



Ingenieurgesellschaft

Dr. Siekmann + Partner mbH

Thür • Simmern • Westerburg

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Potenzialstudie

Kläranlage Bad Salzig

Stadt Boppard – Kanalwerke

Auftraggeber : Stadt Boppard - Kanalwerke
Mainzer Straße 46
56154 Boppard

Datum : 23.02.2021

Projekt-Nr. : 19 137

INHALTSVERZEICHNIS

Kurzfassung.....	1
1. Vorbemerkung	3
2. Bestandsaufnahme	4
2.1 Aufnahme der Bestandssituation der Kläranlage.....	4
2.1.1 Angeschlossene Einwohnerwerte und Alter der Anlage	5
2.1.2 Kurzdarstellung des Reinigungsverfahrens	5
2.1.3 Produzierte Faulgasmenge und Nutzung	9
2.1.4 Art der Schlammentsorgung.....	9
2.1.5 Anfallende und entsorgte Schlammengen.....	9
2.1.6 Grad der Automatisierung der Anlagen	9
2.1.7 Sanierungsbedarf von Bau-, Maschinen- und EMSR-Technik.....	9
2.1.8 Lokale Rahmenbedingungen	9
2.1.9 Darstellung aller Energieerzeugungsanlagen	11
2.2 Sensor-/Messtechnik und Kontrolle der Abwasserqualität	11
2.3 Personalsituation	11
2.3.1 Weiterbildungsbedarf	11
2.3.2 Darstellung der Qualität der Betriebsführung der Anlage	12
2.3.3 Teilnahme an Benchmarks der Verbände	12
2.3.4 Relevanz und Knowhow zum Energieverbrauch	12
2.4 Beabsichtigte Planungen.....	12
2.5 Analyse des Energieverbrauchs.....	13
2.5.1 Aufnahme aller wichtigen Stromverbraucher (geordnet nach Anlagenteilen)	13
2.5.2 Ermittlung des gesamten Stromverbrauchs sowie einzelner großer Verbrauchsdaten.....	14

2.5.3	Wärmebedarf auf der Anlage	17
2.6	Ableitung einer Energie- und Treibhausgasbilanz	18
2.7	Zusammenfassung aktuelle energetische Situation.....	18
2.8	Bewertung anhand energetischer Beurteilungskriterien und Ermittlung spezifischer Kennzahlen	19
2.8.1	Idealwertbestimmung nach DWA-A 216.....	19
2.9	Gegenüberstellung von verbrauchter und erzeugter Energie	22
2.9.1	Eigenversorgungsgrad Strom.....	23
2.9.2	Eigenversorgungsgrad Wärme.....	23
3.	Potenzialanalyse.....	24
3.1	Ermittlung der kurz-, mittel- und langfristigen Energieeffizienzpotenziale	24
3.1.1	Identifizierung von Ansatzpunkten.....	24
3.1.2	Ansätze zur Nutzung Erneuerbarer Energie	28
3.1.3	Ermittlung von Klimaschutzpotenzialen durch Digitalisierung und Energiemanagementsysteme.....	29
3.2	Definition von kurz-, mittel- und langfristigen Einspar- und Versorgungszielen	29
3.3	Entwicklung einer Strategie zur Umsetzung dieser Ziele	29
4.	Ableitung von Optimierungsmaßnahmen und Fahrplan zur Umsetzung.....	30
4.1	Retrospektive – Zusammenstellung bereits umgesetzter Maßnahmen.....	30
4.2	Detaillierte Beschreibung möglicher Energieeinspar- und Energieeffizienzmaßnahmen, von Maßnahmen zur klimafreundlichen Betriebsoptimierung und zur effizienten und klimaschonenden Energieerzeugung	30
4.2.1	Erneuerung der Belüftung	31
4.2.2	Umstellung auf Faulung und Errichtung eines Vorklärbeckens.....	32

4.2.3	Erneuerung Pumpen und Motoren	35
4.2.4	Klärschlammverwertung im Verbund.....	37
4.2.5	Implementierung eines Energiemanagements	40
4.2.6	Erneuerung mechanische Vorreinigung	40
4.2.7	Installation von PV-Modulen auf geeigneten Dachflächen.....	41
4.2.8	Umstellung der Gebäudeheizung	41
4.3	Umsetzungsfahrplan (Priorisierung/Zeitplanung/Akteure).....	42
4.4	Entwicklung geeigneter Indikatoren für die Erfolgskontrolle der Maßnahmen.....	42
4.5	Vorplanung der kurzfristig und mittelfristig umsetzbaren Maßnahmen.....	43
4.6	Prüfung der Sicherstellung der Mindestziele	53
4.6.1	Deckungsquote des Energiebedarfs für Strom und Wärme.....	53
4.6.2	Spezifischer jährlicher Strombedarf der gesamten Anlage (inkl. lokal umgewandelter Energie)	54

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Installierte Messtechnik (Abwasserreinigung)	11
Tab. 2: Zusammenstellung der wichtigsten Stromverbraucher	13
Tab. 3: Zusammenstellung Stromverbräuche (Jahr 2019).....	15
Tab. 4: Zusammenstellung spezifischer Stromverbräuche und Idealwerte (Betriebsjahr 2019)	19
Tab. 5: Gegenüberstellung Stromverbrauch und Stromerzeugung (Jahr 2019).....	22
Tab. 6: Energetische Effekte bei der Umstellung auf Faulung (absolut, bei zukünftiger Ausbaugröße 14.500 EW, mittlere Belastung rd. 10.150 EW).....	34
Tab. 7: Energetische Effekte bei der Umstellung auf Faulung (normiert, mittlere Belastung von 4.091 EW für die KA Bad Salzig)	34
Tab. 8: Transportaufwand Klärschlammverwertung im Verbund	37
Tab. 9: Effekte Klärschlammverwertung im Verbund	39
Tab. 10: Investitionskosten Erneuerung der Belüftung	43
Tab. 11: Investitionskosten Umstellung auf Faulung und Errichtung Vorklärbecken....	47
Tab. 12: Investitionskosten Erneuerung von Pumpen und Motoren	48
Tab. 13: Investitionskosten Klärschlammverwertung im Verbund	50
Tab. 14: Investitionskosten Energiemanagementsystem	50
Tab. 15: Investitionskosten Installation von PV-Modulen	51
Tab. 16: Investitionskosten Erneuerung mechanische Vorreinigung	52
Tab. 17: Deckungsquote des Eigenenergiebedarfs aus erneuerbaren Energien (normiert)	53

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Karte Kläranlage Bad-Salzig.....	4
Abb. 2: Luftbild Kläranlage Bad Salzig	4
Abb. 3: Frontladerechen	6
Abb. 4: Spiralsiebrechen.....	6
Abb. 5: Belebungsbecken mit umlaufender Belüfterbrücke	6
Abb. 6: Nachklärbecken.....	7
Abb. 7: Gebläse Belebung	7
Abb. 8: Siebbandpresse.....	7
Abb. 9: Verfahrensführung auf der KA Bad Salzig	8
Abb. 10: Zusammenstellung der Energieverbräuche der Aggregate (Jahr 2019)	16
Abb. 11: Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie (DWA-A 216)	23
Abb. 12: Spezifischer Gesamtstromverbrauch in Abhängigkeit vom Reinigungsverfahren (DWA-A 216)	24
Abb. 13: Auszug Strommessung Pumpwerk (Trockenwetter 11 Uhr bis 16 Uhr).....	26
Abb. 14: Retrospektive Stromverbrauch.....	30
Abb. 15: Zeitplan der kurzfristigen Maßnahmen.....	42
Abb. 16: Planausschnitt Erneuerung der Belüftung (Stand 10/2020).....	44
Abb. 17: Kompaktfaulbehälter mit Technikgebäude und vorgelagertem Roh- und Fremdschlammbehälter	45
Abb. 18: Gasspeicher	47
Abb. 19: Funktionalgebäude mit Rechen-Sandfang-Kompaktanlage	52

Kurzfassung

Die Kläranlage Bad-Salzig (Rheinland-Pfalz) mit einer Ausbaugröße von 6.000 EW wird nach der Verfahrensführung der anaeroben Schlammstabilisierung betrieben. Der Stromverbrauch im Jahr 2019 betrug 253.153 kWh und wird vollständig durch Stromfremdbezug gedeckt.

Bei der aktuellen mittleren Belastung mit 4.091 EW berechnet sich der spezifische Energieverbrauch zu **61,88 kWh/(EW·a)**.

Zur Zentralisierung der Abwasserreinigung wollen die Kanalwerke Boppard die Kläranlagen Boppard-Ewigbach und Holzfeld stilllegen und das anfallende Abwasser an die KA Bad Salzig anschließen. Diese muss entsprechend der neuen Zulaufbelastung ausgebaut werden. Um auf einen ansonsten erforderlichen volumenmäßigen Ausbau der biologischen Anlagenstufe zu verzichten sowie im Hinblick auf die energetische Optimierung des zukünftigen Kläranlagenbetriebs ist es vorgesehen, die Verfahrensführung der KA Bad Salzig auf Schlammfäulung umzustellen. Die Verfahrensstufen der Schlammbehandlung werden so ausgebaut, dass hier auch die Schlämme der Kläranlagen Oppenhäuser und Buchholz mitbehandelt werden können. Zur weiteren energetischen Optimierung sollen zudem die Belüftungseinrichtung sowie diverse Pumpenaggregate erneuert werden. Es wird beabsichtigt Förderanträge für folgende Förderschwerpunkte zu stellen:

- Erneuerung der Belüftungseinrichtung
- Neubau einer Vorklärung und Umstellung der Klärschlammbehandlung auf Fäulung
- 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	27.537 kWh _{el} /a	477.000,00 € (4. Quartal 2021)
Neubau eines Vorklärbeckens und Umstellung auf Fäulung	62.845 kWh _{el} /a	2.230.000,00 € (4. Quartal 2021)
Erneuerung von Pumpen und Motoren	29.102 kWh _{el} /a	231.000,00 € (4. Quartal 2021)
Implementierung eines Energiemanagements		55.000,00 € (2. Quartal 2023)
Klärschlammbehandlung im Verbund	120.683 kWh _{el} /a	1.347.000,00 € (4. Quartal 2021)

Nach Umsetzung der kurzfristigen Maßnahmen entspricht der spezifische Energieverbrauch **54,71 kWh/(EW·a)**. Aufgrund des eigen erzeugten Stroms reduziert sich der Fremdstrombezug nach Umsetzung der kurzfristigen Maßnahmen auf nur noch **3,17 kWh/(EW·a)**, woraus sich ein Deckungsgrad von **94%_{el}** ergibt.

Ergänzend werden noch weitere Maßnahmen zur energetischen Optimierung und Steigerung der Eigenstromerzeugung vorgesehen, so dass langfristig rechnerisch ein bilanzieller Deckungsgrad von 100 % erreicht werden kann.

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: 07/2020)*. Ergänzend wurden konkretisierende Vorgaben des *Hinweisblatts für strategische Förderschwerpunkte (Stand: 1. Januar 2020)* berücksichtigt.

2. Bestandsaufnahme

2.1 Aufnahme der Bestandssituation der Kläranlage

Die Kläranlage Bad Salzig ist eine Kläranlage der Kanalwerke Boppard in Rheinland-Pfalz. Die Anlage liegt im Mittelrheintal in unmittelbarer Nähe von Bad Salzig in Fahrtrichtung Boppard.

