Institut für Energietechnik

Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden

Energie- und Potentialstudie

für die Kläranlage Feucht

Energie- und Potentialstudie für die Kläranlage Feucht

Auftraggeber:

Markt Feucht
Hauptstraße 33
90537 Feucht

Auftragnehmer

Institut für Energietechnik IfE GmbH
an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden
Kaiser-Wilhelm-Ring 23a
92224 Amberg

Gefördert durch

Projektträger Jülich - Forschungszentrum Jülich GmbH
(Zuwendungen aus den Mitteln der Nationalen Klimaschutzinitiative)

Bearbeitungszeitraum:

März 2020 bis Februar 2021

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis ..... **III**

Tabellenverzeichnis ..... **V**

Abkürzungsverzeichnis ..... **VI**

1 Einleitung **1**

2 Beschreibung der Kläranlage Feucht **2**

3 Energiecheck **12**

4 Energieanalyse nach DWA-A-216 ..... **19**

4.1 Lastganganalyse 19

4.2 Der aktuelle Energiebedarf der Aggregate 21

4.3 Berechnung der anlagenspezifischen Idealwerte 24

4.3.1 Einlaufhebewerk 24

4.3.2 Rechen 24

4.3.3 Sandfanggebläse 1 & 2 24

4.3.4 Sandhebeanlage 24

4.3.5 Belebung / Belüftung der biologischen Reinigungsstufe 24

4.3.6 Rührwerk 25

4.3.7 Rezirkulationspumpe 25

4.3.8 Rücklaufschlammpumpen 25

4.3.9 Überschussschlammpumpwerk 26

4.3.10 Faulturmumwälzung 26

4.4 Gegenüberstellung der Ist- und Idealwerte 26

5 Maßnahmen **29**

5.1 Einlaufhebewerk 30

5.2 Sandfanggebläse 32

5.3 Rührwerke Belebungsbecken 33

5.4 Rezirkulationspumpe Belebungsbecken 1 33

5.5 Faulturmumwälzung 33

5.6 Prozessleitsystem 34

5.7 PV-Eigenstromerzeugung 35

5.7.1 PV-Strom bei gleichbleibender BHKW Regelung 36

5.7.2 PV-Strom bei optimierter BHKW Regelung 37

6 Zusammenfassung und Fazit 40

7 Anhang 42

Anhang 1: Ist- und Idealenergiebedarf der Kläranlage Feucht 42

8 Literatur 43

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Luftbild Kläranlage Feucht 2

Abbildung 2: Vereinfachtes Verfahrensschema der Kläranlage Feucht 3

Abbildung 3: Detailliertes Anlagenschema der Kläranlage Feucht 3

Abbildung 4: Einlaufhebewerk 4

Abbildung 5: Rechenwerk 5

Abbildung 6: Belüfteter Sandfang (rechts) und Fettfang (links) 6

Abbildung 7: Vorklärbecken mit Räumerbrücke 7

Abbildung 8: Belebungsbecken 1 & 2 8

Abbildung 9: Exzenterschnecken im Rückführschlammpumpwerk 9

Abbildung 10: Faulturm der Kläranlage Feucht 10

Abbildung 11: Spezifischer Stromverbrauch 12

Abbildung 12: Spezifischer Gesamtstrombedarf nach (1) 13

Abbildung 13: Spezifischer Stromverbrauch zur Belüftung nach (1) 14

Abbildung 14: Spezifischer Faulgasanfall bezogen auf die angeschlossenen Einwohner 15

Abbildung 15: Spezifische Gaserzeugung je Tonne KS-Trockenmasse 16

Abbildung 16: Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität 17

Abbildung 17: Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie 17

Abbildung 18: Spezifischer externer Wärmebezug 18

Abbildung 19: Elektrischer Lastgang der Kläranlage Feucht 2019 19

Abbildung 20: Verteilung des elektrischen Energiebezugs 2019 20

Abbildung 21: Typische Verteilung des Stromverbrauchs in Kläranlagen (2) 21

Abbildung 22: Verteilung des Energiebedarfs in der Kläranlage Feucht (2) 23

Abbildung 23: Absolute und spezifische Ist- und Idealverbrauchsdaten der Verfahrensstufen 4 - 6 27

Abbildung 24: Einsparpotential des Energiebedarfs je Verfahrensstufe 28

Abbildung 25: Bilanzmatrix bei Energiereduktion um 4.100 kWh/a 31

Abbildung 26: Bilanzmatrix bei Energiereduktion um 12.900 kWh/a 31

Abbildung 27: Bilanzmatrix der Sandfangerneuerung 32

Abbildung 28: Bilanzmatrix der Faulturmumwälzung 34

Abbildung 29: Auszug aus Jahresbericht 2019 34

Abbildung 30: PV-Dachflächen zur Eigenstromerzeugung 35

Abbildung 31: Durchschnittlicher täglicher Energieverbrauch bei bestehender BHKW Regelung 36

Abbildung 32: Kumulierter Ertrag der PV-Anlage bei bestehender BHKW-Regelung.....37

Abbildung 33: Durchschnittlicher täglicher Energieverbrauch bei optimierter BHKW Regelung 38

Abbildung 34: Kumulierter Ertrag der PV-Anlage bei optimierter BHKW-Regelung.....38

Abbildung 35: Durchschnittlicher täglicher Energieverbrauch bei idealem Energiebedarf durch Effizienzmaßnahmen 39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verbrauchermatrix nach Verfahrensstufen und größter Verbraucher 22

Tabelle 2: Absolute und spezifische Ist- und Idealverbrauchsdaten der Verfahrensstufen 1 - 3 27

Abkürzungsverzeichnis

kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
EW	Einwohner bzw. Einwohnerwert
EWG	Einwohnergleichwert
$FeCl_3$	Eisen (III)-chlorid
PLS	Prozessleitsystem
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
BSB	Biologischer Sauerstoffbedarf
RÜB	Regenüberlaufbecken
TS	Trockensubstanz
KS	Klärschlamm

1 Einleitung

Die Reinigung von Abwasser in Kläranlagen ist ein elementarer Beitrag zum Umwelt- und Gewässerschutz. Häufig ist die Kläranlage der größte kommunale Energieverbraucher, da der Betrieb einer Kläranlage mit einem hohen Energieaufwand verbunden ist.

Der Markt Feucht betreibt zur Abwasserreinigung eine Kläranlage mit einer Ausbaugröße von 28.000 EW. Die Aspekte Energieeffizienz und Energieerzeugung spielen im Markt Feucht eine wichtige Rolle. Aus diesem Grund soll nun im Rahmen der Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld, kurz Kommunalrichtlinie 2019, eine mit 50 % geförderten Energie- und Potentialstudie eine ganzheitliche Strategie für die nächsten Jahre entwickelt werden, welche der Logik des sogenannten „Energetischen Dreisprung“ folgt: Energieeinsparung, Energieeffizienz und Nutzung Erneuerbarer Energien.

Im Rahmen des Energiekonzepts wird die gesamte Anlage energietechnisch bewertet und gegenseitige Wechselwirkungen werden identifiziert. Dabei werden sowohl potenzielle Prozessschritte zur Reduktion des Energieeinsatzes als auch die Effizienzsteigerung der notwendigen Aggregate sowie der Ausbau der Eigenstromerzeugung berücksichtigt. Als Zielwert für den zukünftigen spezifischen Energiebedarf wird ein Wert von 23 kWh/(EW*a) definiert. Dieser Wert spiegelt die Forderungen der Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld, kurz Kommunalrichtlinie 2019, wider.

Die Kommunalrichtlinie gibt außerdem einen Zielwert vor, welcher die Deckung des Energiebedarfs zu mindestens 70 % mit der am Standort umgewandelten Energie fordert. Am Standort wurde in den letzten Jahren bereits in die Erneuerung der Energieerzeugung mittels BHKW investiert. Anhand der Energie- und Potenzialstudie soll diese Erneuerung überprüft und gegebenenfalls optimiert werden.

2 Beschreibung der Kläranlage Feucht

Die Kläranlage liegt westlich des Marktes Feucht und ist durch die A6 vom Markt abgegrenzt. Im Jahr 2019 waren 14.804 Einwohner an der Anlage angeschlossen, die Ausbaugröße liegt bei 28.000 EW.

Nachfolgendes Luftbild zeigt die Kläranlage Feucht. Sie wurde im Jahr 1969 errichtet und 1999 modernisiert.

Abbildung 1: Luftbild Kläranlage Feucht[1]

Jährlich werden in die Kläranlage Feucht rund 1.490.000 m³ Schmutzwasser eingeleitet und gereinigt. Das Abwasser durchläuft dabei in mehreren Prozessschritten die Kläranlage, bevor es in gereinigter Form in den Gauchsbach eingeleitet wird.

[1] Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de

Generell lassen sich die Verfahrensstufen der Kläranlage Feucht schematisch in nachfolgende Verfahrensschritte untergliedern.

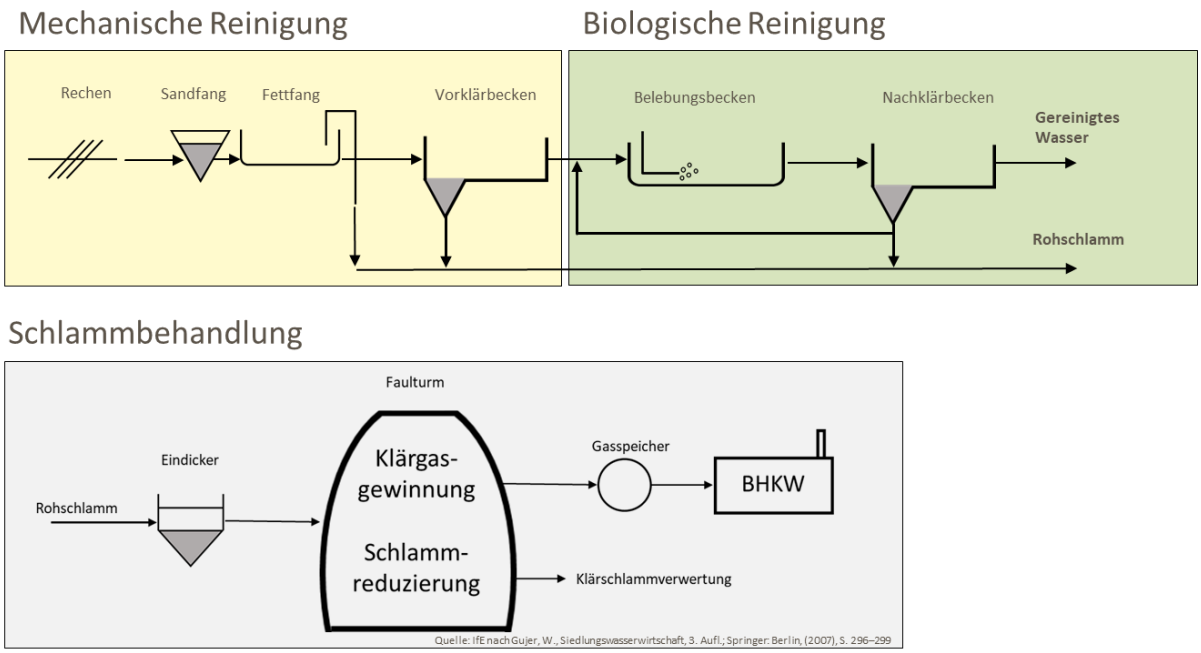

Abbildung 2: Vereinfachtes Verfahrensschema der Kläranlage Feucht

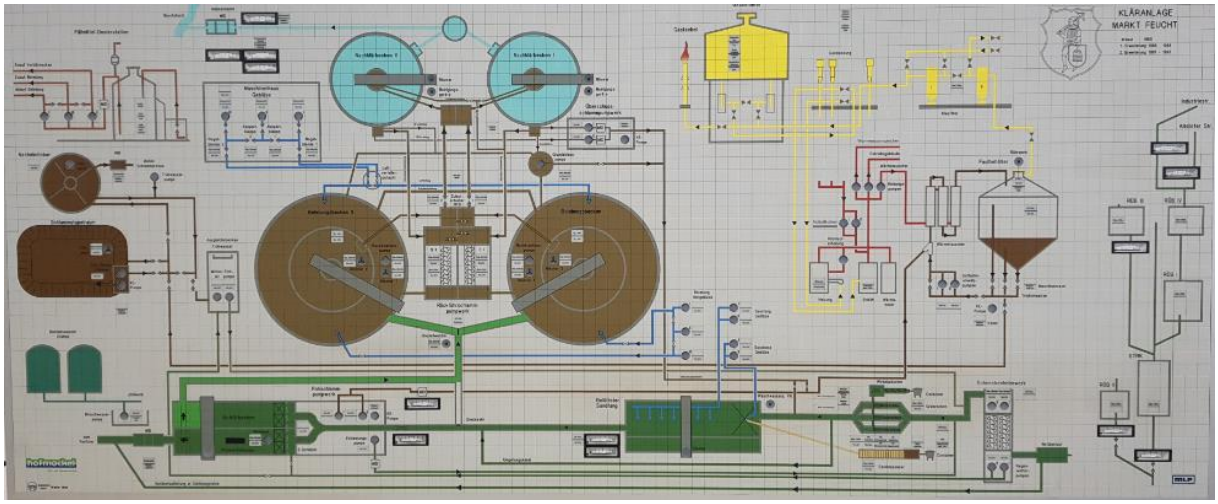

Abbildung 3: Detailliertes Anlagenschema der Kläranlage Feucht

Aus energietechnischer Sicht sind vor allem folgende Anlagenbestandteile relevant:

- Einlaufhebewerk
- Sandfang
- Primärschlammpumpe

- Zwischenhebewerk (Verbindung von Vorklärbecken und Belebungsbecken)
- Rührwerk
- Belüftung (Gebläsestation und Belüfterelemente)
- Überschussschlammpumpe
- Rücklaufschlammpumpe
- Faulturmumwälzung und Rührwerk
- Brauchwasserpumpen

Der Zufluss des Abwassers erfolgt über einen Hauptsammler. Dieser wird über ein Einlaufhebewerk, bestehend aus zwei Schneckenpumpen in die Anlage eingeleitet. Zur Sicherung der Redundanz sind zusätzlich zwei Kreiselpumpen vorhanden, welche jedoch aufgrund der geringen Nutzung nicht weiter beachtet werden.

Abbildung 4: Einlaufhebewerk

Die Förderhöhe des Einlaufhebewerks liegt bei ca. 2 m. Nach Herstellerangaben beträgt der Fördervolumenstrom im Maximum 160 l/s je Pumpe. Die Regelung sieht vor, dass der Grundlastbetrieb bei 36 Hz gestartet und anschließend bis zum maximalen Betriebspunkt von 60 Hz hochgefahren wird. Dies wird durch den Pegelstand im Pumpensumpf geregelt. Die geförderte Abwassermenge kann anhand der vorhandenen Durchflussmessung definiert werden und beträgt für das Betrachtungsjahr 2019 rund 1.490.000 m³

Abbildung 5: Rechenwerk

Nach dem Zulauf wird das Abwasser im Rechenwerk (Abbildung 5) von gröberen Inhaltsstoffen befreit und in den kombinierten Sand- und Fettfang eingeleitet.

Abbildung 6: Belüfteter Sandfang (rechts) und Fettfang (links)

Der Sandfang (rechts), mit einem Volumen von 240 m³, arbeitet mit einer aktiven Belüftung durch zwei separate, redundant arbeitende Drehkolbengebläse. Die Sandfanggebläse werden bei 50 Hz betrieben. Zur Sicherstellung eines gleichmäßigen Verschleißes wechselt der Betrieb der Gebläse nach einer bestimmten Zeit. Das Schmutzwasser fließt anschließend in das Vorklärbecken. Das Volumen des Vorklärbecken beträgt 394 m³.

Abbildung 7: Vorklärbecken mit Räumerbrücke

Aus dem Primärschlammsumpf des Vorklärbeckens wird Schlamm zur anaeroben Klärschlammbehandlung mithilfe einer Faulschlammpumpe in den Faulturm gefördert. Bei dieser Pumpe handelt es sich um eine Exzenterschneckenpumpe mit einer Förderleistung von 15 m^3/h.

