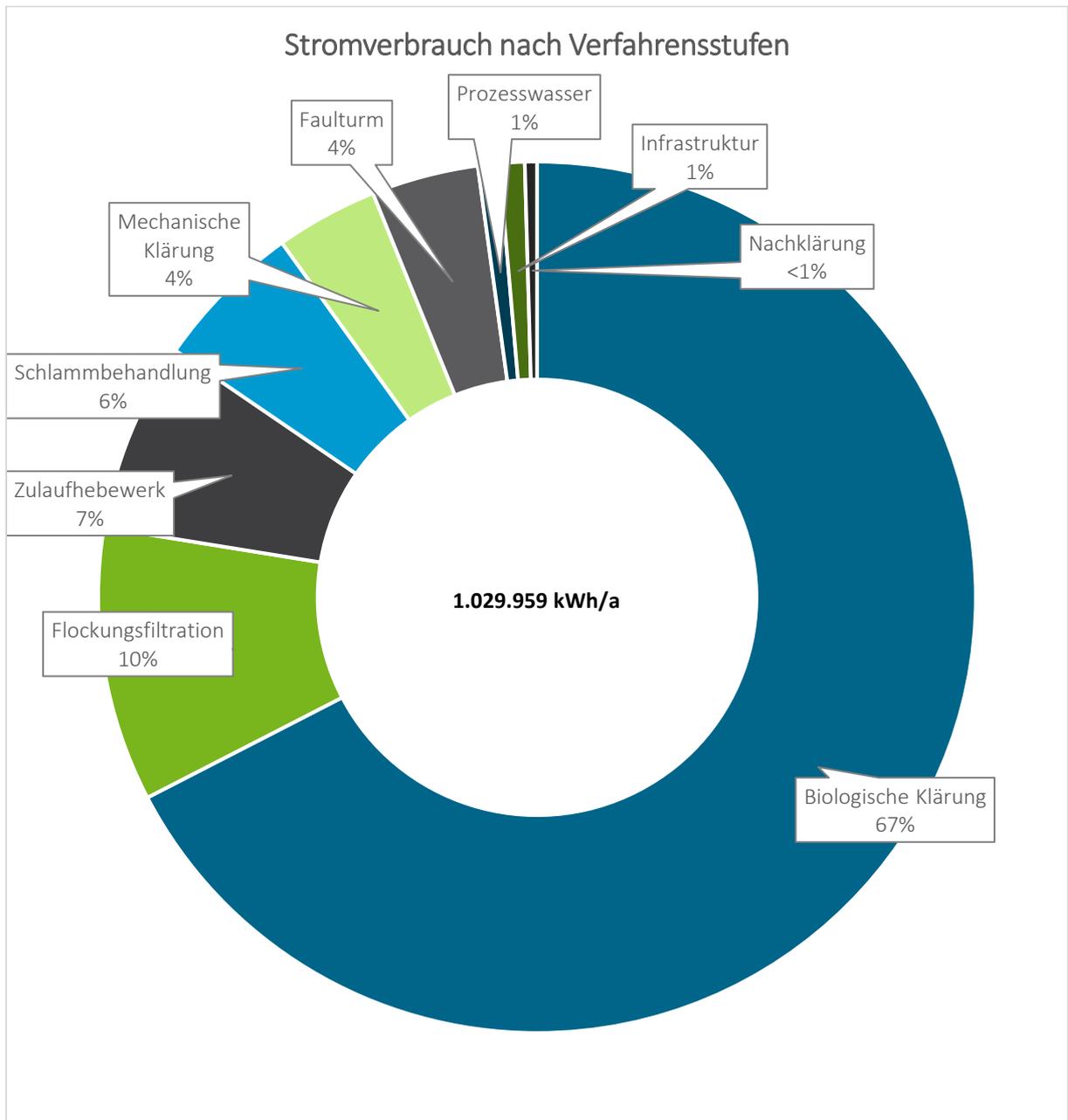


Abbildung 4-6: Anteil der Verfahrensstufen am Gesamtstromverbrauch

5 Ermittlung der Optimierungspotenziale

Zur Ermittlung der Optimierungspotenziale wurden die Verbrauchergruppen mithilfe einer ABC-Analyse in drei Klassen eingeteilt. Dabei stellt Klasse A die Hauptverbraucher dar, welche zusammen bis 85% des Gesamtjahresenergieverbrauchs ausmachen. Der Anteil bis 95% des Jahresenergieverbrauchs wird durch Klasse B repräsentiert. In Klasse C befinden sich die restlichen Kleinstverbraucher, welche kumuliert nur noch 5% ausmachen.

In Klasse A befinden sich die größten Hebel zur Energieeinsparung, weshalb auch das Augenmerk hier liegt. Sollten die Ziele mit Optimierungen der Klasse A nicht erreichbar sein, wird Klasse B näher betrachtet. Verbraucher der Klasse C werden nicht weiter betrachtet.

Tabelle 5-1: ABC-Analyse

Nr.	Verbraucher/-gruppe	kWh	Anteil	Klasse
1	Belebungsbecken Gebläse	440.103	43%	A
2	Belebungsbecken Pumpenantriebe	137.628	56%	A
3	Flockungsfiltration Pumpenantriebe	82.302	64%	A
4	Belebungsbecken Rührwerke	79.725	72%	A
5	Zulauf Pumpenantriebe	72.117	79%	A
6	Sand-/Fettfang Gebläse	33.579	82%	A
7	Faulturm Umwälzung	32.423	85%	B
8	Anaerobbecken Rührwerke	23.385	88%	B
9	Flockungsfiltration Kompressoren	22.190	90%	B
10	Rücklaufschlamm Pumpenantriebe	18.518	91%	B
11	Anoxbecken Rührwerke	11.452	93%	B
12	Desintegration	9.329	93%	B
13	Prozesswasser Pumpenantriebe	8.045	94%	B
14	FHM Elektroantriebe	6.464	95%	B
15	Faulung Rührwerke	6.433	96%	C
16	Dünnschlamm Pumpenantriebe	6.364	96%	C
17	FHM Rührwerke	5.823	97%	C
18	Außenbeleuchtung	5.213	97%	C
19	Heizung Rechenraum Pumpenantriebe	4.345	98%	C
20	Anderer Rührwerke	3.561	98%	C
21	Nachklärbecken Elektroantriebe	3.064	98%	C
22	Sonstiges	2.740	99%	C
23	Nacheindicker Rührwerke	2.591	99%	C
24	Anderer Elektroantriebe	1.736	99%	C
25	Rechen Elektroantriebe	1.728	99%	C
26	Vorklärung Elektroantriebe	1.706	99%	C
27	Rohschlamm Pumpenantriebe	1.626	99%	C
28	Desintegration Pumpenantriebe	1.508	100%	C

Nr.	Verbraucher/-gruppe	kWh	Anteil	Klasse
29	Nachklä Becken Elektroantriebe	1.503	100%	C
30	Sandwäscher Elektroantriebe	1.435	100%	C
31	FHM Pumpenantriebe	986	100%	C
32	Sandwäscher Gebläse	293	100%	C
33	Sand-/Fettfang Elektroantriebe	26	100%	C
34	Sand-/Fettfang Kompressoren	15	100%	C
35	Sandwäscher Pumpenantriebe	3	100%	C
36	Dickschlamm Pumpenantriebe	-	100%	C
37	Andere Pumpenantriebe	-	100%	C

5.1 Vergleich Ist- vs. Idealwerte

Primär wurden für die sechs Hauptverbraucher der Klasse A die Optimierungspotenziale ermittelt. Dazu wurden die Energieverbräuche mit der im Rahmen der DWA-A 216 Anhang A.1 ermittelten anlagenspezifischen Idealwerten der einzelnen Anlagenteile verglichen. Dafür wurden die im Anhang der Richtlinie aufgeführten Idealwerte zu Rate gezogen. Mithilfe der Abweichung vom Ist- zum Idealwert können die Optimierungspotenziale ermittelt werden.

Aus dieser Energieanalyse (Tabelle 5-2) geht hervor, dass bei der Belüftung der Belebungsbecken die größte Abweichung zum anlagenspezifischen Idealwert vorliegt. Hier sind demnach die größten Energieeinsparungen zu erwarten. Das zweitgrößte Potenzial bietet das Zulaufhebwerk und das drittgrößte ein altes Sand- und Fettfanggebläse. Die Beschickungspumpen der Flockungsfiltration weisen das viertgrößte Potenzial auf. Die Rührwerke der Belüftung gefolgt von den Pumpen der Belüftung bilden in der Kategorie A die kleinsten signifikanten Abweichungen zum Idealwert ab.