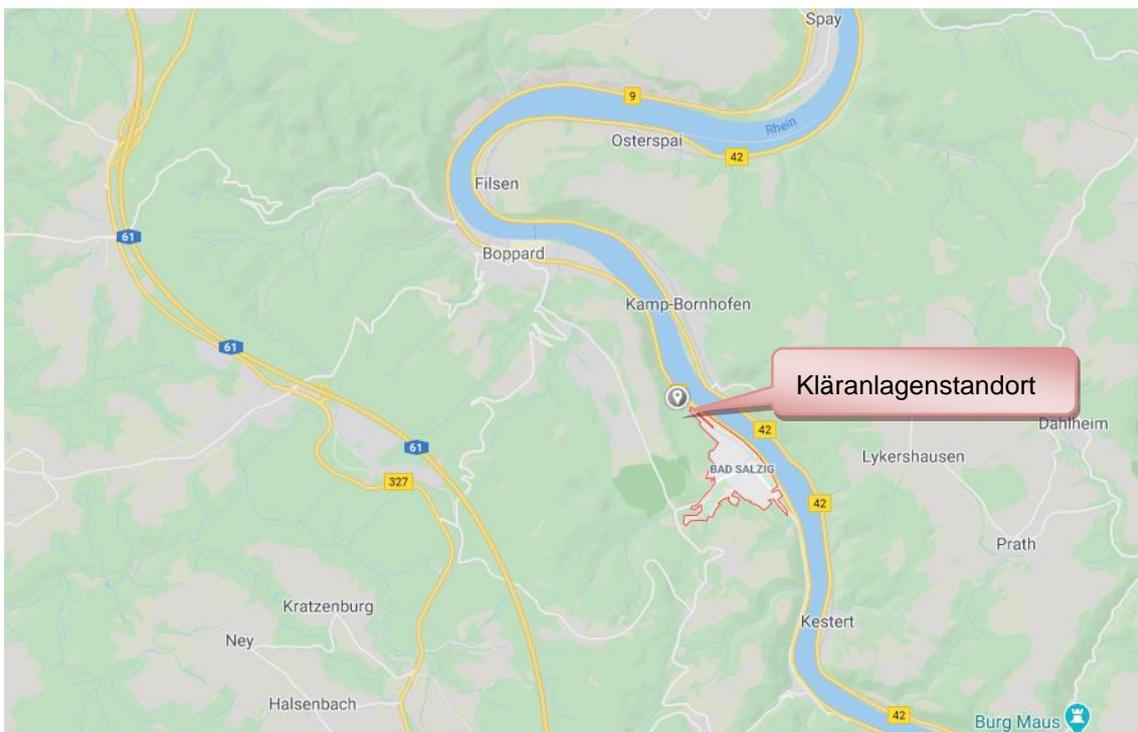


Abb. 1: Karte Kläranlage Bad-Salzig



Abb. 2: Luftbild Kläranlage Bad Salzig

2.1.1 Angeschlossene Einwohnerwerte und Alter der Anlage

Objekt	:	Kläranlage Bad Salzig
Baujahr/Inbetriebnahme	:	1987
Ausbaugröße	:	6.000 EW ¹
aktuelle Belastung ²	:	4.091 EW

Die Kläranlage Bad Salzig wurde 1987 in Betrieb genommen. Die Anlage ist als 1-strasige Belebungsanlage mit simultan aerober Schlammstabilisierung ausgeführt. Zur Zentralisierung der Abwasserreinigung planen die Kanalwerke Boppard die Kläranlagen Boppard-Ewigbach und Holzfeld stillzulegen und das anfallende Abwasser an die KA Bad Salzig anzuschließen.

2.1.2 Kurzdarstellung des Reinigungsverfahrens

Außerhalb des unmittelbaren Kläranlagengeländes wird das Abwasser zunächst durch das (Zulauf-)Pumpwerk Auweg auf das Kläranlagenniveau gefördert. Zwei Trockenwetterschnecken, die bei definiertem Einstau im Kanal im Wechselbetrieb eingeschaltet werden, fördern das Abwasser um rd. 6,7 m in eine Pumpenvorlage. Für den Regenwetterfall ist eine weitere Förderschnecke vorhanden. Durch diese erfolgt eine Förderung um rd. 3 m in einen Abschlagsschacht und das Wasser wird in den Rhein abgeleitet.

Aus der Pumpenvorlage wird das Abwasser mittels zwei Kreiselpumpen, in das Rechenrinne der Kläranlage gepumpt (Förderhöhe geodätisch rd. 15,4 m). Die Kreiselpumpen können nur im Einzelbetrieb genutzt werden und sind frequenzgeregelt. Die Sohle der Pumpenvorlage liegt rd. 3 m unterhalb der Überfallkante der Trockenwetterschnecken. Bei gefüllter Pumpenvorlage wird durch Betrieb zweier Wirbeljets ein Absetzen von Feststoffen verhindert.

Auf der Kläranlage durchläuft das Abwasser zunächst die mechanische Vorreinigung, bestehend aus einem Schreiber-Frontladerechen mit anschließendem Spiralsiebrechen und einem belüftetem Langsandfang.

¹ Anlagenkonzeption sieht Platz für ein weiteres Belebungsbecken vor. Dadurch ist eine Erweiterung auf 12.000 EW möglich.

² bezogen auf 120 g CSB/(EW · d), BTB Jahr 2019



Abb. 3: Frontladerrechen



Abb. 4: Spiralsiebtrecher

Das nachfolgende Belebungsbecken ($V = 1.800 \text{ m}^3$) ist mit einer umlaufenden Belüfterbrücke (Schreiber-Gegenstrombelüftung) zur Druckluftversorgung ausgerüstet.



Abb. 5: Belebungsbecken mit umlaufender Belüfterbrücke

Durch den Umlaufbetrieb der Brücke wird gleichzeitig die Umwälzung und Durchmischung des Abwasser-Belebtschlamm-Gemisches realisiert.

Zur Abtrennung des gereinigten Abwassers vom belebten Schlamm ist ein rundes Nachklärbecken mit Schildräumer und einem Durchmesser von 26,0 m vorhanden. Der Rücklaufschlamm wird über eine Förderschnecke ($D = 800 \text{ mm}$) in das Belebungsbecken rückgeführt.



Abb. 6: Nachklärbecken

Der abgezogene Überschussschlamm wird zunächst in einem Schlammsilo zwischengespeichert und anschließend mit Hilfe einer Siebbandpresse auf Feststoffgehalte zwischen 21 und 23 % entwässert. Zur Nachbehandlung werden dem entwässerten Schlamm nicht unerhebliche Mengen (ca. 45 t/a) an Kalk zugegeben.



Abb. 7: Gebläse Belegung



Abb. 8: Siebbandpresse

Im Jahre 1995 wurde die Anlage mit einer Fällmitteldosierstation zur chemischen Phosphatfällung erweitert.

Der Verfahrensablauf der KA Bad Salzig kann dem nachfolgenden Blockschema entnommen werden:

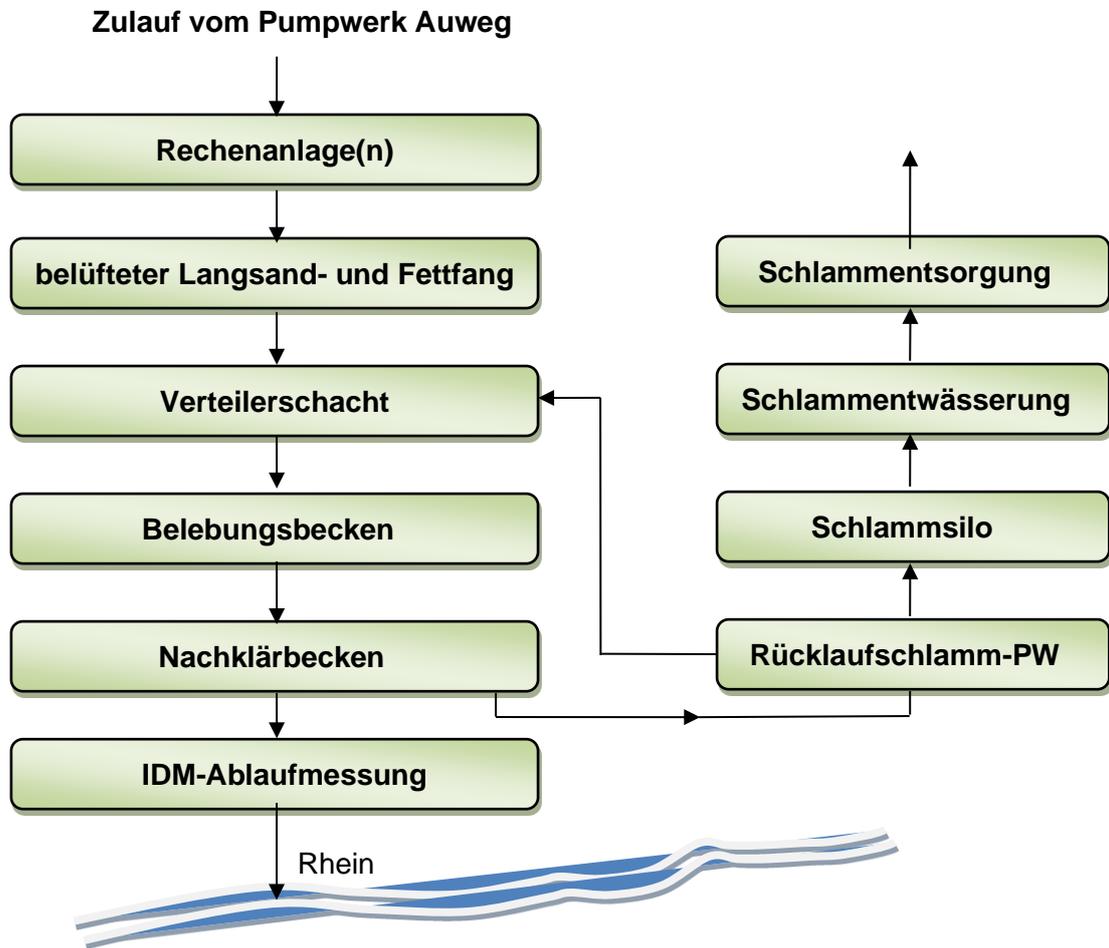


Abb. 9: Verfahrensführung auf der KA Bad Salzig

2.1.3 Produzierte Faulgasmenge und Nutzung

Die Klärschlammstabilisierung erfolgt simultan aerob, entsprechend wird keine Faulungsanlage, in der Faulgas gewonnen wird genutzt.

2.1.4 Art der Schlammentsorgung

Der anfallende Klärschlamm wird entwässert, mit Kalk versetzt und landwirtschaftlich verwertet. Im Jahr 2019 wurden rd. 44 Mg Kalk eingesetzt.

2.1.5 Anfallende und entsorgte Schlammengen

Im Jahr 2019 wurden 4.675 m³ Klärschlamm entwässert und 515 MgOS (107 Mg TM) landwirtschaftlich verwertet. Der mittlere Feststoffgehalt kann demnach mit rd. 20,8% angegeben werden.

2.1.6 Grad der Automatisierung der Anlagen

Durch implementierte Mess- und Regeltechnik (vgl. Kap. 2.2) erfolgt die Regelung einiger Aggregate automatisiert.