Das Abwasser fließt anschließend im Freispiegel Richtung Belebungsbecken, wo ein vorgeschaltetes Verteilerbauwerk für einen gleichmäßigen Zufluss sorgt. Das Volumen der Belebungsbecken beträgt jeweils ca. 2.300 m³. Dort erfolgt die biologische Reinigung des Abwassers nach dem Prinzip der intermittierenden Denitrifikation. Die Regelung der biologischen Reinigungsstufe sieht vor, einen bestimmten O_2-Gehalt in der Nitrifikationsphase zu erreichen. Dafür sind Plattenbelüfter zum gleichmäßigen Lufteintrag eingebaut, wie Abbildung 8 zeigt.

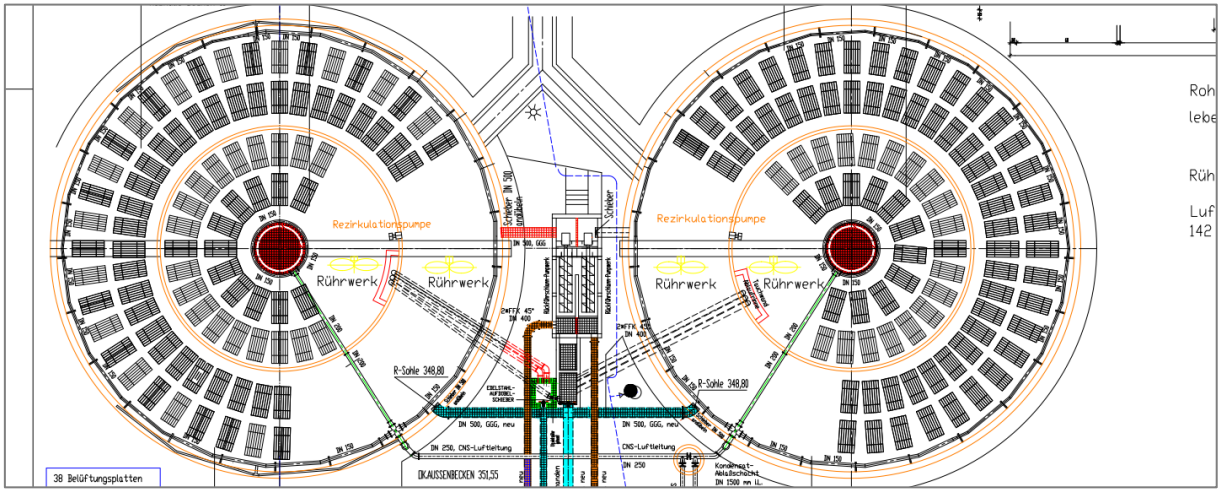

Abbildung 8: Belebungsbecken 1 & 2

Für die Durchmischung der Biologie und die Beförderung durch Denitrifikations- und Nitrifikationszone sind zwei Rührwerke je Belebungsbecken installiert, welche im Dauerlauf betrieben werden. Nach der biologischen Reinigung folgt der Abfluss des Wassers in zwei Nachklärbecken, welche die letzte Reinigungsstufe bilden. Jedes Becken verfügt über ein Volumen von 1.330 m³. Der Belebtschlamm setzt sich am Boden der Nachklärung ab und wird mittels Rücklaufschlammschnecken dem Zulaufstrom der Belebungsbecken beigemischt.

Abbildung 9: Exzenterschnecken im Rückführschlammpumpwerk

Überschüssiger Schlamm wird im Überschussschlammpumpwerk abgezogen und der weiteren Verwertung im Faulturm zugeführt.

Im Faulturm erfolgt eine anaerobe Schlammstabilisierung mit gleichzeitiger Klärgasproduktion. Zur energetischen Nutzung des Klärgases verfügt die Kläranlage Feucht über zwei BHKW. Primär wird ein BHKW mit 33 kW_{el} zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt. Bei Gasüberschuss kann ein Notstrom BHKW mit 60 kW_{el} eingesetzt werden. Dieses kann bei Stromausfall oder übermäßigem Wärme- und Strombedarf zudem mit Flüssiggas betrieben werden. Die Wärme wird zur Gebäude- und Faulturmheizung auf der Kläranlage genutzt. Letztere nimmt dabei den größten Anteil ein.

Der Faulturm wird mit Primär- und Überschussschlamm beschickt, letzterer wird zuvor maschineller eingedickt. Die Temperatur im Faulturm beträgt etwa 36 – 37 °C. Für eine ausreichende Umwälzung sorgen zwei baugleiche Pumpen mit jeweils 5,5 kW Nennleistung sowie ein Rührwerk. Die Umwälzung dient überdies zur Wärmeversorgung des Faulturms.

Abbildung 10: Faulturm der Kläranlage Feucht

Im Faulturm werden jährlich ca. 180.000 m³ Klärgas zur Erzeugung von Strom und Wärme erzeugt. Nach der anaeroben Stabilisation wird der Klärschlamm zur weiteren Behandlung der statischen Eindickung und anschließend einer mobilen Entwässerung zugeführt. Der Feststoffgehalt des Klärschlamms wird über diese Prozessschritte von etwa 2 % - TS auf gut 25 % -TS erhöht. Im Jahr 2019 wurden gut 6.756 m³ Klärschlamm der mobilen Entwässerung zugeführt und auf eine KS-Menge von 879 to reduziert. Das Filtratwasser wird in einem Speicher separiert und anschließend kontrolliert der biologischen Reinigungsstufe zugeführt.

Weitere Verfahrenstechniken, z. B. Phosphatfällung, haben aufgrund des geringen Energiebedarfs einen geringen Einfluss auf die Gesamtbilanz der Kläranlage und werden daher nicht näher erläutert.

Aus ökologischer und ökonomischer Sicht ist die Nutzung von regenerativem PV-Strom im Klärwerk aufgrund des kontinuierlichen Energiebedarfs in der Regel empfehlenswert. Am Standort der Kläranlage Feucht befinden sich auf mehreren Dachflächen bereits PV-Anlagen, welche jedoch nicht zur Eigenstromversorgung genutzt werden können. Diese Anlagen werden bis 01.01.2031 zur Volleinspeisung genutzt. Nach diesem Zeitraum könnte der Strom zur Eigennutzung in der Kläranlage genutzt werden. Im Rahmen dieser Potenzialstudie wird die Erschließung neuer Dachflächen mit PV geprüft und bewertet.

3 Energiecheck

Der Energiecheck liefert eine erste Einschätzung der Kläranlage Feucht hinsichtlich Energieverbrauch und Energieerzeugung. Anhand einer ersten Positionsbestimmung kann die Kläranlage mit Anlagen ähnlicher Reinigungsart und Ausbaugröße verglichen werden. Zur Berechnung des Energiechecks kann auf Erkenntnisse aus dem Energiekonzept für den Markt Feucht zurückgegriffen werden. Idealerweise wird der Energiecheck separat für mehrere Jahre erstellt und auch in Zukunft weiter fortgeführt.

Aus den Diagrammen des Energiechecks sollen augenscheinliche Defizite herausgestellt werden. Daraus lassen sich Potentiale für eine detaillierte energetische Bewertung in Form der Energieanalyse ableiten. Die Grundlagen zur Bewertung der Kläranlage Feucht liefert das DWA-Arbeitsblatt A-216 (1).

Aus dem Betriebstagebuch, den Monats-/ Jahresberichten sowie den Strombezugslastgängen im Zeitraum von 2018 bis 2019 können die notwendigen Informationen zur Bearbeitung des Energiechecks gewonnen werden. Aus dem jährlichen Gesamtstrombedarf und der tatsächlichen Belastung der Kläranlage wird der spezifische Strombedarf ermittelt, zusammengefasst in nachfolgendem Diagramm.

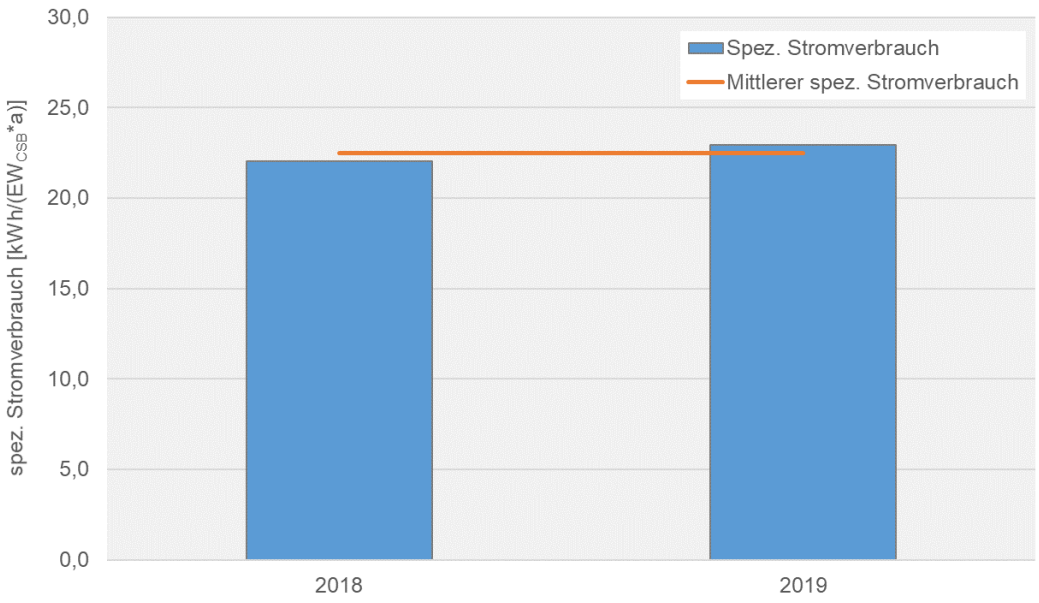

Abbildung 11: Spezifischer Stromverbrauch

Der mittlere Strombedarf im Zeitraum von 2018 – 2019 beträgt 22,5 kWh/EW_{CSB}*a. Geringfügige Abweichungen in den Jahren können auf schwankende Zulauffrachten, Baumaßnahmen, Änderungen der Regelung oder Störungen (z. B. Ausfall einer Pumpe) zurückgeführt werden.

Referenzjahr für die weitere Bewertung ist das Jahr 2019, mit einem Gesamtenergiebedarf von 487.503 kWh. Der spezifische Energiebedarf beträgt 22,99 kWh/(EW_{CSB}*a). Verglichen mit anderen Kläranlagen ähnlicher Größe und Reinigungsart zeichnet sich folgendes Bild ab.

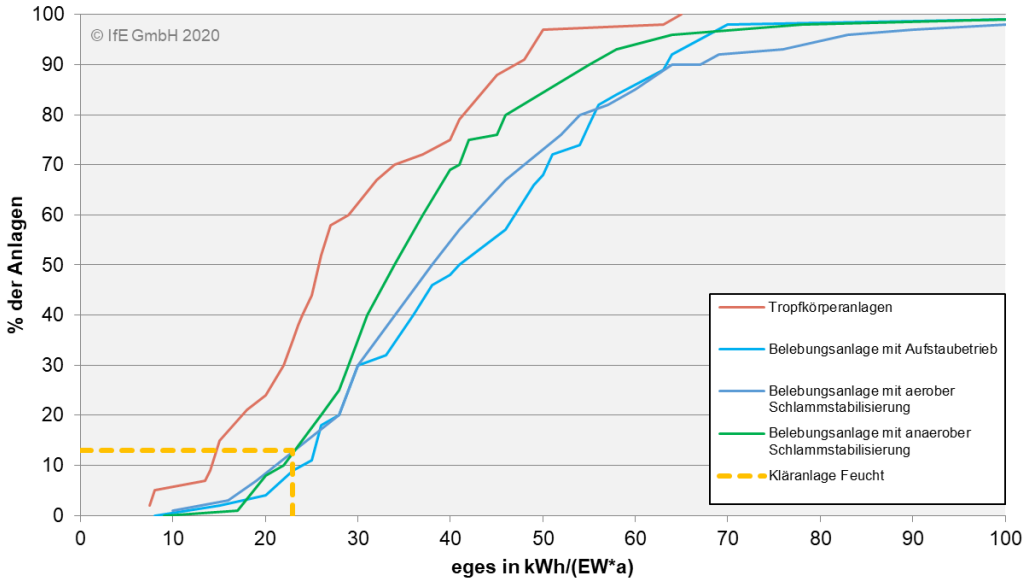

Abbildung 12: Spezifischer Gesamtstrombedarf nach (1)

Demzufolge können etwa 13 % der vergleichbaren Kläranlagen einen besseren spezifischen Gesamtstrombedarf vorweisen als die Kläranlage Feucht. Maßnahmen zur Verbesserung des Energiebedarfs können anhand dieser Einordnung nicht erörtert werden. Hierzu wird die Energieanalyse in Kapitel 4 nähere Ergebnisse liefern.

Ergänzend zum Gesamtstromverbrauch kann auch der spezifische Stromverbrauch zur Belüftung gebildet werden. Der relevante Stromverbrauch wird in der Kläranlage Feucht in den Monats- und Jahresberichten sowie im Prozessleitsystem geloggt. Im Jahr 2019 wurden rund 191.200 kWh zur Belüftung eingesetzt. Die Einordnung dieses Strombedarfs zeigt Abbildung 13.

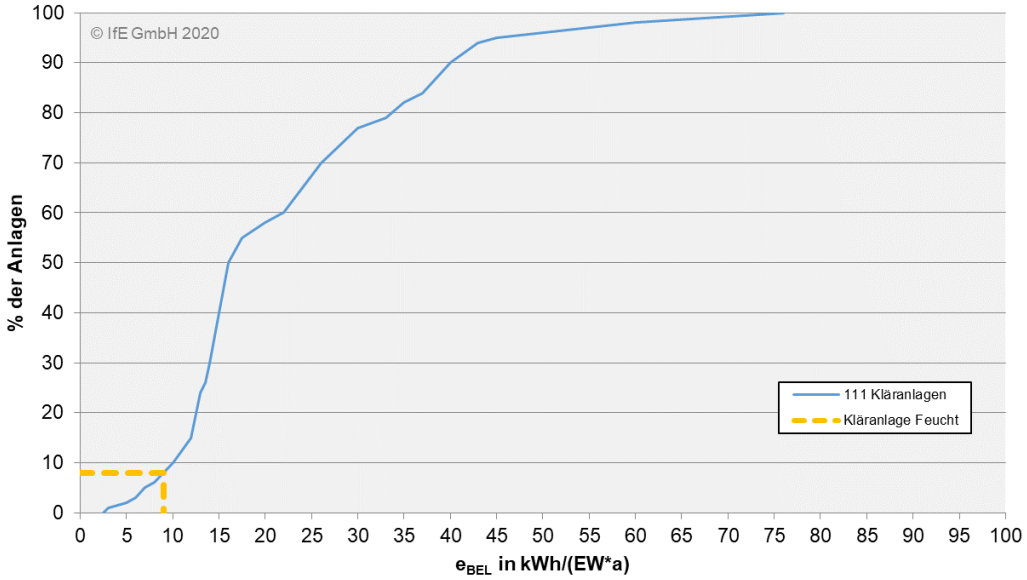

Abbildung 13: Spezifischer Stromverbrauch zur Belüftung nach (1)

Im Vergleich zu anderen Kläranlagen können lediglich 8 % einen effizienteren Betrieb des Belüftungssystem vorweisen. Demzufolge ist das Einsparpotenzial in diesem Verfahrensabschnitt als gering einzustufen.

Im Bereich der Klärschlammfaulung können weitere spezifische Kennwerte und Vergleiche erstellt werden. Aus der jährlichen Gaserzeugung von 159.400 m³ und der Einwohnerbelastung wird die spez. Gasproduktion je Einwohnerwert berechnet, das Ergebnis fasst Abbildung 14 zusammen.

