



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



Potenzialstudie

Kläranlage Selters

Verbandsgemeindewerke Selters

Auftraggeber : Verbandsgemeindewerke Selters
Am Saynbach 5 - 7
56242 Selters

Datum : 21.12.2019

Projekt-Nr. : 19 064

INHALTSVERZEICHNIS

Kurzfassung.....	4
1. Vorbemerkung	5
2. Bestandsaufnahme	5
2.1 Aufnahme der Bestandssituation der Kläranlage.....	5
2.1.1 Angeschlossene Einwohnerwerte und Alter der Anlage	6
2.1.2 Kurzdarstellung des Reinigungsverfahrens	7
2.1.3 Produzierte Faulgasmenge und Nutzung	11
2.1.4 Art der Schlammentsorgung.....	11
2.1.5 Anfallende und entsorgte Schlammengen.....	11
2.1.6 Grad der Automatisierung der Anlagen	12
2.1.7 Sanierungsbedarf von Bau-, Maschinen- und EMSR-Technik.....	12
2.1.8 Lokale Rahmenbedingungen	12
2.1.9 Darstellung aller Energieerzeugungsanlagen.....	14
2.2 Sensor-/Messtechnik und Kontrolle der Abwasserqualität.....	15
2.3 Personalsituation	17
2.3.1 Weiterbildungsbedarf	17
2.3.2 Darstellung der Qualität der Betriebsführung der Anlage	17
2.3.3 Teilnahme an Benchmarks der Verbände	17
2.3.4 Relevanz und Knowhow zum Energieverbrauch	18
2.4 Beabsichtigte Planungen.....	18
2.5 Analyse des Energieverbrauchs.....	19
2.5.1 Aufnahme aller wichtigen Energieverbraucher (geordnet nach Anlagenteilen).....	19
2.5.2 Ermittlung des gesamten Stromverbrauchs sowie einzelner großer Verbrauchsdaten.....	21

2.5.3	Wärmebedarf auf der Anlage	24
2.6	Ableitung einer Energie- und Treibhausgasbilanz	24
2.7	Zusammenfassung aktuelle energetische Situation.....	25
2.8	Bewertung anhand energetischer Beurteilungskriterien und Ermittlung spezifischer Kennzahlen	26
2.8.1	Idealwertbestimmung nach DWA-A 216.....	26
2.9	Gegenüberstellung von verbrauchter und erzeugter Energie	28
2.9.1	Eigenversorgungsgrad Strom.....	29
2.9.2	Eigenversorgungsgrad Wärme.....	29
3.	Potenzialanalyse	30
3.1	Ermittlung der kurz-, mittel- und langfristigen Energieeffizienzpotenziale	30
3.1.1	Identifizierung von Ansatzpunkten.....	30
3.1.2	Ansätze zur Nutzung Erneuerbarer Energie	32
3.1.3	Ermittlung von Klimaschutzpotenzialen durch Digitalisierung und Energiemanagementsysteme.....	32
3.2	Definition von kurz-, mittel- und langfristigen Einspar- und Versorgungszielen	33
3.3	Entwicklung einer Strategie zur Umsetzung dieser Ziele	33
4.	Ableitung von Optimierungsmaßnahmen und Fahrplan zur Umsetzung.....	34
4.1	Retrospektive – Zusammenstellung bereits umgesetzter Maßnahmen.....	34
4.2	Detaillierte Beschreibung möglicher Energieeinspar- und Energieeffizienzmaßnahmen, von Maßnahmen zur klimafreundlichen Betriebsoptimierung und zur effizienten und klimaschonenden Energieerzeugung	35
4.2.1	Erneuerung der Belüftung	35
4.2.2	Erneuerung des Zulaufpumpwerkes.....	36

4.2.3	Erneuerung des Rücklaufschlammumpwerkes.....	36
4.2.4	Implementierung eines Energiemanagements	36
4.2.5	Optimierung der Klärschlammverwertung im Verbund	37
4.2.6	Nutzung der restlichen bestehenden PV-Module zur Eigenbedarfsdeckung	38
4.2.7	Errichtung einer Batterie	38
4.3	Umsetzungsfahrplan (Priorisierung/Zeitplanung/Akteure).....	39
4.4	Entwicklung geeigneter Indikatoren für die Erfolgskontrolle der Maßnahmen.....	39
4.5	Vorplanung der kurzfristig und mittelfristig umsetzbaren Maßnahmen.....	40
4.6	Prüfung der Sicherstellung der Mindestziele	42
4.6.1	Deckungsquote des Energiebedarfs für Strom und Wärme.....	42
4.6.2	Spezifischer jährlicher Strombedarf der gesamten Anlage (inkl. lokal umgewandelter Energie)	43

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Zusammenstellung der wichtigsten Energieverbraucher	19
Tab. 2: Zusammenstellung Stromverbräuche (Jahr 2018).....	21
Tab. 3: Zusammenstellung spezifischer Stromverbräuche und Idealwerte (Betriebsjahr 2018)	26
Tab. 4: Gegenüberstellung Stromverbrauch und Stromerzeugung (Jahr 2018).....	28
Tab. 5: Investitionskosten Erneuerung der Belüftung	40
Tab. 6: Investitionskosten Erneuerung der Pumpwerke	41
Tab. 7: Deckungsquote des Eigenenergiebedarfs aus erneuerbaren Energien.....	42

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Karte Kläranlage Selters	5
Abb. 2: Luftbild Kläranlage Selters	6
Abb. 3: Zwischenpumpwerk	7
Abb. 4: Langsand- und Fettfang	7
Abb. 5: Vorklärbecken.....	8
Abb. 6: Belebungsbecken	8
Abb. 7: Nachklärbecken	8
Abb. 8: Rohschlammbehälter	8
Abb. 9: Mechanische Schlammeindickung	9
Abb. 10: Kompaktfaulung mit Technikgebäude	9
Abb. 11: Doppel-Membran-Gasspeicher	9
Abb. 12: Schneckenpresse	9
Abb. 13: Verfahrensschema KA Selters	10
Abb. 14: Schaubild Zentralisierung der Abwasser-Klärschlammbehandlung auf der KA Selters	13
Abb. 15: Gegenüberstellung Energiegewinnung/Energieverbrauch	14
Abb. 16: Zusammenstellung der Energieverbräuche der Aggregate (Jahr 2018)	23
Abb. 17: Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie (DWA A-216).....	29
Abb. 18: Spezifischer Gesamtstromverbrauch in Abhängigkeit vom Reinigungsverfahren (DWA A-216)	30
Abb. 19: Retrospektive Strom- und Gasbezug	34
Abb. 20: Zeitplan der kurzfristigen Maßnahmen.....	39

Kurzfassung

Die Kläranlage Selters (Rheinland-Pfalz) mit einer Ausbaugröße von 11.500 EW wird nach der Verfahrensführung der anaeroben Schlammstabilisierung betrieben. Die Kläranlage Selters dient als Zentralkläranlage eines Konzeptes zur Klärschlammbehandlung und -verwertung im Verbund, so dass die Ausbaugröße des Schlammweges mit 34.700 EW deutlich größer ist.

Der Stromverbrauch im Jahr 2018 betrug 487.918 kWh. Davon wurden 305.423 kWh auf der Anlage erzeugt. Der Deckungsgrad beträgt demnach rd. 63 %.

Bei der aktuellen mittleren Belastung mit 10.655 EW berechnet sich der spezifische Energieverbrauch zu **45,79 kWh/(EW·a)**. Der spezifische Fremdstrombezug jedoch nur zu **17,6 kWh/(EW·a)**.

Es wird beabsichtigt Förderanträge für folgende Förderschwerpunkte zu stellen:

- Erneuerung der Belüftungseinrichtung
- Erneuerung von Pumpen und Motoren
- Energiemanagementsysteme
- Klärschlammbehandlung im Verbund

Zur energetischen Optimierung und Steigerung des Deckungsgrades sollen folgende Maßnahmen umgesetzt und Fördermittel beantragt werden:

Maßnahme	Einsparung/Erzeugung	Investitionskosten und Zeitpunkt der Fördermittelbeantragung
Erneuerung der Belüftungseinrichtung	61.902 kWh _{el} /a	419.000,00 € (3. Quartal 2020)
Erneuerung von Pumpen und Motoren	7.989 kWh _{el} /a	239.000,00 € (3. Quartal 2020)
Implementierung eines Energiemanagements		35.000,00 € (2. Quartal 2021)
Klärschlammbehandlung im Verbund		692.000,00 € (2. Quartal 2021)

Nach Umsetzung dieser Maßnahmen entspricht der spezifische Energieverbrauch **39,2 kWh/(EW·a)**. Aufgrund des eigen erzeugten Stroms reduziert sich der Fremdstrombezug nach Umsetzung der kurzfristigen Maßnahmen auf nur noch **10,57 kWh/(EW·a)**, woraus sich ein Deckungsgrad von **73%_{el}** ergibt.

Ergänzend werden noch weitere mittel- und langfristige Maßnahmen zur energetischen Optimierung und Steigerung der Eigenstromerzeugung vorgesehen.

Nach Umsetzung aller Maßnahmen entspricht der spezifische Energiebedarf **39,2 kWh/(EW·a)**. Aufgrund der gesteigerten Eigenstromerzeugung kann die Kläranlage bilanziell den Eigenbedarf vollständig selbst bedienen, woraus sich ein Deckungsgrad von **100%** ergibt.

1. Vorbemerkung

Als Ziel wird in der *Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld* die Minderung von Treibhausgasemissionen formuliert. Durch investive Maßnahmen soll u. a. die Energieeffizienz von Abwasserbehandlungsanlagen deutlich gesteigert und durch lokale Erzeugung die Deckung des eigenen Energiebedarfs dieser Anlagen angehoben werden. Als Fördervoraussetzung investiver Maßnahmen wird deren Notwendigkeit hinsichtlich der Erreichung der im Folgenden genannten Ziele definiert, die im Rahmen einer Potenzialstudie zu erörtern sind. Es gelten folgende Mindestziele:

- 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)

Die Gliederung dieser Potenzialstudie bzw. deren inhaltliche Ausgestaltung basiert auf den konkreten Vorgaben gemäß Vorhabensbeschreibung für den Förderschwerpunkt *2.6.2 Potenzialstudie Abwasserbehandlungsanlage (PTJ, Version: 12/2019)*. Ergänzend wurden konkretisierende Vorgaben des *Hinweisblatts für strategische Förderschwerpunkte (Stand: 7. März 2019)* berücksichtigt.

2. Bestandsaufnahme

2.1 Aufnahme der Bestandssituation der Kläranlage

Die Kläranlage Selters ist eine Kläranlage der Verbandsgemeinde Selters in Rheinland-Pfalz. Die Kläranlage ist an der Landesstraße 304 zwischen Selters und Ellenhausen gelegen.



Abb. 1: Karte Kläranlage Selters



Abb. 2: Luftbild Kläranlage Selters

2.1.1 Angeschlossene Einwohnerwerte und Alter der Anlage

Objekt	:	Kläranlage Selters
Baujahr/Inbetriebnahme	:	1995
Ausbaugröße	:	11.500 EW ¹
aktuelle Belastung ²	:	10.655 EW

Die Kläranlage Selters wurde im Jahre 1995 mit einer Ausbaugröße von 8.500 EW errichtet. Zur Aufnahme von weiteren Abwässern, die bis zu diesem Zeitpunkt in Teichkläranlagen gereinigt wurden, wurde die Kläranlage Selters im Jahr 2013 auf eine Ausbaugröße von 11.500 EW auf dem Abwasserweg erweitert und zeitgleich das Verfahren auf eine anaerobe Schlammstabilisierung umgestellt. Seitdem dient die Anlage als semi-zentrales Klärschlammbehandlungszentrum. Von 4 weiteren Kläranlagen wird Klärschlamm zur Kläranlage Selters gebracht und vor Ort einer Kompaktfaulung zugeführt und anschließend entwässert. Die nominale Ausbaugröße auf dem Schlammweg beträgt 34.700 EW.