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 aus betriebstechnischer Sicht die sanierungsbedürftigen Verfahrensstufen aufgeführt:

- a) Bauliche Schäden im Oberwasserbereich des Rücklaufschlammumpwerkes (Das Bauwerk wird rückgebaut).
- b) Unzureichende Räumlichkeiten im Betriebsgebäude
- c) Nicht zufriedenstellende Entwässerungsleistung der Siebbandpresse zur Überschussschlammmentwässerung

2.1.8 Lokale Rahmenbedingungen

Das Einzugsgebiet der Kläranlage umfasst die überwiegend im Mischsystem entwässerten Ortsgebiete Bad Salzig, Hirzenach, Rheinbay und Weiler mit Fleckertshöhe.

Die Versorgung der Kläranlage Bad Salzig erfolgt über einen im Pumpwerk Auweg aufgestellten Trafo. Der Stromverbrauch wird an einem zentralen Stromzähler im Pumpwerk Auweg aufgezeichnet. Vom Pumpwerk Auweg wird der Strom durch eine eigene Stromleitung zur Kläranlage geleitet.

Zudem wird auch der benachbarte städtische Betriebshof über das Stromnetz der Kläranlage versorgt. Der Einzelverbrauch des Pumpwerkes, der Kläranlage und des Betriebshofes werden nicht durchgehend einzeln aufgezeichnet.

Zur Bestimmung des Stromverbrauchs der Aggregate der Kläranlage wurden aggregat-spezifische Strommessungen sowie Messungen der Stromaufnahme des Pumpwerks und der Kläranlage ermittelt und dadurch die rechnerischen Ansätze validiert. Zusätzlich wurden die durch den Energieversorger aufgezeichneten Lastgänge in 15 min Intervallen ausgewertet und bei der Berechnung berücksichtigt.

Die auf der Kläranlage Bad Salzig zu reinigende Abwassermenge wird durch das Zulaufpumpwerk Auweg auf Kläranlagenniveau gehoben. Die bestehenden Pumpen sind jedoch zu groß dimensioniert, so dass keine kontinuierliche sondern eine stoßweise Beschickung der Kläranlage erfolgt. Durch die hydraulischen Stoßbelastungen wird das Rechengerinne temporär stark eingestaut, läuft aber anschließend vollständig leer. Ebenfalls wird der Sandfang so immer nur temporär durchströmt, obwohl eine durchgehende Belüftung erfolgt. Aus dem ungünstigen Betrieb des Zulaufpumpwerks Auweg resultiert ein sehr hoher Stromverbrauch (vgl. 2.5.2).

Durch den vorgesehenen Anschluss der Kläranlagen Boppard-Ewigbach und Holzfeld an die Kläranlage Bad Salzig muss die Ausbaugröße der Anlage auf 14.500 EW_{CSB} vergrößert werden.

Für die Zentralisierung der Abwasserreinigung auf der KA Bad Salzig sowie zur energetischen Gesamtoptimierung der Anlage ist eine Umstellung der Verfahrensführung von der bisher praktizierten Abwasserreinigung mit simultaner Schlammstabilisierung auf Schlammfäulung geplant. Für die Anordnung der hierfür erforderlichen neuen Anlagenstufen (Vorklärbecken, Faulbehälter, Technikgebäude, Gasspeicher, usw.) steht eine rd. 75 m x 25 m = rd. 1.900 m^2 große Erweiterungsfläche in nordwestlicher Verlängerung des Altstandorts zur Verfügung.

Aufgrund der topografischen Lage im beengten Mittelrheintal sowie unmittelbar angrenzend an die Bahnstrecke sind mögliche Erweiterungsflächen nur in geringem Maße verfügbar. Aufgrund der Klassifizierung des Rheintales als Weltkulturerbe ist bei sämtlichen Maßnahmen die optische Auswirkung auf das Landschaftsbild besonders zu berücksichtigen.

Die KA Bad Salzig soll als zentraler Standort für die Klärschlammbehandlung der Kanalwerke Boppard dienen. Entsprechend sollen die zukünftig nicht mehr aerob zu stabilisierenden Schlämme der Kläranlagen Buchholz und Oppenhausen auf der KA Bad Salzig, zusammen mit den dortigen Schlämmen, ausgefäult und anschließend entwässert werden. Auf der KA Buchholz ist zudem die Integration einer Vorklärung in den Verfahrensablauf vorgesehen, so dass hier auch energetisch hochwertige Primärschlamm bei einer gleichzeitigen Entlastung der dortigen biologischen Anlagenstufe gewonnen wird.

2.1.9 Darstellung aller Energieerzeugungsanlagen

Auf der Anlage sind keine PV-Module oder andere Aggregate zur Strom- oder Wärmeerzeugung vorhanden.

2.2 Sensor-/Messtechnik und Kontrolle der Abwasserqualität

Als Prozessvisualisierungssystem wird die Software WinCC der Fa. Siemens eingesetzt.

Im Prozessleitsystem der Kläranlage werden folgende, für die Abwasserreinigung signifikante Parameter erfasst:

Tab. 1: Installierte Messtechnik (Abwasserreinigung)

Ort der Messung	Parameter
Zulauf	ph-Wert
	Temperatur
	Durchfluss
Biologie (Belebung)	Sauerstoff (O ₂)
	Redoxpotential
Nachklärung	Sichttiefe
Ablauf (Messschacht)	pH-Wert
	Temperatur
	Durchfluss

Die Regelung der Gebläse der Belebung, sowie die Fällmitteldosierung erfolgen anhand von Messwerten automatisiert.

2.3 Personalsituation

Die Kläranlage wird von insgesamt 6 Mitarbeitern betrieben, die aber zusätzlich noch weitere Aufgaben der Abwasserwerke ausführen. Diese haben folgende Qualifikation:

- 1 Abwassermeister
- 2 Elektriker
- 4 Ver- und Entsorger

Die übergeordnete Betriebsführung erfolgt durch die Kanalwerke der Stadt Boppard und Frau Wolf (Geschäftsbereichsleiterin) sowie Hr. Bach (Stv. Geschäftsbereichsleiter, Tief- und Straßenbau, Abwassertechn. Anlagen).

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.

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 Kanalwerke Boppard nehmen regelmäßig am Benchmarking *Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz* teil. Die Teilnahme ist ein Beleg für die besonderen Anstrengungen der Werke zur Steigerung seiner technischen und wirtschaftlichen Leistungen.

Ebenfalls nehmen die Kanalwerke am Leistungsvergleich der DWA teil und sind ebenfalls Mitglied der DWA.

2.3.4 Relevanz und Knowhow zum Energieverbrauch

Die Reduzierung des Energieverbrauchs und die Stromerzeugung durch Nutzung Erneuerbarer Energien nimmt bereits seit vielen Jahren einen hohen Stellenwert ein. Dies kann an den geplanten Maßnahmen zur Zentralisierung der Abwasser- und Klärschlammbehandlung, sowie der Beauftragung einer weiteren Potentialstudie für einen anderen Kläranlagenstandort abgeleitet 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
- Errichtung eines Vorklärbeckens und Verfahrensumstellung auf Schlammfäulung
- Erneuerung von Pumpen und Motoren
- Klärschlammverwertung im Verbund
- Implementierung eines Energiemanagementsystems

2.5 Analyse des Energieverbrauchs

2.5.1 Aufnahme aller wichtigen Stromverbraucher (geordnet nach Anlagenteilen)

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

Tab. 2: Zusammenstellung der wichtigsten Stromverbraucher

Anlagenstufe	Aggregat	Nennleistung [kW]
Zulaufpumpwerk und Regenüberlaufbecken	2 St. Trockenwetterschnecken	je 5
	Regenwetterschnecke	5
	2 St. Zulaufpumpen	je 22
	2 St. Wirbeljet	je 7,5
	U-Pumpe	>20
Mechanische Reinigung	Gegenstromrechen	1,1
	Siebschneckenrechen	1,1
	Sandfanggebläse	2,2
	Sandfangräumer	2,2
	Sandfangpumpe	1,1
Belebungsbecken	3 St. Drehkolbengebläse	je 11
	umlaufende Belüfterbrücke Belebung	2,2
	Rücklaufschlamm-schnecke	3
	2 St. Fällmitteldosierpumpen	je 0,05
	Überschussschlamm-pumpe	3,7
Nachklärbecken	Nachklärbeckenräumer	0,18
	Rinnenwaschgerät	0,38
	Schwimmschlamm-pumpe	2,2
	Fahrbahnheizung	2
Schlammbehandlung	Rührwerk Eindicker	2,5
	Trübwasserpumpe	3,7
	Siebbandpresse Antrieb	1,1
	Siebbandpresse Schlamm-pumpe	3,5
	Siebbandpresse FM-Anlage	0,75
	Siebbandpresse Mischer	2,5
	Siebbandpresse Förderband	4
	Siebbandpresse Kalkschnecke	2,2
	Siebbandpresse Brauchwasser-pumpe	4,5

2.5.2 Ermittlung des gesamten Stromverbrauchs sowie einzelner großer Verbrauchsdaten

Der Stromverbrauch der Kläranlage, des Pumpwerkes und des Betriebshofes betrug im Jahr 2019 insgesamt rd. 310.000 kWh. Abzüglich des Stromverbrauchs des Betriebshofes (vgl. 2.1.8) von 56.847 kWh/a, ermittelt sich der Gesamtstromverbrauch der Kläranlage Bad Salzig (inkl. dem Pumpwerk Auweg) im Betriebsjahr 2019 zu **253.153 kWh/a**. Dies entspricht einem spezifischen Stromverbrauch von ca. 61,88 kWh/(EW·a). Der hohe Stromverbrauch des Zulaufpumpwerkes Auweg (61.396 kWh/a) resultiert dabei aus den besonderen lokalen Rahmenbedingungen. Der Stromverbrauch der Kläranlage abzüglich des im Pumpwerk benötigten Stromes beträgt rd. 191.757 kWh/a, woraus ein spezifischer Stromverbrauch von 46,87 kWh/(EW·a) für die Abwasserreinigung ohne den lokalspezifischen Mehrverbrauch für den Pumpwerksbetrieb mit dem angegliederten Regenüberlaufbecken resultiert.

Zur Verbrauchsermittlung der einzelnen Aggregate wurden Messungen der tatsächlichen Leistungsaufnahme verschiedener Aggregate durchgeführt.

Der Verbrauch der einzelnen Anlagenteile wurde über den gemessenen mittleren Strom bei entsprechender Nutzung, die Nennspannung sowie den Cosinus Phi der Aggregate und die dokumentierten Betriebsstunden errechnet.

$$E = U_{\text{Nenn}} \cdot I_{\text{Nenn}} \cdot \cos(\varphi) \cdot \sqrt{3} \cdot t_{\text{Betrieb}}$$

Bei kleineren Verbrauchern, die nicht extra gemessen werden konnten, wurde der Stromverbrauch mittels Nennleistung, angenommener Betriebszeit und einem Faktor zur tatsächlichen Leistungsaufnahme berechnet.

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

Zur Validierung wurden die berechneten Ergebnisse mit dem Betriebspersonal diskutiert und abgeglichen.