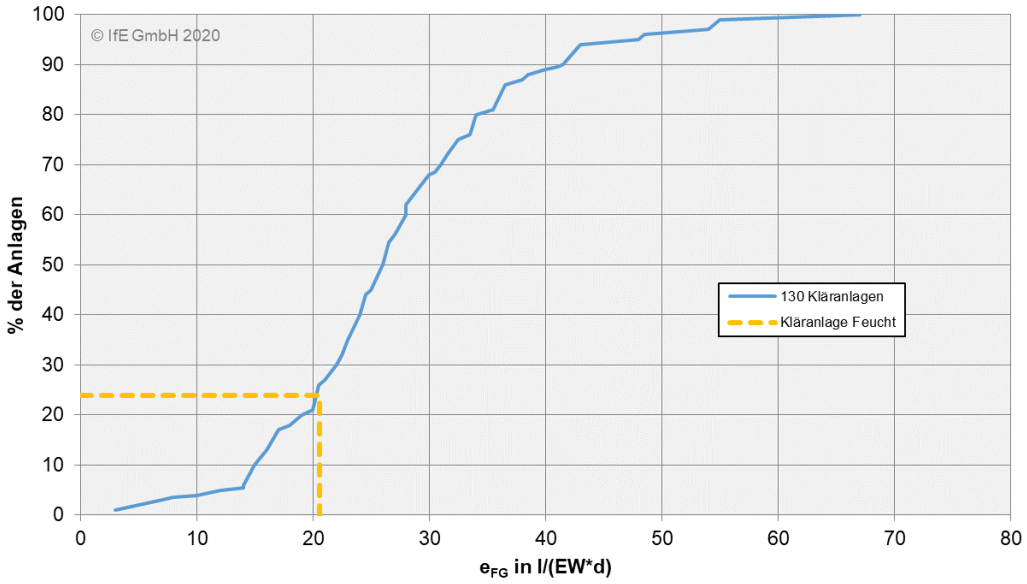

Abbildung 14: Spezifischer Faulgasanfall bezogen auf die angeschlossenen Einwohner

In vergleichbaren Kläranlagen wird in 24 % der Fälle eine geringere Menge an Faulgas pro Einwohnerwert erzeugt. An dieser Stelle sei erwähnt, dass in diesem Vergleich auch Kläranlage inbegriffen sind, welche die Gasausbeute mittels Co-Substrat-Vergärung steigern. Dadurch wird auch die spezifische Gaserzeugung je Einwohner verbessert.

Für die Einordnung der Effizienz der Klärgaserzeugung wird ein weiterer Kennwert gebildet, welcher die Menge an zugeführter organischer Klärschlammtrockenmasse berücksichtigt.

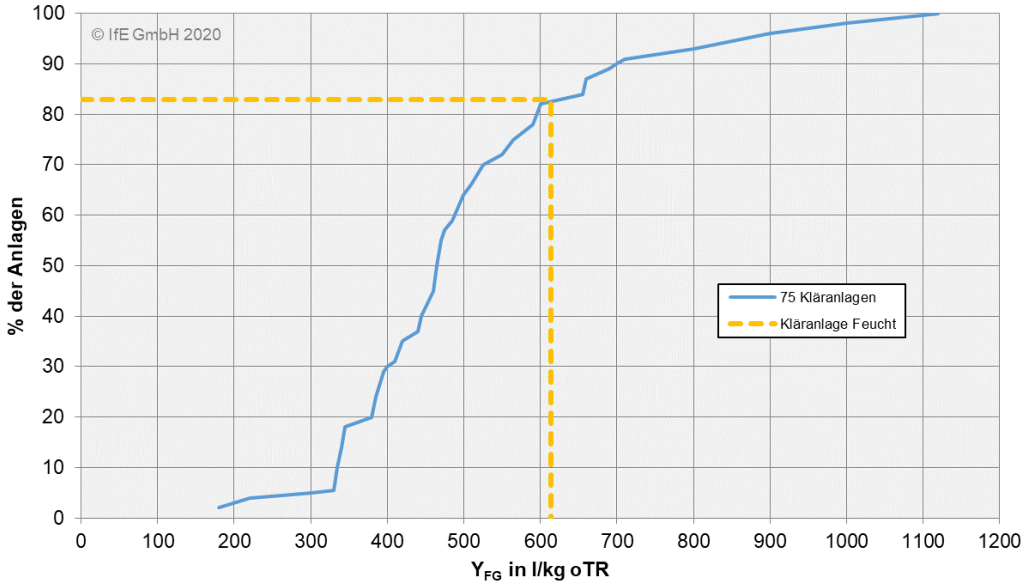

Abbildung 15: Spezifische Gaserzeugung je Tonne KS-Trockenmasse

Die Berechnung dieses Kennwerts zeigt, dass 83 % der vergleichbaren Kläranlagen weniger Klärgas je zugeführter org. Trockenmasse erzeugen. Demnach ist die Gaserzeugung als gut einzustufen.

Das Faulgas wird auf der Kläranlage Feucht zur Strom- und Wärmeerzeugung in zwei BHKW eingesetzt. Der Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität beschreibt, wie effizient Klärgas mittels Kraft-Wärme-Kopplung in elektrische Energie gewandelt wird. Aus dem Diagramm in Abbildung 16 folgt die Schlussfolgerung, dass 40 % der vergleichbaren Anlagen das Klärgas weniger effizient in elektrische Energie umwandeln.

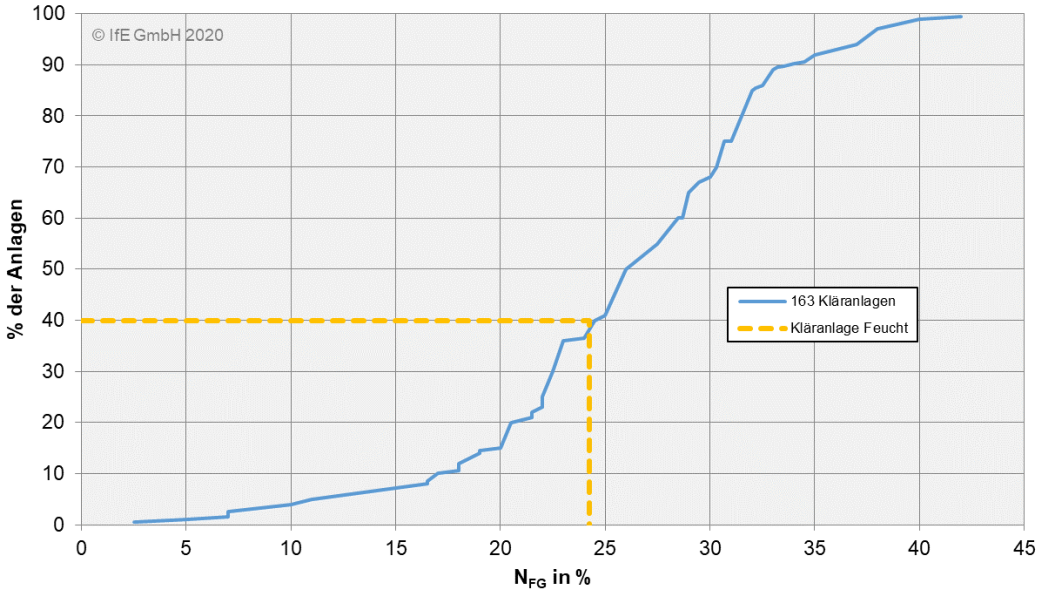

Abbildung 16: Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität

Ziel der Stromerzeugung mittels Klärgas-BHKW ist es, den Strombezug über das öffentliche Stromnetz zu reduzieren und damit einen möglichst hohen Anteil des Gesamtstrombedarfs durch sogenannten Eigenstrom zu decken. Hierfür wird der Eigenversorgungsgrad gebildet, welcher den Anteil an Eigenstrom zeigt.

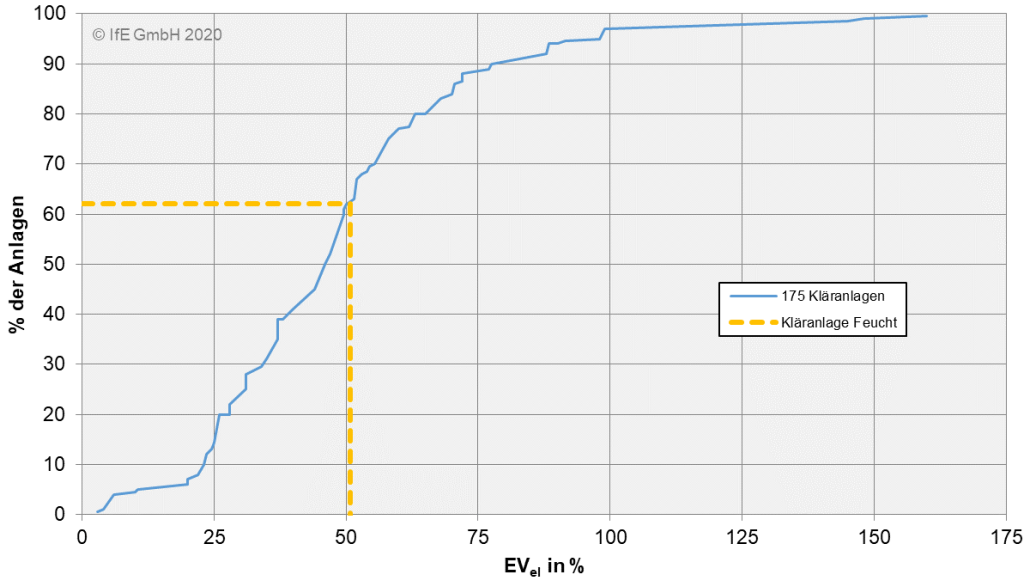

Abbildung 17: Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie

Der Eigenversorgungsgrad der Kläranlage Feucht liegt bei knapp 51 % und zeigt, dass knapp 2/3 vergleichbarer Anlagen einen geringeren Anteil an Eigenstrom nutzen.

Neben Strom wird durch die Kraft-Wärme-Kopplung ein Großteil der Wärme am Standort regenerativ erzeugt. Zusätzliche Wärme wird dennoch über eine externe Quelle bezogen, im vorliegenden Fall mittels Flüssiggas.

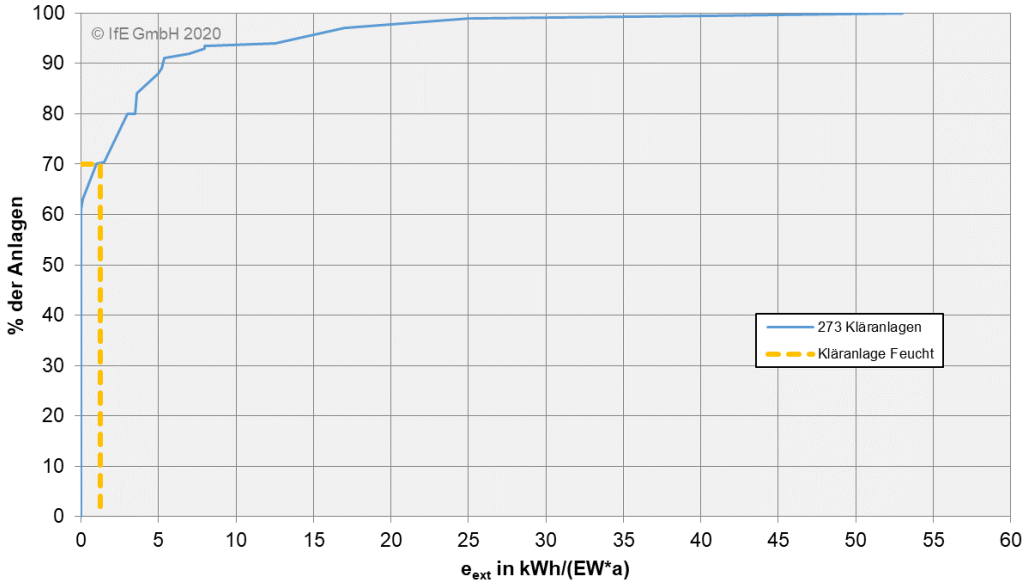

Abbildung 18: Spezifischer externer Wärmebezug

Der spezifische externe Wärmebezug beträgt etwa 1,2 %. Dennoch können rund 70 % vergleichbarer Anlagen einen geringeren, bis keinen externen Bezug vorweisen. Demzufolge sollten in Zukunft Maßnahmen ergriffen werden, welche den zusätzlichen Einsatz von Flüssiggas vermeiden.

4 Energieanalyse nach DWA-A-216

Mit der Energieanalyse wird im Wesentlichen das Ziel verfolgt, anhand einer detaillierten Aufstellung aller relevanten Verbraucher in Form einer Verbrauchermatrix, Energiemengen zu bilanzieren, zuzuordnen und zu bewerten. Aus der Verbrauchermatrix werden Optimierungsmaßnahmen entwickelt, welche nach ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten ausgearbeitet und bewertet werden. Zunächst soll der Gesamtenergiebedarf mittels Lastganganalyse bewertet werden.

4.1 Lastganganalyse

Aus den Daten zu Netzbezug und Strombereitstellung der BHKW kann der Gesamtlastgang der Kläranlage Feucht gebildet werden. Dieser zeigt in 1/4 - Stunden Auflösung den Leistungsbedarf zur Abwasserreinigung.

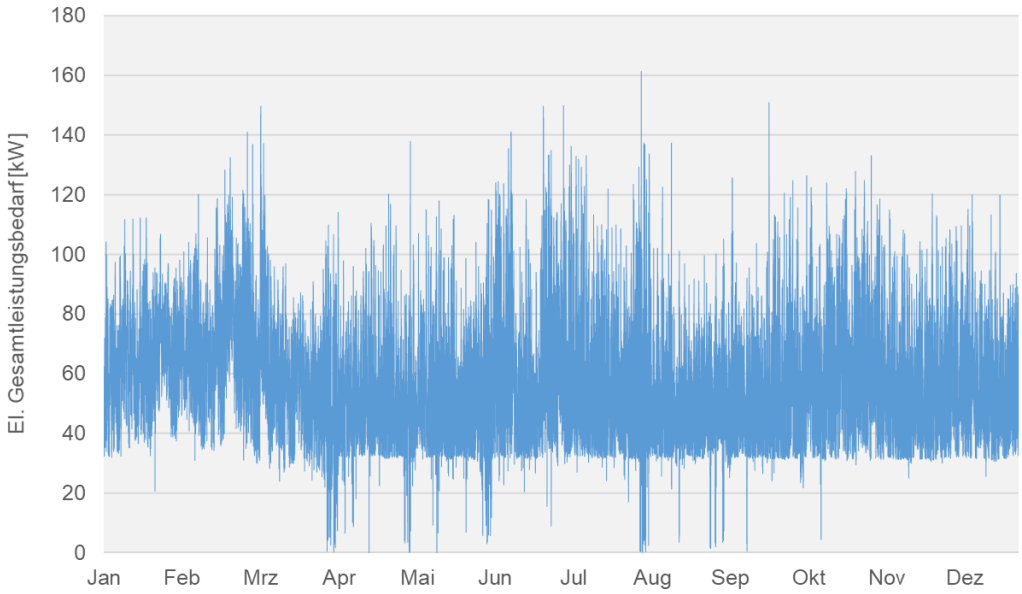

Abbildung 19: Elektrischer Lastgang der Kläranlage Feucht 2019

Die Grafik zeigt, dass über den gesamten Zeitraum eine Grundlast von ca. 32 kW benötigt wird. Einzelne „Ausreißer“ nach unten können z. T. auf Messfehler zurückgeführt werden. Auch sind hier Zeiten vorstellbar, in denen nur wenige Aggregate genutzt werden oder zwischen redundanten Systemen gewechselt wird (An- und Abfahrbetrieb). Größere Lastspitzen sind im Bereich von 140 – 160 kW vorhanden. Diese gilt es in Zukunft zu reduzieren, sodass Netzentgelte möglichst niedrig gehalten werden können. Ein hoher Anteil des Stroms wird durch Klärgas-BHKW bereitgestellt. Die Verteilung der Energiemengen zeigt nachfolgende Abbildung.