Tabelle 5-2: Energieanalyse elektrisch

Nr.	Verfahrensstufe	IST Absolut	IDEAL Absolut	IST Spezifisch	IDEAL Spezifisch	Spezifische Abweichung	Absolute Abweichung
	Einheiten	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/(E*a)]	[kWh/(E*a)]	[kWh/(E*a)]	[kWh/a]
1	Belebungsbecken Gebläse	440.103	244.638	11,51	6,40	5,11	195.465
2	Belebungsbecken Pumpenantrieb	137.628	121.074	3,60	3,17	0,43	16.554
3	Flockungsfiltration Pumpenantrieb	82.302	60.485	2,15	1,58	0,57	21.816
4	Belebungsbecken Rührwerk	79.725	60.181	2,08	1,57	0,51	19.544
5	Zulauf Pumpenantrieb	72.117	45.617	1,89	1,19	0,69	26.500
6	Sand-/Fettfang Gebläse	33.579	8.085	0,88	0,21	0,67	25.495
7	Rest der Anlage (Klasse B + Klasse C)	184.464					
	Summe Gesamtenergieverbrauch elektrisch	1.029.918		26,92			
	Bezug EVU elektrisch	428.053		11,19			
	Eigenproduktion elektrisch	654.746		17,12			
	<i>davon ausgespeist</i>	52.881		1,38			
Sonstiges	Kontrollrechnung Gesamtstromverbrauch - (EVU+EP)	0		0,00			
	Abweichung %	0%					

6 Maßnahmenkatalog

Nachfolgend werden Einzelmaßnahmen zur Energieeinsparung vorgestellt. Die Energieeinsparungen ergeben sich gemäß den Herstellerangaben aus den jeweiligen Richtpreisangeboten. Diese sind als Anhang dem Bericht beigelegt. Aufgrund ihrer Wechselwirkung zueinander werden teilweise „Maßnahmenpakete“ geschnürt, die als Ganzes vorgestellt und empfohlen werden.

6.1 Belebungsbecken

An den Belebungsbecken liegen die größten Einsparpotenziale vor. Die Belüftung des Belebungsbeckens sollte als verfahrenstechnische Einheit betrachtet werden. Im Folgenden werden zunächst die Einzelmaßnahmen vorgestellt. Danach werden ihre Energieeinsparungen zusammengefasst dargestellt. Die Beschickungspumpen haben verfahrenstechnisch keinen Zusammenhang und werden gesondert im darauffolgenden Kapitel behandelt.

6.1.1 Erhöhung der Belüfterfläche durch Plattenbelüfter

Die Belebungsbecken sind ursprünglich für eine Standard-Sauerstoffzufuhr (SOTR) von 643 kg/h (O₂) ausgelegt worden. Auf Basis der Tagesdaten des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) von 2016 bis 2018 kann von einer Belastung von 35.500 EW_{CSB120} (Quantil 85%) ausgegangen werden. Bei 12 stündigem Betrieb wird dafür überschlägig eine SOTR von 710 kg/h (O₂) benötigt. Im Mittel liegt die Belastung bei ca. 70% des maximalen Auslegungswertes bei 490 kg/h (O₂). Es wird weiter für die Bestandsbelüftung von einer SSOTR von 18,5 g/(Nm³*m) (O₂) ausgegangen. Damit liegt der erforderliche Luftvolumenstrom für beide Becken bei etwa 5.900 m³/h.

Durch Austausch der 1.100 Rohrbelüfter (L=750 mm) zu neuen Plattenbelüftern kann die projizierte Belüfterfläche von 132 auf 180 m² erweitert werden. Damit kann der SSOTR von etwa 18,5 auf 23,4 g/(m³_N*m) (O₂) erhöht werden. Die erforderliche Luftmenge reduziert sich dadurch von 5.900 m³_N/h auf 4.650 m³_N/h. Dies bedeutet eine Verringerung der Luftmenge von etwa 22%, womit sich eine Senkung des Strombedarfs³ von ebenfalls etwa 22% (Tabelle 6-1) ergibt.

6.1.2 Austausch der Rührwerke

Pro Becken gibt es zwei Rührwerke plus ein Rührwerk in der Nachbelüftung. Diese laufen dauerhaft ungerregelt, sowohl während der Belüftungszeiten, als auch während der unbelüfteten Zeiten. Damit

³ In Bezug auf die Austauschgebläse

machen sie rund 8% des Gesamtenergieverbrauchs der Kläranlage aus. Die Rührwerke sind über 14 Jahre alt. Rührwerke führen unter anderem zu einer verbesserten Sauerstoffaufnahme in den Belebungsbecken und dienen somit auch zur Reduzierung der Druckluftherzeugung.

Durch Austausch der Rührwerke zu neuen drehzahleregelten Rührwerken kann während der unbelüfteten Zeiten die Drehzahl von 33 U/min auf 26 U/min reduziert werden. Dadurch kann der Energiebedarf um etwa 19% gesenkt werden (Anhang 1).

6.1.3 Austausch der Gebläse

Die Belüftung der Belebungsbecken wird aktuell mit vier Gebläsen durchgeführt. Es gibt zwei Gebläse pro Becken, davon jeweils eines mit FU-Regelung. Das fünfte dient als Redundanz-Gebläse und ist i. d. R. außer Betrieb. Pro Becken gilt es die Grundlast über ein FU-geregeltes Gebläse zu decken. Die Grundlastgebläse (BB-G01 und BB-G06) haben einen Nenn-Luftvolumenstrom von jeweils 1.200 – 3.262 m³/h. Für den mittleren erforderlichen Luftvolumenstrom von 5.900 m³/h benötigen die Aggregate inklusive Gehäusebelüftung im Bestand 440.103 kWh/a (vgl. Tabelle 4-6). Damit machen die Gebläse 43% des Gesamtstrombedarfs der Kläranlage aus. Die Gebläse sind über 24 Jahre alt.

Durch die o.g. Maßnahme, neue Plattenbelüfter einzubauen und die Rührwerke auszutauschen, kann der erforderliche Luftvolumenstrom gesenkt werden. Die Gebläse werden auf die Belüfter abgestimmt wodurch bei Austausch der Belüfter ein kleineres Spitzenlastaggregat gewählt werden kann⁴. Damit ergibt sich die Energieeinsparung sowohl durch den kleineren erforderlichen Luftvolumenstrom als auch den geringeren spezifischen Energiebedarf der Austauschgebläse. Dieser liegt gemäß Richtpreisangebot des Herstellers (Anhang 1) bei 85% des Bestandsgebläses. Es ergeben sich die Energiekennwerte der Maßnahmen am Belebungsbecken zu Tabelle 6-1:

Tabelle 6-1: Energiekennwerte der Maßnahmen am Belebungsbecken

Typ	Bestand		Maßnahme	Einsparung		
	Baujahr	Strombedarf in kWh/a	Strombedarf in kWh/a	Strom in kWh/a	Kosten in €/a	CO2 In t/a
Gebläse	1995	440.103	374.683	65.421	21.589	31,0
Belüfter ⁵	2013	374.683	281.422	93.240	30.058	50,1
Rührwerke	2006	72.033	58.517	13.516	4.357	7,3
			Summe:	172.177	55.506	92,5

⁴ Sollte der Austausch der Belüfter zu einem späteren Zeitpunkt stattfinden, ist eine Überdimensionierung der Gebläse nicht auszuschließen.

⁵ Ausgangsstrombedarf bezieht sich auf den Strombedarf der neuen Gebläse.

6.2 Belebungsbecken-Pumpen

Bauortbedingt liegt der Wasserspiegel der Belebungsbecken etwa 2,3 m höher als der des Anaerob-Beckens. Der Zulauf zu den Belebungsbecken wird über drei Beschickungspumpen gewährleistet. Mit 13% des Gesamtstromverbrauches machen sie den zweitgrößten Energieverbraucher auf der Kläranlage aus.

Die Beschickungspumpen für die Belebung mussten 2018 einen mittleren Volumenstrom von 550 m³/h und einen maximalen von rund 1600 m³/h leisten können. Im Quantil 85% liegt der Förderstrom unter 703 m³/h. Die drei baugleichen Beschickungspumpen (BJ 1994) haben eine Nennförderleistung von 700 m³/h. Die erste Pumpe ist über einen FU geregelt.

Durch Austausch der Belebungsbeckenpumpen durch neue energiesparendere Aggregate kann eine Energieeinsparung von 7% gegenüber dem Ist-Zustand erzielt werden (Tabelle 6-2).