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

M = Messungen der Stromaufnahme

B = Näherung mittels Nennleistung und Faktor für tatsächliche Leistungsaufnahme

Tab. 3: Zusammenstellung Stromverbräuche (Jahr 2019)

Anlagenstufe	Aggregat	Art	Stromverbrauch [kWh]
Zulaufbauwerk (PW Auweg)	2 St. Trockenwetterschnecken	M	17.568
	Regenwetterschnecke	M	1.658
	2 St. Zulaufpumpen	M	34.649
	2 St. Wirbeljet	M	7.367
	U-Pumpe	B	154
Mechanische Reinigung	Gegenstromrechen	B	494
	Siebtrommelrechen	B	1.664
	Sandfanggebläse	M	6.495
	Sandfangräumer	B	330
	Sandfangpumpe	B	660
Belebungsbecken	Gebläse1	M	27.527
	Gebläse 2	M	24.725
	Gebläse 3	M	12.355
	Brücke Belebung	M	37.375
	Rücklaufschlamm-schnecke	M	11.722
	2 St. Fällmitteldosierpumpen	M	342
	Überschussschlamm-pumpe	M	939
Nachklärbecken	Nachklärbeckenräumer	B	1.537
	Rinnenwaschgerät	B	277
	Schwimmschlamm-pumpe	B	1.606
	Fahrbahnheizung	B	1.248
Schlammbehandlung	Rührwerk Eindicker	B	113
	Trübwasserpumpe	M	3.121
	Siebbandpresse Antrieb	B	691
	Siebbandpresse Schlamm-pumpe	B	1.950
	Siebbandpresse FM-Anlage	B	418
	Siebbandpresse Mischer	B	1.393
	Siebbandpresse Förderband	B	2.228
	Siebbandpresse Kalkschnecke	B	1.226
	Siebbandpresse Brauchwasser-pumpe	B	2.507
Sonstiges	Gebäudeheizung/Warmwasser	B	16.180
	Sonstiges, wie Kleingeräte	B	32.337

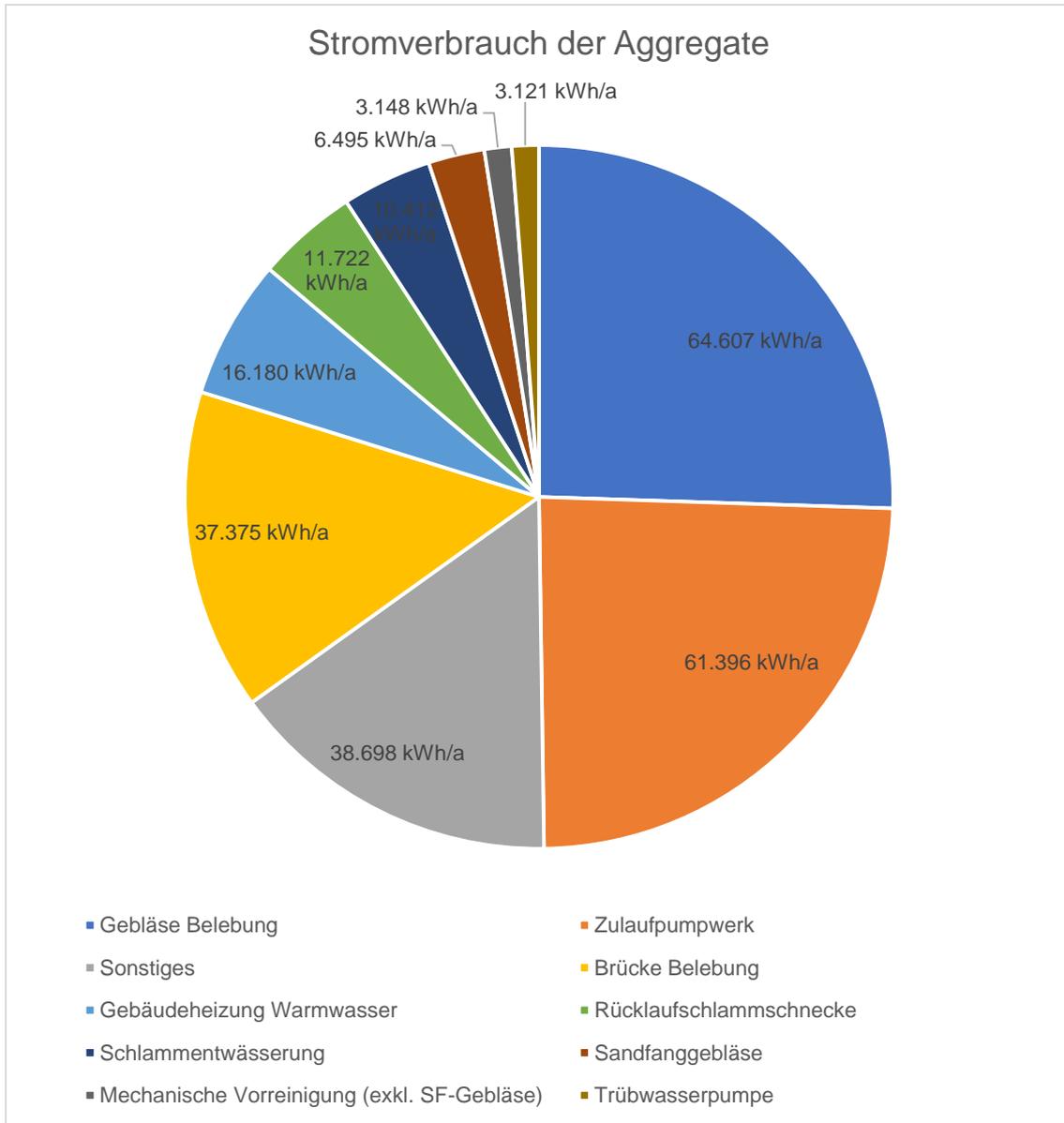


Abb. 10: Zusammenstellung der Energieverbräuche der Aggregate (Jahr 2019)

2.5.3 Wärmebedarf auf der Anlage

Der Wärmebedarf der Kläranlage Bad Salzig resultiert aus der Beheizung des Betriebsgebäudes und der Warmwasserbereitung.

Die Beheizung erfolgt durch elektrische Heizöfen und die Warmwasserbereitung durch elektrische Durchlauferhitzer. Entsprechend wird der Wärmebedarf vollständig durch Fremdstrombezug gedeckt und es werden keine weiteren fossilen Energieträger bezogen. Der Stromverbrauch zur Deckung des Wärmebedarfs ist im vorstehenden Kapitel im Punkt „Sonstiges“ enthalten.

Weil der Verbrauch der einzelnen Heizöfen nicht aufgezeichnet wird und der Betrieb bei Bedarf durch das Personal gesteuert wird, wird der Wärmebedarf wie folgt abgeschätzt:

Die Fläche des Betriebsgebäudes beträgt insgesamt rd. 140 m². Das erste Stockwerk, mit rd. 70 m², kann als vollständig beheizt angenommen werden. Der Wirkungsgrad der elektrischen Heizkörper wird in Näherung mit 1 kWh_{el}/kWh_{th} angenommen. Bei einem spezifischen Wärmebedarf von 200 kWh_{th}/(m²·a)³, der anhand des Gebäudezustandes und -alters abgeschätzt wird, kann der Wärmebedarf zur Gebäudebeheizung wie folgt berechnet werden:

$$70 \text{ m}^2 \cdot 200 \text{ kWh}_{\text{th}}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \cdot 1 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{kWh}_{\text{th}} = 14.000 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{a}$$

Der Wärmebedarf zur Warmwasserbereitung wird bei 3 Personen mit einem täglichen Verbrauch von rd. 50 l/d, einer Erwärmung um 50 K (von 10 °C auf 60 °C) und 250 Arbeitstagen, auf rd. 2.180 kWh/a abgeschätzt ($\eta=1 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{kWh}_{\text{th}}$).

Der gesamte Wärmeverbrauch kann entsprechend mit rd. **16.180 kWh** abgeschätzt werden.

Hinweis:

Der Wärmebedarf zur Beheizung des benachbarten Betriebshofes wird durch einen mit Erdgas gespeisten Kessel gedeckt.

³ 40-100 kWh/(m²·a) bei neuen Gebäuden, 140-200 kWh/(m²·a) bei älteren Gebäuden [Energie in Abwasseranlagen/ Handbuch NRW 2018]

2.6 Ableitung einer Energie- und Treibhausgasbilanz

Die Bilanzierung erfolgt nach dem Prinzip der „endenergiebasierten Territorialbilanz“⁴.

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

Die Abwasserbehandlungsanlage Bad Salzig bezog im Jahr 2019 abzüglich des Strombedarfs des Betriebshofes ca. 253.153 kWh/a Strom. Demnach kann die CO₂-Emission, für diesen Fremdstrombezug, wie folgt berechnet werden:

$$253.153 \text{ kWh/a} \cdot 0,537 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 135,943 \text{ Mg CO}_2/\text{a}$$

Da auf der Kläranlage Bad Salzig der Energiebedarf vollständig durch Fremdstrombezug gedeckt wird und keine weiteren fossilen Energieträger bezogen werden, werden keine weiteren Treibhausgasemissionen berücksichtigt.

2.7 Zusammenfassung aktuelle energetische Situation

Die Kläranlage Bad Salzig weist einen spezifischen Stromverbrauch von **61,88 kWh/(EW·a)** auf. Weil kein Eigenstrom erzeugt wird, beträgt der spezifische Fremdstrombezug ebenfalls **61,88 kWh/(EW·a)**. Die aktuelle Deckungsquote des Energiebedarfs für Strom und Wärme durch auf dem Grundstück umgewandelte erneuerbare Energie beträgt **0 %**.

	Aktuell	Zielwert
Spezifischer Energiebedarf_{el}	61,88 kWh/(EW·a)	<= 23 kWh/(EW·a)
Deckungsquote	0 %	>= 70%

⁴ Fokus Energie- und Treibhausgasbilanzierung für Kommunen, Service- und Kompetenzzentrum: Kommunaler Klimaschutz, im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), 2018

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, die aus dem Prozessleitsystem ausgelesenen Betriebsdauern sowie weitere anlagenspezifische Randbedingungen genutzt.

Tab. 4: Zusammenstellung spezifischer Stromverbräuche und Idealwerte
(Betriebsjahr 2019)

Anlagenstufe	Aggregat	Spezifischer Stromverbrauch [kWh/(EW·a)]	Anlagenspezifischer Idealwert [kWh/(EW·a)]
Zulaufbauwerk (PW Auweg)	Trockenwetterschnecken	4,29	2,42
	Regenwetterschnecke	0,41	0,37
	Zulaufpumpen	8,47	5,55
	Wirbeljet	1,8	0,51
Mechanische Reinigung	Rechen inkl. Presse	0,53	0,1
	Sandfanggebläse	1,59	1,45
Belebungsbecken	Gebläse 1	6,73	-
	Gebläse 2	6,04	-
	Gebläse 3	3,02	-
	Summe Gebläse	15,79	12,42
	Umwälzung	9,14	5,78
Summe	24,93	18,2	
Rücklaufschlamm-pumpwerk	Rücklaufschlammschnecke	2,87	2,25
Überschuss-schlamm-pumpe	Überschussschlamm-pumpe	0,23	0,05
Nachklärbecken	Nachklärbeckenräumer	0,38	0,63
Schlammbehand-lung	Trübwasserpumpe	0,76	0,15
	Siebbandpresse	2,55	1,57

Zulaufpumpwerk Auweg

Die Zulaufpumpen weisen bei einem spezifischen Strombedarf von rd. 8,5 kWh/(EW·a) ein signifikantes Optimierungspotential auf. Aufgrund des resultierenden Einsparpotentials sowie der bisherigen Nutzungsdauer wird ein Ersatz gegen energieeffiziente Pumpenaggregate empfohlen.