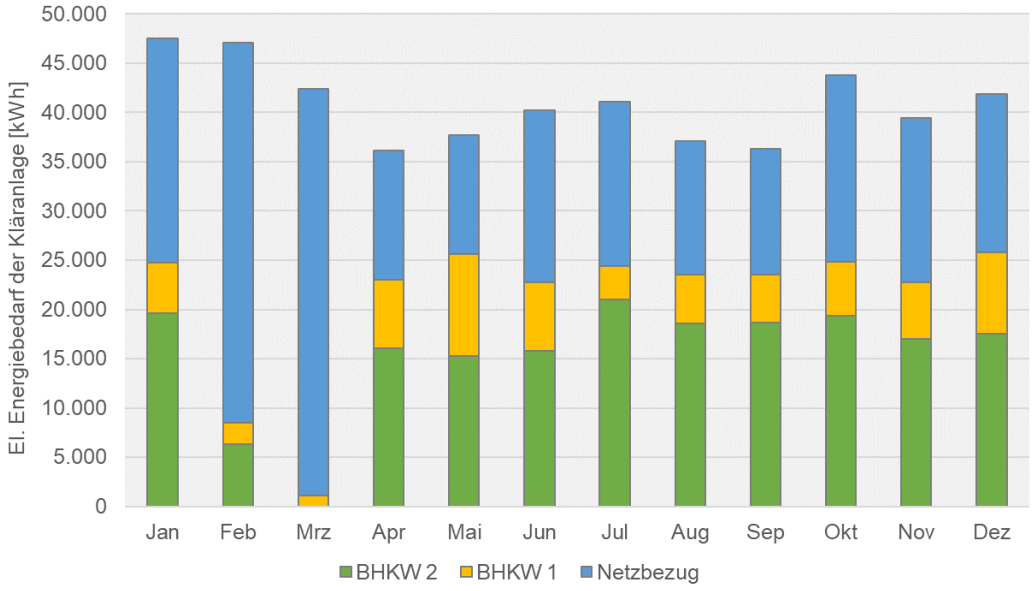

Abbildung 20: Verteilung des elektrischen Energiebezugs 2019

Der monatliche Strombedarf bewegt sich zwischen 37.000 und 47.000 kWh. In den Monaten Februar und März fällt auf, dass der Anteil an Energie aus Klärgas gering ist. Dies kann auf Reparaturmaßnahmen an den Systemen zurückgeführt werden. In den übrigen Monaten wird ein konstanter Anteil von 23.000 – 25.000 kWh aus KWK bereitgestellt. Für Abbildung 17 aus Kapitel 3 hat dies zur Folge, dass der Eigenversorgungsgrad in Jahren ohne Reparaturmaßnahmen höher ausfallen muss. Zum Vergleich wir daher der Wert aus dem Jahr 2018 zusätzlich berechnet, dieser liegt bei 58,2 % (gegenüber 51 % in 2019).

4.2 Der aktuelle Energiebedarf der Aggregate

Zur Ausarbeitung der Verbrauchermatrix wird die vorhandene Aggregateliste der Kläranlage Feucht genutzt und erweitert. Relevante Informationen sind unter anderem Nennleistung (je Stufe), Laufzeit, cos φ, Frequenzregelung, Daten aus dem Prozessleitsystem (PLS) und Messkampagnen. Die entscheidenden Aggregate sind bereits in Kapitel 2 zusammengefasst worden. Diese Verbraucher werden den Hauptverfahrensschritten der Kläranlage zugeordnet. Nach (2) kann die typische Aufteilung des Stromverbrauchs auf die Verfahrensstufen (ohne Einlaufhebewerk) wie folgt charakterisiert werden.

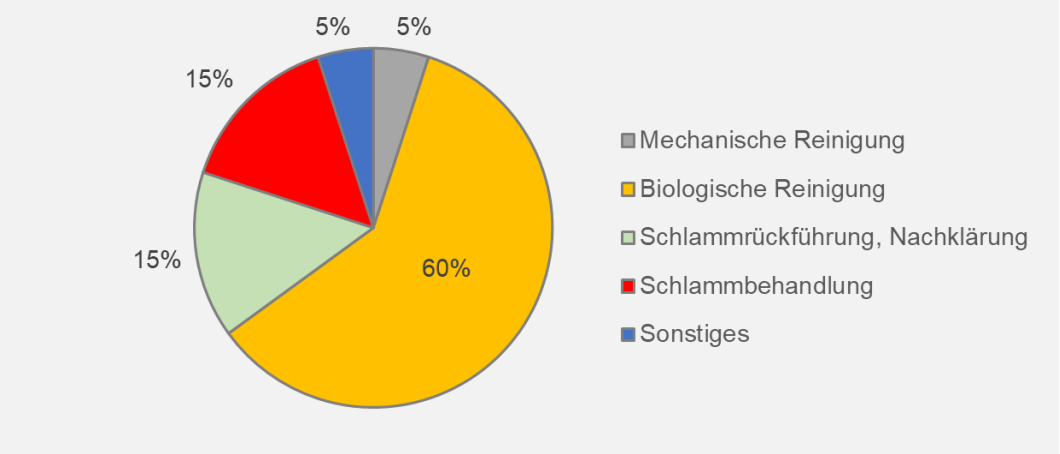

Abbildung 21: Typische Verteilung des Stromverbrauchs in Kläranlagen (2)

Die Verteilung der Aggregate je Verfahrensstufe wurde in Zusammenarbeit mit dem Personal der Kläranlage erstellt. Die Bewertung der Verfahrensstufen bzw. der einzelnen Verbraucher basiert zunächst auf der Berechnung des Energiebedarfs. Hierzu können Informationen aus dem PLS genutzt werden. Für einen Großteil der installierten Verbrauchergruppen ist eine Leistungsmessung vorhanden, welche die Energiemengen loggt, so z. B. für die biologische Reinigungsstufe, bestehend aus Belüftungssystem und Rührwerk. Zusätzlich wurde bei Bedarf eine verifizierende Leistungsmessung durchgeführt, mit Hilfe derer der Jahresenergiebedarf abgeschätzt werden kann. Aus dem gewonnenen Datensatz konnte der Energiebedarf der einzelnen Verfahrenseinheiten wie Einlaufhebewerk oder mechanischer Reinigung analysiert werden. Diese Zuordnung der Aggregate und Berechnung des Energiebedarfs wird in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.

	Verfahrensstufe / Aggregat	Datenquelle / Berechnungs-grundlage	Energiebedarf [kWh]
1	Einlaufhebewerk		28.067
	Schneckenpumpe 1 & 2	Leistungsmessung,	
	Hebepumpen 1 & 2	Exportdaten PLS	
2	Mechanische Reinigung		98.545
	Rechen	Exportdaten PLS	
	Sandfanggebläse, Hebeanlage		
3	Biologie		273.117
	Gebläse 1,2 & 3	Leistungsmessung	
	Rührwerke Rezirkulationspumpen	Exportdaten PLS	
4	Schlammrückführung, NKB		22.253
	Rücklaufschlammschnecken	Daten aus Frequenzumrichter	
	ÜSS Pumpwerk	Daten aus Frequenzumrichter	
	Rundläufer	Laufzeit, Nennleistung, cosφ	
5	Schlammbehandlung		48.501
	Umwälzung, Rührwerk	Laufzeit, Nennleistung, cosφ	
	Schlammpresse		
6	Sonstiges		18.281
	Brauchwasser	Laufzeit, Nennleistung, cosφ	
	Heizung Wärmetauscher	Laufzeit, Nennleistung, cosφ	
7	Abweichung	Gegenüber BHKW + Bezug EVU	-1.223
	Gesamtstrombedarf		487.503

Tabelle 1: Verbrauchermatrix nach Verfahrensstufen und größter Verbraucher

Aufgrund der sehr guten Datengrundlage der Kläranlage Feucht kann mehr als 99 % des Gesamtenergiebedarfs detailliert zugeordnet werden. Zur Sicherstellung einer belastbaren Matrix wurde eine Leistungsmessung am Einlaufhebewerk, den drei Gebläsen, der Faulturmumwälzung sowie am Rührwerk des Faulturms durchgeführt. Die Verteilung des Strombedarfs in der Kläranlage Feucht zeigt nachfolgendes Diagramm. Der Energiebedarf des Einlaufhebewerks wird nicht berücksichtigt.

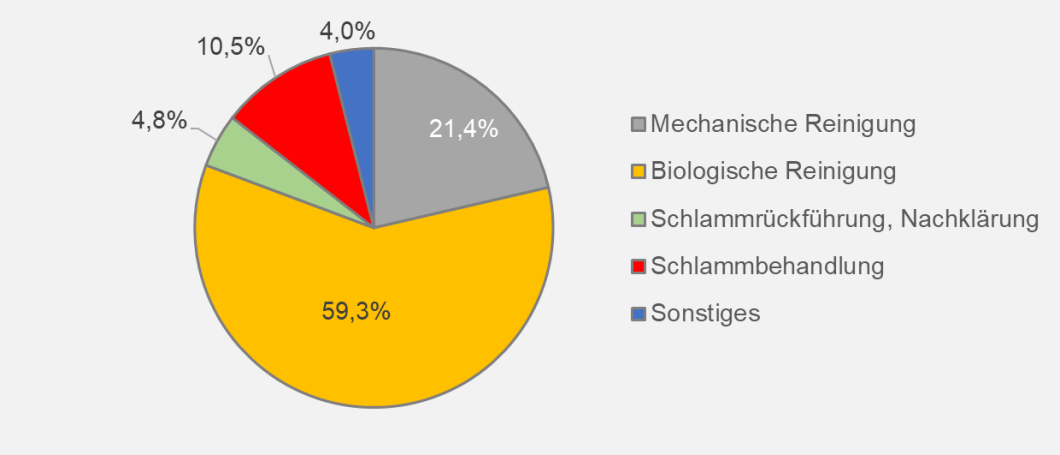

Abbildung 22: Verteilung des Energiebedarfs in der Kläranlage Feucht (2)

Verglichen mit der üblichen Verteilung des Energiebedarfs, siehe Abbildung 21, liegt der Anteil der biologischen Reinigung auf dem Niveau des Durchschnitts. Größere Abweichungen liegen im Bereich der mechanischen Reinigung. Hier sollte Einsparpotenzial vorliegen, da der Referenzanteil, zu sehen in Abbildung 21, rund 16 Prozentpunkte niedriger angesiedelt ist. Das vorhandene Einlaufhebewerk ist in der Referenz nicht enthalten und kommt in der Kläranlage Feucht hinzu. Der Anteil für Schlammrückführung und Schlammbehandlung kann als gering eingestuft werden. Zur Kategorie „Sonstiges“ sind beispielsweise Brauchwasserpumpe, Regenwasserpumpen und die Heizungsanlage zu zählen und nimmt den geringsten Part der Energieverteilung ein.

Eine Bewertung der Energieeffizienz kann anhand der Aufteilung in die Verfahrensstufen der Kläranlage nicht getroffen werden. Hierfür müssen die Verbraucher(-gruppen) spezifischen Verbrauchskennwerten gegenübergestellt werden. Als Ziel des spezifischen Gesamtenergiebedarfs nennt die Kommunalrichtlinie einen Ideal-Wert von 23 kWh/(EW_{CSB}*a). Die Summe aller spezifischen Werte von Pumpen, Gebläse und anderen Aggregaten liegt im Referenzzeitraum bereits bei diesem Ideal-Wert. Allerdings sollte aufgrund der variierenden Zulauffrachten und weiterer Einflussgrößen der Ist-Wert nachhaltig verbessert werden, sodass der genannte Zielwert deutlicher unterboten werden kann.

4.3 Berechnung der anlagenspezifischen Idealwerte

Anlagenspezifische Idealwerte sind nicht als Fixwerte zu verstehen, sie sind abhängig von den jeweiligen Randfaktoren am Standort. Das Arbeitsblatt DWA-A-216 (1) gibt eine Zusammenfassung verschiedener spezifischer Idealwerte, welche im Nachfolgenden für die relevantesten Verbraucher den tatsächlichen Verbrauchswerten gegenübergestellt werden. Als Bezugsgröße zur Berechnung der Idealwerte wird die mittlere CSB-Zulauffracht des Jahres 2019 herangezogen, diese liegt bei 21.258 $EW_{CSB.}$ Die Unterteilung der Idealwerte folgt der Struktur der Verbrauchermatrix aus Tabelle 1 und wird im Anschluss zusammengefasst.

4.3.1 Einlaufhebewerk

Die Förderhöhe des Einlaufhebewerks liegt bei etwa 2 Metern. Im Jahr 2019 wurde ein Volumen von ca. 1.490.100 m³ Schmutzwasser gefördert. Der spezifische Strombedarf für Schneckentrogpumpen liegt nach Anlage 7 der DWA-A-216 (1) bei ca. 4,5 - 5,4 Wh/(m³*m). Als Zielwert wird der untere Wert von 4,5 Wh/(m³*m) angesetzt, daraus berechnet sich ein zukünftiger Gesamtenergiebedarf beider Pumpen von 13.600 kWh/a.

4.3.2 Rechen

Der spezifische Strombedarf für Rechen ist in Anhang A1 der DWA-A-216 (1) beziffert und liegt zwischen 0,05 - 0,1 kWh/EW_{CSB}*a, woraus ein Gesamtenergiebedarf von ca. 2.100 kWh/a resultiert.

4.3.3 Sandfanggebläse 1 & 2

Anhang B (3) nennt für Sandfanggebläse einen Orientierungswert von 0,5 kWh/(EW*a). Derzeit beträgt der Energiebedarf etwa 48.000 kWh. Zukünftig sollte der Energiebedarf für diese Einheit ca. 21.300 kWh betragen.

4.3.4 Sandhebeanlage

Zum Sandaustrag aus dem Sandfang wird eine Lufthebeanlage genutzt. Für diese Verfahrenseinheit liegt jedoch kein Referenzwert in der Literatur vor. Der derzeitige spez. Energiebedarf beträgt ca. 0,64 kWh/(EW*a). Im Zuge einer Erneuerung der Sandfanggebläse sollte eine Gesamterneuerung inklusive Sandhebeanlage angestrebt werden.

4.3.5 Belebung / Belüftung der biologischen Reinigungsstufe

Der anzustrebende spezifische Energiebedarf zur Belüftung der biologischen Reinigungsstufe kann nach Anhang B in (3) mit insgesamt 11,4 kWh/(EW*a) angesetzt werden. Der aktuelle

Energiebedarf für die gesamte Belüftungseinheit liegt bei 8,94 kWh/(EW*a). Das Belüftungssystem aus Drehkolbengebläse und Belüfterelementen liegt demnach in einem sehr guten Bereich.

4.3.6 Rührwerk

Zur Umwälzung von Belebungsbecken mit einem Volumen von > 2.000 m³ kann ein spezifischer Energiebedarf von 1,5 W/m³ angesetzt werden. Beide Belebungsbecken der Kläranlage Feucht verfügen über ein Volumen von ca. 2.300 m³. Für die weiteren Berechnungen wird ein idealer spez. Energiebedarf zur Umwälzung von 1,5 W/m³ angesetzt. Die Laufzeit der Rührwerke beträgt etwa 8.760 Stunden. Dies entspricht einem Dauereinsatz. Der anzustrebende Energiebedarf zur Umwälzung je Belebungsbecken liegt nach (1) bei ca. 15.200 kWh/a. Verglichen mit dem derzeitigen Strombedarf von jeweils ca. 19.250 kWh ist somit ein Einsparpotenzial vorhanden.

Eine zusätzliche Verbesserung des Energieeinsatzes könnte durch Reduktion der Betriebszeit erreicht werden. Nach aktueller Regelung sind die Rührwerke im Dauereinsatz. Dabei sind die Auswirkungen einer Laufzeitverkürzung auf das Absetzverhalten des Belebtschlammes und den Transport durch die verschiedenen Reinigungszonen der Belebungsbecken zu untersuchen.

4.3.7 Rezirkulationspumpe

Jedes Belebungsbecken verfügt über jeweils eine Rezirkulationspumpe. Der Unterschied dieser beiden Pumpen liegt in der Betriebszeit, wodurch auch Unterschiede im spez. Energiebedarf bestehen. Der anzusetzende Orientierungswert liegt bei 0,9 kWh/(EW*a) (3). Der spez. Wert von Pumpe 1 liegt bei 1,21 kWh/(EW*a), bei Pumpe 2 liegt der Wert bei 0,88 kWh/(EW*a). Der Leistungsbedarf beider Pumpen liegt bei 3,5 kW_{el}. Durch die Laufzeitreduktion von Pumpe 1 von 7.373 h auf das Niveau von Pumpe 2 mit 5.341 h kann der Energiebedarf um ca. 27 % gesenkt werden.