Tabelle 6-2: Energiekennwerte Austausch der Belebungsbecken-Pumpen

Typ	Bestand		Maßnahme	Einsparung		
	Bau-jahr	Strombedarf in kWh/a	Strombedarf in kWh/a	Strom in kWh/a	Kosten in €/a	CO2 In t/a
Pumpen ⁶	1994	137.628	127.780	9.848	3.175	5,3

6.3 Flockungsfiltration

Zur Beschickung der Filter dienen drei baugleiche Pumpen mit dem Baujahr 1996. Diese müssen einen mittleren erforderlichen Volumenstrom von 218 m³/h sowie einen maximalen erforderlichen Volumenstrom von 706 m³/h leisten können. Im Quantil 85% liegt der Förderstrom unter 311 m³/h. Die Pumpen haben einen Nennförderstrom von 350 m³/h. Bei der ersten Pumpe findet eine Drehzahlregelung über einen FU statt. In Summe machen die Pumpen 7% des Gesamtstromverbrauchs aus.

6.3.1 Austausch der Beschickungspumpen

Durch Austausch der Pumpen gegen neue energieeffizientere Pumpen, kann eine Energieeinsparung von etwa 14% erreicht werden (Tabelle 6-3).

⁶ Austauschaggregat nach vorhandenen Pumpendaten ausgelegt

Tabelle 6-3: Energiekennwerte Austausch der Flockungfiltrationspumpen

Typ	Bestand		Maßnahme	Einsparung		
	Bau-jahr	Strombedarf in kWh/a	Strombedarf in kWh/a	Strom in kWh/a	Kosten in €/a	CO2 In t/a
Pumpen ⁷	1996	82.302	71.277	11.025	3.554	5,9

6.4 Zulaufhebewerk

Die drei Schneckenpumpen (Tabelle 6-4) am Zulauf mit dem Baujahr 1976 haben jeweils eine maximale Förderleistung von etwa 600 m³/h. Die durchschnittliche Zulaufmenge liegt 2018 bei etwa 225 m³/h. Somit deckt eine Schneckenpumpe die gesamte Grundlast, welche im Quantil 85% unter 280 m³/h liegt. Die zweite Pumpe dient zur Deckung der Spitzenlasten. Dabei sind Zulaufmengen bis 880 m³/h zu fördern, Werte über 1000 m³/h sind sehr selten. Somit dient die dritte Schneckenpumpe als Redundanz. Eine Drehzahlregelung ist nicht vorhanden.

6.4.1 Umstellung auf FU-Betrieb

Der optimale Wirkungsgrad der Schneckenpumpen liegt laut Hersteller bei etwa 65%. Über eine Füllstandsmessung kann eine Drehzahlregelung der Schnecken realisiert werden um diese im optimalen Bereich zu betreiben. Dazu sind neben der Installation notwendig:

- Neue energieeffiziente Motoren
- Frequenzumformer
- Füllstandssensor
- Messumformer
- Regelung
- MSR-Technik

Durch Umstellung auf FU-Betrieb kann eine Energieeffizienzsteigerung von 15% erreicht werden (Tabelle 6-4).

Tabelle 6-4: Energiekennwerte Zulauf-Pumpen

Typ	Bestand		Maßnahme	Einsparung		
	Bau-jahr	Strombedarf in kWh/a	Strombedarf in kWh/a	Strom in kWh/a	Kosten in €/a	CO2 In t/a
Zulaufhebewerk	1976	72.117	61.299	10.818	3.487	5,8

⁷ Austauschaggregat nach vorhandenen Pumpendaten ausgelegt

6.5 Sandfang-Gebläse

Der Lufteintrag im Sandfang erfolgt über zwei Aggregate (Tabelle 6-5). Diese werden abwechselnd betrieben und es wird durchgehend belüftet. Das KAESER Aggregat wurde 2019 neu errichtet. Das AERZEN Aggregat ist 19 Jahre alt.

Tabelle 6-5: Energiekennwerte Sandfang-Gebläse (vgl. Tabelle 4-6: Verbrauchermatrix)

Typ/Hersteller	Leistung in W	Laufzeit in h/a	Leistungsfaktor	Strombedarf in kWh/a
KAESER Kompressoren	5.500	4.380	77%	15.508
AERZEN / Schorch	5.500	4.380	90%	18.072
Summe:				33.579
Anteil an Gesamtstromverbrauch:				3%

6.5.1 Austausch Sandfang-Gebläse

Aus den Messungen (Tabelle 6-5) geht hervor, dass das neue Gebläse bei gleicher Fördermenge eine um 14% verringerte Leistungsaufnahme bezogen auf das alte Aggregat hat. Es wird angenommen, dass durch Austausch des Aggregats durch ein Neues mindestens die Differenz von etwa 2.500 kWh/a eingespart werden kann.

Tabelle 6-6: Austauschmaßnahme Sandfang-Gebläse

Typ	Bestand		Maßnahme	Einsparung		
	Baujahr	Strombedarf in kWh/a	Strombedarf in kWh/a	Strom in kWh/a	Kosten in €/a	CO2 In t/a
Sandfanggebläse	1996	18.072	15.508	2.564	827	1,4

6.6 Weitere unabhängige Maßnahmen

Im Folgenden werden weitere Maßnahmen zur Verringerung von CO₂-Emissionen vorgestellt, die über die Förderbarkeit der Kommunalrichtlinie hinausgehen. Darunter fallen die Optimierung der erneuerbaren Energieerzeugung sowie ein Vorschlag zur wärmeseitigen Optimierung der Kläranlage.

6.6.1 Tischkühler zur Abfuhr von Gemischwärme

Im Inneren einer BHKW-Anlage befindet sich ein Gas-Luftgemisch, welches verbrannt dafür sorgt, dass elektrische Energie und Wärme entstehen. Wird dieses Gas-Luftgemisch mit einer erhöhten Temperatur zugeführt, kann es zu einer abnormalen Verbrennung mit unkontrollierter Selbstentzündung, örtlichen

Überhitzungen und damit zu massiven mechanischen Schädigungen kommen. Um dieser Selbstentzündung entgegenzuwirken, regelt das in der Kläranlage Heide in Betrieb befindliche BHKW aufgrund der Klärgas-Luftgemischtemperatur automatisch seine Leistung herunter. Dies sorgt für eine Minderung der Anlageneffizienz und wirkt sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit und auf das Emissionsverhalten aus.

Die klopfende Verbrennung kann durch einen Gemischkühler, der das nach dem Turbolader komprimierte heiße Gas-Luftgemisch vor Eintritt in die Brennräume abkühlt, vermieden werden. Hierbei wird die Abwärme über einen Tischkühler, einem horizontal aufgestellten Wärmeübertrager mit oberseitig angebrachten Ventilatoren, abgeführt, um eine Überhitzung des Gemisches zu verhindern.

Vor diesem Hintergrund kann von einer nun vollständigen Verstromung des im Faulturm gewonnenen Klärgases ausgegangen werden. Die erzeugte elektrische Strommenge erhöht sich um etwa 2,4 % auf 663,8 Tsd. kWh pro Jahr, von denen 636.5 Tsd. kWh (62,0 %) selbst verbraucht und 27,3 Tsd. kWh (38,0 %) in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Eine erhöhte und finanziell lohnende Eigenverbrauchsquote steht allerdings auch einem erhöhten Erdgasverbrauch gegenüber, da der Heizkessel zwar weniger Wärme liefert, dieser aber vollständig mit Erdgas betrieben wird.

Tabelle 6-7: Energiemengen Tischkühler

Energiemengen		Status Quo	BHKW optimiert
Stromeigennutzung	ca.	598.718 kWh	636.514 kWh
Strombezug	ca.	428.053 kWh	390.257 kWh
Einspeisung	ca.	49.760 kWh	27.319 kWh
Gelieferte Wärme BHKW	ca.	864.469 kWh	883.586 kWh
Gelieferte Wärme Heizkessel	ca.	86.197 kWh	67.081 kWh
Erdgasverbrauch	ca.	54.728 kWh	75.371 kWh

Die Investitionskosten des Tischkühlers belaufen sich gemäß Angebot auf etwa 10.000 € brutto inklusive Montage und Anschluss. In Bezug auf die Gestehungskosten ist neben einem BHKW-Wartungspreis von ca. 2,44 €/Bh ebenfalls zu berücksichtigen, dass für den eigengenutzten Strom eine um 60% reduzierte EEG-Umlage zu zahlen ist. Der eingespeiste BHKW-Strom wird nach einem festen EEG-Vergütungssatz für Strom aus Deponiegas von 6,5 ct/kWh vergütet. Zudem ist der gelieferte KWK-Strom von der Steuer befreit.