Rechenanlage

Der spezifische Stromverbrauch der Rechenanlage inkl. Rechengutwaschpresse liegt zusammengenommen bei 0,53 kWh/(EW·a) und damit deutlich oberhalb des Literaturbereiches⁵ vom 0,05 kWh/(EW·a), im Optimum bis 0,1 kWh/(EW·a). Entsprechend kann aus energetischer Sicht ein Optimierungsbedarf abgeleitet werden.

Nachklärbecken

Die installierte Leistung des Räumerantriebs von 180 W liegt unterhalb des Literaturbereiches⁵ von 0,3 - 1 kW/je Becken. Bei ausreichender technischer Funktion ist kein Optimierungspotential abzuleiten.

Sand-/Fettfang

Der spezifische Stromverbrauch der Sandfanggebläse liegt über dem berechneten Idealwert. Daraus kann ein energetisches Optimierungspotential abgeleitet werden. Zusätzlich zu dem energetischen Potential, das aus dem technischen Zustand resultiert, ist ein verfahrenstechnisches Optimierungspotential gegeben, durch das zusätzlich Strom eingespart werden kann. So wird aktuell der Sandfang durchgehend und ungesteuert belüftet, obwohl nur eine stoßweise Beschickung erfolgt.

Belebung

Der Stromverbrauch der Belebung ist neben dem Zulaufpumpwerk Auweg der größte Stromverbraucher der Anlage. Es ist eine Abweichung zwischen den spezifischen Kennzahlen und deren Idealwerten zu erkennen, so dass Maßnahmen zur Optimierung notwendig sind. In den Idealwerten der Belüftung wurde eine flächig angeordnete Belüftung berücksichtigt. Durch Nutzung von Tauchmotorrührwerken kann eine ausreichende Umwälzung der Belebung erfolgen und die schnelllaufende Brücke außer Betrieb genommen werden.

⁵ Gemäß DWA-A 216 und Bezug auf Murl 1999

Rücklaufschlammumpwerk

Der spezifische Stromverbrauch der Rücklaufschlamm-schnecken weicht von dem Idealwert ab. Bei einem durchgehenden Betrieb mit i. d. R. rd. 50 l/s wird zudem ein Rücklaufschlammverhältnis von über 4:1 gefahren. Neben dem energetischen und zustandsbedingten Optimierungspotential kann weiterhin auch eine verfahrenstechnische Optimierung zur deutlichen Senkung des Stromverbrauchs beitragen.

Überschussschlamm-pumpe

Der spezifische Stromverbrauch der Überschussschlamm-pumpe weicht verhältnismäßig stark von dem Idealwert ab. Durch Austausch der Pumpe und des Motors mit gezielt energieeffizienten Aggregaten, kann der Stromverbrauch vermindert werden.

Schlamm-entwässerung

Der spezifische Stromverbrauch der Schlamm-entwässerung inkl. Peripherie liegt deutlich oberhalb des Idealwertes. Dies ist auch auf das hohe Alter der Sieb-band-presse zurückzuführen. Um das energetische Optimierungspotential zu nutzen soll die Sieb-band-presse durch eine energieeffiziente Schnecken-presse ersetzt werden.

2.9 Gegenüberstellung von verbrauchter und erzeugter Energie

Auf der Kläranlage Bad Salzig wird derzeit lediglich Energie in Form von Strom bezogen. Um den Wärmebedarf der Anlage zu decken wird ebenfalls Strom eingesetzt.

Tab. 5: Gegenüberstellung Stromverbrauch und Stromerzeugung (Jahr 2019)

Verbraucher [kWh/a]		Erzeuger [kWh/a]	
Zulaufpumpen	52.217	-	-
Regenwasserbe- handlung	9.179		
Biologie	101.981		
Rücklauf- schlammförde- rung	11.722		
Schlammbehand- lung	14.585		
Gebäudeheizung	16.180		
Sonstiges	47.289		
Summe	253.153	Summe	-

2.9.1 Eigenversorgungsgrad Strom

Da auf dem Gelände der Kläranlage Bad Salzig kein Strom erzeugt wird beträgt der Deckungsgrad 0 %.

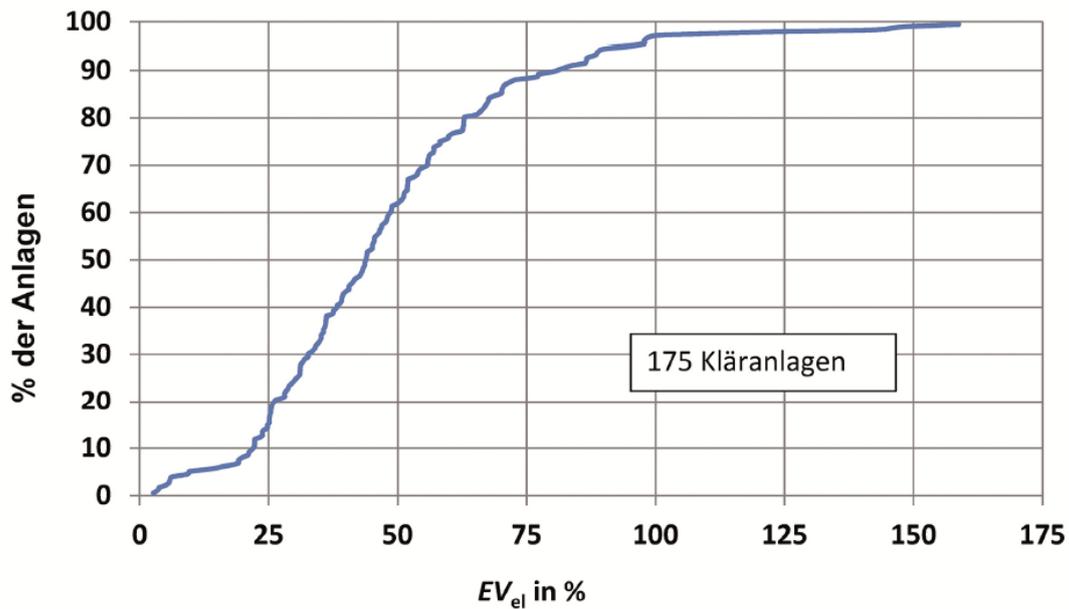


Abb. 11: Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie (DWA-A 216)

2.9.2 Eigenversorgungsgrad Wärme

Der Wärmebedarf der Anlage wird vollständig durch Nutzung von fremdbezogenem Strom gedeckt. Entsprechend beträgt der Eigenversorgungsgrad 0 %.

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

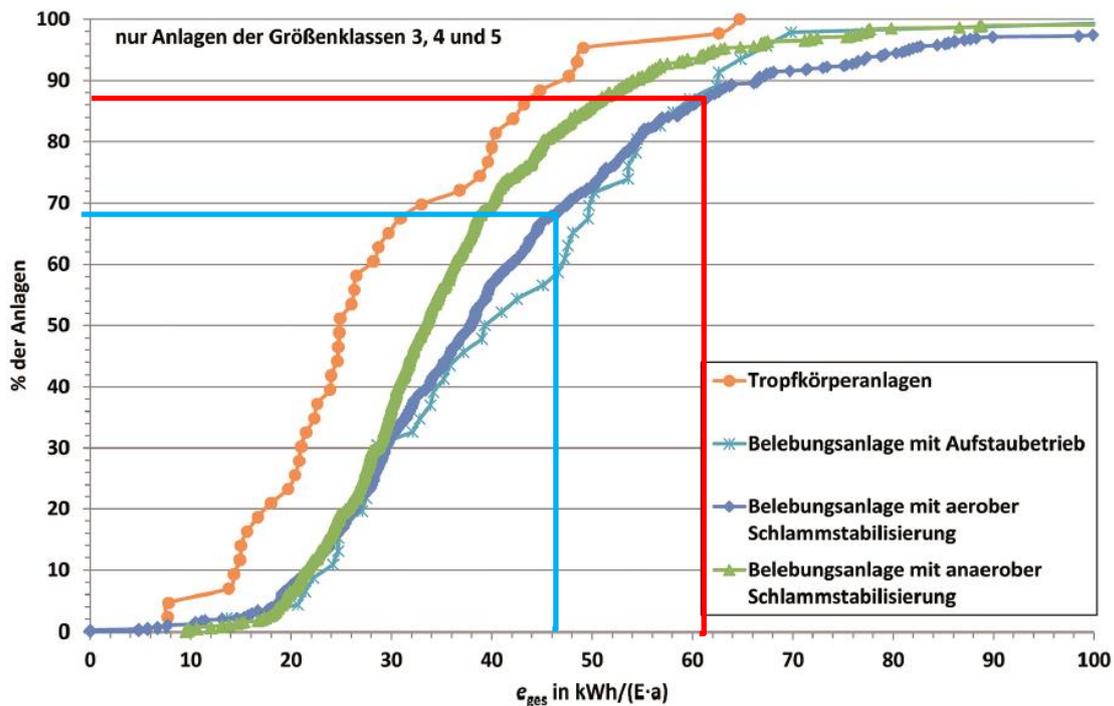


Abb. 12: Spezifischer Gesamtstromverbrauch in Abhängigkeit vom Reinigungsverfahren (DWA-A 216)

Bei dem spezifischen Energiebedarf von 61,88 kWh/(EW·a) (rote Linie in Abb. 12) sind ca. 85 % der Kläranlagen mit aerober Schlammstabilisierung energiesparender als die Kläranlage Bad Salzig. Bei Berücksichtigung des auch aus den lokalen Randbedingungen resultierenden hohen Stromverbrauches des Zulaufpumpwerkes und des Regenüberlaufbeckens, beträgt der spezifischen Stromverbrauch 46,87 kWh/(EW·a) (blaue Linie in Abb. 12). Somit sind rd. 68 % der Kläranlagen energiesparender. Entsprechend kann auf ein großes allgemeines energetisches Optimierungspotential der Kläranlage geschlossen werden.

Kurzfristige Potentiale

Entsprechend der Auswertung der Energieverbräuche besteht das größte Einsparungspotential in einer Optimierung der Belebung. Das bestehende Belebungsbecken sollte dazu mit einer energieeffizienten Belüftungseinrichtung ausgestattet werden. Durch den Einsatz von bodennah installierten Plattenbelüftern kann zusätzlich die Umwälzung durch intermittierenden Betrieb optimiert und die schnelllaufende Brücke vollständig außer Betrieb genommen werden. Weiterhin ist eine Erneuerung der veralteten Gebläse zur Erreichung des Idealwertes notwendig.

Im Zuge der Umsetzung der Maßnahmen zur Zentralisierung der Abwasserbehandlung der Kanalwerke Boppard sollte eine Umstellung der Kläranlage Bad Salzig auf Faulung erfolgen. Dadurch kann Faulgas als Energieträger gewonnen und der Fremdstrombezug der Kläranlage gesenkt werden.