¹ nur Abwasserweg (Schlammweg 34.700 EW)

² bezogen auf 120 g CSB/(EW · d), Jahr 2018

2.1.2 Kurzdarstellung des Reinigungsverfahrens

Das anfallende Abwasser wird nach einem möglichen Abschlag in das Regenüberlaufbecken (475 m^3) der Kläranlage und der Zulaufmengenmessung zunächst durch ein Zulaufpumpwerk (2 St. Schneckenpumpen, $\varnothing 700 \text{ mm}$, je $67,5 \text{ l/s}$) auf Kläranalgeniveau gehoben. Die Messung der Zulaufmenge erfolgt durch eine magnetisch induktive Durchflussmessung (MID). Anschließend wird der Abwasserstrom durch einen Filterbandrechen (Fa. FSM Frankenberg, Baujahr 2013) mit integrierter Rechengutwaschpresse geleitet und mechanisch vorgereinigt. Das Rechengut wird dadurch von organischen Bestandteilen getrennt und kompaktiert.

Im nachfolgenden Langsand- und Fettfang ($L = 17,2 \text{ m}$) erfolgt die Abscheidung mineralischer Abwasserinhaltsstoffe sowie die Flotation von Fetten. Der abgeschiedene Sand wird anschließend durch den im Rechengebäude aufgestellten Sandwäscher (Fa. FSM Frankenger, Baujahr 2018) aufbereitet.



Abb. 3: Zwischenpumpwerk



Abb. 4: Langsand- und Fettfang

Über ein Zwischenpumpwerk wird das Abwasser erneut auf Geländeniveau angehoben (2 St. Schneckenpumpen, $\varnothing 700 \text{ mm}$, je $67,5 \text{ l/s}$). Anschließend wird in einem Vorklärbecken durch Sedimentation energiereicher Primärschlamm gewonnen ($d_i = 12 \text{ m}$, mittlere Wassertiefe = $2,3 \text{ m}$, 260 m^3). Der abgesetzte Schlamm wird mit Hilfe eines zentral angetriebenen Schildräumers in den Schlammtrichter gefördert. Das nachgeschaltet Primärschlammumpwerk setzt sich aus zwei Exzentrerschneckenpumpen und einem vorgeschalteten Macerator zusammen und fördert den Schlamm in den Rohschlammbehälter ($d_i = 5 \text{ m}$, $H_{\text{Füll}} = 3,5 \text{ m}$, $V_{\text{Nutz}} = 68 \text{ m}^3$).

Im als Rundbecken ausgeführten Belebungsbecken ($d_i = 28 \text{ m}$, mittlere Wassertiefe = $4,6 \text{ m}$, $V_{\text{Nutz}} = 2.830 \text{ m}^3$) erfolgt die biologische Abwasserbehandlung. Die Belüftung erfolgt durch insg. 225 lfdm. Schlitzschlauchbelüfter (Fa. Ott), die an zwei Brückenarmen der sternförmigen Brücke angeordnet sind. Durch Tauchmotorrührwerke, am dritten Brückenarm, wird eine kontinuierliche Durchmischung des Belebungsbeckens erreicht. Beschickt werden die Schlauchbelüfter über 3 St. Drehkolbengebläse (2 + 1 Betrieb). Die Gebläse und Belüfter sind seit 1995 in Betrieb (Austausch Belüftermembranen vor rd. 5 Jahren).



Abb. 5: Vorklärbecken



Abb. 6: Belebungsbecken

Zur Abscheidung des Belebtschlamm vom gereinigten Abwasser ist ein rundes, horizontal durchflossenes Nachklärbecken ($d_i = 28 \text{ m}$, mittlere Wassertiefe = $3,9 \text{ m}$) mit trichterförmiger Sohle vorhanden. Die gereinigte Klarphase fließt über ein nachgeschaltetes Ablaufmessbauwerk in den Vorfluter, den Saynbach. Die Mengenmessung erfolgt durch eine magnetisch induktive Mengenmessung (MID).



Abb. 7: Nachklärbecken



Abb. 8: Rohschlammbehälter

Die Rücklaufschlammförderung aus dem Nachklärbeckentrichter in das Belebungsbecken erfolgt mittels Schneckenentropumpen ($\varnothing 800 \text{ mm}$, 121 l/s). Der Abzug von Überschussschlamm erfolgt durch die Dünnschlammpumpe der Überschussschlammeindickung.

Der Überschussschlamm wird über einen Scheibeneindicker (Fabrikat Huber) maschinell voreingedickt und dem Rohschlammbehälter zugeführt. Die Annahme der Fremdschlämme anderer Kläranlagen erfolgt ebenfalls in den Rohschlammbehälter. Der Inhalt des Rohschlammbehälters wird kontrolliert dem Kompaktfaulbehälter ($V_{\text{Behälter1}} = 500 \text{ m}^3$, $V_{\text{Behälter2}} = 470 \text{ m}^3$) zugegeben und ausgefault. Dabei wird Faulgas erzeugt.



Abb. 9: Mechanische Schlammmeind-ckung



Abb. 10: Kompaktfaulung mit Technikgebäude

Der ausgefaulte Schlamm wird anschließend durch eine Schneckenpresse (Fa. Huber) entwässert, in eine Lagerhalle ($V_{\text{Nutz}} = \text{rd. } 900 \text{ m}^3$) abgeworfen und bis zur weiteren landwirtschaftlichen Verwertung zwischengelagert.



Abb. 11: Doppel-Membran-Gasspeicher



Abb. 12: Schneckenpresse

Die Temperatur innerhalb der Faulbehälter wird durch eine Schlammumwälzung (2 St. Kreispumpen) mit einem Schlammwärmetauscher eingestellt. Das Faulgas wird in einem Blockheizkraftwerk ($P_{\text{el}} = 50 \text{ kW}$, Fa. Schmitt Enertec) zur Eigenstrom- und Wärmeerzeugung genutzt. Als Faulgaspuffer dient ein Doppel-Membran-Gasspeicher ($V_{\text{Nutz}} = 270 \text{ m}^3$, $P_{\text{Betr}} = 50 \text{ mbar}$).

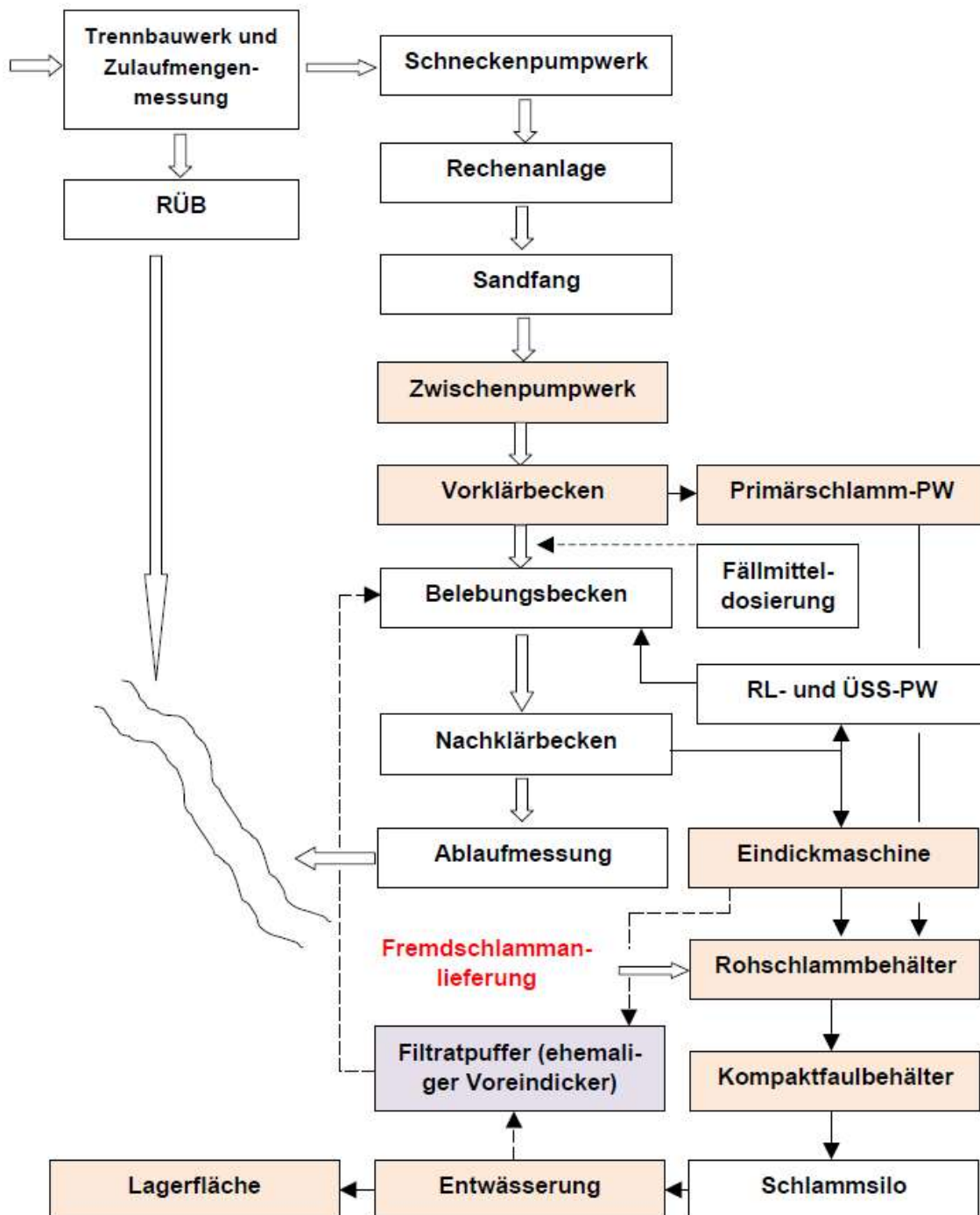
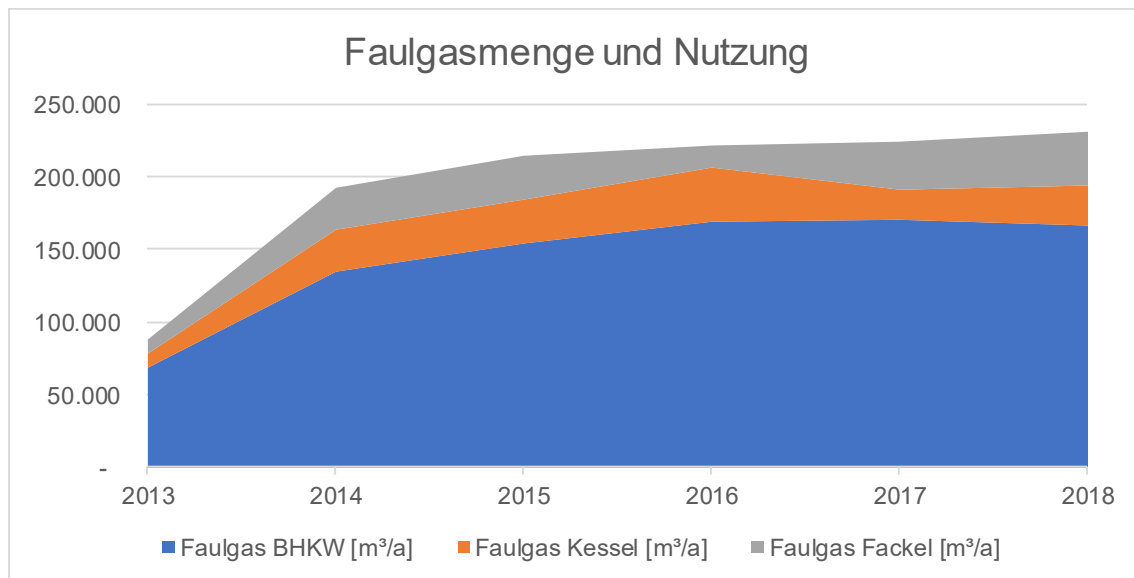


Abb. 13: Verfahrensschema KA Selters

2.1.3 Produzierte Faulgasmenge und Nutzung

Durch die Faulung des auf der Kläranlage Selters anfallenden Schlammes sowie der angelieferten Fremdschlämme wird Faulgas auf der Kläranlage gewonnen. Im Jahr 2018 231.312 m³.



Der Mittlere Methangehaltes des Faulgases betrug in den Jahren 2016 bis 2018 rd. 63 %.