4.3.8 Rücklaufschlammpumpen

Nach Anhang B (3) wird für die Rücklaufschlammförderung ein Vergleichswert von 1,7 kWh/(EW*a) angegeben. Die Summe beider Rücklaufschlammschnecken liegt mit 0,33 kWh/(EW*a) deutlich unter dem Zielwert.

4.3.9 Überschussschlammpumpwerk

Das interne Leitsystem fasst den Energiebedarf einzelner Komponenten zur Überschussschlammförderung als Überschussschlammpumpwerk zusammen. Eine Zuordnung der Energiemengen je Aggregat ist nicht möglich. Die Energiemenge von knapp 11.700 kWh nimmt, verglichen mit anderen Komponenten, nur eine untergeordnete Rolle ein, sodass das Einsparpotenzial als geringfügig einzustufen ist.

4.3.10 Faulturmumwälzung

Der Referenzwert zur Faulturmumwälzung liegt zwischen 6 und 10 Wh/(m³/m), als Zielwert werden 6 Wh/(m³*m) angesetzt. Der anzustrebende jährliche Gesamtenergiebedarf zur Umwälzung liegt demnach bei rund 10.800 kWh (aktuell 26.200 kWh).

Der spezifische Gesamtenergiebedarf im Referenzjahr 2019 der Kläranlage Feucht beträgt 22,99 kWh/(EW_{CSB}*a). Die Summe aller spezifischen Idealwerte der zuvor gelisteten Aggregate ergibt 19,50 kWh/(EW_{CSB}*a), bezogen auf die CSB-Belastung von 2019. Durch kontinuierliche Verbesserungsmaßnahmen kann der in der Kommunalrichtlinie 2019 geforderte Zielwert von 23 kWh/EW*a nachhaltig unterboten werden. Hierfür sind diverse kurz-, mittel- und langfristige Maßnahmen nötig, welche in Kapitel 5 auf ökonomische und ökologische Gesichtspunkte geprüft werden.

4.4 Gegenüberstellung der Ist- und Idealwerte

Zusammenfassend werden in nachfolgender Tabelle die absoluten und spezifischen Ist- und Idealwerte der Verfahrensstufen verglichen.

Nummer	Verfahrensstufe / Aggregat	IST Energiebedarf [kWh]	IDEALWERT Energiebedarf [kWh]	IST spez. Strombedarf [kWh/(E_{CSB}*a)]	IDEALWERT spez. Strombedarf [kWh/(E_{CSB}*a)]
1	Einlaufhebewerk	28.067	24.012	1,32	1,13
	Schneckenpumpe 1 & 2	17.666	13.612	0,83	0,64
	Hebepumpe 1&2, Sonstiges	10.400	10.400	0,49	0,49
2	Mechanische Reinigung	98.545	60.241	4,64	3,33
	Rechen	2.959	2.126	0,14	0,10
	Sandfanggebläse 1	23.896	5.272	1,12	0,5
	Sandfanggebläse 2	24.180	5.334	1,14	0,5
	Sandhebegebläse 1	13.809	13.809	0,65	0,65
	Sandhebegebläse 2	13.334	13.334	0,63	0,63
	Sonstiges (Sandaufbereitung, Pumpen Ausgleichsbecken, VK)	20.366	20.366	0,96	0,96
3	Biologie	273.117	257.910	12,85	12,13
	Mischer 1&2 BB1*	19.245	15.169	0,91	0,71
	Mischer 1&2 BB2*	19.245	15.169	0,91	0,71
	Rezi-Pumpe 1	25.806	18.697	1,21	0,88
	Rezi-Pumpe 2	18.697	18.697	0,88	0,88
	Gebläse 1	121.442	121.442	5,71	5,71
	Gebläse 2	15.599	15.599	0,73	0,73
	Gebläse 3	53.084	53.084	2,50	2,50
	Zwischenergebnis 1-3	399.728	342.164	18,8	16,1

Tabelle 2: Absolute und spezifische Ist- und Idealverbrauchsdaten der Verfahrensstufen 1 - 3

**Unter der Annahme, dass keine ständige Umwälzung des Belebungsbeckens notwendig ist, könnte der Energiebedarf noch weiter gesenkt werden. Dies ist abhängig von der Durchmischung und dem Absetzverhalten des KS.*

Nummer	Verfahrensstufe / Aggregat	IST Energiebedarf [kWh]	IDEALWERT Energiebedarf [kWh]	IST spez. Strombedarf [kWh/(E_{CSB}*a)]	IDEALWERT spez. Strombedarf [kWh/(E_{CSB}*a)]
4	Schlammrückführung, NKB	22.253	22.253	1,05	1,05
	Rücklaufschnecke 1&2	7.115	7.115	0,33	0,33
	ÜSS PW	11.648	11.648	0,55	0,55
	Rundläufer NKB 1&2	3.491	3.491	0,08	0,08
5	Schlammbehandlung	48.501	31.810	2,28	1,50
	Umwälzpumpe 1	13.148	5.425	0,62	0,26
	Umwälzpumpe 2	13.078	5.396	0,62	0,25
	Rührwerk Faulturm	4.051	4.051	0,19	0,19
	Schwimmdeckenzerstörer	9.226	9.226	0,43	0,43
	Schlammpresse	6.017	4.729	0,28	0,22
	Sonstige	2.982	2.982	0,14	0,14
6	Sonstiges	18.281	18.281	0,86	0,86
	Brauchwasser	11.671	11.671	0,55	0,55
	Regenwetterpumpe 1&2	601	601	0,02	0,71
	Heizungsanlage	4.022	4.022	0,19	0,19
	Dosieranlage	1.987	1.987	0,09	0,09
1 - 6	Gesamtbedarf	488.764	414.508	22,99	19,50

Abbildung 23: Absolute und spezifische Ist- und Idealverbrauchsdaten der Verfahrensstufen 4 - 6

Das theoretische Einsparpotential liegt bei bis zu 74.256 kWh/a. Einen visuellen Überblick der Energieeinsparung je Verfahrensstufe gibt Abbildung 24. Es wird deutlich, dass die höchsten Potentiale im Bereich der mechanischen und biologischen Reinigungsstufe liegen.

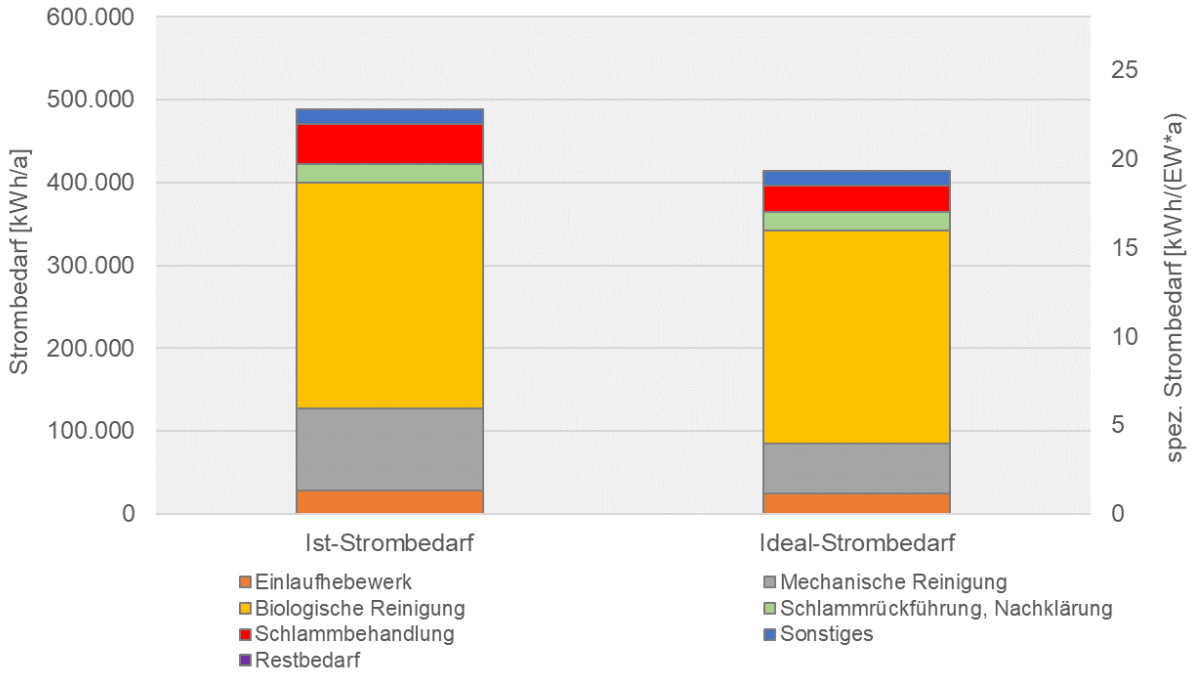

Abbildung 24: Einsparpotential des Energiebedarfs je Verfahrensstufe

Bezogen auf einzelne Aggregate bzw. Einheiten der Verfahrensschritte liegt das Haupteinsparpotential in:

- Einlaufhebewerk
- Sandfanggebläse und Sandhebegebläse
- Rührwerke Belebungsbecken
- Rezirkulationspumpe BB1
- Faulturmumwälzung
- Prozessleitsystem

Diese Maßnahmen werden im Nachgang näher erläutert und sollen in kurz-, mittel- und langfristige Schritte unterteilt werden.

5 Maßnahmen

Die in Kapitel 4.4 genannten Maßnahmen werden in diesem Kapitel einer ökonomischen und ökologischen Bewertung unterzogen. Alle dargestellten Kosten sind als **Nettowerte** zu verstehen. Zentrales Element der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist die Berechnung der Energieeinsparung und damit einhergehend der reduzierten Kosten zum Strombezug. Der Strompreis der Kläranlage Feucht wird für das Jahr 2021 prognostiziert. Die Gesamtbezugskosten belaufen sich auf rund 20,25 ct/kWh, bzw. 18,62 ct/kWh ohne fixe Netznutzungsentgelte.

Die Berechnung der jährlichen kapitalgebundenen Kosten basiert auf dem Prinzip der Annuitätenmethode. Als fixer Zinssatz werden 2 % angesetzt, die Laufzeit wird auf 20 Jahre festgelegt.

Zudem werden alle Maßnahmen hinsichtlich Fördermöglichkeiten überprüft, beispielsweise mittels Kommunalrichtlinie 2019. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Förderquoten für Anträge, welche vom 01.08.2020 bis 31.12.2021 gestellt werden, um jeweils zehn Prozentpunkte erhöht wurden. Dies wird in dieser Energie- und Potentialstudie berücksichtigt.

Anhand der Kosteneinsparung und Investitionskosten zur Erneuerung einzelner Komponenten wird in der nachfolgenden Maßnahmenbeschreibung eine Sensitivitätsanalyse erstellt, in welcher Investitionskosten und Stromkosten als variable Einflussgröße fungieren.

5.1 Einlaufhebewerk

Das Einlaufhebewerk besteht aus zwei identischen Schneckenpumpen der Firma Ritz, welche seit 2004 betrieben werden. Das Abwasser im Einlauf der Kläranlage hat einen hohen Anteil an abrasiven Stoffen (Sand, Split), welche an den Schrauben sichtbare Spuren hinterlassen können. Durch kontinuierliche Wartungsmaßnahmen konnten Schäden an Lagerung und Spindel auf ein Minimum reduziert werden. Die Logdaten des Prozessleitsystems beziffern den Gesamtenergiebedarf des Einlaufhebewerks (Schneckenpumpen & Kreiselpumpen) auf ca. 28.000 kWh. Die Berechnung des Energiebedarfs der Schneckenpumpen führt zu dem Ergebnis, dass etwa 17.700 kWh dieser Einheit zugeschrieben werden können. Verglichen zum theoretischen Idealverbrauch von 13.612 kWh ist dieser Wert als realistisch einzuordnen, das Einsparpotenzial liegt bei knapp 4.100 kWh. Allerdings kann die Restenergiemenge von rund 10.300 kWh derzeit nicht nachvollzogen bzw. zugeordnet werden. Daher sollte die interne Leistungsmessung einer Kontrollmessung unterzogen werden.

Falls die Kontrollmessung zeigt, dass kein Fehler vorliegt, muss der berechnete Energiebedarf des Schneckenhebewerks von 17.000 kWh durch einen Korrekturfaktor (x1,5) angepasst werden. Demzufolge würde sich das theoretische Einsparpotenzial durch Erneuerung auf etwa 12.900 kWh/a steigern.

Für die Sanierungsmaßnahmen sind Gesamtkosten für Schneckenpumpe, Antriebseinheit und der Ausbesserungsarbeiten am Trog von ca. 75.000 € notwendig. Weitere Kosten wie Transport und Kanalarbeiten sind darin inbegriffen. Die Investitionskosten können durch die Förderung der Kommunalrichtlinie 2019 (Nr. 2.13.3) mit 40 % gefördert werden.

Die restlichen Investitionskosten betragen mit Hilfe der Förderung 45.000 €. Durch die Effizienzsteigerung können, bei einem aktuellen Strombezugspreis von 18,62 ct/kWh, Kosten von rund 750 €/a (4.100 kWh/a) bzw. 2.400 €/a (12.900 kWh) eingespart werden. Zur transparenten Bewertung der Erneuerung bzw. Revision des Einlaufhebewerks werden nachfolgend Investitionskosten und Bezugskosten für Strom variabel zur Berechnung der Jahresbilanz (Stromkostenersparnis abzüglich kapitalgebundener Kosten) eingesetzt. Dadurch erhält der Markt Feucht die Möglichkeit, im Falle zukünftiger Angebotseinholung eine ökonomische Einordnung zu erstellen.

Bilanz		Investition																				
		-50%	-45%	-40%	-35%	-30%	-25%	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Strompreis	-50%	-999	-1.136	-1.274	-1.411	-1.549	-1.687	-1.824	-1.962	-2.099	-2.237	-2.375	-2.512	-2.650	-2.787	-2.925	-3.063	-3.200	-3.338	-3.475	-3.613	-3.751
	-45%	-961	-1.098	-1.236	-1.374	-1.511	-1.649	-1.786	-1.924	-2.062	-2.199	-2.337	-2.474	-2.612	-2.750	-2.887	-3.025	-3.162	-3.300	-3.438	-3.575	-3.713
	-40%	-923	-1.061	-1.198	-1.336	-1.473	-1.611	-1.749	-1.886	-2.024	-2.161	-2.299	-2.437	-2.574	-2.712	-2.850	-2.987	-3.125	-3.262	-3.400	-3.538	-3.675
	-35%	-885	-1.023	-1.161	-1.298	-1.436	-1.573	-1.711	-1.849	-1.986	-2.124	-2.261	-2.399	-2.537	-2.674	-2.812	-2.949	-3.087	-3.225	-3.362	-3.500	-3.637
	-30%	-848	-985	-1.123	-1.260	-1.398	-1.536	-1.673	-1.811	-1.948	-2.086	-2.224	-2.361	-2.499	-2.636	-2.774	-2.912	-3.049	-3.187	-3.324	-3.462	-3.600
	-25%	-810	-947	-1.085	-1.223	-1.360	-1.498	-1.635	-1.773	-1.911	-2.048	-2.186	-2.323	-2.461	-2.599	-2.736	-2.874	-3.011	-3.149	-3.287	-3.424	-3.562
	-20%	-772	-910	-1.047	-1.185	-1.322	-1.460	-1.598	-1.735	-1.873	-2.011	-2.148	-2.286	-2.423	-2.561	-2.699	-2.836	-2.974	-3.111	-3.249	-3.387	-3.524
	-15%	-734	-872	-1.010	-1.147	-1.285	-1.422	-1.560	-1.698	-1.835	-1.973	-2.110	-2.248	-2.386	-2.523	-2.661	-2.798	-2.936	-3.074	-3.211	-3.349	-3.486
	-10%	-697	-834	-972	-1.109	-1.247	-1.385	-1.522	-1.660	-1.797	-1.935	-2.073	-2.210	-2.348	-2.485	-2.623	-2.761	-2.898	-3.036	-3.173	-3.311	-3.449
	-5%	-659	-796	-934	-1.072	-1.209	-1.347	-1.484	-1.622	-1.760	-1.897	-2.035	-2.172	-2.310	-2.448	-2.585	-2.723	-2.860	-2.998	-3.136	-3.273	-3.411
	0%	-621	-759	-896	-1.034	-1.172	-1.309	-1.447	-1.584	-1.722	-1.860	-1.997	-2.135	-2.272	-2.410	-2.548	-2.685	-2.823	-2.960	-3.098	-3.236	-3.373
	5%	-583	-721	-859	-996	-1.134	-1.271	-1.409	-1.547	-1.684	-1.822	-1.959	-2.097	-2.235	-2.372	-2.510	-2.647	-2.785	-2.923	-3.060	-3.198	-3.335
	10%	-546	-683	-821	-958	-1.096	-1.234	-1.371	-1.509	-1.646	-1.784	-1.922	-2.059	-2.197	-2.334	-2.472	-2.610	-2.747	-2.885	-3.022	-3.160	-3.298
	15%	-508	-645	-783	-921	-1.058	-1.196	-1.333	-1.471	-1.609	-1.746	-1.884	-2.021	-2.159	-2.297	-2.434	-2.572	-2.709	-2.847	-2.985	-3.122	-3.260
	20%	-470	-608	-745	-883	-1.021	-1.158	-1.296	-1.433	-1.571	-1.709	-1.846	-1.984	-2.121	-2.259	-2.397	-2.534	-2.672	-2.809	-2.947	-3.085	-3.222
	25%	-432	-570	-708	-845	-983	-1.120	-1.258	-1.396	-1.533	-1.671	-1.808	-1.946	-2.084	-2.221	-2.359	-2.496	-2.634	-2.772	-2.909	-3.047	-3.184
	30%	-395	-532	-670	-807	-945	-1.083	-1.220	-1.358	-1.495	-1.633	-1.771	-1.908	-2.046	-2.183	-2.321	-2.459	-2.596	-2.734	-2.871	-3.009	-3.147
	35%	-357	-494	-632	-770	-907	-1.045	-1.182	-1.320	-1.458	-1.595	-1.733	-1.870	-2.008	-2.146	-2.283	-2.421	-2.559	-2.696	-2.834	-2.971	-3.109
	40%	-319	-457	-594	-732	-870	-1.007	-1.145	-1.282	-1.420	-1.558	-1.695	-1.833	-1.970	-2.108	-2.246	-2.383	-2.521	-2.658	-2.796	-2.934	-3.071
	45%	-281	-419	-557	-694	-832	-969	-1.107	-1.245	-1.382	-1.520	-1.657	-1.795	-1.933	-2.070	-2.208	-2.345	-2.483	-2.621	-2.758	-2.896	-3.033
	50%	-244	-381	-519	-656	-794	-932	-1.069	-1.207	-1.344	-1.482	-1.620	-1.757	-1.895	-2.032	-2.170	-2.308	-2.445	-2.583	-2.720	-2.858	-2.996