Zur Nutzung des Faulgases kann ein Blockheizkraftwerk (BHKW) oder eine Mikrogasturbine (MGT) eingesetzt werden. Bei Blockheizkraftwerken liegen die elektrischen Wirkungsgrade der hier in Betracht kommenden kleineren Aggregate bei etwa 30%, die üblichen thermischen Wirkungsgrade bei etwa –50 %.

Bei einem möglichen Planungsaggregat kann von folgenden Leistungsdaten ausgegangen werden:

Brennstoffleistung	:	163 kW
Elektrische Leistung	:	50 kW
Thermische Leistung	:	84 kW
Elektr. Wirkungsgrad	:	30,7 %
Therm. Wirkungsgrad	:	51,5 %

Dieses Planungsaggregat erlaubt einen modulierbaren Betrieb bei nahezu konstantem Wirkungsgrad, so dass die Faulgasverstromung am Stromverbrauch orientiert erfolgen kann. In Kombination mit einem ausreichenden Faulgasbehälter kann der Eigennutzungsgrad maximiert und die Stromeinspeisung minimiert werden.

Durch die parallele Errichtung einer Infrastruktur zur Klärschlammbehandlung im Verbund können Fremdschlämme von Satellitenkläranlagen in der Faulung mitbehandelt werden und weitere energetische Potentiale zur Erzeugung Erneuerbarer Energien erschlossen werden. Ebenfalls wird der Stromverbrauch auf den Satellitenkläranlagen dadurch gesenkt., weil keine aerobe Schlammstabilisierung in der biologischen Abwasserreinigungsstufe mehr erfolgen muss.,

Das Zulaufpumpwerk als großer Stromverbraucher bietet im Rahmen des Austauschs von Pumpen und Motoren ein signifikantes Optimierungspotential. Durch einen Austausch der Aggregate mit gezielt energieeffizienten Pumpen und eine Überprüfung der Dimensionierung sowie der Ansteuerung, sollen die Potentiale möglichst umfassend erschlossen werden. Der Betrieb der Pumpen und entsprechend die Beschickung der Kläranlage erfolgt aktuell diskontinuierlich, was in Abb. 13 exemplarisch an der Stromaufnahme der Pumpen in dem abgebildeten Messzeitraum von 5 h erkannt werden kann. Bei den Aggregaten kann eine hohe Leistungsaufnahme im Vergleich zur Nennleistung beobachtet werden, so dass hieraus eine nachlassende Effizienz abgeleitet werden kann.

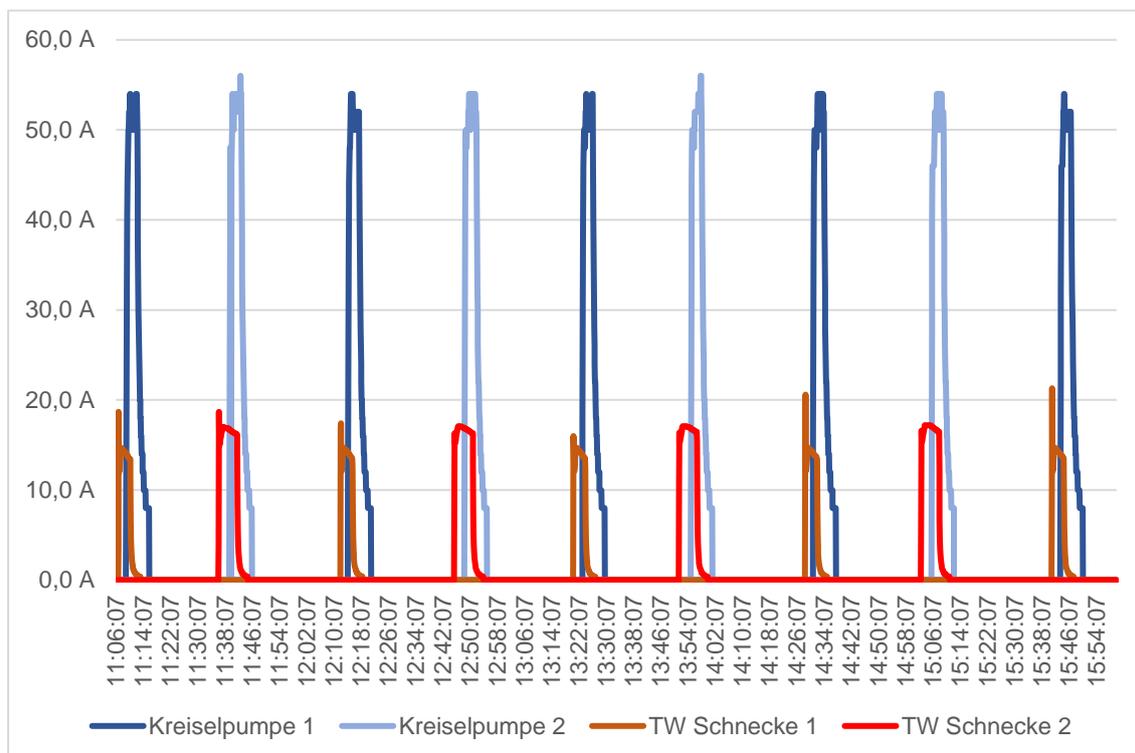


Abb. 13: Auszug Strommessung Pumpwerk (Trockenwetter 11 Uhr bis 16 Uhr)

Ebenfalls weist die Schnecke zur Rücklaufschlammförderung ein signifikantes Optimierungspotential auf. Dort ist besonders auf eine Anpassung der Dimensionierung zu achten, so dass die RLS-Menge an die Zulaufmenge angepasst werden kann und eine Einstellung eines festen Rücklaufschlammverhältnisses möglich ist.

Durch die Implementierung eines Energiemanagementsystems können die Energieverbräuche und -erzeugungen überwacht werden (vgl. 3.1.3). Entsprechend können energetische Optimierungspotentiale frühzeitig erkannt und erschlossen werden sowie Flexibilisierungspotentiale von Energieverbrauch und Energieerzeugung genutzt werden, um den Eigendeckungsgrad zu maximieren.

Mittelfristige Potentiale

Die mechanische Vorreinigung, bestehend aus der Rechenanlage und dem belüfteten Langsand- und Fettfang, weist ein energetisches Einsparpotential auf. Durch die Nutzung einer Rechen-Sandfang-Kompaktanlage können die Einsparpotentiale in einer Maßnahme erschlossen werden. Das Sandfanggebläse soll in diesem Fall mittels Frequenzumrichter angesteuert werden, so dass die Belüftung an die Zulaufmenge angepasst werden kann.

Auf der Kläranlage Bad-Salzig ist die Dachfläche des Betriebsgebäudes sowie des neu zu bauenden Entwässerungsgebäudes günstig zur Eigenstromerzeugung mittels Photovoltaik ausgerichtet. Durch Installation geeigneter PV-Module könnte so die Eigenstromerzeugung gesteigert werden.

Langfristige Potentiale

Durch die Umstellung auf Faulung wird ein Heizwasserkreislauf auf der Kläranlage implementiert. Die Umstellung der Gebäudeheizung auf diesen, durch das BHKW gespeisten Wasserkreislauf, macht die überschüssige Wärme aus der Faulgasnutzung zur Gebäudebeheizung nutzbar. Dadurch kann der Stromverbrauch zur Gebäudebeheizung entfallen.

3.1.2 Ansätze zur Nutzung Erneuerbarer Energie

Auf den zur Errichtung von Photovoltaikanlagen günstigen Dachflächen sind keine PV-Anlagen installiert. Diese könnten mit entsprechenden Modulen bestückt und zur Eigenstromerzeugung genutzt werden. Die möglichen Dachflächen besitzen eine Fläche von 60 m². Bei einer benötigten Fläche von rd. 8 m²/kWp ergibt sich daraus eine Peak-Leistung von 7,5 kW. Bei einer spezifischen Stromgewinnung von 950 kWh/(kWp·a) können so rd. 7.125 kWh/a erzeugt werden.

Der Standort der Kläranlage ist wegen leichter Tallage, der nahen Wohnbebauung (rd. 300 m) und der Lage im Gebiet des Welterbe Oberes Mittelrheintal nicht für die Stromgewinnung mittels Windenergie geeignet. Auch die Aufstellung einer Mid-Size-Windkraftanlage⁶ ist unter diesen Rahmenbedingungen nicht interessant.

Durch den auf dem Kläranlagengelände nur sehr geringen Höhenunterschied, eignet sich die Anlage nur im geringen Maße zur Stromerzeugung aus Wasserkraft. Zusätzlich ist der Durchfluss mit ca. 12 l/s (Jahr 2019: 318.817 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.

⁶ Windkraftanlagen mit rd. 250 kW Leistung, maximale Höhe < 50 m, dadurch nur Baugenehmigung und kein Zulassungsverfahren nach Bundesimmissionsschutzgesetz 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. Ein solches Energiemanagementsystem⁷ erleichtert durch Aufzeichnung der Energieströme die Identifikation energetischer Potentiale und eine kontinuierliche Verbesserung der energetischen Nutzung wird 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 durch ein gut dimensioniertes (modulierbares) BHKW zur Faulgasnutzung, in Kombination mit einer ausreichenden Gasspeicherkapazität, die Stromerzeugung im starken Maße bedarfsorientiert erfolgen. Dadurch ist eine effektiver Faulgasnutzung zur Erhöhung der Eigenbedarfsdeckungsquote möglich.

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 vorrangig durch die Verfahrensumstellung gesteigert.

3.3 Entwicklung einer Strategie zur Umsetzung dieser Ziele

Parallel zur Erstellung der Potentialstudie wurde eine Umstellung auf Faulung planerisch vorbereitet. Die weiteren Maßnahmen zur energetischen Optimierung sollen entsprechend des Zeitplanes bei der Ausschreibung der weiteren Arbeitsschritte berücksichtigt und mit umgesetzt werden.

⁷ Energiemanagementsystem gemäß DIN EN ISO 50001

4. Ableitung von Optimierungsmaßnahmen und Fahrplan zur Umsetzung

4.1 Retrospektive – Zusammenstellung bereits umgesetzter Maßnahmen

Die Stromverbrauchswerte des Trafos für die Kläranlage sowie das Pumpwerk ist in den Jahren 2017 bis 2019 ist leicht angestiegen. Es wurde bislang kein Strom zur Eigenbedarfsdeckung erzeugt.

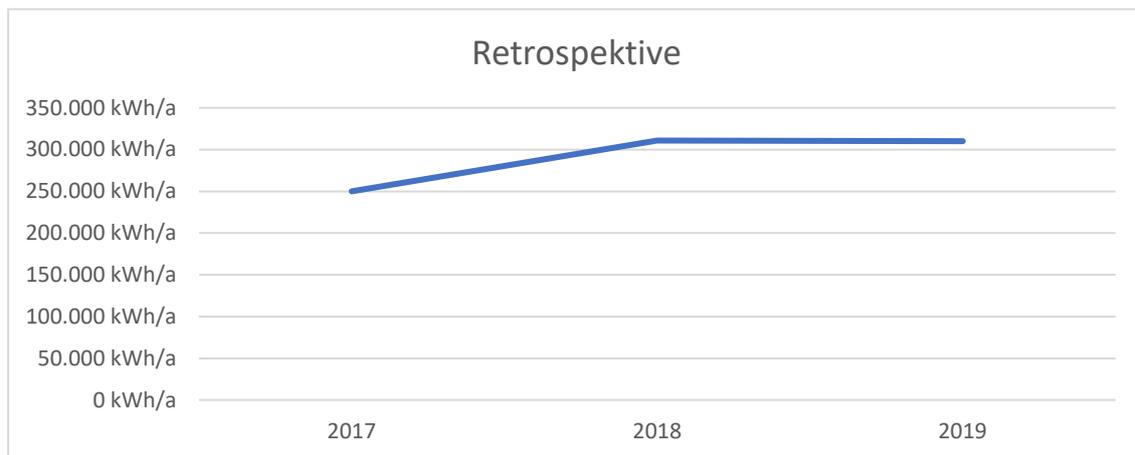


Abb. 14: Retrospektive Stromverbrauch

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-Emissionen⁸
- 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.).