Das Faulgas wird von dem Blockheizkraftwerk zur Strom- und Wärmeproduktion genutzt. Teils wurde es bei gesteigertem Wärmebedarf auch zur Feuerung des Heizkessels verwendet. Wenn die anfallende Faulgasmenge nicht vollständig verarbeitet werden kann, werden Teilmengen durch Einsatz der Fackel abgebrannt.

$$E_{Br,Fg} = 231.312 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 63 \%_{\text{Methan}} \cdot 10 \text{ kWh/m}^3 = 1.457.266 \text{ kWh/a}$$

2.1.4 Art der Schlammentsorgung

Der anfallende Klärschlamm wird entwässert und derzeit bodenbezogen verwertet. Langfristig ist eine thermische Verwertung des entwässerten Klärschlammes vorgesehen.

2.1.5 Anfallende und entsorgte Schlammengen

Auf der Kläranlage Selters wird neben dem auf der Anlage anfallenden Klärschlamm, weiterer Schlamm von Satellitanlagen in der Faulung stabilisiert und anschließend entwässert. Der entwässerte Klärschlamm wird landwirtschaftlich verwertet.

Insgesamt wurde im Jahr 2018 rd. 441,8 Mg TM bzw. rd. 2.103,9 Mg OS (TR = 21 %) zur landwirtschaftlichen Verwertung weitergegeben. Ca. 152 Mg TM können dabei der Kläranlage Selters zugeordnet werden.

2.1.6 Grad der Automatisierung der Anlagen

Durch implementierte Mess- und Regeltechnik (vgl. Kap. 2.2) erfolgt die Regelung der meisten Aggregate automatisiert und an z. B. die Zulaufmenge angepasst.

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

Aufgrund der bisherigen Nutzungsdauer ist bei einigen Aggregaten ein Erneuerungs- und Optimierungsbedarf gegeben. Im Folgenden sind die sanierungsbedürftigen Verfahrensstufen, mit energetischem Optimierungspotenzialen, aufgeführt:

- a) Zulaufpumpwerk (Überprüfung durch Fa. Spaans 08/2019)
- b) Rücklaufschlammumpwerk (Überprüfung durch Fa. Spaans 08/2019)
- c) ggf. Erneuerung der Gebläse (Nutzungsdauer)

Ergänzend sind weitere Maßnahmen zur Optimierung der Anlage vorgesehen:

- a) Austausch der Schneckenpresse zur Schlamm entwässerung durch Aggregat mit größerem Durchsatz
- b) zentrale Filtratwasserbehandlung auf der KA Selters
- c) Erweiterung Rohschlammbehälter
- d) Schaffung weiterer Schlamm lagerfläche

2.1.8 Lokale Rahmenbedingungen

Das Einzugsgebiet der Kläranlage umfasst die überwiegend im Mischsystem entwässerten Gemeinden Selters, Maxsain, Goddert, Rückeroth, Nordhofen, Krümmel, Ellenhausen, sowie seit 2011 Ewighausen, Weidenhahn und seit 2013, Vielbach, Quimbach und Helferskirchen.

Die Kläranlage Selters besitzt als semizentrales Klärschlammbehandlungszentrum Pilotcharakter und eine Vorbildfunktion. Auf der Kläranlage wird Abwasser von lediglich 11.500 EW, aber Schlamm von 34.700 EW behandelt. Dazu wird Klärschlamm von der KA Wienau (Zweckverband Abwassergruppe Holzbach), KA Herschbach (VG Selters) und den Kläranlagen Isenburg und Maischeid der VG Dierdorf, zur Kläranlage Selters transportiert, im Faulbehälter stabilisiert und anschließend entwässert.

Aktuell befindet sich der Anschluss der Kläranlage Hartenfels an die Kläranlage Selters in Planung. Diese verfügt über eine angeschlossene Belastung von rd. 2.000 EW.

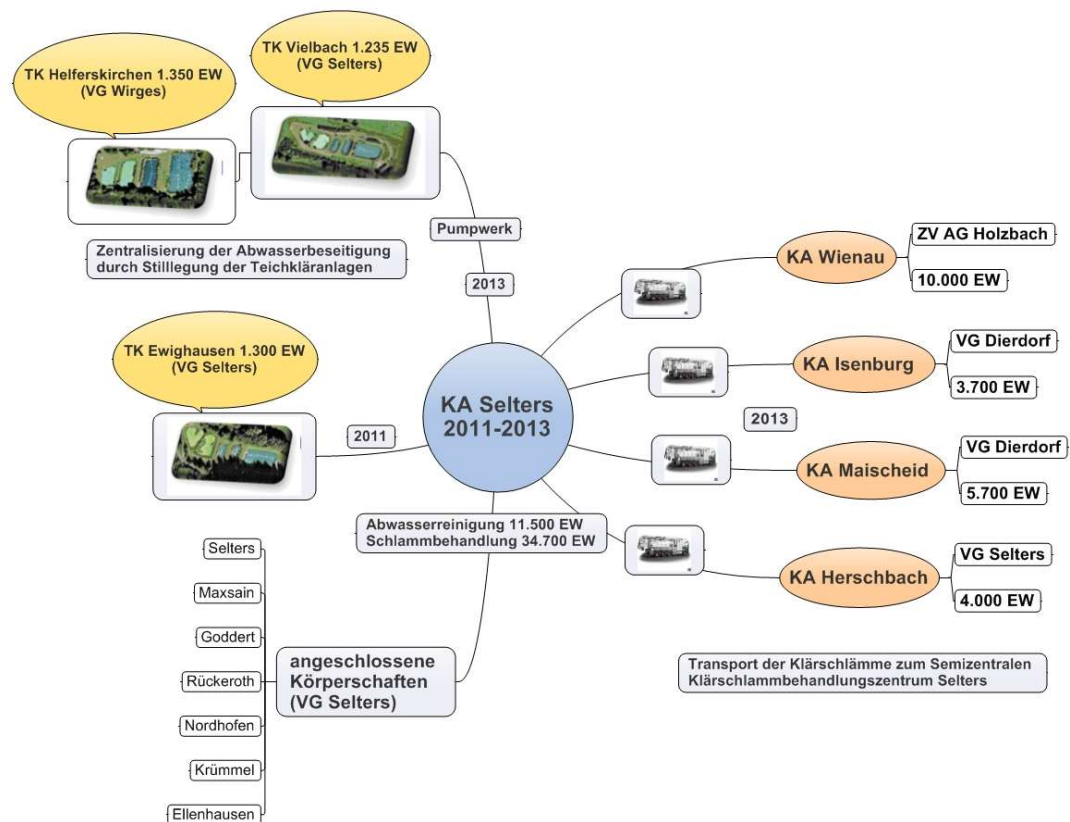


Abb. 14: Schaubild Zentralisierung der Abwasser-Klärschlammbehandlung auf der KA Selters

Aufgrund der großen Fremdschlammmengen fällt auf der KA Selters eine nicht zur Abwassermenge passende Faulgasmenge an und kann vor Ort verstromt werden. Die KA Selters weist dadurch einen hohen Eigenversorgungsgrad auf.

2.1.9 Darstellung aller Energieerzeugungsanlagen

Auf der Anlage sind auf günstig ausgerichteten Dachflächen bereits PV-Module installiert. Insgesamt beträgt die installierte Leistung 77,76 kWp (31,68 kWp Betriebsgebäude, 46,08 kWp). Der erzeugte Strom wird vollständig in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Entsprechend sind diese Anlagen Volleinspeiser und tragen nicht zur Eigenbedarfsdeckung bei.

Zur Nutzung des Faulgases ist ein BHKW mit einer Nennleistung von rd. 75 kW_{el} auf der Kläranlage vorhanden. Aus wirtschaftlichen Gründen³ ist dieses jedoch auf eine Nennleistung von 50 kW_{th} und rd. 80 kW_{el} gedrosselt.

Zur weiteren Wärmebereitstellung ist ein Heizkessel verbaut, der mit einem Zweistoffbrenner ausgerüstet ist, wodurch sowohl Faulgas wie auch Erdgas, genutzt werden können.

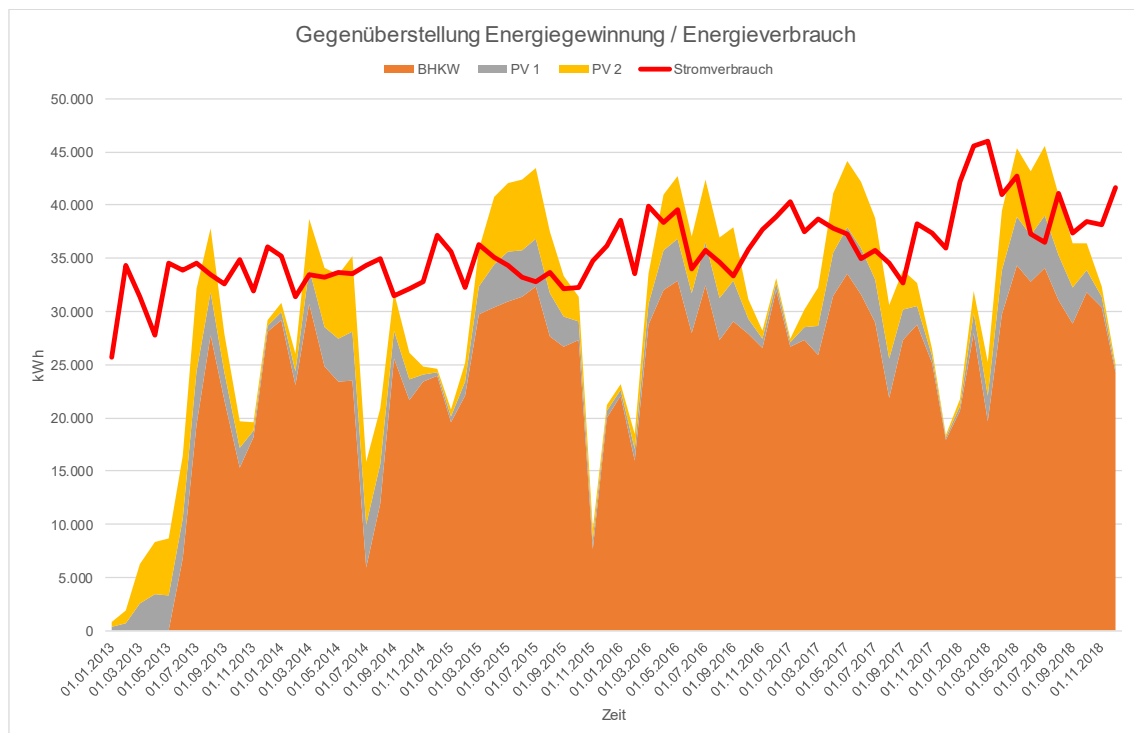


Abb. 15: Gegenüberstellung Energiegewinnung/Energieverbrauch

³ EEG-Förderung

2.2 Sensor-/Messtechnik und Kontrolle der Abwasserqualität

Im Prozessleitsystem der Kläranlage werden folgende Parameter erfasst:

Trennbauwerk:

- Durchflussmengenmessung MID, Zulauf Kläranlage
- Schwimmerschalter, Überflutung Zulaufschacht
- Schwimmerschalter, Überflutung Messschacht

Regenüberlaufbecken:

- Höhenstandsmessung

Pumpstation Krümmel:

- Höhenstandsmessung

Zulaufpumpwerk

- Höhenstandsmessung

Sandfang

- pH-Messung
- Temperaturmessung

Zwischenpumpwerk

- Höhenstandsmessung

Belebungsbecken

- O₂
- NH₄
- NO₃
- Ortho-Phosphat
- Temperatur

Ablaufbauwerk

- Durchflussmengenmessung MID, Ablauf Kläranlage
- Schwimmerschalter, Überflutung Messschacht
- Leitfähigkeit
- pH
- Temperatur
- Trübung

Gebläsestation

- Überflutungsmeldung

Schlammstilo

- Höhenstandsmessung

Filtratwasserpufferbehälter

- Höhenstandsmessung

Überschussschlammumpwerk / Schlammeindickung (Scheibeneindicker)

- Fördermenge Dickschlamm zum Rohschlammbehälter, MID
- Fördermenge Faulschlamm zur Entwässerung, MID
- Überflutungsmeldung

Primärschlammumpwerk

- Fördermenge PS-Schlamm zum Rohschlammbehälter, MID
- TS-Gehalt Primärschlamm
- Überflutungsmeldung

Rohschlammbehälter

- Höhenstandsmessung
- Durchfluss Fremdschlammannahme, MID

Faulbehälteranlage

- Fördermenge Rohschlamm in Faulbehälter
- Überflutungsmeldung Schlammmentwässerung
- Temperatur FB 1
- Temperatur FB 2
- Grenzstand FB 1
- Grenzstand FB 2
- Füllstand Gasspeicher
- Gasmengenmessung (Erzeugung)
- Grenzstand Kondensatsammelpf min. und max.