Abbildung 25: Bilanzmatrix bei Energiereduktion um 4.100 kWh/a

Trotz einer Förderung kann kein ökonomischer Vorteil gegenüber dem Ist-Zustand erzielt werden. Das geringe Stromeinsparpotenzial kann auch bei einer Stromkostensteigerung von 50 % keine ausreichenden Einnahmen generieren.

Bilanz		Investition																				
		-50%	-45%	-40%	-35%	-30%	-25%	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Strompreis	-50%	-176	-314	-451	-589	-727	-864	-1.002	-1.139	-1.277	-1.415	-1.552	-1.690	-1.827	-1.965	-2.103	-2.240	-2.378	-2.515	-2.653	-2.791	-2.928
	-45%	-56	-194	-331	-469	-607	-744	-882	-1.019	-1.157	-1.295	-1.432	-1.570	-1.707	-1.845	-1.983	-2.120	-2.258	-2.395	-2.533	-2.671	-2.808
	-40%	64	-74	-211	-349	-487	-624	-762	-899	-1.037	-1.175	-1.312	-1.450	-1.587	-1.725	-1.863	-2.000	-2.138	-2.275	-2.413	-2.551	-2.688
	-35%	184	46	-91	-229	-367	-504	-642	-779	-917	-1.055	-1.192	-1.330	-1.467	-1.605	-1.743	-1.880	-2.018	-2.155	-2.293	-2.431	-2.568
	-30%	304	166	29	-109	-247	-384	-522	-659	-797	-935	-1.072	-1.210	-1.347	-1.485	-1.623	-1.760	-1.898	-2.035	-2.173	-2.311	-2.448
	-25%	424	286	149	11	-127	-264	-402	-539	-677	-815	-952	-1.090	-1.228	-1.365	-1.503	-1.640	-1.778	-1.916	-2.053	-2.191	-2.328
	-20%	544	406	269	131	-7	-144	-282	-420	-557	-695	-832	-970	-1.108	-1.245	-1.383	-1.520	-1.658	-1.796	-1.933	-2.071	-2.208
	-15%	664	526	388	251	113	-24	-162	-300	-437	-575	-712	-850	-988	-1.125	-1.263	-1.400	-1.538	-1.676	-1.813	-1.951	-2.088
	-10%	784	646	508	371	233	96	-42	-180	-317	-455	-592	-730	-868	-1.005	-1.143	-1.280	-1.418	-1.556	-1.693	-1.831	-1.968
	-5%	904	766	628	491	353	216	78	-60	-197	-335	-472	-610	-748	-885	-1.023	-1.160	-1.298	-1.436	-1.573	-1.711	-1.848
	0%	1.024	886	748	611	473	336	198	60	-77	-215	-352	-490	-628	-765	-903	-1.040	-1.178	-1.316	-1.453	-1.591	-1.728
	5%	1.144	1.006	868	731	593	456	318	180	43	-95	-232	-370	-508	-645	-783	-920	-1.058	-1.196	-1.333	-1.471	-1.608
	10%	1.264	1.126	988	851	713	576	438	300	163	25	-112	-250	-388	-525	-663	-800	-938	-1.076	-1.213	-1.351	-1.488
	15%	1.384	1.246	1.108	971	833	696	558	420	283	145	8	-130	-268	-405	-543	-680	-818	-956	-1.093	-1.231	-1.368
	20%	1.504	1.366	1.228	1.091	953	816	678	540	403	265	128	-10	-148	-285	-423	-560	-698	-836	-973	-1.111	-1.248
	25%	1.624	1.486	1.348	1.211	1.073	936	798	660	523	385	248	110	-28	-165	-303	-440	-578	-716	-853	-991	-1.128
	30%	1.744	1.606	1.468	1.331	1.193	1.056	918	780	643	505	368	230	92	-45	-183	-320	-458	-596	-733	-871	-1.008
	35%	1.864	1.726	1.588	1.451	1.313	1.176	1.038	900	763	625	488	350	212	75	-63	-201	-338	-476	-613	-751	-889
	40%	1.984	1.846	1.708	1.571	1.433	1.296	1.158	1.020	883	745	607	470	332	195	57	-81	-218	-356	-493	-631	-769
	45%	2.104	1.966	1.828	1.691	1.553	1.415	1.278	1.140	1.003	865	727	590	452	315	177	39	-98	-236	-373	-511	-649
	50%	2.223	2.086	1.948	1.811	1.673	1.535	1.398	1.260	1.123	985	847	710	572	435	297	159	22	-116	-253	-391	-529

Abbildung 26: Bilanzmatrix bei Energiereduktion um 12.900 kWh/a

Sollte sich, basierend auf der in Kapitel 4.3.1 beschriebenen Kontrollmessung der Leistungsmessung des Einlaufhebewerks, kein Messfehler herausstellen, so kann ein Einsparpotenzial von ca. 12.900 kWh/a durch die Sanierung angesetzt werden. Abbildung 26 zeigt, dass in diesem Fall bei geeigneten Rahmenbedingungen ein ökonomischer Vorteil erzielt werden kann.

Darüber hinaus reduziert der geringere Strombedarf die CO_2-Emissionen um 2,3 bzw. 7,2 to/a.

5.2 Sandfanggebläse

Die Energieanalyse zeigt ein deutliches Energieeinsparpotenzial im Bereich der Sandfanggebläse. Zur Belüftung wurden im Jahr 2019 insgesamt etwa 48.000 kWh aufgewandt, die Belüftung findet ganzjährig statt. Verglichen zum angestrebten Idealbedarf kann durch Erneuerung des Sandfangsystems (Drehkolbengebläse, Verrohrung, Lufteintrag) bis zu 37.500 kWh an elektrischer Energie eingespart werden. Analog zum vorangegangenen Kapitel soll eine Bilanzmatrix zeigen, welch jährlichen Überschüsse durch die Revision erzielt werden können. Die Investitionskosten für die Gesamterneuerung der Anlagentechnik wird auf ca. 55.000 € geschätzt.

Bilanz		Investition																				
		-50%	*-45%*	*-40%*	*-35%*	*-30%*	*-25%*	*-20%*	*-15%*	*-10%*	*-5%*	*0%*	*5%*	*10%*	*15%*	*20%*	*25%*	*30%*	*35%*	*40%*	*45%*	*50%*
Strompreis	*-50%*	2.479	2.378	2.278	2.177	2.076	1.975	1.874	1.773	1.672	1.571	1.470	1.369	1.268	1.168	1.067	966	865	764	663	562	461
	-45%	2.828	2.727	2.626	2.525	2.425	2.324	2.223	2.122	2.021	1.920	1.819	1.718	1.617	1.516	1.415	1.315	1.214	1.113	1.012	911	810
	-40%	3.177	3.076	2.975	2.874	2.773	2.673	2.572	2.471	2.370	2.269	2.168	2.067	1.966	1.865	1.764	1.663	1.563	1.462	1.361	1.260	1.159
	-35%	3.526	3.425	3.324	3.223	3.122	3.021	2.920	2.820	2.719	2.618	2.517	2.416	2.315	2.214	2.113	2.012	1.911	1.810	1.710	1.609	1.508
	-30%	3.875	3.774	3.673	3.572	3.471	3.370	3.269	3.168	3.067	2.967	2.866	2.765	2.664	2.563	2.462	2.361	2.260	2.159	2.058	1.957	1.857
	-25%	4.224	4.123	4.022	3.921	3.820	3.719	3.618	3.517	3.416	3.315	3.215	3.114	3.013	2.912	2.811	2.710	2.609	2.508	2.407	2.306	2.205
	-20%	4.572	4.472	4.371	4.270	4.169	4.068	3.967	3.866	3.765	3.664	3.563	3.462	3.362	3.261	3.160	3.059	2.958	2.857	2.756	2.655	2.554
	-15%	4.921	4.820	4.719	4.619	4.518	4.417	4.316	4.215	4.114	4.013	3.912	3.811	3.710	3.609	3.509	3.408	3.307	3.206	3.105	3.004	2.903
	-10%	5.270	5.169	5.068	4.967	4.866	4.766	4.665	4.564	4.463	4.362	4.261	4.160	4.059	3.958	3.857	3.756	3.656	3.555	3.454	3.353	3.252
	-5%	5.619	5.518	5.417	5.316	5.215	5.114	5.014	4.913	4.812	4.711	4.610	4.509	4.408	4.307	4.206	4.105	4.004	3.904	3.803	3.702	3.601
	0%	5.968	5.867	5.766	5.665	5.564	5.463	5.362	5.261	5.161	5.060	4.959	4.858	4.757	4.656	4.555	4.454	4.353	4.252	4.151	4.051	3.950
	5%	6.317	6.216	6.115	6.014	5.913	5.812	5.711	5.610	5.509	5.408	5.308	5.207	5.106	5.005	4.904	4.803	4.702	4.601	4.500	4.399	4.298
	10%	6.666	6.565	6.464	6.363	6.262	6.161	6.060	5.959	5.858	5.757	5.656	5.556	5.455	5.354	5.253	5.152	5.051	4.950	4.849	4.748	4.647
	15%	7.014	6.913	6.813	6.712	6.611	6.510	6.409	6.308	6.207	6.106	6.005	5.904	5.803	5.703	5.602	5.501	5.400	5.299	5.198	5.097	4.996
	20%	7.363	7.262	7.161	7.060	6.960	6.859	6.758	6.657	6.556	6.455	6.354	6.253	6.152	6.051	5.950	5.850	5.749	5.648	5.547	5.446	5.345
	25%	7.712	7.611	7.510	7.409	7.308	7.207	7.107	7.006	6.905	6.804	6.703	6.602	6.501	6.400	6.299	6.198	6.098	5.997	5.896	5.795	5.694
	30%	8.061	7.960	7.859	7.758	7.657	7.556	7.455	7.355	7.254	7.153	7.052	6.951	6.850	6.749	6.648	6.547	6.446	6.345	6.245	6.144	6.043
	35%	8.410	8.309	8.208	8.107	8.006	7.905	7.804	7.703	7.602	7.502	7.401	7.300	7.199	7.098	6.997	6.896	6.795	6.694	6.593	6.492	6.392
	40%	8.759	8.658	8.557	8.456	8.355	8.254	8.153	8.052	7.951	7.850	7.749	7.649	7.548	7.447	7.346	7.245	7.144	7.043	6.942	6.841	6.740
	45%	9.107	9.007	8.906	8.805	8.704	8.603	8.502	8.401	8.300	8.199	8.098	7.997	7.897	7.796	7.695	7.594	7.493	7.392	7.291	7.190	7.089
	50%	9.456	9.355	9.254	9.154	9.053	8.952	8.851	8.750	8.649	8.548	8.447	8.346	8.245	8.144	8.044	7.943	7.842	7.741	7.640	7.539	7.438

Abbildung 27: Bilanzmatrix der Sandfangerneuerung

Die Bilanz zeigt, dass diese Maßnahme auch bei einer Steigerung der Investitionskosten um 50 % und einer (unwahrscheinlichen) Reduktion des Strompreises ein positive Jahresergebnis erzielen kann. Im Ist-Zustand könnten jährlich rund 4.959 € eingespart werden. Die CO_2-Emissionen durch externen Strombezug können um 20,9 Tonnen gesenkt werden.

5.3 Rührwerke Belebungsbecken

Das RSS Pumpwerk besteht aus 2 identischen KSB Sewabloc Kreiselpumpen. Die Drehzahl ist bei einem festen Wert von 534 U/min eingestellt. Der Systemdruck von 0,2 bar ist nicht im Idealbereich von Kreiselpumpen. Eine Abschätzung des Rücklaufschlammvolumens ist nicht möglich, hierfür wird ein Rücklaufverhältnis von 0,75 angenommen. Der ideale Energiebedarf liegt bei 2.387 kWh, derzeit werden 7.668 kWh benötigt. Der Austausch der bestehenden Pumpen erfordert Investitionen in Höhe von ca. 12.000 €. Bei einer Förderung 40 % liegen die Restkosten bei 7.200 €. Die Effizienzsteigerung führt zu einer Einsparung von 639 €/a und ca. 2,1 Tonnen CO_2 pro Jahr. Die statische Amortisation kann nach 11 Jahren erreicht werden.

Alternativ kann als Zwischenschritt das RV-Verhältnis ermittelt und nach Bedarf angepasst werden. Gegebenenfalls kann dadurch bereits eine signifikante Einsparung erzielt werden.

5.4 Rezirkulationspumpe Belebungsbecken 1

Der Vergleich beider Rezirkulationspumpen zeigt, dass ein Unterschied des jährlichen Energiebedarfs vorliegt. Dieser ist auf unterschiedliche Laufzeiten beider Pumpen zurückzuführen. Der spezifische Verbrauchskennwert der Rezi-Pumpe in BB2 entspricht dem Idealwert nach (1), die Betriebszeit beträgt 5.342 h. Durch Senken der Laufzeit von Rezi-Pumpe in BB1 kann der Zielwert ebenfalls erreicht werden, die Energieersparnis beträgt etwa 7.100 kWh und kann ohne Investitionsmaßnahmen erreicht werden. Die Kostenersparnis beträgt rund 1.320 €/a, zudem können etwa 3,9 Tonnen an CO_2 pro Jahr vermieden werden.

5.5 Faulturmumwälzung

Für die bestehende Faulturmumwälzung (Baujahr 2014) wurden im Jahr 2019 rund 26.225 kWh benötigt. Der Idealwert zeigt ein Einsparpotenzial von rund 15.504 kWh. Zur Verbesserung des Energiebedarfs sollte zunächst die Laufzeit der Umwälzung geprüft werden. Nach aktuellem Kenntnisstand werden beide Pumpen redundant das gesamte Jahr betrieben, zusätzlich sorgt ein Rührwerk für eine ausreichende Durchmischung.