⁸ Stromverbrauchsdaten geplanter Maßnahmen wurden auf Basis des DWA-A 216 abgeschätzt

4.2.1 Erneuerung der Belüftung

Zur energetischen Optimierung sowie zur Anpassung an den zukünftigen Bedarf soll die Belüftungseinrichtung des Belebungsbeckens erneuert werden. Es sollen energieeffiziente großflächige Belüfterplatten flächendeckend eingesetzt werden. Diese sollen fest auf dem Boden installiert werden. Eine ausreichende Umwälzung soll durch neue Tauchmotorrührwerke sichergestellt werden, so dass die schnelllaufende Brücke außer Betrieb genommen werden kann. Um das volle energetische Potential auszuschöpfen, werden die bestehenden Gebläse (Erstausrüstung) durch FU-geregelte energieeffiziente Gebläse ersetzt. Die Einsatzmöglichkeit von Turbogebbläsen sollte innerhalb der weiteren Planungsschritte untersucht werden.

Auslegung und Energieeinsparung:

$$SOTR = 228.589 \text{ kg O}_2/\text{a}^9$$

$$SAE_{\text{best}} = 3,54 \text{ kg O}_2/\text{kWh}$$

$$SAE_{\text{ideal}} = 4,5 \text{ kg O}_2/\text{kWh}^{10}$$

$$E_{\text{ideal,b}} = 228.589 \text{ kg O}_2/\text{a} / 4,5 \text{ kg O}_2/\text{kWh} = 50.798 \text{ kWh/a}$$

$$E_{\text{spez id,b}} = 50.798 \text{ kWh/a} / 4.091 \text{ EW} = 12,42 \text{ kWh}/(\text{EW} \cdot \text{a})$$

$$E_{\text{ideal,U}} = 1.900 \text{ m}^3 \cdot 1,5 \text{ W/m}^3 \cdot 8.758 \text{ h/a} = 23.647 \text{ kWh/a}$$

$$E_{\text{spez id,U}} = 23.647 \text{ kWh/a} / 4.091 \text{ EW} = 5,78 \text{ kWh}/(\text{EW} \cdot \text{a})$$

$$E_{\text{aktuell}} = E_{\text{Belüftung}} + E_{\text{Umwälzung}} = 101.981 \text{ kWh/a}$$

$$E_{\text{aktuell}} = 101.981 \text{ kWh/a} / 4.091 \text{ EW} = 24,93 \text{ kWh}/(\text{EW} \cdot \text{a})$$

$$E_{\text{spar}} = 101.981 \text{ kWh/a} - 74.444 \text{ kWh/a} = \mathbf{27.537 \text{ kWh/a}}$$

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

$$27.537 \text{ kWh/a} \cdot 0,537 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = \mathbf{14.787 \text{ kg CO}_2/\text{a}}$$

Unter Berücksichtigung der geplanten Anschlüsse der Kläranlagen Boppard-Ewigbach und Holzfeld an die KA Bad Salzig, sowie der notwendigen Kapazitäten der biologischen Abwasserreinigungsstufe zur Mitbehandlung der im Rahmen der Klärschlammmentwässerung anfallenden Filtratwässer, wird die Optimierung der Belebung einen größeren Effekt erzielen. Dabei wird angenommen, dass durch eine konventionelle, nicht gezielt energetisch optimierte Erweiterung der Biologie, der aktuelle spezifische Stromverbrauch beibehalten wird.

$$E_{z \text{ ideal}} = 467.452 \text{ kg O}_2/\text{a} / 4,5 \text{ kg O}_2/\text{kWh} = 103.878 \text{ kWh/a}$$

$$E_{z \text{ best}} = 467.452 \text{ kg O}_2/\text{a} / 3,54 \text{ kg O}_2/\text{kWh} = 132.049 \text{ kWh/a}$$

$$E_{z \text{ spar}} = (192.567 \text{ kWh/a} - 162.306 \text{ kWh/a}) + (37.375 \text{ kWh/a} - 23.647 \text{ kWh/a}) = \mathbf{43.989 \text{ kWh/a}}$$

Durch den verringerten theoretischen Strombedarf bei Erweiterung der Anlage werden jährliche folgende THG-Emissionen eingespart:

$$43.989 \text{ kWh/a} \cdot 0,537 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = \mathbf{23.622 \text{ kg CO}_2/\text{a}}$$

Investitionskosten: 477.000,00 € brutto (vgl. Tab. 10)

⁹ Nach Berechnung entsprechend DWA-A 131 (aktuelle Belastung und Beckendimensionierung)

¹⁰ flächendeckend [Energiehandbuch NRW]

4.2.2 Umstellung auf Faulung und Errichtung eines Vorklärbeckens

Durch eine Verfahrensumstellung auf Schlammfäulung kann energiereiches Klärgas gewonnen werden. Dieses kann durch ein Blockheizkraftwerk zur Eigenstrom- und Wärmeerzeugung genutzt werden. Durch den Anschluss der Kläranlagen Boppard-Ewigbach und Holzfeld ergibt sich die zukünftige Ausbaugröße der KA Bad Salzig zu 14.500 EW.

Durch Integration eines Vorklärbeckens in den Verfahrensablauf der Abwasserreinigung wird energiereicher Primärschlamm gewonnen und die Belebung entlastet, wodurch geringere Beckenvolumina benötigt und der Sauerstoffbedarf reduziert werden kann.

Energieverbrauch Vorklärbecken (VKB):

$$E_{\text{VKB}} = 0,5 \text{ kW} \cdot 8.760 \text{ h} = 4.380 \text{ kWh/a}$$

Energieverbrauch Primärschlammumpwerk (PSPW):

$$E_{\text{PSPW}} = 4,5 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m}) \cdot 8 \text{ m} \cdot 4.940 \text{ m}^3/\text{a}^{11} = 178 \text{ kWh/a}$$

Um das nötige Faulraumvolumen, sowie den Wärmebedarf zur Rohschlammerwärmung zu minimieren, wird der Überschussschlamm maschinell eingedickt. Der Energieverbrauch der maschinellen Überschussschlammeindickung (MÜSE) berechnet sich zu:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ÜS}} &= (31,7 \text{ g}/(\text{EW} \cdot \text{d}) \cdot 14.500 \text{ EW} \cdot 365 \text{ d}) / 6 \text{ kg}/\text{m}^3 = 27.962 \text{ m}^3/\text{a} \\ E_{\text{eindick}} &= e_{\text{spez}} \cdot Q_{\text{ÜS}} = < 0,2 \text{ kWh}/\text{m}^3^{12} = \text{rd. } 5.500 \text{ kWh/a} \end{aligned}$$

Durch das Vorklärbecken und die daraus resultierende Frachtreduzierung der biologischen Reinigungsstufe sowie der Herabsetzung des Schlammalters im Belebungsbecken wird der Strombedarf der Belüftung im Vergleich zur aeroben simultanen Schlammstabilisierung gesenkt:

$$\begin{aligned} \text{SOTR}_{\text{aerob}} &= 537.522 \text{ kg O}_2/\text{a}^{13} \\ \text{SOTR}_{\text{anaerob}} &= 467.451 \text{ kg O}_2/\text{a}^{14} \\ \text{SOTR}_{\text{spar}} &= 70.071 \text{ kg O}_2/\text{a} \\ \text{SAE} &= 4,5 \text{ kg O}_2/\text{kWh} \end{aligned}$$

Daraus resultiert folgende Stromeinsparung:

$$\begin{aligned} E_{\text{spar}} &= 70.071 \text{ kg O}_2/\text{a} / 4,5 \text{ kg O}_2/\text{kWh}^{15} = 15.571 \text{ kWh/a} \\ E_{\text{spar.spez}} &= 15.571 \text{ kWh/a} / 10.150 \text{ EW} = 1,534 \text{ kWh}/(\text{EW} \cdot \text{a}) \end{aligned}$$

Bei Normierung der Einsparung der Belebung auf die aktuelle mittlere Belastung resultiert folgendes Ergebnis:

¹¹ Angenommener Primärschlammfall KA Bad Salzig bei der zukünftigen mittleren Belastung

¹² Bei Bandeindicker, Trommeleindicker, Scheibeneindicker spez. Verbrauch <0,2 kWh/m³ [DWA-M 366]

¹³ Gemäß Berechnung nach DWA-A 131 für zukünftige Belastung bei simultan-aerober Schlammstabilisierung inkl. Filtratwässern

¹⁴ Gemäß Berechnung nach DWA-A 131 für zukünftige Belastung bei Faulung und VKB

¹⁵ vgl. Maßnahme „Erneuerung der Belüftung“ (Kapitel 4.2.1)

$$E_{\text{spar}} = E_{\text{spar.spez}} \cdot 4.051 \text{ EW} = 6.276 \text{ kWh/a}$$

Im Rahmen der Studie wird eine 2-stufige Kompaktfaulung mit einem Faulraumvolumen von 420 m³ vorgesehen. Hierin berücksichtigt ist der Volumenanteil zur Mitbehandlung der Schlämme der Kläranlagen Buchholz und Oppenhausen. Die auf die Schlammmenge bezogene Ausbaugröße der Kläranlage addiert sich demnach auf insgesamt 24.600 EW.