2.3 Personalsituation

Die Kläranlage wird von insgesamt 5 Mitarbeitern betrieben, die aber zusätzlich noch weitere Aufgaben der Abwasserwerke ausführen. Diese haben folgende Qualifikation:

- 1 Abwassermeister
- 1 Elektromeister / SPS-Techniker
- 1 Ver- und Entsorger
- 2 Fachkräfte für Abwassertechnik

Die übergeordnete Betriebsführung erfolgt durch die Verbandsgemeindewerke Selters über den zuständigen Werkleiter, Herrn Linder (Dipl. Verwaltungswirt (FH), Verwaltungs- und Betriebswirt (VWA)) sowie den stellvertretenden Werkleiter Hr. Reifenberg (Dipl.-Bauingenieur (FH), Dipl.-Betriebswirt (VWA), Zertifizierter Kanalsanierungsberater).

2.3.1 Weiterbildungsbedarf

Das Personal nimmt regelmäßig an Schulungsveranstaltungen sowie den Treffen der Kläranlagennachbarschaften teil. Durch kontinuierliche Weiterbildungen verfügt das Personal über eine hohe Qualifikation. Weiterhin ist die Fortbildung einer Fachkraft für Abwassertechnik zum Abwassermeister angedacht.

2.3.2 Darstellung der Qualität der Betriebsführung der Anlage

Mit Verweis auf die unmittelbar vor- und nachstehenden Kapitel ist eine hohe Qualität der Betriebsführung der Anlage festzustellen. Besonders hervorzuheben ist eine hohe Affinität des Betriebspersonals zu den Themen Strom und Energieeffizienz.

2.3.3 Teilnahme an Benchmarks der Verbände

Die Verbandsgemeindewerke Selters nehmen regelmäßig am Benchmarking *Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz* teil; zuletzt 2013 und 2016. Die Teilnahme ist ein Beleg für die besonderen Anstrengungen der Werke zur Steigerung seiner technischen und wirtschaftlichen Leistungen.

Weiterhin sind die VG-Werke Mitglied in folgenden Organisationen:

- Landesverband der Gas- und Wasserwirtschaft RLP e.V. Mainz
- Gemeinde- und Städtebund RLP
- Gesetzlicher Klärschlammfonds bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Frankfurt/Main
- DWA, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef
- Fachbeirat Kommunale Unternehmen RLP

2.3.4 Relevanz und Knowhow zum Energieverbrauch

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus Schulungen und im Rahmen des Benchmarking-Prozesses gesammelter Erfahrungen haben die Verbandsgemeindewerke den Beschluss zur Umsetzung weitergehender energetischer Optimierungsmaßnahmen getroffen.

Die Reduzierung des Energieverbrauchs und die Stromerzeugung durch Nutzung erneuerbarer Energien nimmt bereits seit vielen Jahren einen hohen Stellenwert ein. So dient die Kläranlage Selters seit dem Jahr 2013 als semizentrales Klärschlammbehandlungszentrum. Fremdschlämme umliegender Kläranlagen werden im Faulturm stabilisiert und Faulgas gewonnen. An der Kooperation sind insgesamt 4 Verbandsgemeinden beteiligt. Die Kläranlage kann als gelungenes Beispiel für eine interkommunale Klärschlammverwertung im Verbund angesehen werden.

Durch das speziell im Bereich Elektrotechnik geschulte Personal ist diesbezüglich viel Knowhow vorhanden.

2.4 Beabsichtigte Planungen

Zur energetischen Optimierung der Anlage sollen im Rahmen der Kommunalrichtlinie folgende Einzelmaßnahmen umgesetzt und entsprechende Fördergelder beantragt werden:

- Erneuerung der Belüftungseinrichtung
- Erneuerung von Pumpen und Motoren
- Klärschlammverwertung im Verbund
- Implementierung eines Energiemanagementsystems

2.5 Analyse des Energieverbrauchs

2.5.1 Aufnahme aller wichtigen Energieverbraucher (geordnet nach Anlagenteilen)

Die wichtigsten Energieverbraucher der Kläranlage sind in der nachfolgenden Tabelle – geordnet nach Anlagenteilen – zusammengestellt:

Tab. 1: Zusammenstellung der wichtigsten Energieverbraucher

Anlagenstufe	Aggregat	Nennleistung [kW]
Trennbauwerk	Lamellenfeinsiebrechen	0,63
Zulaufpumpwerk	Zulaufpumpe 1	4,2
	Zulaufpumpe 2	4,2
Mechanische Vorreinigung	Filterbandrechen	2,2
	Rechengutwaschpresse	1,5
	Sandwaschanlage	1,5
	Sandfangräumer mit Fettfang	1,5
	Sandfanggebläse 1	2,2
	Sandfanggebläse 2	2,2
	Sandheber	4
Zwischenpumpwerk	Schneckenpumpe 1	2,2
	Fettpumpe 1	0,045
	Schneckenpumpe 2	2,2
	Fettpumpe 2	0,045
Vorklärbecken	Räumerbrücke	0,25
	Primärschlammpumpe 1	5,5
	Primärschlammpumpe 2	5,5
	Macerator	4
Belebungsbecken	Tauchmotorrührwerk 1	0,75
	Tauchmotorrührwerk 2	0,75
	Gebälse 1	30
	Gebälse 2	30
	Gebälse 3	30
	Abluftventilator 1	0,165
	Abluftventilator 2	0,165
Nachklärbecken	Räumerbrücke	0,25
	Rücklaufschlammumpwerk	0,165
Fällmitteldosierung	Dosierpumpe 1	0,2
	Dosierpumpe 2	0,2
Rohschlammbehälter	Tauchmotorrührwerk	5,5
	Beschickungspumpe Faulung	4
Maschinelle Schlammeindickung	Dünnschlammpumpe MÜSE	5,5
	Presse	1,5
	Dickschlammpumpe MÜSE	3
	Scheibenantrieb	0,55

Anlagenstufe	Aggregat	Nennleistung [kW]
	Transportschnecke	1,1
	Reaktor-Rührwerk	0,18
	Polymerkonzentrat-Pumpe	0,37
	Polymer-Dosierpumpe	1,1
Faulbehälter	FS-Umwälzpumpe 1	5,5
	FS-Umwälzpumpe 2	5,5
	FB-Rührwerk 1	4
	FB-Rührwerk 2	4
Klärschlammmentwässerung	Rotamat-Pressen	3
	Kompressor	1,1
	Polymerkonzentrat-Pumpe	0,37
	Polymer-Dosierpumpe	0,75
	Ansatzbehälter Rührwerk	0,55
	Antrieb Förderband Rotamat	1,1
	Dünnschlammpumpe SEW	3
	Inlinemischer	0,18
Schlammsilo	Tauchmotorrührwerk	5
Filtratwasserspeicher	Filtratwasserpumpe	3,1
	Filtratwasser-Dosierpumpe	1,7
	Filtratwasserrührwerk	1,5
Regenwasserbehandlung	RÜB-Rührwerk 1	1,5
	RÜB-Wirbeljet	3,1
	RÜB-Entleerungspumpe	3,1
Sonstiges	Stützluftgebläse (Gasspeicher)	2,2
	Brauchwasserpumpe	7,2

2.5.2 Ermittlung des gesamten Stromverbrauchs sowie einzelner großer Verbrauchsdaten

Der Gesamtstromverbrauch der Kläranlage Selters lag im Betriebsjahr 2018 bei **487.918 kWh/a⁴**. Dies entspricht einem spezifischen Stromverbrauch von ca. 45,79 kWh/(EW·a).

Der Verbrauch der einzelnen Anlagenteile wurde über die Nennleistungen der Aggregate, die durch das Prozessleitsystem aufgezeichneten Betriebsstunden und einen Faktor zur tatsächlichen Leistungsaufnahme errechnet.

$$E = P_{\text{Nenn}} \cdot t_{\text{Betrieb}} \cdot F_{\text{tatsächliche Leistungsaufnahme}}$$

Zur Plausibilisierung wurden die Faktoren der tatsächlichen Leistungsaufnahme aggregatspezifisch abgeschätzt und die Ergebnisse mit einzelnen Vor-Ort-Messungen der Unterverteilungen abgeglichen. Dabei wurde ebenfalls die Ansteuerung durch Frequenzumrichter, durch Reduktion der Faktoren berücksichtigt.

Der Verbrauch kann wie folgt auf die einzelnen Anlagenstufen aufgeteilt werden:

Tab. 2: Zusammenstellung Stromverbräuche (Jahr 2018)

Anlagenstufe	Aggregat	Faktor [%]	Stromverbrauch [kWh]
Trennbauwerk	Lamellenfeinsiebrechen	100	14
Zulaufpumpwerk	Zulaufpumpe 1	65	15.269
	Zulaufpumpe 2	65	15.265
Mechanische Vorreinigung	Filterbandrechen	85	5.402
	Rechengutwaschpresse	85	2.915
	Sandwaschanlage	85	3.164
	Sandfangräumer mit Fettfang	85	2.101
	Sandfanggebläse 1	100	9.598
	Sandfanggebläse 2	100	9.562
	Sandheber	100	6.685
Zwischenpumpwerk	Schneckenpumpe 1	65	5.778
	Fettpumpe 1	100	182
	Schneckenpumpe 2	65	5.786
	Fettpumpe 2	100	182
Vorklärbecken	Räumerbrücke	100	2.190
	Primärschlammpumpe 1	100	391
	Primärschlammpumpe 2	100	391
	Macerator	100	522
Belebungsbecken	Tauchmotorrührwerk 1	100	17.520
	Tauchmotorrührwerk 2	100	0
	Gebälse 1	70	58.754
	Gebälse 2	70	58.266

⁴ Wert aus Abrechnung

Anlagenstufe	Aggregat	Faktor [%]	Stromverbrauch [kWh]
	Gebälse 3	70	58.762
	Abluftventilator 1	100	162
	Abluftventilator 2	100	162
Nachklärbecken	Räumerbrücke	100	2.190
	Rücklaufschlammumpwerk	65	9.395
Fällmitteldosierung	Dosierpumpe 1	100	0
	Dosierpumpe 2	100	1.458
Rohschlammbehälter	Tauchmotorrührwerk	80	16.589
	Beschickungspumpe Faulung	85	1.772
Maschinelle Schlammeindickung	Dünnschlammpumpe MÜSE	30	2.672
	Presse	50	4.542
	Dickschlammpumpe MÜSE	50	1.140
	Scheibenantrieb	50	463
	Transportschnecke	50	891
	Reaktor-Rührwerk	50	146
	Polymerkonzentrat-Pumpe	100	8
	Polymer-Dosierpumpe	50	902
Faulbehälter	FS-Umwälzpumpe 1	55	11.292
	FS-Umwälzpumpe 2	55	13.572
	FB-Rührwerk 1	60	15.023
	FB-Rührwerk 2	60	19.379
Klärschlammmentwässerung	Rotamat-Pressen	40	8.425
	Kompressor	100	0
	Polymerkonzentrat-Pumpe	100	8
	Polymer-Dosierpumpe	55	668
	Ansatzbehälter Rührwerk	85	405
	Antrieb Förderband Rotamat	100	6.672
	Dünnschlammpumpe SEW	50	8.629
	Inlinemischer	85	880
Schlammstilo	Tauchmotorrührwerk	100	1.885
Filtratwasserspeicher	Filtratwasserpumpe	100	192
	Filtratwasser-Dosierpumpe	100	1.226
	Filtratwasserrührwerk	100	7.523
Regenwasserbehandlung	RÜB-Rührwerk 1	100	216
	RÜB-Wirbeljet	100	447
	RÜB-Entleerungspumpe	100	1.164
Sonstiges	Stützluftgebläse (Gasspeicher)	100	17.305
	Brauchwasserpumpe	100	13.300
	Sonstiges	-	38.516 ⁵