Tabelle 6-8: Gestehungskosten Tischkühler

Gestehungskosten		Status Quo	BHKW optimiert
Kapitalkosten			
Summe Kapitalkosten	10 Jahre	0 €	1.091 €
Wartung und Instandhaltung			
BHKW-Wartung	ca.	17.273 €	17.609 €
jährliche Wartung, Reparatur, Instandsetzung	ca.	17.273 €	17.609 €
Energiebezugskosten			
Stromkosten Netzbezug Leistungspreis	ca.	8.383 €	8.388 €
Stromkosten Netzbezug Arbeitspreis	ca.	132.238 €	120.562 €
Stromkosten Messstellenbetrieb inkl. Messung	ca.	647 €	647 €
Gaskosten Netzbezug Leistungspreis	ca.	93 €	93 €
Gaskosten Netzbezug Arbeitspreis	ca.	2.632 €	3.625 €
Gaskosten Messung	ca.	4 €	4 €
Gaskosten Messstellenbetrieb	ca.	410 €	410 €
Eigenstromkosten	ca.	16.180 €	17.201 €
Summe Energiebezugskosten	ca.	160.587 €	150.930 €
Gutschriften			
EEG-Vergütung für Strom aus Deponiegas	ca.	3.234 €	1.776 €
Stromsteuerbefreiung	ca.	13.294 €	13.609 €
Summe Gutschriften	ca.	16.528 €	15.384 €
Energiekosten	ca.	161.332 €	154.246 €

Die Energiekosten für Strom und Erdgas des Klärwerks Heide inklusive aller Gutschriften lagen im Jahr 2018 bei rund 161,3 Tsd. €. Durch die Einbindung eines Tischkühlers zur Abfuhr von Gemischwärme können diese auf rund 154,2 Tsd. € gesenkt werden, was einer Kosteneinsparung von rund 7,1 Tsd. € entspricht. Unter der Annahme eines Kalkulationszinses von 2%, einer Inflationsrate von 1,5% und einer Nutzungsdauer von 10 Jahren ergibt sich ein Kapitalwert von 62,4 Tsd. € bei einer Rendite von 24,3 % und einer Amortisationszeit von 2 Jahren. Die Wiederanlageprämisse bezieht sich hierbei explizit auf den Kalkulationszins, nicht auf den internen Zinsfuß.

Da immer die Gefahr besteht, dass sich die bei der Projektentscheidung zukünftig erwarteten Energiebeschaffungspreise aufgrund der möglichen Veränderung der Marktpreise bzw. aufgrund der möglichen Veränderung ihrer preisbildenden Parameter nicht einstellen, sollten die maximal zu erwartenden Preisrisiken entsprechend ermittelt werden. Vor dem Hintergrund einer möglichen Energiepreisschwankung während der 10-jährigen Betriebslaufzeit wurde die Rendite hinsichtlich einer jährlichen Preissteigerung

von -3,0% bis +3,0% für Erdgas und -2,0% bis +2,0% für Strom gänzlich betrachtet. Die mit den angenommenen Preisentwicklungen einhergehenden Renditen, die in Tabelle 6-9 dargestellt sind, machen deutlich, dass die Maßnahme der Einbindung eines Tischkühlers selbst mit den bestehenden Marktrisiken eine vorteilhafte Investition darstellt und umgesetzt werden sollte. Zudem lasse sich der CO₂-Ausstoß bilanziell um 30,2 t CO₂ reduzieren.

Tabelle 6-9: Renditen durch die Einbindung eines Tischkühlers

		Preissteigerung Strom								
		-2,0%	-1,5%	-1,0%	-0,5%	0,0%	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%
Preissteigerung Erdgas	-3,0%	22,8%	23,3%	23,7%	24,1%	24,6%	25,0%	25,4%	25,8%	26,3%
	-2,5%	22,8%	23,2%	23,7%	24,1%	24,5%	25,0%	25,4%	25,8%	26,2%
	-2,0%	22,7%	23,2%	23,6%	24,0%	24,5%	24,9%	25,3%	25,8%	26,2%
	-1,5%	22,7%	23,1%	23,6%	24,0%	24,4%	24,9%	25,3%	25,7%	26,2%
	-1,0%	22,7%	23,1%	23,5%	24,0%	24,4%	24,8%	25,3%	25,7%	26,1%
	-0,5%	22,6%	23,1%	23,5%	23,9%	24,4%	24,8%	25,2%	25,7%	26,1%
	0,0%	22,6%	23,0%	23,5%	23,9%	24,3%	24,8%	25,2%	25,6%	26,1%
	0,5%	22,5%	23,0%	23,4%	23,8%	24,3%	24,7%	25,2%	25,6%	26,0%
	1,0%	22,5%	22,9%	23,4%	23,8%	24,2%	24,7%	25,1%	25,6%	26,0%
	1,5%	22,4%	22,9%	23,3%	23,8%	24,2%	24,6%	25,1%	25,5%	26,0%
	2,0%	22,4%	22,8%	23,3%	23,7%	24,2%	24,6%	25,0%	25,5%	25,9%
	2,5%	22,3%	22,8%	23,2%	23,7%	24,1%	24,6%	25,0%	25,4%	25,9%
	3,0%	22,3%	22,7%	23,2%	23,6%	24,1%	24,5%	25,0%	25,4%	25,8%

6.6.2 Errichtung einer Photovoltaik-Anlage

Die Errichtung einer Photovoltaik-Anlage kann als schlüssige Ergänzung eines effizienten Gesamtenergiekonzeptes mit dem Ziel einer Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien bei gleichzeitiger Reduzierung der Energiekosten durch die Produktion von Solarstrom angesehen werden. Die Stromerzeugung mit Photovoltaik-Anlagen kann hierbei mittels Aufdach- oder Freiflächenanlagen erfolgen. Auf Grundlage einer Ortsbegehung und einer luftbildgestützten Auswertung wird die Möglichkeit einer Dachflächen-PV-Anlage nachfolgend betrachtet. Hierbei werden die Solarmodule mit Hilfe von Metallkonstruktionen in einem optimalen Neigungswinkel für einen höchstmöglichen Ertrag direkt auf den Dächern mit einer Süd-, Ost- oder Westausrichtung befestigt.

Die Gebäude der Kläranlage Heide weisen unabhängig von der statischen Tragfähigkeit eine generelle Eignung für Dachflächen-PV-Anlagen auf. Abbildung 6-1 zeigt die drei größten Potenzialflächen zur Photovoltaiknutzung am Standort. Vor dem Hintergrund einer maximalen Eigenbedarfsdeckung setzt ein jährlicher Strombezug aus dem öffentlichen Netz von 428,0 Tsd. kWh eine Nennleistung der Photovoltaik-Anlage von 51,4 kWp voraus. Unter Berücksichtigung von Mindestabständen zur Vermeidung der Eigenverschattung beträgt der Flächenbedarf pro Leistung bei einem Anstellwinkel von ca. 30° bei Aufdach-PV-Anlagen etwa 6,5 m²/kWp. Gemessen an dem Richtwert wird eine Bruttokollektorfläche von 334 m² benötigt, welche bereits durch die beiden Flachdächer vollständig abgedeckt werden könnte.



Abbildung 6-1: Potenzialflächen zur Photovoltaiknutzung am Standort

Die jährlichen Energieerträge der Photovoltaik-Anlage wurden anhand von stündlichen Mittelwerten der Globalstrahlung der letzten 10 Jahre, ermittelt durch eine numerische Simulation, und den stündlichen Stromverbrauchswerten der Kläranlage Heide näherungsweise berechnet. Bezüglich der Bedarfsdeckung wird davon ausgegangen, dass der in der Photovoltaik-Anlage erzeugte Strom primär von der Kläranlage Heide selbst verbraucht wird. Sofern Überschüsse verbleiben, werden diese in das öffentliche Stromnetz für eine feste Einspeisevergütung ohne Direktvermarktung eingespeist. Hierbei dient die Photovoltaik-Anlage als Ergänzung, sofern der Eigenbedarf nicht vollständig durch das BHKW bedient werden kann.

Bei einem jährlichen Solarertrag von rund 60,3 Tsd. kWh geht aus der Energiemengenkalkulation hervor, dass 56,4 Tsd. kWh (93,6 %) eigenverbraucht und nur 3,9 Tsd. kWh (6,4 %) in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Vor diesem Hintergrund reduziert sich der durch das öffentliche Stromnetz zusätzlich zu beziehende elektrische Strom von 428,0 Tsd. kWh auf 371,6 Tsd. kWh pro Jahr, was einer Ersparnis von 13,2 % entspricht.