Zunächst sollte aufgrund des relativ geringen Baualters der Anlagentechnik eine Reduktion der Laufzeit oder des Volumenstroms mittels Frequenzumrichter geprüft werden.

Im Falle einer Neuanschaffung der Umwälzung zeigt nachfolgende Bilanzmatrix die zu erwartenden Erlöse, die Investitionskosten werden auf ca. 30.000 € geschätzt.

Bilanz		Investition																				
		-50%	-45%	-40%	-35%	-30%	-25%	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Strompreis	-50%	884	829	774	719	663	608	553	498	443	388	333	278	223	168	113	58	3	-52	-107	-162	-217
	-45%	1.027	972	917	862	807	752	697	642	587	532	477	422	367	312	256	201	146	91	36	-19	-74
	-40%	1.170	1.115	1.060	1.005	950	895	840	785	730	675	620	565	510	455	400	345	290	235	180	125	70
	-35%	1.314	1.259	1.204	1.149	1.094	1.039	984	929	874	819	763	708	653	598	543	488	433	378	323	268	213
	-30%	1.457	1.402	1.347	1.292	1.237	1.182	1.127	1.072	1.017	962	907	852	797	742	687	632	577	522	467	412	356
	-25%	1.601	1.546	1.491	1.436	1.381	1.325	1.270	1.215	1.160	1.105	1.050	995	940	885	830	775	720	665	610	555	500
	-20%	1.744	1.689	1.634	1.579	1.524	1.469	1.414	1.359	1.304	1.249	1.194	1.139	1.084	1.029	974	918	863	808	753	698	643
	-15%	1.888	1.832	1.777	1.722	1.667	1.612	1.557	1.502	1.447	1.392	1.337	1.282	1.227	1.172	1.117	1.062	1.007	952	897	842	787
	-10%	2.031	1.976	1.921	1.866	1.811	1.756	1.701	1.646	1.591	1.536	1.481	1.425	1.370	1.315	1.260	1.205	1.150	1.095	1.040	985	930
	-5%	2.174	2.119	2.064	2.009	1.954	1.899	1.844	1.789	1.734	1.679	1.624	1.569	1.514	1.459	1.404	1.349	1.294	1.239	1.184	1.129	1.074
	0%	2.318	2.263	2.208	2.153	2.098	2.043	1.987	1.932	1.877	1.822	1.767	1.712	1.657	1.602	1.547	1.492	1.437	1.382	1.327	1.272	1.217
	5%	2.461	2.406	2.351	2.296	2.241	2.186	2.131	2.076	2.021	1.966	1.911	1.856	1.801	1.746	1.691	1.636	1.580	1.525	1.470	1.415	1.360
	10%	2.605	2.550	2.494	2.439	2.384	2.329	2.274	2.219	2.164	2.109	2.054	1.999	1.944	1.889	1.834	1.779	1.724	1.669	1.614	1.559	1.504
	15%	2.748	2.693	2.638	2.583	2.528	2.473	2.418	2.363	2.308	2.253	2.198	2.143	2.087	2.032	1.977	1.922	1.867	1.812	1.757	1.702	1.647
	20%	2.891	2.836	2.781	2.726	2.671	2.616	2.561	2.506	2.451	2.396	2.341	2.286	2.231	2.176	2.121	2.066	2.011	1.956	1.901	1.846	1.791
	25%	3.035	2.980	2.925	2.870	2.815	2.760	2.705	2.649	2.594	2.539	2.484	2.429	2.374	2.319	2.264	2.209	2.154	2.099	2.044	1.989	1.934
	30%	3.178	3.123	3.068	3.013	2.958	2.903	2.848	2.793	2.738	2.683	2.628	2.573	2.518	2.463	2.408	2.353	2.298	2.242	2.187	2.132	2.077
	35%	3.322	3.267	3.212	3.156	3.101	3.046	2.991	2.936	2.881	2.826	2.771	2.716	2.661	2.606	2.551	2.496	2.441	2.386	2.331	2.276	2.221
	40%	3.465	3.410	3.355	3.300	3.245	3.190	3.135	3.080	3.025	2.970	2.915	2.860	2.805	2.749	2.694	2.639	2.584	2.529	2.474	2.419	2.364
	45%	3.608	3.553	3.498	3.443	3.388	3.333	3.278	3.223	3.168	3.113	3.058	3.003	2.948	2.893	2.838	2.783	2.728	2.673	2.618	2.563	2.508
	50%	3.752	3.697	3.642	3.587	3.532	3.477	3.422	3.367	3.311	3.256	3.201	3.146	3.091	3.036	2.981	2.926	2.871	2.816	2.761	2.706	2.651

Abbildung 28: Bilanzmatrix der Faulturmumwälzung

Sollte der ideale Energiebedarf zur Faulturmumwälzung erreicht werden, so kann bei derzeitigen Rahmenbedingungen ein jährlicher Überschuss von ca. 1.767 € erzielt werden, die CO_2-Reduktion beträgt etwa 8,6 Tonnen pro Jahr.

5.6 Prozessleitsystem

Der geloggte Datensatz aus dem Prozessleitsystem der Kläranlage ermöglicht eine detaillierte Energieanalyse der Betriebskomponenten. Die Auswertung der Daten zeigt, dass in den Tages- und Monatsberichten Übertragungsfehler auftreten können. Diese führen zu einer Verzerrung der tatsächlichen Energiebilanz.

Betreiber: Kläranlage Feucht — 08.04.2020 - 13:02
Anlagenname: Kläranlage Feucht — Jahresbericht 2019 — Seite: 1 von 1 (c) 2011 Schraml GmbH

PV	Dim.	Sum/Mit	Wert	J/VJ	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Gesamtbez. Netz + Gen	kWh	S	575971	1,02	47059	46864	42321	35715	37460	41268	46609	94286	55939	46261	40371	41818
Netz Gesamt FGW	KWh	S	262953	0,94	22657	38483	41216	13073	12103	18713	22487	20221	18009	21682	17948	16361
BHKW 1 kWh	kWh	S	130765	1,88	5125	2237	1074	6875	10293	6947	3405	55819	19557	5468	5698	8267
BHKW 2	kWh	S	182307	0,85	19277	6144	0	15810	15064	15608	20725	18259	18373	19079	16778	17190

Abbildung 29: Auszug aus Jahresbericht 2019

Als Beispiel kann ein Übertragungsfehler der Energieerzeugung aus BHKW 1 im August 2019 genannt werden. Bei genauerer Analyse der Tageswerte konnte dieser Übertragungsfehler korrigiert werden. In Zukunft sollte die Ursache dieser Fehler geprüft und behoben werden. Eine Energieeinsparung ist daraus nicht bezifferbar, jedoch können Unregelmäßigkeiten schnell und effektiv erörtert und behoben werden.

5.7 PV-Eigenstromerzeugung

Neben dem Ziel, den spezifischen Energiebedarf unter 23 kWh/(EW_{CSB}*a) zu senken, soll auch ein bestimmter Eigenversorgungsgrad durch Erneuerbare Energien erreicht werden. Dieser Wert wird bei 70 % Eigenversorgung bzw. Stromautarkie festgelegt. Der derzeitige Grad der Eigenversorgung (2019) liegt bei 51 %, hier ist ein Verbesserungspotenzial gegeben. In einem vorangegangenen Energiekonzept zur Steigerung der Energieeffizienz wurde bereits die Nutzung von Strom aus PV-Anlagen zur Steigerung des Autarkiegrades betrachtet. Die Erkenntnisse daraus werden, zur vollständigen Darstellung aller möglichen Maßnahmen zur Effizienzsteigerung und Ressourcenschonung, nochmals in diesem Kapitel zusammengefasst und falls notwendig erweitert. Im Unterschied zum Energiekonzept, wird im Falle dieser Potenzialstudie auf die Daten aus dem Jahr 2018 zurückgegriffen. Dies ist auf die Erkenntnisse aus Kapitel 4.1 zurückzuführen, welches zeigt, dass die Bereitstellung an Energie aus Klärgas in diesem Jahr nicht der Regel entsprach. Der Eigenversorgungsgrad von 2018 betrug etwa 58 %. Die dargestellten Dachflächen ermöglichen die Installation von ca. 51 kWp.

Abbildung 30: PV-Dachflächen zur Eigenstromerzeugung

Der jährliche Ertrag liegt bei etwa 48.000 kWh Strom. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit dieser zusätzlichen Anlage ist das künftige Regelungskonzept der Klärschlamm-BHKW.

5.7.1 PV-Strom bei gleichbleibender BHKW Regelung

Unter der Annahme, dass Strom aus den Klärgas-BHKW vorrangig genutzt wird und keine Änderung am Regelungsschema getroffen wird, liegt die Stromeigennutzung aus der PV-Anlage bei etwa 76 %. Die durchschnittliche Zusammensetzung des täglichen Energiebedarfs über das gesamte Jahr zeigt nachfolgendes Schema.

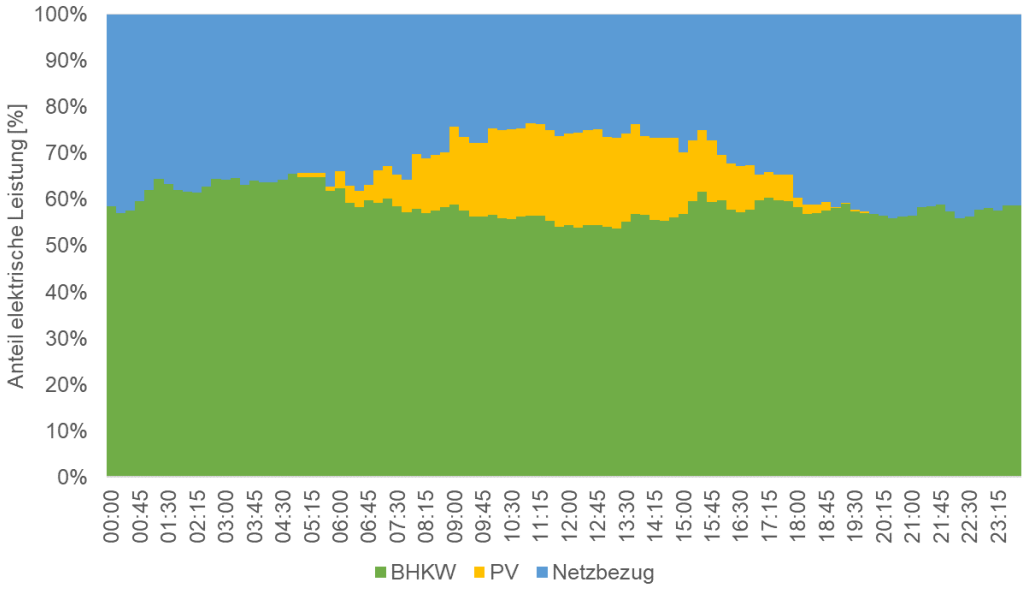

Abbildung 31: Durchschnittlicher täglicher Energieverbrauch bei bestehender BHKW Regelung

Die Abbildung stellt dar, dass der Hauptanteil der Grundlast mittels Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt und genutzt wird. PV-Strom wird bei Verfügbarkeit genutzt, wenn der Energiebedarf nicht durch BHKW gedeckt werden kann. Unter Berücksichtigung der in Kapitel 5 genannten Rahmenbedingungen und der nachfolgenden Kenndaten, kann die Wirtschaftlichkeit dieser Variante berechnet werden.

- Alle Kosten in Netto
- Spez. Investitionskosten 1.100 €/kWp
- Standard PV-Modul (monokristallin) 315 W
- Sonstiges 2.000 €
- Betriebsgebundene Kosten 581 €/a
- Versicherung 233 €/a
- EEG-Umlage 6,50 ct/kWh
- Einspeisevergütung (Mischkalkulation Okt 2020) 7,61 ct/kWh
- Strombezug ohne fixe Netznutzungsentgelte 18,62 ct/kWh

Der Betrachtungszeitraum beträgt 20 Jahre, es wird angenommen, dass der Markt Feucht die Investition vollständig aus Eigenmitteln deckt.

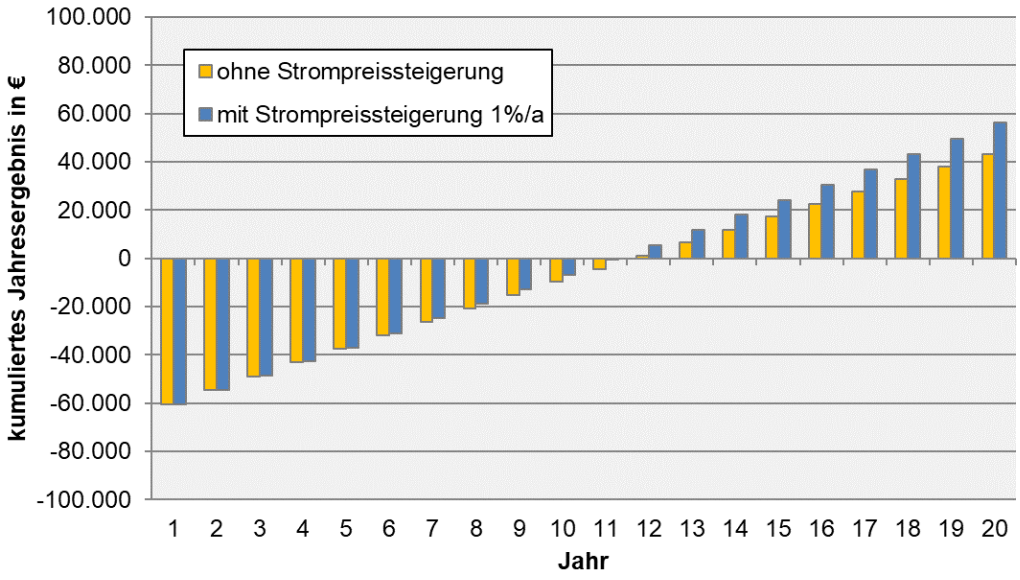

Abbildung 32: Kumulierter Ertrag der PV-Anlage bei bestehender BHKW-Regelung

Das Diagramm zeigt, dass die Anlage nach einem Zeitraum von ca. 12 Jahren amortisiert ist. Der Gesamtertrag der Anlage (ohne Strompreissteigerung) beträgt nach 20 Jahren knapp 43.400 €.

5.7.2 PV-Strom bei optimierter BHKW Regelung

Durch ein aufeinander abgestimmtes Regelungskonzept von BHKW und PV-Anlage kann die Stromeigennutzung aus PV maximiert werden. Das BHKW wird in diesem Fall zweitrangig betrachtet. Falls Energie aus PV vorhanden, wird diese direkt im Klärwerk genutzt, bei weiterem Bedarf kann Strom aus BHKW und / oder dem Stromnetz bezogen werden. Das heißt, ist die Energie aus PV ausreichend zur Versorgung der Kläranlage, wird das BHKW im Teillastbetrieb gefahren oder abgeschaltet. In diesem Zeitraum wird der Gasspeicher soweit genutzt, bis er vollständig gefüllt ist. Ab diesem Zeitpunkt sollte das BHKW wieder starten, überschüssiger Strom (PV) wird eingespeist. Durch diese Regelung könnten theoretisch bis zu 100 % des PV-Stroms genutzt werden, bei nahezu gleichbleibender Stromerzeugung bzw. -eigennutzung durch BHKW, dargestellt in folgender Abbildung.