⁵ Schätzung des Betriebspersonals (z. B. Versuchsanlage Filtratwasserbehandlung) zzgl. Differenz des berechneten Stromverbrauchs zu gemessenem Gesamtverbrauch

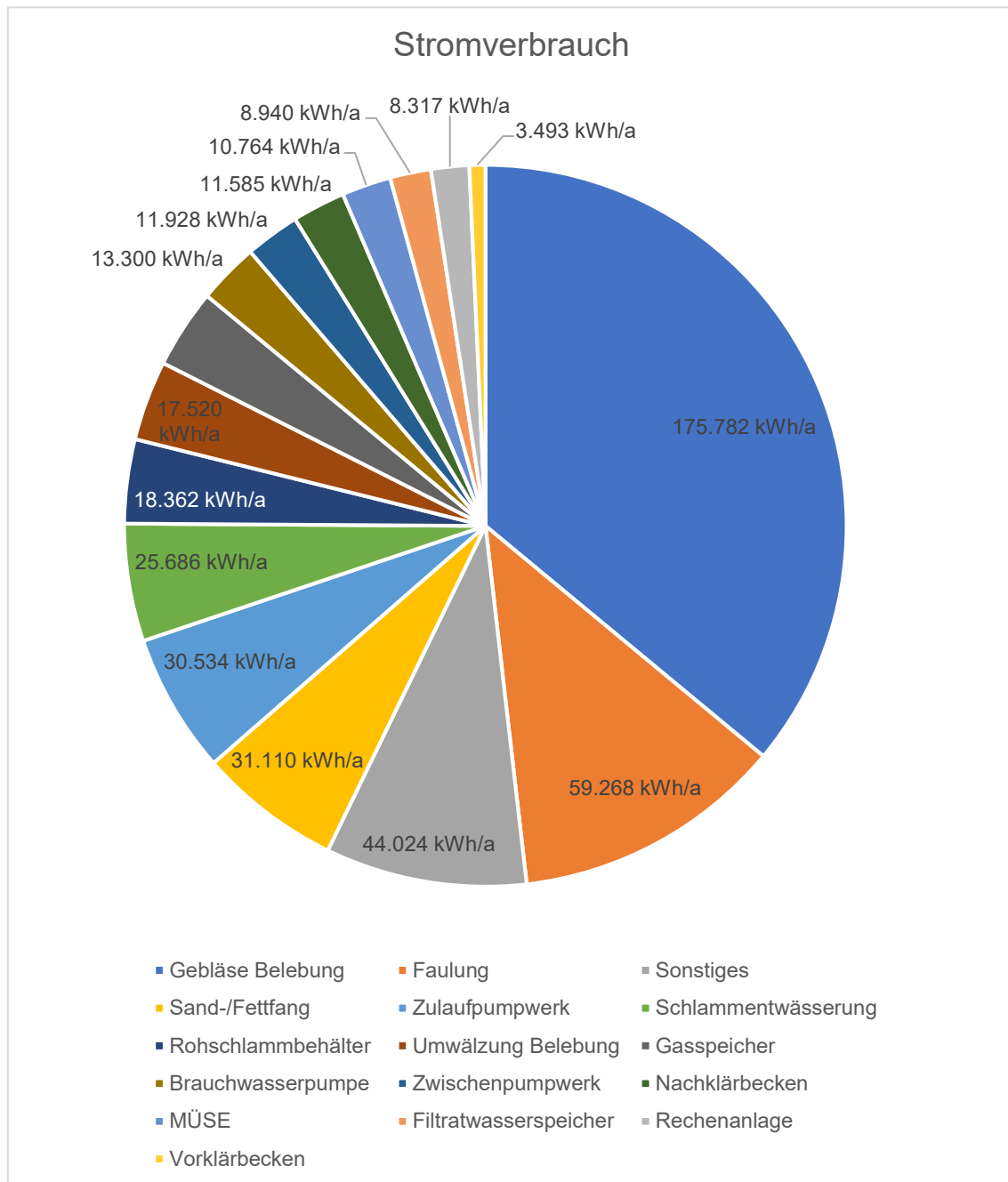


Abb. 16: Zusammenstellung der Energieverbräuche der Aggregate (Jahr 2018)

2.5.3 Wärmebedarf auf der Anlage

Die anaerobe Klärschlammstabilisierung auf der Kläranlage Selters erfolgt im mesophilen Temperaturbereich (rd. 35 - 39 °C). Dazu ist es notwendig, den Rohschlamm auf diese Temperatur zu erwärmen und ebenfalls die Abstrahlverluste des Faulbehälters an die kühlere Umgebung durch Beheizung auszugleichen. Zur Wärmeerzeugung wird dabei die Abwärme des Blockheizkraftwerkes im Sinne der Kraft-Wärme-Kopplung verwendet. Bei sehr großem Wärmebedarf, z. B. an sehr kalten Tagen, wird der Heizkessel zusätzlich in Betrieb genommen.

Die Beheizung der Betriebsgebäude erfolgt ebenfalls durch mit Warmwasser gespeiste Heizkörper. Im Rahmen der Planungen wurde der Wärmebedarf zur Beheizung der Gebäude auf rd. 15.000 kWh/a sowie zur Warmwasserbereitung auf rd. 2.150 kWh/a abgeschätzt.

Der Jahresverbrauch im Betriebsjahr 2018 betrug 612.835 kWh_{th}. Der tatsächliche Wärmebedarf der Anlage ist jedoch geringer, da ebenfalls die durch den Notkühler „vernichtete“ Wärme in dieser Menge enthalten ist. Anhand der häufigen Betriebszeiten des Notkühlers kann ein Wärmeüberschuss im Sommer abgeleitet werden. Entsprechend des Dimensionierungsansatzes ist ein tatsächlicher Wärmebedarf der Anlage von rd. 430.000 kWh/a zu erwarten.

2.6 Ableitung einer Energie- und Treibhausgasbilanz

Die Bilanzierung erfolgt nach dem Prinzip der „endenergiebasierten Territorialbilanz“⁶.

Hinweis: Als Emissionsfaktor wird gemäß der für die Beantragung investiver Maßnahmen seitens PTJ bereitgestellten Berechnungsformulare ein Wert von 0,537 kg CO₂/kWh (UBA, 2018) angenommen.

Die Abwasserbehandlungsanlage Selters bezog im Jahr 2018 ca. 187.059 kWh/a Strom. Demnach kann die CO₂-Emission, für diesen Fremdstrombezug, wie folgt berechnet werden:

$$187.059 \text{ kWh/a} \cdot 0,537 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 100,451 \text{ Mg CO}_2/\text{a}$$

Bei zu geringen Faulgasmengen kann vom Heizkessel Flüssiggas genutzt werden. Jedoch war dies im Jahre 2018 nicht notwendig, so dass keine weiteren Treibhausgase durch fossile Brennstoffe emittiert wurden.

⁶ Fokus Energie- und Treibhausgasbilanzierung für Kommunen, Service- und Kompetenzzentrum: Kommunaler Klimaschutz, im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), 2018

2.7 Zusammenfassung aktuelle energetische Situation

Die Kläranlage Selters weist einen spezifischen Stromverbrauch von **45,79 kWh/(EW·a)** auf. Die aktuelle Deckungsquote des Energiebedarfs für Strom und Wärme durch auf dem Grundstück umgewandelte erneuerbare Energie beträgt 83 %. Die elektrische Deckungsquote beträgt 62 %.

	Aktuell	Zielwert
Spezifischer Energiebedarf _{el}	17,6 kWh/(EW·a)	<= 23 kWh/(EW·a)
Deckungsquote	83 %	>= 70%

2.8 Bewertung anhand energetischer Beurteilungskriterien und Ermittlung spezifischer Kennzahlen

2.8.1 Idealwertbestimmung nach DWA-A 216

Gemäß dem Arbeitsblatt DWA A-216 sind folgend die spezifischen Stromverbräuche der Aggregate mit den anlagenspezifischen Idealwerten verglichen, um Optimierungspotenziale abzubilden. Zur Berechnung der Idealwerte wurden Kennzahlen des Arbeitsblattes DWA A-216 sowie die aus dem Prozessleitsystem ausgelesenen Betriebsdauern sowie weitere anlagenspezifische Randbedingungen genutzt.

Tab. 3: Zusammenstellung spezifischer Stromverbräuche und Idealwerte
(Betriebsjahr 2018)

Anlagenstufe	Aggregat	Spezifischer Stromverbrauch [kWh/(EW·a)]	Anlagenspezifischer Idealwert [kWh/(EW·a)]
Zulaufpumpwerk	Zulaufpumpen	2,87	2,37
Zwischenpumpwerk	Schneckenpumpe	1,09	0,82
Vorklärbecken	Räumer	0,21	0,25 ⁷
Belebungsbecken	Gebläse 1	5,51	4,12
	Gebläse 2	5,47	4,09
	Gebläse 3	5,51	4,12
	Tauchmotorrührwerk	1,64	0 ⁸
	Summe	18,13	12,33
Nachklärbecken	Räumer	0,21	0,25 ⁷
	Rücklaufschlamm-pumpwerk	0,88	0,63
Faulbehälter	Umwälzpumpe 1	1,06	1,05
	Umwälzpumpe 2	1,27	1,26
	Rührwerk 1	1,41	1,32
	Rührwerk 2	1,82	1,60
MÜSE	Bandeindicker	0,43	0,34,
SEW	Trübwasserpumpe	2,41	2,2

Die Fläche des Betriebsgebäudes beträgt ca. 200 m², diese werden bei Bedarf nahezu vollständig beheizt. Der spezifische Heizenergiebedarf beträgt bei einem Energieverbrauch von 15.000 kWh/a rd. 75 kWh/(m²·a). Dieser Wert ist als gut⁹ zu betrachten.

⁷ Installierte Leistung mit 250 W geringer als empfohlene Minimalleistung von 300 W laut DWA-A 216

⁸ Berücksichtigung der zur Umwälzung erforderlichen Energie bei Idealwertberechnung der Gebläse

⁹ 140 – 200 kWh/m² a bei älteren Gebäuden, 40 – 100 kWh/m² a bei neuen Gebäuden [Energie auf Abwasseranlagen, Handbuch NRW]

Zulaufpumpwerk

Das Zulaufpumpwerk weist ein signifikantes Optimierungspotential auf. Zu dem hohen spezifischen Energieverbrauch kommt ebenfalls das hohe Alter der Pumpen. Ebenfalls ist die Steuerungstechnik des Pumpwerkes als erneuerungs- und optimierungsbedürftig anzusehen.

Zwischenpumpwerk

Der spezifische Stromverbrauch des Zwischenpumpwerkes weicht nur in geringem Maße von dem berechneten Idealwert ab. Unter Berücksichtigung des geringen Alters der Pumpen, kann daraus kein signifikantes Optimierungspotential abgeleitet werden.

Vorklärbecken & Nachklärbecken

Dadurch, dass die installierte Leistung des Räumerantriebes geringer als die im DWA Arbeitsblatt 216 angegebene Minimalleistung ist, wird der Idealwert unterschritten. Bei ausreichender Funktion ist kein Handlungsbedarf gegeben.

Belebung

Der Stromverbrauch der Belebung ist der größte Stromverbraucher der Anlage. Es ist eine große Abweichung zwischen den spezifischen Kennzahlen und deren Idealwerten zu erkennen, so dass Maßnahmen zur Optimierung notwendig sind. In den Idealwerten der Belüftung wurde bereits die Umwälzung durch Belüftung berücksichtigt, so dass der Stromverbrauch der Tauchmotorrührwerke ersatzlos entfallen kann.

Rücklaufschlammumpwerk

Die spezifische Kennzahl der Pumpe des Rücklaufschlammumpwerks weicht stark von dem Idealwert ab. Ein Austausch der Pumpen durch energiesparende Aggregate bietet ein großes energetisches Optimierungspotential.

Faulung (Umwälzung)

Die spezifischen Stromverbräuche der Faulbehälterumwälzung überstiegen jeweils nur leicht den Idealwert. Im DWA-Merkblatt 368 wird ein leicht erhöhter Energieeintrag in die Faulbehälter als förderlich angesehen, so dass hieraus kein energetischer Optimierungsbedarf abgeleitet werden kann.

Maschinelle Überschussschlamm Eindickung (MÜSE)

Der spezifische Verbrauch weicht nur leicht vom berechneten Idealwert ab. Zusätzlich befindet sich die Anlagentechnik augenscheinlich in einem guten Zustand, so dass kein Erneuerungsbedarf abgeleitet werden kann.