Tabelle 6-10: Energiemengen Photovoltaik-Anlage

Energiemengen		Status Quo	PV
Stromeigennutzung	ca.		56.429 kWh
Strombezug	ca.	428.050 kWh	371.620 kWh
Stromnetzeinspeisung	ca.		3.886 kWh

Die Investitionskosten der nach Südwest ausgerichteten Solarmodule belaufen sich gemäß Marktanfragen bei Aufdach-PV-Anlagen auf etwa 1000 €/kWp inklusive Montage und Anschluss. Bei einer Nennleistung von 51,4 kWp betragen die Investitionskosten dementsprechend rund 60,0 Tsd. € brutto inklusive eines 10%-igen Aufschlags für Planung, Gutachten, etc. sowie eines 5%-igen Aufschlags für Unvorhergesehenes.

Tabelle 6-11: Investitionskosten Photovoltaik-Anlage

Invest PV-Anlage		
Module inkl. Anschluss und Montage	ca.	51.957 €
Zwischensumme	ca.	51.957 €
Unvorhergesehenes	5%	2.598 €
Planung, Gutachten etc.	10%	5.455 €
Gesamte Investitionen (Brutto)	ca.	60.010 €

In Bezug auf die Gestehungskosten ist zu berücksichtigen, dass für den eigengenutzten Strom eine um 60% reduzierte EEG-Umlage zu zahlen ist. Der eingespeiste PV-Strom wird nach einem festen EEG-Vergütungssatz von 7,54 ct/kWh ohne Direktvermarktung für Aufdachanlagen auf Gebäuden vergütet.

Tabelle 6-12: Gestehungskosten PV

Gestehungskosten		Status Quo	PV
Kapitalkosten			
Summe Kapitalkosten	20 Jahre	-	3.598 €
Wartung und Instandhaltung			
PV-Anlage	ca.	-	300 €
Versicherung/Sonstiges	ca.	-	600 €
jährliche Wartung, Reparatur, Instandsetzung	ca.	-	900 €
Energiebezugskosten			
Stromkosten Netzbezug Leistungspreis	ca.	8.383 €	7.741 €
Stromkosten Netzbezug Arbeitspreis	ca.	132.237 €	114.805 €
Stromkosten Messstellenbetrieb inkl. Messung	ca.	647 €	647 €
Eigenstromkosten	ca.	-	1.525 €
Summe Energiebezugskosten	ca.	141.267 €	124.718 €
Gutschriften			
Stromverkauf PV, Direktvermarktung	ca.	-	293 €
Energiekosten	ca.	141.267 €	128.923 €

Die Energiekosten für Strom des Klärwerks Heide lagen im Jahr 2018 bei rund 141,3 Tsd. €. Durch die Errichtung einer Aufdach-PV-Anlage können diese auf rund 128,9 Tsd. € gesenkt werden, was einer

Kostensparnis von 12,3 Tsd. € gleichkommt. Unter der Annahme eines Kalkulationszinses von 2,0 %, einer Inflationsrate von 1,5 % und einer Nutzungsdauer von 20 Jahren ergibt sich ein Kapitalwert von 188,5 Tsd. € bei einer Rendite von 9,5 % und einer Amortisationszeit von 5 Jahren. Die Wiederanlageprämisse bezieht sich hierbei explizit auf den Kalkulationszins, nicht auf den internen Zinsfuß.

Konform zur Wirtschaftlichkeitsberechnung in Kapitel 6.6.1 wurde die Rendite vor dem Hintergrund einer möglichen Energiepreisschwankung hinsichtlich einer jährlichen Preissteigerung -2,0% bis +2,0% für Strom betrachtet. Die mit den angenommenen Preisentwicklungen einhergehenden Renditen, die in Tabelle 6-13 dargestellt sind, machen deutlich, dass die Errichtung einer Aufdach-PV-Anlage selbst mit den bestehenden Marktrisiken eine vorteilhafte Investition darstellt und umgesetzt werden sollte. Zudem lässt sich der CO₂-Ausstoß bilanziell um 33,6 t CO₂ reduzieren.

Tabelle 6-13: Renditen Aufdach-PV-Anlage

		Preissteigerung Strom									
Inflation		-2,0%	-1,5%	-1,0%	-0,5%	0,0%	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%	
		1,5%	8,4%	8,6%	8,9%	9,2%	9,5%	9,8%	10,1%	10,4%	10,7%

6.6.3 Verringerung der Faulschlamm-Menge

Aktuell werden 100% des anfallenden Schlammes von der 2018 errichteten Klärschlamm-Desintegration vorbehandelt. Diese kann Klärschlamm mit einem TS-Gehalt von maximal 4%-TR behandeln. Demnach wird aktuell nur auf einen TS von 4%-TR voreingedickt. Theoretisch möglich wären 7%-TR. Dies zieht im Vergleich eine um 43% größere aufzuheizende Klärschlammmenge mit sich.

Laut Hersteller reicht es aus, nur ein Drittel des Klärschlammes zu desintegrieren, um die gewünschte Klärgas-Ausbeute zu erreichen. Über einen Bypass könnten die restlichen zwei Drittel weiter auf den TS von 7% eingedickt werden. Schon eine weitere Eindickung von nur 50% könnte eine Massereduzierung um 29% erreicht werden, was direktproportional zur erforderlichen Wärmemenge steht. Eine anfallende Klärschlammmenge von ursprünglich 80 m³/d (4%-TR) kann so auf etwa 57 m³/d (Hälfte bei 7%-TR) reduziert und damit etwa 230.000 kWh/a an Wärme eingespart werden. Zum Vergleich: Die Erdgasbezugsmenge beträgt rund 55.000 kWh/a.

Zusätzlich zur Energieeinsparung zur Schlammaufheizung steigt die Entwässerbarkeit des ausgefaulten Faulschlammes. Somit kann dadurch auch mit einer Reduzierung des Flockungshilfsmittels sowie des Energiebedarfs zur Schlammwässerung gerechnet werden.

Die Voreindickung der Kläranlage Heide ist abgängig. Im Zuge einer Erneuerung der Voreindickung könnte diese Maßnahme mit geringem Mehraufwand mit durchgeführt werden.

6.7 Stickstoffelimination im Schlammwasser

6.7.1 Einführung

Technologien zur Elimination von Stickstoff im Schlammwasser sind vor allem in Kläranlagen zu empfehlen, bei denen ein Großteil des Kohlenstoffes zu Beginn des Reinigungsprozesses entfernt und zur Produktion von Methan genutzt wird (siehe A-B Technologie). Diese Technologien sind dann besonders wirksam und effizient und sorgen dafür, dass Kläranlagen Energieproduzenten statt Energiekonsumenten sind. Wird zu viel Kohlenstoff aus dem System entfernt bzw. ist zu wenig Kohlenstoff im Abwasser enthalten, fehlt dieser später in der Belebung zur konventionellen, biologischen Elimination von Stickstoff. Kohlenstoff muss in diesem Fall (z.B. als Methanol) zugekauft und in das Abwasser dosiert werden. In Zukunft werden Kläranlagen mit erhöhter Methanproduktion und damit Energieautarkie an Bedeutung gewinnen. Aber auch in dem Fall der Kläranlage Heide, wo eine anstehende Reduktion der leicht abbaubaren Kohlenstofffracht bei gleichzeitig konstanten Stickstofffrachten bevorsteht, ist der Einsatz sinnvoll.

Für die Stickstoffelimination aus dem Schlammwasser wurde der Einsatz der Graforce Technologie auf der KA Heide untersucht. Bei dieser Technologie wird eine spezielle Art der Elektrolyse eingesetzt, bei der, wie sonst üblich, kein gereinigtes Wasser für die Wasserstoffproduktion benötigt wird. Die Technologie kann demnach für das Filtrat der Schlammwässerung mit sehr hohen Ammoniumgehalten eingesetzt werden. Der Vorteil gegenüber einer herkömmlichen Elektrolyse, in der alleine der im Wasser enthaltene Wasserstoff zu molekularem Wasserstoff verarbeitet wird: Auch der an Stickstoff gebundene Wasserstoff wird zu molekularem Wasserstoff umgewandelt, der weiterverwendet werden kann (Verbrennung im BHKW der KA, Übergabe an eine Wasserstofftankstelle etc.). Demnach steigt bei der Graforce Technologie die Ausbeute an Wasserstoff pro L Wasser gegenüber herkömmlicher Elektrolyse Verfahren. Neben Wasserstoff entsteht als Endprodukt der Graforce Technologie molekularer Stickstoff, der an lokale Abnehmer weiterverkauft werden kann, sowie gereinigtes Wasser.