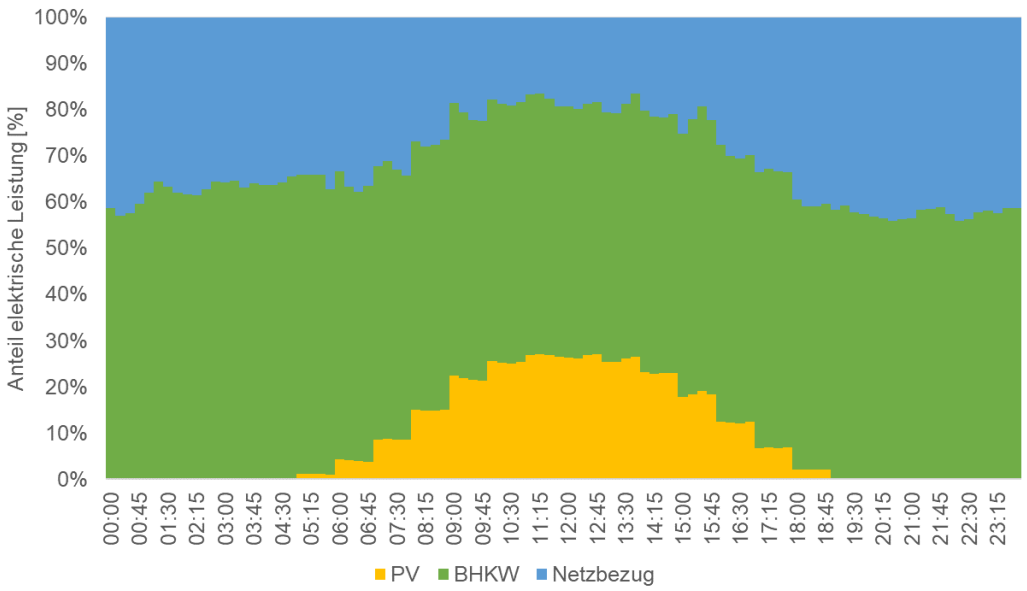

Abbildung 33: Durchschnittlicher täglicher Energieverbrauch bei optimierter BHKW Regelung

Die angepasste Regelung verbessert die Wirtschaftlichkeit der PV-Anlage deutlich, wie nachfolgendes Diagramm zusammenfasst.

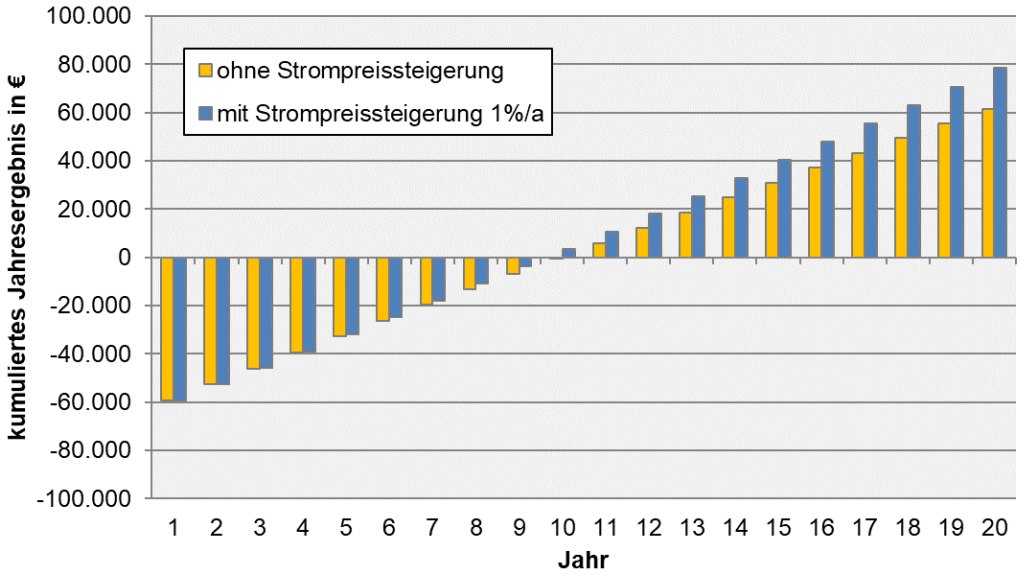

Abbildung 34: Kumulierter Ertrag der PV-Anlage bei optimierter BHKW-Regelung

Der Gesamtertrag der PV-Anlage kann auf ca. 61.600 € über den Zeitraum von 20 Jahren gesteigert werden. Die Amortisation reduziert sich auf knapp 11 Jahre.

Die Kombination aus PV-Anlage und Klärgas-BHKW erhöht den Eigenversorgungsgrad, je nach Regelung der KWK-Anlagen, auf 66 bis 68 %. Zusätzliche Flächen sind derzeit noch nicht vorhanden, in Zukunft ist jedoch ein weiteres Gebäude zur Klärschlammentwässerung geplant. Mit Hilfe dieser zusätzlichen Dachflächen können dann mehr als 70 % der Energie am Standort der Kläranlage erzeugt werden. Der Einsatz von Hochleistungsmodulen kann den Ertrag und die Stromeigennutzung zusätzlich positiv beeinflussen. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass die hier vorgestellten Maßnahmen zur Energieeinsparung den Gesamtenergiebedarf der Kläranlage Feucht senken. Dies hat zur Folge, dass der Anteil des Eigenversorgungsgrades zukünftig auch ohne zusätzliche PV-Flächen zunehmen wird und über 70 % liegen kann. Näherungsweise wird zur Abschätzung des Eigenversorgungsgrades der aktuelle Bedarfslastgang auf den zukünftigen Idealstrombedarf von 414.500 kWh (siehe Kapitel 4.4) herabskaliert.

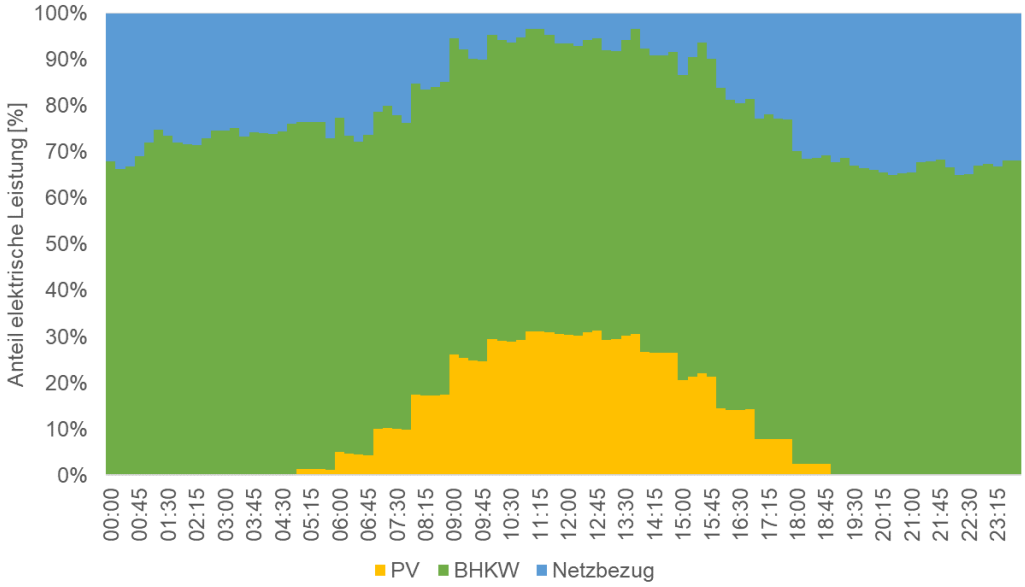

Abbildung 35: Durchschnittlicher täglicher Energieverbrauch bei idealem Energiebedarf durch Effizienzmaßnahmen

Unter der Annahme, dass die BHKW Regelung optimiert wird und der ideale Strombedarf der Kläranlage durch Effizienzmaßnahmen erreicht wird, kann der Eigenversorgungsgrad auf etwa 78 % geschätzt werden. Somit kann die Vorgabe der Kommunalrichtlinie von 70 % Eigenversorgung aus regenerativen Energien am Standort der Kläranlage erreicht werden.

6 Zusammenfassung und Fazit

Mit der Energie- und Potentialstudie für die Kläranlage Feucht, welche dem Prinzip des „Energetischen Dreisprungs“: Energieeinsparung, Energieeffizienz und Nutzung Erneuerbarer Energie folgt, wird eine umfassende Bewertung der energetischen Ist-Situation erstellt. Darauf aufbauend werden potenzielle Verbesserungsvorschläge ausgearbeitet, welche nach ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten bewertet werden. Durch Erreichen bestimmter Effizienzparameter können mit Hilfe der vorliegenden Studie Fördermittel aus der Kommunalrichtline in Anspruch genommen werden. Das Ziel ist ein spezifischer Energiebedarf von weniger als 23 kWh/(EW_{CSB}*a) und ein Autarkiegrad aus erneuerbaren Energien von mehr als 70 %.

Die Datengrundlage zur Ausarbeitung bilden Jahres- und Monatsberichte sowie Betriebsdaten aus dem Prozessleitsystem der Kläranlage. Zusätzlich konnte in vorbildlicher Zusammenarbeit mit dem Betriebsleiter der Kläranlage an mehreren Terminen vor Ort die Ist-Situation analysiert und bewertet werden. Des Weiteren liegen Informationen zum Strombezug über Lastgangdaten vor. Die Besichtigungen zeigen, dass Bestrebungen zur Energieeinsparung und stetigen Verbesserung eines effizienten Betriebs stetig vorangetrieben wurden. Dies spiegelt sich vor allem im niedrigen spezifischen Energiebedarf von ca. 23 kWh/(EW*a) im Ist-Zustand nieder.

Potentiale zur Energieeinsparung konnten durch die Energieanalyse am Belüftungssystem des Sandfangs festgestellt werden. Dieses besteht aus zwei Drehkolbengebläse aus dem Jahr 1985 und 2001. Eine Erneuerung dieser Aggregate in Verbindung mit einer neuen Lufteinbringung birg ein erhebliches Einsparpotenzial von mehr als 35.000 kWh pro Jahr. Weitere Einsparungen durch Erneuerung von Aggregaten kann in der Faulturmumwälzung erzielt werden. Durch Veränderungen bestimmter Betriebsparameter kann im Bereich der Rührwerke in den Belebungsbecken oder der Rezirkulationspumpen Energie eingespart werden.

Aufgrund von Übertragungsfehlern von Logdaten im Prozessleitsystem empfiehlt sich in diesem Bereich eine umfassende Wartung bzw. Fehleranalyse. Dadurch können Berechnungen des Energiechecks und auch der Energieanalyse in Zukunft mit geringerem Aufwand erneut erstellt werden. Dies kommt dem stetigen Optimierungsprozess zugute, welcher die Themen Betriebssicherheit, Flexibilisierung und Controlling weiter vorantreibt.

Der Energiecheck, die erste Positionsbestimmung der Kläranlage Feucht, zeigt bereits einen spezifischen Energiebedarf von 23 kWh/(EW_{CSB}*a). Mit diesem Verbrauchswert liegt die Kläranlage Feucht bereits im Bereich des anzustrebenden Zielwertes. Dennoch kann dieser Wert durch Verbesserungsmaßnahmen in Anlagentechnik und Regelung weiter verbessert werden.

Grundlage hierfür ist eine detaillierte Energieanalyse, welche Schwachstellen identifiziert und Maßnahmen zur Verbesserung ausarbeitet und bewertet. Das Ergebnis der Energieanalyse zeigt, dass die Kläranlage Feucht den geforderten Zielwert unterbieten kann. Der theoretische spezifische Energiebedarf liegt demzufolge bei 19,5 kWh/(EW_{CSB}*a). Das Einsparpotential an CO_2-Emissionen durch Effizienzsteigerung liegt bei ca. 35 Tonnen pro Jahr.

Die Stromeigenversorgung auf Basis regenerativer Energien kann am Standort der Kläranlage durch PV-Strom weiter ausgebaut werden. Die bisherige Versorgung mit Klärgaserzeugung und anschließender Nutzung in einem KWK-System deckt bereits 58 % des Gesamtenergiebedarfs. Durch Nutzung vorhandener Dachflächen zur Erzeugung von PV-Strom kann ein Autarkiegrad von ca. 68 % erreicht werden. Dieser Wert kann zukünftig auch über 70 % liegen, wenn Energie eingespart wird und ggf. zusätzliche Dachflächen genutzt werden können. Ab dem Jahr 2030 könnte zusätzliche Energie der Bürgerenergieanlage, welche bislang vollständig eingespeist wird, zur Eigenversorgung der Kläranlage genutzt werden.

Fördermöglichkeiten der vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen an Pumpen, Gebläse und Belüfter sowie Regelungs- und Messtechnik der Belebung können über die Kommunalrichtlinie zu folgenden Konditionen in Anspruch genommen werden (gültig von 01.08.2020 - 31.12.2021)

- Erneuerung der Belüftung 40 %
- Erneuerung von Pumpen und Motoren 40 %

7 Anhang

Anhang 1: Ist- und Idealenergiebedarf der Kläranlage Feucht

Nummer	Verfahrensstufe / Aggregat	IST Energiebedarf [kWh]	IDEALWERT Energiebedarf [kWh]	IST spez. Strombedarf [kWh/(E_{CSB}*a)]	IDEALWERT spez. Strombedarf [kWh/(E_{CSB}*a)]
1	Einlaufhebewerk	28.067	24.012	1,32	1,13
	Schneckenpumpe 1 & 2	17.666	13.612	0,83	0,64
	Hebepumpe 1&2, Sonstiges	10.400	10.400	0,49	0,49
2	Mechanische Reinigung	98.545	60.241	4,64	3,33
	Rechen	2.959	2.126	0,14	0,10
	Sandfanggebläse 1	23.896	5.272	1,12	0,5
	Sandfanggebläse 2	24.180	5.334	1,14	0,5
	Sandhebegebläse 1	13.809	13.809	0,65	0,65
	Sandhebegebläse 2	13.334	13.334	0,63	0,63
	Sonstiges (Sandaufbereitung, Pumpen Ausgleichsbecken, VK)	20.366	20.366	0,96	0,96
3	Biologie	273.117	257.910	12,85	12,13
	Mischer 1&2 BB1*	19.245	15.169	0,91	0,71
	Mischer 1&2 BB2*	19.245	15.169	0,91	0,71
	Rezi-Pumpe 1	25.806	18.697	1,21	0,88
	Rezi-Pumpe 2	18.697	18.697	0,88	0,88
	Gebläse 1	121.442	121.442	5,71	5,71
	Gebläse 2	15.599	15.599	0,73	0,73
	Gebläse 3	53.084	53.084	2,50	2,50
	Zwischenergebnis 1-3	399.728	342.164	18,8	16,1

Nummer	Verfahrensstufe / Aggregat	IST Energiebedarf [kWh]	IDEALWERT Energiebedarf [kWh]	IST spez. Strombedarf [kWh/(E_{CSB}*a)]	IDEALWERT spez. Strombedarf [kWh/(E_{CSB}*a)]
4	Schlammrückführung, NKB	22.253	22.253	1,05	1,05
	Rücklaufschnecke 1&2	7.115	7.115	0,33	0,33
	ÜSS PW	11.648	11.648	0,55	0,55
	Rundläufer NKB 1&2	3.491	3.491	0,08	0,08
5	Schlammbehandlung	48.501	31.810	2,28	1,50
	Umwälzpumpe 1	13.148	5.425	0,62	0,26
	Umwälzpumpe 2	13.078	5.396	0,62	0,25
	Rührwerk Faulturm	4.051	4.051	0,19	0,19
	Schwimmdeckenzerstörer	9.226	9.226	0,43	0,43
	Schlammpresse	6.017	4.729	0,28	0,22
	Sonstige	2.982	2.982	0,14	0,14
6	Sonstiges	18.281	18.281	0,86	0,86
	Brauchwasser	11.671	11.671	0,55	0,55
	Regenwetterpumpe 1&2	601	601	0,02	0,71
	Heizungsanlage	4.022	4.022	0,19	0,19
	Dosieranlage	1.987	1.987	0,09	0,09
1 - 6	Gesamtbedarf	488.764	414.508	22,99	19,50

8 Literatur

1. DWA-ARBEITSGRUPPE KEK-10.3. *Energiecheck und Energieanalyse. Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen.* Dezember 2015. Hennef: DWA, 2015. DWA-Regelwerk. A 216. ISBN 9783887212766.
2. BAUMANN, P., P. MAURER und M. ROTH, Hg. *Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen. Systematisches Vorgehen zur Steigerung der Energieeffizienz durch Nutzung des Einsparpotenzials.* 3. Auflage. Stuttgart: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall e.V. Landesverband Baden-Württemberg, Februar 2014. Praxisleitfaden DWA. Heft 4. ISBN 9783940173478.
3. DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL. *Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen.* Juni 2016. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall, 2016. DWA-Arbeitsblatt. A 131. ISBN 9783887213329.