Maschinelle Schlammmentwässerung (SEW)

Der spezifische Verbrauch weist nur eine geringe Abweichung zum Idealwert auf, entsprechend sind aus energetischer Sicht keine Maßnahmen erforderlich. Durch das ggf. nicht optimale Entwässerungsergebnis (Entwässerungsversuche sind bereits geplant) ist nach vorheriger Prüfung unter betrieblichen Optimierungsansätzen ein Austausch des Aggregates zu untersuchen.

2.9 Gegenüberstellung von verbrauchter und erzeugter Energie

Auf der Kläranlage Selters wird derzeit nur Energie in Form von Strom bezogen. Dies resultiert daraus, dass der thermische Bedarf vollständig durch Nutzung des eigenerzeugten Faulgases gedeckt werden kann.

Tab. 4: Gegenüberstellung Stromverbrauch und Stromerzeugung (Jahr 2018)

Verbraucher [kWh/a]		Erzeuger [kWh/a]	
Gebläse Belebung	175.782	BHKW	345.817 ¹⁰
Faulung	59.268	PV-Anlage Betriebsgebäude	33.622
Sand- Fettfang	31.110		
Zulaufpumpwerk	30.534	PV-Anlage Schlammlager- halle	44.152
Schlamm entwässerung	25.636		
Sonstiges	165.588		
Summe	487.918	Summe	423.591

¹⁰ Davon 305.423 kWh/a zur Eigenbedarfsdeckung

2.9.1 Eigenversorgungsgrad Strom

Der tatsächliche Eigenversorgungsgrad mit Strom beträgt 62 %. Bilanziell würde die Stromproduktion des Blockheizkraftwerkes ausreichen um 70 % des Strombedarfes zu decken.

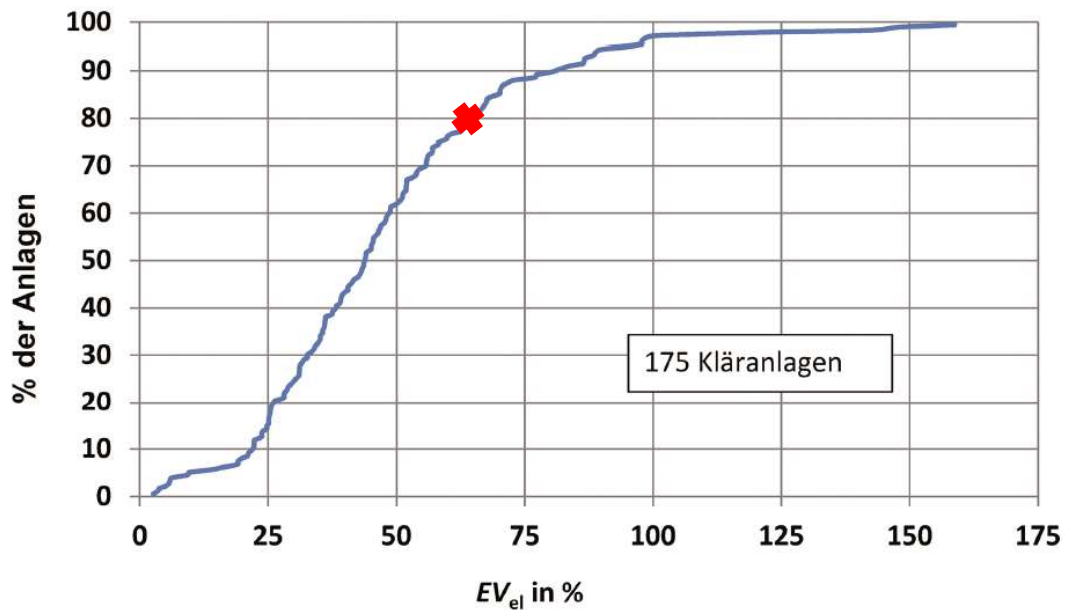


Abb. 17: Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie (DWA A-216)

2.9.2 Eigenversorgungsgrad Wärme

Der Wärmebedarf der Anlage wird vollständig durch Nutzung des Faulgases durch das Blockheizkraftwerk und den Kessel gedeckt. Entsprechend beträgt der Eigenversorgungsgrad 100 %.

3. Potenzialanalyse

Entsprechend den Abweichungen von berechneten tatsächlichen spezifischen Verbrauchswerten und Idealwerten können mögliche Potentiale zur Verbrauchsoptimierung aufgezeigt werden. Folgend werden ebenfalls Potentiale zur Optimierung der Eigenstromerzeugung sowie der sonstigen Reduktion von Treibhausgasemissionen untersucht.

3.1 Ermittlung der kurz-, mittel- und langfristigen Energieeffizienzpotenziale

3.1.1 Identifizierung von Ansatzpunkten

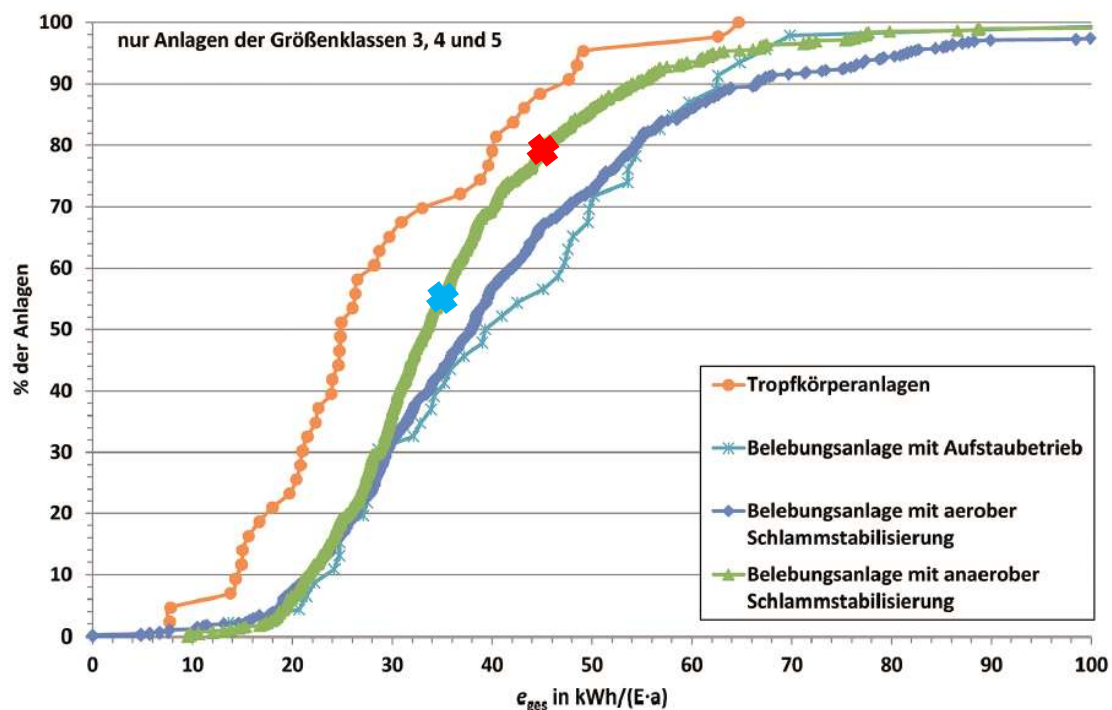


Abb. 18: Spezifischer Gesamtstromverbrauch in Abhängigkeit vom Reinigungsverfahren (DWA A-216)

Bei dem spezifischen Energiebedarf von 45,79 kWh/(EW·a) sind ca. 80 % der Kläranlagen mit anaerober Schlammstabilisierung energiesparender (rote Markierung in Abb. 18). Bei nach Schlammengen anteilig zugeordnetem Stromverbrauch des Schlammweges kann der spezifische Stromverbrauch (türkise Markierung in Abb. 18) mit 36,54 kWh/(EW·a) angegeben werden, wodurch die Kläranlage im Mittelfeld eingeordnet werden kann.

Kurzfristige Potentiale

Entsprechend der Auswertung der Energieverbräuche besteht das größte Einsparungspotential in einer Optimierung der Belebung. Das bestehende Belebungsbecken sollte dazu mit energieeffizienten Plattenbelüftern ausgestattet werden. Weiterhin besteht im Austausch der Gebläse ein großes Optimierungspotential.

Durch Erneuerung der Pumpen des Zulaufpumpwerkes, begründet durch das energetische Optimierungspotential und die Nutzungsdauer, kann durch den Einsatz energieeffizienter Aggregate der Stromverbrauch gesenkt werden. Ebenfalls sollte dabei die Ansteuerung der Pumpen durch Frequenzumrichter erfolgen, um eine bedarfsorientierte Regelung zu ermöglichen.

Durch Erneuerung der Pumpe des Rücklaufschlammumpwerks könnten Einsparungen erzielt werden. Für eine Erneuerung spricht ebenfalls das Alter der Pumpen sowie der Zustand. Bei der Erneuerung der Pumpen sollen gezielt energiesparende Motoren eingesetzt werden.

Mittelfristige Potentiale

Ein weiteres Potential besteht in der Optimierung der Klärschlammverwertung im Verbund. Der Kernpunkt, der Mitbehandlung weiterer Klärschlämme kleinerer Anlagen, wird bereits umgesetzt. Mittelfristig soll der Klärschlamm jedoch nicht mehr landwirtschaftlich, sondern thermisch verwertet werden. Um den resultierenden Transportaufwand und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen zu reduzieren, sollte deshalb die Entwässerung des Schlammes optimiert werden.

Langfristige Potentiale

Die bestehenden PV-Anlagen auf dem Betriebsgebäude speisen den erzeugten Strom vollständig in das öffentliche Stromnetz ein. Dies resultiert aus gut vergüteten Volleinspeisungsverträgen. Nach Ablauf der Verträge ist eine Umstellung auf Eigennutzung möglich, um den Stromfremdbezug zu reduzieren.

Aktuell werden rd. 12 % des durch das Blockheizkraftwerk produzierten Stroms in das öffentliche Netz eingespeist, weil temporär Strombedarf und -dargebot nicht übereinstimmen bzw. temporär ein Überangebot vorliegt. Durch einen Batteriespeicher könnte die Menge des eingespeisten Stroms reduziert und der Deckungsgrad des Eigenbedarfs erhöht werden.

3.1.2 Ansätze zur Nutzung Erneuerbarer Energie

Auf den zur Errichtung von Photovoltaikanalgen günstigen Dachflächen sind bereits PV-Anlagen installiert. Weitere Module können auf dem bestehenden Gebäude nur vereinzelt und auf keiner größeren zusammenhängenden Fläche installiert werden.

Der Standort der Kläranlage ist wegen leichter Tallage nicht optimal für die Stromgewinnung mittels Windenergie. Ggf. könnte jedoch eine Mid-Size-Windkraftanlage¹¹ interessant sein.

Durch den nur sehr geringen Höhenunterschied zwischen dem Kläranlagenablauf und dem Vorfluter, dem Saynbach, eignet sich die Anlage nur im geringen Maße zur Stromerzeugung aus Wasserkraft. Zusätzlich ist der Durchfluss mit ca. 59 l/s (Jahr 2018: 1.837.782 m³/a gesamter behandelter Zufluss) gering, so dass lediglich eine Leistung <1 kW gewonnen werden könnte. [NRW Handbuch]

Die Wärmegewinnung aus dem gereinigten Abwasser mithilfe einer Wärmepumpe ist möglich. Jedoch benötigt die Kläranlage keine weitere Wärme. Vorrangig ist der eigene Strombedarf möglichst vollständig zu decken. Deshalb ist die Nutzung einer Wärmepumpe vorerst nicht als sinnvoll zu erachten. Bei optionaler Umsetzung einer Klärschlamm-trocknung auf dem Standort und einem damit verbundenen gesteigerten Wärmebedarf wäre eine neue Beurteilung der Situation erforderlich.