Ein weiterer Vorteil der Technologie besteht darin, schwer abbaubare Schadstoffe aus dem Wasser entfernen zu können. Diese Schadstoffe gelangen normalerweise in den Vorfluter. Der Nutzen der Schadstoffelimination bis hin zur Möglichkeit, dadurch auf eine vierte Reinigungsstufe zu verzichten, wird hier nicht weiter beachtet. Da der Schadstoffabbau eine Art Nebenerscheinung ist, können sich die nachfolgend aufgestellten Bilanzen nur verbessern.

Die Technologie wird separat von den anderen Maßnahmen betrachtet, da die Systemgrenzen der Betrachtung über die Kläranlage hinaus erweitert werden müssen, um ein schlüssiges Bild zu bekommen. Einleitend soll erwähnt werden, dass die Einführung der Technologie zu einer Reduktion in der Belüftungsleistung der Belebungsbecken führt. Der Energiebedarf sinkt. Es wird dennoch nicht empfohlen

die Auslegung der maschinellen Ausrüstung der Maßnahme Belebungsbecken anzupassen. Es sollte viel mehr mit einer Anpassung der Belüftungsintervalle bzw. Belüftungszeiten reagiert werden. Die Investitionskosten würden sich bei Aggregaten mit etwas geringerer Leistung (etwa 7.5%) nicht signifikant reduzieren.

Die Graforce Technologie wurde einerseits monetär und andererseits in Bezug auf die Treibhausgasemission untersucht. Als Strompreis wurde ein Wert von 32,62 Cent/kWh angenommen. Es wurde weiterhin angenommen, dass für den Transport des produzierten Wasserstoffs bestehende Wasserstoffinfrastruktur (Rohrleitungen, Verdichter etc.) genutzt werden kann, die in der Wasserstoff Region Heide gerade ohnehin aufgebaut wird.

6.7.2 Energiebilanz / Treibhausgase

Für die Graforce Technologie werden insgesamt 138.000 kWh elektrische Energie für die NH₄ Aufkonzentration sowie für die Plasmolyse benötigt. An thermischer Energie werden 650.000 kWh benötigt, um die Ammoniumverbindungen aufzukonzentrieren. Das entspricht ca. 60% der aktuellen Produktion von thermischer Energie auf der Kläranlage. Mit dieser Energie lassen sich 3 t Wasserstoff und ca. 13,5 t Stickstoff pro Jahr produzieren.

Durch die Einführung von Technologien zur Stickstoffelimination aus Schlammwasser reduziert sich generell der Energiebedarf für die Belegung um ca. 5 – 15%.⁸ Im Folgenden wird mit einem Wert von 7,5% gerechnet. Das entspricht einer Energiemenge von 35 MWh p. a. Andererseits erhöhen sich durch die Einführung der energieintensiven Technologie auch die Bezüge von Strom und Erdgas, was eine zusätzliche Emission von Treibhausgasen zur Folge hat.

Allerdings ist in dem vorliegenden Fall eine Gesamttreibhausgasbilanz aufzustellen. Hierbei ist eine Reduktion von Lachgas-Emissionen zu betrachten. Diese Emissionen werden, im Gegensatz zum Einsatz konventioneller Nitrifikation / Denitrifikation Verfahren im Hauptstrom sowie biologischer Anammox Technologien im Nebenstrom/Schlammwasser, verhindert. Der Lachgasanteil im Schlammwasser wird auf ca. 1,3% des Gesamtstickstoffes geschätzt (ca. 23.000 kg gesamt NH₄/a im Schlammwasser der KA Heide -30.000 m³/a mit 600 mg N-NH₄/L): entspricht $1280 \text{ kmol/N} \cdot 0,013 = 17 \text{ kmol N} = 8,5 \text{ kmol}$

⁸ Merkblatt DWA-M 349: Biologische Stickstoffelimination von Schlammwässern der anaeroben Schlammstabilisierung

N₂O = 374 kg Lachgas / Jahr)⁹. Lachgas ist ein 300-fach wirksameres Treibhausgas als CO₂.¹⁰ Demnach können mehr als 110 t CO₂-Äquivalente durch die Einführung der Graforce Technologie eingespart werden.

Zudem verringern sich die CO₂-Emissionen in anderen Sektoren, wenn der erzeugte Wasserstoff zur Anwendung gebracht wird. Mit den 3 t Wasserstoff lassen sich etwa 40.000 Nutzfahrzeugkilometer zurücklegen und damit ca. 11.000 l Diesel einsparen, was, mit Berücksichtigung der Vorkette in etwa 35 t CO₂ entspricht (Tabelle 6-14)¹¹. Auch eine Verbrennung im BHKW der Kläranlage wäre denkbar. Im Folgenden wird jedoch ausschließlich eine Nutzung von Wasserstoff im Mobilitätssektor berücksichtigt. Infrastruktur für diese Art der Wasserstoffverwertung ist in Heide in Vorbereitung.

Tabelle 6-14: Vermiedene CO₂-Emissionen durch Wasserstoffanwendung im Mobilitätssektor

Energiegehalt Wasserstoff	ca.	33,333	kWh/kg
Energiegehalt Diesel	ca.	9,800	kWh/l
CO ₂ -Emissionsfaktor Diesel inkl. Vorkette	ca.	0,319	kg/kWh
Treibstoffbedarf H ₂ -NFZ	ca.	7,30	kg/100 km
	<i>entspricht</i>	243	kWh/100 km
Treibstoffbedarf Diesel-NFZ	ca.	28,24	l/100 km
	<i>entspricht</i>	277	kWh/100 km
Substituierter Kraftstoffbedarf			
Wasserstoffproduktion	ca.	2.914	kg
	<i>entspricht</i>	97.132	kWh
H ₂ -Nutzfahrzeugkilometer	ca.	39.918	km
substituierter Dieselbedarf	ca.	110.473	kWh
	<i>entspricht</i>	11.273	l
vermiedene CO₂-Emissionen	ca.	35 t	CO₂

Abbildung 6-2 verdeutlicht die Energieflüsse auf der KA Heide unter Berücksichtigung der Graforce Technologie. Dabei wurde davon ausgegangen, dass derjenige Anteil des erzeugten BHKW-Stromes, der aktuell ins Netz der öffentlichen Versorgung eingespeist wird, zur Deckung des Strombedarfes der Graforce Technologie eingesetzt wird. Dieser ist allerdings nicht ausreichend, sodass ein Mehrbedarf an Strom entsteht, der durch Strombezug aus dem Netz bedient werden muss (53 MWh bzw. 29 t CO₂). Wärmeseitig wurde angenommen, dass die Wärmeproduktion des BHKW zunächst vorrangig zur Deckung des Wärmebedarfes des Plasmalyse eingesetzt wird. Dadurch entfällt ein nicht unerheblicher Anteil an zur Verfügung stehender Wärmeenergie für die übrigen Wärmeanwendungen der KA, welcher folglich durch zusätzliche Kessel-Wärme bedient werden muss. Da die Klärgasproduktion aktuell nicht

⁹ https://www.umweltfoerderung.at/fileadmin/user_upload/media/umweltfoerderung/Dokumente_Betriebe/Wasser_Betriebe/Studien_Wasserwirtschaft/B100975_Endbericht_BOKU.pdf

¹⁰ <https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauspotential>

¹¹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Well-to-Wheel>

unmittelbar angehoben werden kann, muss diese Energiemenge durch den zusätzlichen Bezug von Erdgas (765 MWh bzw. 146 t CO₂) bereitgestellt werden.

Insgesamt liegen die CO₂ Einsparungen aktuell bei insgesamt 145 t/a (110 t/a beim Lachgas, 35 t/a Verwertung Wasserstoff im Mobilitätssektor). Demgegenüber steht ein zusätzlicher CO₂-Aufwand von insgesamt 174 t/a CO₂ (146 t/a für den Erdgasbezug sowie 29 t/a für den zusätzlichen Strombedarf der Plasmalyse). In Summe hat der Einsatz der Graforce Technologie eine zusätzliche Treibhausgasemission i. H. v. 29 t p. a. zur Folge(Tabelle 6-15).