3.1.3 Ermittlung von Klimaschutzpotenzialen durch Digitalisierung und Energiemanagementsysteme

Durch Zertifizierung eines Energiemanagementsystems wird eine Auswerteroutine implementiert, die auch im Sinne einer Erfolgsbewertung umgesetzter Maßnahmen (s. Kap. 4.4) einen stundenaktuellen Einblick in zu definierende Prüfwerte ermöglicht. Durch ein solches Energiemanagementsystem¹² wird durch Aufzeichnung der Energieströme die Identifikation energetischer Potentiale erleichtert und eine kontinuierliche Verbesserung der energetischen Nutzung ermöglicht.

Um eine gute Datengrundlage für das Energiemanagementsystem zu schaffen, sind weitere Messungen erforderlich. Zur Auswertung sollte eine geeignete Software beschafft werden. Die Erstzertifizierung kann durch einen fachkundigen Dienstleister erfolgen.

Die meisten größeren Stromverbraucher werden nahezu kontinuierlich betrieben und bieten kein Potenzial, um den Stromverbrauch zu flexibilisieren und dem Angebot anzupassen. Entsprechend Kapitel 3.1.1 kann jedoch durch einen möglichen Batteriespeicher die verfügbare eigenerzeugte Strommenge flexibilisiert werden.

¹¹ Windkraftanlagen mit rd. 250 kW Leistung, maximale Höhe < 50 m, dadurch nur Baugenehmigung und kein Zulassungsverfahren nach Bundesimmissionsschutzgesetz erforderlich

¹² Energiemanagementsystem gemäß DIN EN ISO 50001

3.2 Definition von kurz-, mittel- und langfristigen Einspar- und Versorgungszielen

Durch die o. g. kurzfristigen Sanierungsmaßnahmen soll der einwohnerspezifische Stromverbrauchswert weiter reduziert werden. Damit einhergehend wird der energetische Deckungsgrad durch erneuerbare Energien gesteigert.

3.3 Entwicklung einer Strategie zur Umsetzung dieser Ziele

Aktuell befindet sich der Anschluss der KA Hartenfels an die KA Selters in Planung. Im Rahmen des Planungsprozesses sollten die auf der Kläranlage Selters erforderlichen Maßnahmen, möglichst energetisch optimiert, berücksichtigt werden. Aufgrund dessen ist möglichst zeitnah mit der Planung zur Erneuerung der Pumpwerke sowie der Erneuerung der Belüftungseinrichtung zu beginnen.

4. Ableitung von Optimierungsmaßnahmen und Fahrplan zur Umsetzung

4.1 Retrospektive – Zusammenstellung bereits umgesetzter Maßnahmen

Die Stromverbrauchswerte sowie die gewonnenen Faulgasmengen der Kläranlage für die Betriebsjahre von 2000 bis 2018 können der nachfolgenden Grafik entnommen werden.

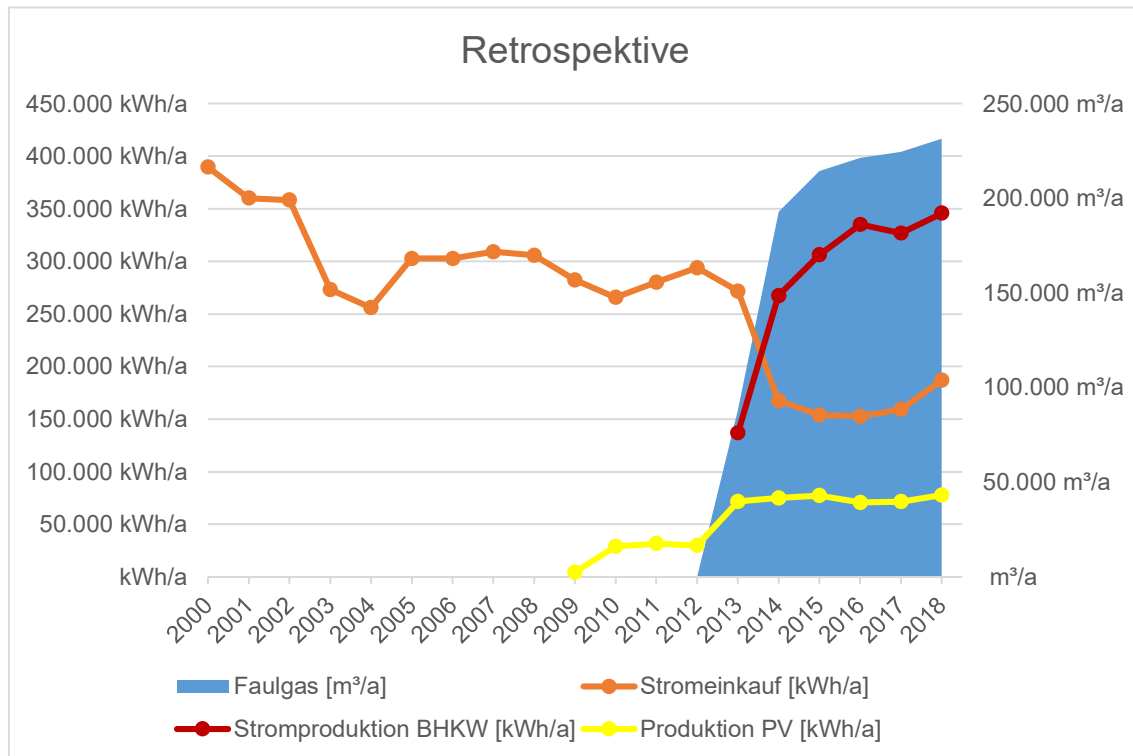


Abb. 19: Retrospektive Strom- und Gasbezug

Nach einer Stufenweisen Zentralisierung und Steigerung der Anschlussgröße (2011: Anschluss Ewighausen, Weidenhahn; 2013: Anschluss Vielbach, Quirnbach, Helferskirchen), wurde bereits im Jahre 2013 wurde das Verfahren der Schlammstabilisierung auf Faulung umgestellt. Dadurch konnte der Fremdstrombezug deutlich gesenkt werden.

Seit 2009 wird durch PV-Anlagen auf der Kläranlage Selters Strom aus Erneuerbaren Energien erzeugt. Beide PV-Anlagen speisen vollständig in das Stromnetz ein und tragen nicht zur Eigenbedarfsdeckung bei.

4.2 Detaillierte Beschreibung möglicher Energieeinspar- und Energieeffizienzmaßnahmen, von Maßnahmen zur klimafreundlichen Betriebsoptimierung und zur effizienten und klimaschonenden Energieerzeugung

Die folgenden Ausführungen treffen eine Aussage zu

- erwarteten Energieeinsparungen (Strom und Wärme)
- erwarteten Kosten der Umsetzung
- erwarteten Einsparungen oder Mehraufwand an Betriebskosten bei bezogenen Energieträgern und THG-Emissionen¹³
- erwarteten Einsparungen oder Mehraufwand an Energieträgern bei einer erhöhten Rückgewinnung an weiteren Ressourcen

Zu allen Maßnahmen erfolgt eine Kurzbeschreibung (inkl. relevanter Betriebsparameter, Grundannahmen, Anlagenzustände, Abgrenzungen usw.).

4.2.1 Erneuerung der Belüftung

Zur energetischen Optimierung soll die Belüfertechnik des Belebungsbeckens erneuert werden. Es sollen energieeffiziente großflächige Belüfterplatten flächendeckend eingesetzt werden. Durch intermittierenden Betrieb erfolgt parallel eine ausreichende Umwälzung, so dass die bestehenden Tauchmotorrührwerke nicht benötigt werden. Durch die Anpassung der Belüfertechnik wird die Leistungsfähigkeit des Belebungsbeckens erhöht, wodurch ausreichende Kapazitäten für den Anschluss der KA Hartenfels sowie eine vollständige Filtratwasserbehandlung, bei gleichbleibendem Volumen, bestehen. Um das volle energetische Potential auszuschöpfen, werden ebenfalls die bestehenden Gebläse durch FU-geregelte energieeffiziente Turbogebläse ersetzt.

Auslegung und Energieeinsparung:

$$\text{SOTR} = 551.880 \text{ kg O}_2/\text{a}^{14}$$

$$\text{SAE} = 4,2 \text{ kg/ kWh}$$

$$E = 551.880 \text{ kg O}_2/\text{a} : 4,2 \text{ kg/kWh} = \text{ca. } 131.400 \text{ kWh [DWA-A 216]}$$

$$E_{\text{spez}} = E : 10.655 \text{ EW} = 12,33 \text{ kWh}/(\text{EW} \cdot \text{a})$$

Durch den verringerten Strombedarf werden jährliche folgende THG-Emissionen eingespart:

$$(175.782 \text{ kWh/a} + 17.520 \text{ kWh/a}) - 131.400 \text{ kWh/a} = \mathbf{61.902 \text{ kWh/a}}$$

$$61.902 \text{ kWh/a} \cdot 0,537 \text{ kg CO}_2/\text{ kWh} = \mathbf{33.241 \text{ kg CO}_2/\text{a}}$$

Investitionskosten: 419.000,00 € brutto

¹³ Stromverbrauchsdaten geplanter Maßnahmen wurden auf Basis des DWA-A 216 abgeschätzt

¹⁴ Nach Berechnung entsprechend DWA-A 131 (aktuelle Belastung)

4.2.2 Erneuerung des Zulaufpumpwerkes

Die Erneuerung des Zulaufpumpwerks soll durch Austausch der bestehenden Pumpen und Motoren erfolgen. Es sollen gezielt Pumpen mit einem niedrigen Energieeffizienzindex und energieeffiziente Motoren vorgesehen werden. Des Weiteren ist die Steuerungstechnik zu erneuern.

Durch Erreichen des Idealwertes wird jährlich folgende Strommenge eingespart:

$$(2 \text{ St.} \cdot 0,25 \text{ kWh}/(\text{EW} \cdot \text{a})) \cdot 10.655 \text{ EW} = \mathbf{5.328 \text{ kWh/a}}$$

Dementsprechend werden folgende THG-Emissionen eingespart:

$$5.328 \text{ kWh/a} \cdot 0,537 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/ kWh} = \mathbf{2.861 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/a}}$$

Investitionskosten: 179.000,00 € brutto

4.2.3 Erneuerung des Rücklaufschlammumpwerkes

Die Erneuerung des Rücklaufschlammumpwerks soll durch Austausch der bestehenden Pumpe und des Motors erfolgen. Es soll gezielt eine Pumpe mit einem niedrigen Energieeffizienzindex und ein energieeffizienter Motor vorgesehen werden.

Durch Erreichen des Idealwertes wird jährlich folgende Strommenge gespart:

$$0,25 \text{ kWh}/(\text{EW} \cdot \text{a})) \cdot 10.655 \text{ EW} = \mathbf{2.664 \text{ kWh/a}}$$

Dem entsprechend werden folgende THG-Emissionen eingespart:

$$2.664 \text{ kWh/a} \cdot 0,537 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/ kWh} = \mathbf{1.431 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/a}}$$

Investitionskosten: 60.000,00 € brutto

4.2.4 Implementierung eines Energiemanagements

Nach Kapitel 3.1.3 sollen erforderliche Maßnahmen zur Zertifizierung eines Energiemanagementsystems nach DIN EN ISO 50001 vorgesehen werden. Dadurch soll zukünftig die Identifizierung von energetischen Optimierungspotentialen und eine kontinuierliche Verbesserung durch die Anfertigung jährlicher Energieberichte vereinfacht werden.

Dafür sollten die von den übrigen Maßnahmen betroffenen Aggregat bei Erneuerung mit separaten Strommessungen ausgestattet werden.

Die Kosten zur Erstzertifizierung eines Energiemanagementsystems werden mit 20.000 € brutto abgeschätzt. Für zusätzliche Messtechnik und Software werden weitere 15.000 € brutto vorgesehen.

4.2.5 Optimierung der Klärschlammverwertung im Verbund

Mittelfristig soll die Klärschlammverwertung nicht mehr durch landwirtschaftliche Aufbringung, sondern durch thermische Verwertung erfolgen. Dazu wurde bereits Kontakt mit der Verbandsgemeinde Altenkirchen aufgenommen, diese plant eine Klärschlammverbrennung (KA Wallmenroth) zu errichten. Aus dem aktuellen vergleichsweise geringen Entwässerungsergebnis von rd. 21 % kann ein hoher Transportaufwand und damit einhergehend große Treibhausgasemissionen abgeleitet werden. Um diesen zu reduzieren, soll die bestehende Schneckenpresse durch eine Zentrifuge ausgetauscht werden, so dass das Entwässerungsergebnis auf rd. 28 % gesteigert und die zu transportierende Schlammmenge reduziert wird.

Die zu transportierende Schlammmenge läge dann bei:

$$(441,8 \text{ Mg TR/a} / 28 \% \text{ TR}) = 1.578 \text{ Mg/a}$$

Im Vergleich zu Kapitel 2.1.5 und der aktuellen Situation entspricht dies einer geringeren Menge von:

$$2.104^{15} \text{ Mg/a} - 1.578 \text{ Mg/a} = 526 \text{ Mg/a}$$

Daraus resultiert eine Senkung der Treibhausgasemissionen von:

$$526 \text{ Mg/a} \cdot 47 \text{ km} \cdot 0,103 \text{ kg CO}_2\text{-Äq} / \text{tkm}^{16} = \mathbf{2.721 \text{ kg CO}_2\text{-Äq} / a}$$

Investitionskosten: 692.000,00 € brutto

¹⁵ Mit Dichte von 1 Mg/m³

¹⁶ Umweltbundesamt, 2017

4.2.6 Nutzung der restlichen bestehenden PV-Module zur Eigenbedarfsdeckung

Nach einer Nutzungsdauer von 20 Jahren fallen PV-Anlagen aus der EEG-Förderung. Sollten die bestehenden PV-Anlagen auf dem Betriebsgebäude und der Schlammagerhalle nach Ablauf der Verträge noch nutzbar sein, ist eine Vermarktung des Stromes nicht mehr rentabel und dieser sollte zur Eigenverbrauchsdeckung eingesetzt werden.

Die produzierte Strommenge betrug im Jahr 2018 **77.774 kWh**.

Dem entsprechend werden durch gesenkten Fremdstrombezug folgende THG-Emissionen eingespart:

$$77.774 \text{ kWh/a} \cdot 0,537 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/ kWh} = \mathbf{41.765 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/a}}$$

4.2.7 Errichtung einer Batterie

Durch Errichtung eines ausreichend dimensionierten Batteriespeichers könnte die Einspeisung des produzierten Stromes reduziert werden. Nach Eigennutzung der PV-Anlagen könnte die Kläranlage voraussichtlich energetisch vollständig autark werden.

Nach Umsetzung der kurzfristigen Maßnahmen würde der Fremdstrombezug um 40.394 kWh¹⁷ (21.692 kg CO₂-Äq/a) und nach Umsetzung aller Maßnahmen um 187.059 kWh/a (100.450 kg CO₂-Äq/a) reduziert werden.

¹⁷ Durch BHKW erzeugte und eingespeiste Strommenge (2018)

4.3 Umsetzungsfahrplan (Priorisierung/Zeitplanung/Akteure)

Mit den kurzfristig anzugehenden Maßnahmen wurde sich bereits planerisch vorbefasst. Folgender Umsetzungsfahrplan ist für die Umsetzung der Maßnahmen mit kurzfristigem und mittelfristigem Potential vorgesehen:

Nr.	Maßnahmen	Baukosten (brutto) in TS€															
		2020				2021				2022				2023			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1.	Erneuerung der Belüftung					419											
2.	Erneuerung Zulaufpumpwerk					179											
3.	Erneuerung Rücklaufschlammumpwerk					60											
4.	Energiemanagementsystem									35							
5.	Klärschlammverwertung im Verbund									692							

 Zeitpunkt der Beantragung  Zeitrahmen für die Umsetzung

Abb. 20: Zeitplan der kurzfristigen Maßnahmen

Ergänzend sollen die weitere Maßnahmen nach den Kapiteln 4.2.6 und 4.2.7 zur Steigerung der Eigenstromversorgung umgesetzt werden.

4.4 Entwicklung geeigneter Indikatoren für die Erfolgskontrolle der Maßnahmen

Es wird empfohlen, nach der Umsetzung durch regelmäßige Energiechecks die energetische Entwicklung der Anlage zu überwachen. Durch Integration eines Energiemanagementsystems (vgl. Kapitel 4.2.4) wird dies standardisiert in die Jahresroutine übernommen.

Empfohlene Indikatoren:

- Spezifischer Fremdstromverbrauch Gesamt $e_{ges,F} < IST$
- Spezifischer Stromverbrauch Belüftung $e_B \leq \text{Referenzanlagen DWA-A 216}$
- Spezifische Faulgasproduktion $e_{FG} \geq 20 \text{ l(EW} \cdot \text{d)}$
- Eigenversorgungsgrad Wärme $V_W \text{ ca. } 100 \%$
- Eigenversorgungsgrad Strom $V_E \text{ ca. } 65 \%$

4.5 Vorplanung der kurzfristig und mittelfristig umsetzbaren Maßnahmen

Erneuerung der Belüftung

Eine Außerbetriebnahme des Belebungsbeckens für mehrere Tage zur Montage von neuen Belüftern ist aufgrund der einstraßigen Ausführung des Belebungsbeckens nicht möglich. Mit den Verbandsgemeindewerken Selters wurden mehrere Ausführungsmöglichkeiten besprochen. Als wirtschaftlichste Variante wurde eine Ausführung mit Belüfterplatten identifiziert, die an Belüftungsgittern montiert werden, welche auf dem Beckenboden befestigt werden.

Die am Beckenboden fest installierten Belüftungsgitter werden so ausgeführt, dass sie bei Bedarf durch Einsatz eines Tauchers und eines Autokrans ausgehoben werden können.

Die neuen Gebläse sollen im Gebläsekeller aufgestellt werden. Eine überdachte Aufstellung im Freien (Carport) oder in einem neuen Gebläsegebäude soll aus Lärmschutz- und Kostengründen nicht weiterverfolgt werden. Die Durchgangsfläche der Zugangstür zum Gebläsekeller beträgt $b \cdot h = 1,19 \text{ m} \cdot 2,06 \text{ m}$. Die Abstellfläche vor der Zugangstür hat die Abmessungen $l \cdot b = 1,46 \text{ m} \cdot 1,80 \text{ m}$.

Zur Anpassung der Leistung an den Bedarf werden die Gebläse über Frequenzumrichter angesteuert. Die Betriebsstunden werden auf alle Gebläse gleichmäßig verteilt. Es sollen Turbo-Gebläse, aufgrund der besseren Wirkungsgrade im Teillastbetrieb, vorgesehen werden.

Tab. 5: Investitionskosten Erneuerung der Belüftung

Nr.	Maßnahme	Gesamt
1.	Erneuerung der Belüftungseinrichtung	
	3 St. Gebläseaggregate	131.000,00
	Hauptluftleitung	57.500,00
	Teifbauarbeiten	4.000,00
	Einbau der hocheffizienten Belüfterplatten	89.000,00
	Zwischensumme	281.500,00
	zzgl. Baunebenkosten; Ansatz 25%	70.375,00
	Gesamt, netto	351.875,00
	zzgl. 19% MwSt.	66.856,25
	Summe, brutto inkl. Baunebenkosten, gerundet	419.000,00

Erneuerung der Pumpwerke

Die Erneuerung des Zulauf- und Rücklaufschlammumpwerkes erfolgt durch Austausch der bestehenden Pumpen/Motoren durch energieeffiziente Aggregate. Im Rahmen der planerischen Befassung mit den Maßnahmen ist eine rechnerische Kontrolle der Förderhöhen und Fördermengen zur Optimierung der Auslegungsdaten durchzuführen.

Tab. 6: Investitionskosten Erneuerung der Pumpwerke

Nr.	Maßnahme	Gesamt
2.	Erneuerung Zulaufpumpwerk	
	Demontage Altanlagentechnik	5.000,00
	2 St. Schneckenpumpe	50.000,00
	2 St. Frequenzumrichter	12.000,00
	Erneuerung Schaltanlagentechnik	35.000,00
	Messtechnik	8.000,00
	Sonstiges und Kleinarbeiten	10.000,00
	Zwischensumme	120.000,00
	zzgl. Baunebenkosten; Ansatz 25%	30.000,00
	Gesamt, netto	150.000,00
	zzgl. 19% MwSt.	28.500,00
	Summe, brutto inkl. Baunebenkosten, gerundet	179.000,00
3.	Erneuerung Rücklaufschlammumpwerk	
	Demontage Altanlagentechnik	3.000,00
	1 St. Schneckenpumpen	22.500,00
	1 St. Frequenzumrichter	4.500,00
	Sonstiges und Kleinarbeiten	10.000,00
	Zwischensumme	40.000,00
	zzgl. Baunebenkosten; Ansatz 25%	10.000,00
	Gesamt, netto	50.000,00
	zzgl. 19% MwSt.	9.500,00
	Summe, brutto inkl. Baunebenkosten, gerundet	60.000,00

Implementierung eines Energiemanagements

Die Erstzertifizierung des Energiemanagementsystems nach DIN EN ISO 50001 sowie die Vorbereitung soll durch einen Fachkundigen Dienstleister erfolgen. Zur Schaffung einer festen Auswertroutine und der automatisierten Kennzahlenbildung soll eine entsprechende Software angeschafft werden.

Zur Erhöhung der Analysegenauigkeit soll weitere Messtechnik angeschafft werden. Zum Beispiel sind die einzelnen Aggregate der neu zu errichtenden Gebläsestation, als größter Stromverbraucher der Kläranlage, sowie des Zulaufpumpwerks mit einzelnen Messungen zu versehen.

4.6 Prüfung der Sicherstellung der Mindestziele

4.6.1 Deckungsquote des Energiebedarfs für Strom und Wärme

Nach Umsetzung der Maßnahmen werden die folgenden Deckungsquoten erreicht:

Tab. 7: Deckungsquote des Eigenenergiebedarfs aus erneuerbaren Energien

	Strom			Wärme		
	Verbrauch [kWh/a]	Erzeugung [kWh/a]	Deckungs- grad	Verbrauch [kWh/a]	Erzeugung [kWh/a]	Deckungs- grad
2018	487.918	305.423	63 %	612.835	612.835	100 %
Nach kurz- fristigen Maßnah- men	418.024	305.423	73 %	612.835	612.835	100 %
Nach allen Maßnah- men	418.024	423.591	100 %	612.835	612.835	100 %

4.6.2 Spezifischer jährlicher Strombedarf der gesamten Anlage (inkl. lokal umgewandelter Energie)

Der gesamte spezifische Strombedarf beträgt nach Umsetzung der kurzfristigen sowie aller Maßnahmen:

$$E_{\text{spez}} = (487.918 \text{ kWh/a} - 69.894 \text{ kWh/a}) / 10.655 \text{ EW} = 39,2 \text{ kWh}/(\text{EW} \cdot \text{a})$$

Bei dem nach den Maßnahmen erzielten Stromverbrauch beträgt der spezifische Fremdstrombezug nach Umsetzung der kurzfristigen Maßnahmen:

$$\begin{aligned} e_{\text{spez, Fremd, el}} &= (487.918 \text{ kWh/a} - 69.894 \text{ kWh/a} - 305.423 \text{ kWh/a}) / 10.655 \text{ EW} \\ &= 10,57 \text{ kWh}/(\text{EW} \cdot \text{a}) \end{aligned}$$

Bei Umsetzung aller Maßnahmen ergibt sich folgender spezifischer Fremdbezug:

$$\begin{aligned} e_{\text{spez, Fremd, el}} &= (487.918 \text{ kWh/a} - 69.894 \text{ kWh/a} - 423.591 \text{ kWh/a}) / 10.655 \text{ EW} \\ &= - 0,52 \text{ kWh}/(\text{EW} \cdot \text{a}) \end{aligned}$$

Entsprechend wird der Zielwert¹⁸ eines spezifischen Stromverbrauchs von 23 kWh/(EW·a) erreicht.

Der Gesamtdeckungsgrad der Anlage (elektrisch und thermisch) beträgt nach Umsetzung der kurzfristigen Maßnahmen rd. 89 % und nach Umsetzung aller Maßnahmen rd. 100 %.

Thür, 21.12.2019

i. A.

Jürgen Jakob

Lukas Ellerich

**Ingenieurgesellschaft
Dr. Siekmann + Partner mbH**

¹⁸ Entsprechend Mail von Franziska Brade (PTJ) an Sebastian Bauer-Bahrdrdt (1.2.2019): „... Es handelt sich um den spezifischen Energiebedarf der aus Fremdenergie zur Verfügung gestellt werden muss.“