Tabelle 6-15: Energie- und Emissionsbilanz aktuell

Energie- und Emissionsbilanz		Energiemengen		CO ₂ -Mengen
aktueller Strombedarf	ca.	1.026.771 kWh		
aktueller Wärmebedarf	ca.	1.059.319 kWh		
Energiebezug				
aktueller Strombezug	ca.	428.053 kWh	0,537 kg/kWh	230 t
aktueller Erdgasbezug	ca.	54.728 kWh	0,202 kg/kWh	11 t
aktueller Klärgasbezug	ca.	1.892.276 kWh	0,026 kg/kWh	49 t
Σ aktuell	ca.	2.375.057 kWh		290 t
Mit Einsatz Graforce Technologie				
Stromeinsparung durch Graforce Technologie	ca.	-35.000 kWh	0,537 kg/kWh	-19 t
Strombedarf mit Graforce Technologie	ca.	1.129.771 kWh		
davon für Plasmalyse	ca.	138.000 kWh	0,537 kg/kWh	74 t
davon für sonstige Stromanwendungen	ca.	991.771 kWh		
Wärmebedarf mit Graforce Technologie	ca.	1.701.319 kWh		
davon für Plasmalyse	ca.	642.000 kWh		
davon für sonstige Wärmeanwendungen	ca.	1.059.319 kWh		
BHKW				
erzeugte elektrische Arbeit	ca.	648.478 kWh		
davon für Plasmalyse	ca.	84.760 kWh		
davon für sonstige Stromanwendungen	ca.	563.718 kWh		
erzeugte thermische Arbeit	ca.	973.122 kWh		
davon für Plasmalyse	ca.	642.000 kWh		
davon für sonstige Wärmeanwendungen	ca.	331.122 kWh		
Brennstoffbedarf Klärgas	ca.	1.846.554 kWh		
Kessel				
erzeugte thermische Arbeit	ca.	728.197 kWh		
Wirkungsgrad	ca.	89%		
Brennstoffbedarf	ca.	818.199 kWh		
davon Klärgas	ca.	42.122 kWh		
davon Erdgas	ca.	776.077 kWh		
Fackel				
Brennstoffbedarf Klärgas	ca.	3.600 kWh		
Energiebezug				
Strombezug	ca.	481.293 kWh	0,537 kg/kWh	258 t
davon für Plasmalyse	ca.	53.240 kWh		
davon für sonstige Stromanwendungen	ca.	428.053 kWh		
Erdgasbezug	ca.	776.077 kWh	0,202 kg/kWh	157 t
davon für Plasmalyse	ca.	0 kWh		
davon für sonstige Wärmeanwendungen	ca.	776.077 kWh		
Klärgasbezug	ca.	1.892.276 kWh	0,026 kg/kWh	49 t
Σ mit Graforce Technologie	ca.	3.149.646 kWh		464 t
Gutschrift Wasserstoffanwendung Mobilität	ca.			-35 t
Gutschrift Reduktion der Lachgasemissionen	ca.			-110 t
Σ mit Graforce Technologie und H₂-Nutzung	ca.			319 t

Soweit das aktuelle Bild das sich auf der Kläranlage Heide nach Einführung der Graforce Technologie ergeben wird. Ab 2021 wird ein wichtiger industrieller Einleiter der KA Heide, der gemüseverarbeitende Konzern Biofrost, entfallen. Der Betrieb verlagert in den nächsten Jahren große Teile seines Produktionssitzes nach außerhalb des Einzugsgebietes der Kläranlage Heide. Hydraulisch ändert sich für die Kläranlage kaum etwas. Das Abwasser der Produktionsstätte ist jedoch hoch BSB belastet (ca. 3750 mg/L BSB). Damit fallen ca. 140 t BSB / Jahr weg (Daten aus den Jahren 2017 und 2018). Gleichzeitig bleibt die Stickstoffbelastung der Anlage gleich, da die Abwässer von Biofrost stickstoffarm sind. In der Vergangenheit kam es bei einem Betriebsstopp von Biofrost bereits zu erhöhten Stickstoff Ablaufwerten und zur Bildung von Fadenbakterien. Es wird daher in Zukunft nötig sein, eine externe Kohlenstoffquelle zu dosieren. Für 140 t/BSB werden dann ca. 170 t/a Methanol benötigt (400 €/t) was etwa 68.000 €/a entspricht. Durch ein Mol Methanol (32g) wird ein Mol CO₂ frei (44g). Wird angenommen, dass der gesamte BSB „veratmet“ wird, so werden für die ca. 170 t Methanol etwa 190 t CO₂ frei. Ein Teil des Kohlenstoffes wird in Biomasse „eingebaut“, die später in der Faulung zu Biogas abgebaut wird. Um jedoch den gesamten CO₂-Fußabdruck (ab Produktion) zu berücksichtigen, ist die 1:1 (1 mol Methanol : 1 mol CO₂) Annahme plausibel und erscheint sogar konservativ. Die Kohlenstoff-Zugabe lässt sich durch die Einführung der Graforce Technologie bzw. durch andere Verfahren zur Stickstoffelimination aus dem Schlammwasser vermeiden. Bei einem Weggang von Biofrost und der damit verbundenen Kohlenstoffdosierung werden also zusätzlich 190 t CO₂ erzeugt. Insgesamt werden auf der Kläranlage Heide nach dem Weggang von Biofrost und der Einführung von Graforce 161 t CO₂ pro Jahr an Emissionen verhindert.

Der Einsatz von Graforce ist für die Einsparung von Treibhausgasen besonders sinnvoll, da nur hier die Lachgasemissionen vermieden werden. Aber auch andere, deutlich günstigere, Technologien zur Elimination von Stickstoff aus dem Schlammwasser sind für die Kläranlage Heide, im Zuge der zukünftig reduzierten CSB Frachten im Zulauf, zu betrachten. Im Folgenden wird die Vorzugsvariante Graforce inklusive dem Weggang von Biofrost und die damit verbundene Reduktion an Kohlenstoff Frachten betrachtet.

Die Wirtschaftlichkeit wird sich zwar mit dem Einsatz einer kostengünstigeren Technologie für die Stickstoffelimination im Schlammwasser verbessern, allerdings auf Kosten einer geringeren Einsparung von Treibhausgasemissionen.

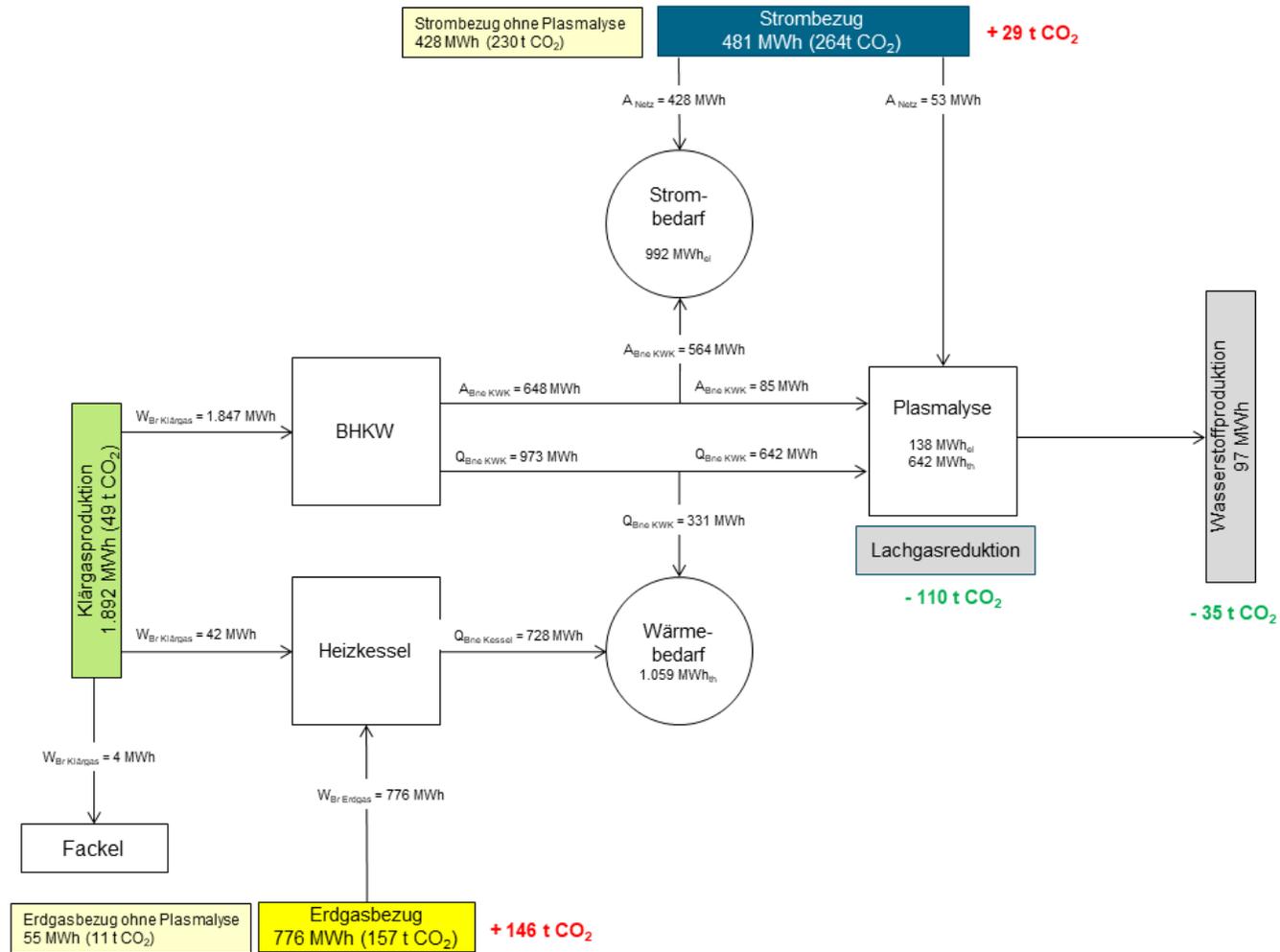


Abbildung 6-2: Energiebilanz zum Einsatz der Graforce Technologie auf der KA Heide.

6.7.3 Wirtschaftlichkeit

Tabelle 6-16 zeigt ein positives Betriebsergebnis für den Einsatz der Graforce Technologie auf der Kläranlage Heide.

Auf der Kläranlage selbst reduziert sich der Grad der Eigenversorgung, was thermische sowie elektrische Energie angeht. Dementsprechend wird die Anlage höhere Ausgaben für Strom und Erdgas haben. Allerdings lässt sich insgesamt die klimaschädliche Wirkung der Kläranlage durch die Einsparung an Lachgasemissionen sowie zukünftig durch die Einsparung an Methanol reduzieren. Die Einsparung an Methanol sorgt dafür, dass sich die Anlage auch monetär lohnt.

Klimapolitisch und wirtschaftlich ist der Einsatz der Graforce Technologie auf der Kläranlage Heide zu empfehlen.

Tabelle 6-16: Wirtschaftlichkeit der Graforce Technologie für die KA Heide.

Wirtschaftlichkeit		
energiewirtschaftliche Ansätze		
Kapitalzinssatz	ca.	2%
Strompreis	ca.	32,24 ct/kWh
Erdgaspreis	ca.	5,74 ct/kWh
EEG Stromvergütung	ca.	6,50 ct/kWh
Wasserstoffpreis	ca.	5,50 €/kg
Stickstoffpreis	ca.	1,00 €/kg
Methanolpreis	ca.	0,40 €/kg
Energie- und Betriebsstoffmengen		
Mehrbedarf Strom	ca.	53.240 kWh
Mehrbedarf Erdgas	ca.	721.349 kWh
ausbleibende EEG-Stromeinspeisung	ca.	49.760 kWh
Wasserstoffverkauf	ca.	2.914 kg
Stickstoffverkauf	ca.	13.500 kg
Methanoleinsparung	ca.	170.000 kg
kapitalgebundene Kosten		
Investitionsausgaben Graforce Technologie	ca.	400.000 €
Ingenieurleistungen (Planung, Gutachten etc.)	15%	60.000 €
Förderung Kommunalrichtlinie	40%	-160.000 €
Investitionssumme	ca.	300.000 €
Kapitalkosten p. a.	15 Jahre	23.348 €
betriebsgebundene Kosten		
Personal und Instandhaltung	ca.	10.000 €
Stromkosten	ca.	17.163 €
Erdgaskosten	ca.	41.411 €
ausbleibende EEG-Vergütung	ca.	3.234 €
Betriebskosten p. a.	ca.	71.809 €
Erlöse		
Wasserstoffverkauf	ca.	16.027 €
Stickstoffverkauf	ca.	13.500 €
Methanoleinsparung	ca.	68.000 €
Erlöse p. a.	ca.	97.527 €
Betriebsergebnis p. a.	ca.	2.371 €

7 Wirtschaftlichkeit

Die Kostenrahmen der Maßnahmen werden mithilfe von Richtpreisangeboten¹² ermittelt. Für eine ganzheitliche Betrachtung wird das Planungshonorar gemäß HOAI Mindestsätzen mitberücksichtigt. Die Investitionszuschüsse der Kommunalrichtlinie werden den jeweiligen Investitionskosten abgezogen.

Tabelle 7-1: Rahmenparameter Wirtschaftlichkeitsberechnung

Kapitalzinssatz:	2%
Strompreis¹³:	32,24 ct/kWh
Strompreissteigerung:	1%/a
Nutzungsdauer:	15 Jahre
Investitionsausgaben:	Gemäß Richtpreisangebote der Anlagenhersteller + Honorarkosten für Planungsaufgaben

7.1 Belebungsbecken-Belüftung

Für die Belebungsbecken-Belüftung zeigte sich, dass die Erneuerungen der Anlagen erheblichen Einfluss darauf haben, die Klimaschutzziele der Kommunalrichtlinie unterschreiten zu können. Wirtschaftlich ergibt sich für das Gesamtpaket (Tabelle 7-2) ein positiver Kapitalwert von 219.657 € und eine Rendite von 3%. Monetär betrachtet, werden die Rührwerke von den Belüftungsmaßnahmen aufgefangen.

Somit wird ein Austausch der Belüfter sowie der Gebläse dringend empfohlen. Bei den Rührwerken wird die Investition trotz negativem Kapitalwert empfohlen, da der Nutzen (Einsparung von rund 13.500 kWh/a) gegenüber den vergleichsweise geringen Investitionskosten überwiegt und die Maßnahmen eine verfahrenstechnische Einheit ergeben.

Tabelle 7-2: Wirtschaftlichkeit Belebungsbecken-Belüftung

System	Investition [€]	Einsparung [€]	Kapitalwert [€]	Interne Verzinsung	Amortisation
Belüftung	480.605	51.148	226.766	8%	9,4
Rührwerke	67.370	4.357	-7.109	1%	15,5
EMSR-Technik	164.829				
Gesamt	712.803	55.506	219.657	3%	12,8

¹² zuzüglich eines Sicherheitsfaktors von 15% für nicht im RPA enthaltene Positionen wie Rohrleitungen und Außerplanmäßiges

¹³ Bruttoarbeitspreis der KA Heide 2018

7.2 Pumpen und Hebewerke

Die Investition für die Filterpumpen ergibt einen negativen Kapitalwert von -8.603 € und eine Rendite von 0% (Tabelle 7-3). Im Vergleich zur Ersparnis von etwa 11.000 kWh/a (Tabelle 6-3) kann dies trotzdem eine sinnvolle Investition darstellen, einerseits um CO₂ einzusparen, andererseits wenn die Pumpen das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben.

Die Investition des Zulaufhebewerks ergibt einen Kapitalwert von 23.119 € und eine Rendite von 12% (Tabelle 7-3). Daher wird eine zeitnahe Umsetzung dieser Maßnahme empfohlen.

Die Belebungsbecken-Pumpen stellen mit einem negativen Kapitalwert von -50.512 € und einer Rendite von -7% die wirtschaftlich schlechteste Maßnahme dar und werden nur empfohlen, wenn sie das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben.

Tabelle 7-3: Wirtschaftlichkeit Pumpen und Hebewerke

System	Investition in €	Einsparung in €	Kapitalwert in €	Interne Verzinsung	Amortisation
Filterpumpen	57.757	3.554	-8.603	0%	16,3
Zulaufpumpen	25.109	3.487	23.119	12%	7,2
BB-Pumpen	94.418	3.175	-50.512	-7%	29,7

7.3 Weitere Maßnahmen

Die Investition zum Austausch des Sandfang-Gebläses stellt mit einem positiven Kapitalwert von 1.331 € und einer Rendite von 4% eine wirtschaftlich sinnvolle Investition dar und wird demnach empfohlen.

Tabelle 7-4: Wirtschaftlichkeit Sandfang-Gebläse

System	Investition in €	Einsparung in €	Kapitalwert in €	Interne Verzinsung	Amortisation
Gebläse	10.102	827	1.331	4%	12,2

8 Unterschriften

IPP Ingenieurgesellschaft Possel u. Partner GmbH

Aufgestellt Kiel, den 30.06.2020

H. Possel

M. Vogten