Der Strombedarf zur Durchmischung der Faulung wird entsprechend abgeschätzt:

$$E_{\text{Durchmischung}} = 420 \text{ m}^3 \cdot 3 \text{ W/m}^3 \cdot 8.760 \text{ h} = \text{rd. } 16.294 \text{ kWh/a}$$

Zur Erwärmung des Rohschlammes und der Deckung der Abstrahlverluste des Faulbehälters an die Umgebung wird der Schlamm durch Rohrwärmetauscher beheizt. Als Temperatur des Faulschlammes werden ganzjährig 37 °C vorgesehen. Die erforderliche Wärmemenge kann wie folgt berechnet werden:

Abstrahlverluste¹⁶:

$$T_{\text{außen,Sommer}} = 15 \text{ °C}; T_{\text{Boden,Sommer}} = 12 \text{ °C}; T_{\text{außen,Winter}} = 5 \text{ °C}; T_{\text{Boden,Winter}} = 7 \text{ °C}$$

$$E_{\text{ab,Sommer}} = 78,0 \text{ kWh/d}$$

$$E_{\text{ab,Winter}} = 94,4 \text{ kWh/d}$$

$$E_{\text{ab}} = (0,5 \cdot 78,0 \text{ kWh/d} + 0,5 \cdot 94,4 \text{ kWh/d}) \cdot 365 \text{ d} = 31.472 \text{ kWh/a}$$

Rohschlammerwärmung:

$$T_{\text{Faulung}} = 38 \text{ °C}; T_{\text{RS,Sommer}} = 15 \text{ °C}; T_{\text{RS,Winter}} = 10 \text{ °C}$$

$$E_{\text{RS,Erwä}} = Q_{\text{RS}} \cdot (T_{\text{Faulung}} - T_{\text{Ein}}) \cdot c_{p\text{Wasser}}$$

$$E_{\text{Sommer}} = 21,2 \text{ m}^3/\text{d} \cdot (38 \text{ °C} - 15 \text{ °C}) \cdot 4,186 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}) = 567 \text{ kWh/d}$$

$$E_{\text{Winter}} = 21,2 \text{ m}^3/\text{d} \cdot (38 \text{ °C} - 10 \text{ °C}) \cdot 4,186 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}) = 690 \text{ kWh/d}$$

$$E_{\text{th,FS}} = (0,5 \cdot 567 \text{ kWh/d} + 0,5 \cdot 690 \text{ kWh/d}) \cdot 365 \text{ d} = 229.375 \text{ kWh/a}$$

Bei Nutzung des Faulgases in einem BHKW kann Strom und Wärme gewonnen werden. Entsprechend der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Vordimensionierung können die gewonnenen Energiemengen wie folgt berechnet werden:

$$E_{\text{Brennstoff}} = 280 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 63 \%_{\text{Methan}} \cdot 10 \text{ kWh/m}^3_{\text{Methan}} \cdot 365 \text{ d/a} \\ = 643.272 \text{ kWh/a}$$

Faulgasnutzung durch ein Blockheizkraftwerk (BHKW):

$$50 \text{ kW}_{\text{el}}, 84 \text{ kW}_{\text{th}}, 163 \text{ kW}_{\text{Br}}, 30,7 \%_{\eta_{\text{el}}}, 51,5 \%_{\eta_{\text{th}}}$$

$$E_{\text{el}} = 643.272 \text{ kWh/a} \cdot 30,7 \%_{\eta_{\text{el}}} = 197.323 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{a}$$

$$E_{\text{th}} = 643.272 \text{ kWh/a} \cdot 51,5 \%_{\eta_{\text{th}}} = 331.502 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{a}$$

¹⁶ Entsprechend Vordimensionierung IG Dr. Siekmann + Partner mbH

Tab. 6: Energetische Effekte bei der Umstellung auf Faulung (absolut, bei zukünftiger Ausbaugröße 14.500 EW, mittlere Belastung rd. 10.150 EW)

	Elektrisch	Thermisch
Vorklärbecken & PSPW	4.558	-
MÜSE	5.500	-
Einsparung Belebung	-15.571	-
Betrieb Faulung (inkl. Rohschlammerwärmung)	16.294	260.847
Faulgasnutzung	-197.323	-331.502
Summe	-186.542	-70.655

Bei Reduktion des Fremdstrombezuges um die obenstehende Strommenge werden folgende THG-Emissionen eingespart:

$$186.542 \text{ kWh/a} \cdot 0,537 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/ kWh} = 100.173 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/a}$$

Der Faulgasertrag sowie die Wärmebilanz der Faulung sind auf die zukünftige Belastung der Kläranlage Bad Salzig bemessen. In der folgenden Tabelle sind die Effekte der Maßnahmen, die direkt von der zukünftigen Belastung abhängig sind, auf die aktuelle mittlere Belastung der Kläranlage Bad Salzig normiert. Der Stromverbrauch des Vorklärbeckens und zum Betrieb der Faulung (Durchmischung Faulbehälter) wurde nicht zur Normierung reduziert, sondern vollständig der bestehenden Belastung zugeordnet. Ebenso wurden die vollen thermischen Abstrahlverluste berücksichtigt. Diese Werte können zur Bilanzierung des Maßnahmenerfolges im Vergleich zur aktuellen energetischen Situation genutzt werden.

Tab. 7: Energetische Effekte bei der Umstellung auf Faulung (normiert¹⁷, mittlere Belastung von 4.091 EW für die KA Bad Salzig)

	Elektrisch	Thermisch
Vorklärbecken	4.380	-
PSPW	72	-
MÜSE	2.217	-
Einsparung Belebung	-6.276	-
Betrieb Faulung	16.294	31.472
Rohschlammerwärmung	-	92.451
Faulgasnutzung	-79.532	-133.613
Summe	-62.845	-9.690

Bei Reduktion des Fremdstrombezuges um die obenstehende normierte Strommenge werden folgende THG-Emissionen eingespart:

$$62.845 \text{ kWh/a} \cdot 0,537 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/ kWh} = \mathbf{33.748 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/a}}$$

Investitionskosten: rd. 2.230.000,00 € brutto (vgl. Tab. 11)

¹⁷ Normierung allg. mittels Faktor (4.091 EW/10.150 EW)

4.2.3 Erneuerung Pumpen und Motoren

Verschiedene Pumpen bzw. die Antriebsmotoren stammen aus der Erstausrüstung und sind entsprechend als veraltet und nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik entsprechend anzusehen. Die Antriebsmotoren sind nach keiner Effizienzklasse zertifiziert und weisen im Vergleich zu aktuellen Motoren der Effizienzklassen IE3/IE4 verschlechterte Wirkungsgrade auf.

Durch die folgend beschriebenen Maßnahmen kann insgesamt folgende Strommenge eingespart werden:

$$E_{\text{spar}} = 29.102 \text{ kWh/a}$$

Dementsprechend werden folgende THG-Emissionen eingespart:

$$29.102 \text{ kWh/a} \cdot 0,537 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = \mathbf{15.628 \text{ kg CO}_2/\text{a}}$$

Die Gesamtinvestitionskosten betragen: 275.000,00 € brutto (vgl. Tab. 12)

Austausch Rücklaufschlamm-schnecke

Für die Rücklaufschlammförderung werden zukünftig 2 St. trocken aufgestellte Kreiselpumpen eingesetzt. Durch den Einsatz einer optimiert dimensionierten Pumpentechnik kann überdies das Rücklaufschlammverhältnis angepasst und die Fördermenge in Abhängigkeit zum Zulauf erfolgen. Angenommen wird zukünftig ein Rücklaufschlammverhältnis von max. 100 % der Zulaufmenge.

Durch Erreichen des Idealwertes wird jährlich folgende Strommenge eingespart:

$$\begin{aligned} E_{\text{ideal}} &= 378.817 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 3,9 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m}) &&= 2.216 \text{ kWh/a} \\ E_{\text{spar}} &= 11.722 \text{ kWh/a} - 2.216 \text{ kWh/a} &&= \mathbf{9.506 \text{ kWh/a}} \end{aligned}$$

Investitionskosten: rd. 60.000,00 € brutto (vgl. Tab. 12)

Austausch der Pumpen des Zulaufpumpwerks

Sowohl der Idealwert der Schneckenrotpumpen zur Förderung des Abwassers aus dem Zulaufschacht in den Pufferspeicher als auch der trocken aufgestellten Kreiselpumpen zur Förderung des Abwassers aus dem Pufferspeicher in das Zulaufgerinne der Kläranlage übersteigen deutlich den Idealwert. Weiterhin sind die Fördermengen deutlich zu hoch, so dass die Pumpen nur in kurzen Intervallen betrieben werden, wodurch die Kläranlage nur rd. 1.400 h/a beschickt wird. In der übrigen Zeit erfolgt dementsprechend kein Durchfluss.

Die Erneuerung des Zulaufpumpwerks soll durch Austausch der Pumpen erfolgen. Diese sind Teil der Erstausrüstung und überdimensioniert. Ggf. ist zusätzlich eine Verringerung des Durchmessers der Druckleitung zu prüfen, um auch bei niedrigeren Durchflussmengen die Strömungsgeschwindigkeit optimal einzustellen. Beim Austausch der Pumpen sollen gezielt energieeffiziente Motoren vorgesehen werden. Die Ansteuerung soll mittels Frequenzumrichter erfolgen, um den Durchsatz an den Abwasseranfall anzupassen.

Durch Erreichen des Idealwertes wird jährlich folgende Strommenge eingespart:

Schneckenrotpumpen (Trockenwetter):

$$\begin{aligned} E_{\text{ideal}} &= 378.817 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 6,7 \text{ m} \cdot 3,9 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m}) &= 9.898 \text{ kWh/a} \\ E_{\text{spar}} &= 9.898 \text{ kWh/a} - 17.568 \text{ kWh/a} &= \mathbf{7.669 \text{ kWh/a}} \end{aligned}$$

Kreiselpumpen:

$$\begin{aligned} E_{\text{ideal}} &= 378.817 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 15,38 \text{ m} \cdot 3,9 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m}) &= 22.722 \text{ kWh/a} \\ E_{\text{spar}} &= 34.649 \text{ kWh/a} - 22.722 \text{ kWh/a} &= \mathbf{11.927 \text{ kWh/a}} \end{aligned}$$

Investitionskosten: rd. 216.000,00 € brutto (vgl. Tab. 12)

4.2.4 Klärschlammverwertung im Verbund

Die Kläranlage Bad Salzig soll zukünftig als Schlammbehandlungscenter der Kanalwerke Boppard dienen.

Dazu sollen Schlämme der übrigen Kläranlagen mit im Faulturm behandelt und anschließend entwässert werden.

Zur Annahme der Fremdschlämme wird unterhalb des Technikgebäudes des Faulbehälters ein Pufferbehälter genutzt, der zugleich als Rohschlammbehälter dient. Um die Entwässerung der gesamten Schlämme unabhängig von der Beschickung der Faulung durchführen zu können, soll im Keller des Technikgebäudes ebenfalls ein Faulschlamm-pufferbehälter errichtet werden, der als direkte Vorlage des Entwässerungsaggregate dient.

Vorgesehen ist eine Mitbehandlung der Schlämme der Kläranlagen Buchholz und Oppenheim. Auf diesen erfolgt die Schlammstabilisierung bislang aerob, ohne die gezielte Gewinnung von Faulgas. Bei vorgesehen Erneuerungsmaßnahmen auf der Kläranlage Buchholz ist die Integration eines Vorklärbeckens in den Verfahrensablauf der Kläranlage vorgesehen, um energiereichen Primärschlamm zu gewinnen und den Belüftungsaufwand in der biologischen Abwasserreinigungsstufe der Anlage deutlich zu reduzieren. Der Schlamm soll zur Reduktion des Transportaufwandes auf beiden Kläranlagenstandorten durch eine maschinelle Eindickung auf einen TS-Gehalt von 6 % eingedickt werden.

Der Transport der Fremdschlämme wird mit einem Tanklastfahrzeug vorgesehen. Der Transportaufwand wird in Form von Tonnenkilometern angegeben. Die Schlamm-mengen wurden durch den spezifischen Schlammanfall und die Ausbaugröße berechnet. Für Primärschlamm wurde ein Schlammanfall von 28 g/(EW·d) und für Überschussschlamm von 31,7 g/(EW·d) bei Integration eines Vorklärbeckens bzw. 60 g/(EW·d) ohne Vorklär-becken angenommen.

Tab. 8: Transportaufwand Klärschlammverwertung im Verbund

Kläranlage	Ausbaugröße [EW]	TS-Gehalt [%]	Transport-menge [t]	Strecke [km]	Tonnenki-lometer [tkm]
Buchholz	8.500	6	3.087	12,6	38.896
Oppenheim (ab Buchholz)	1.600	6	584	12,6	7.358
Summe	10.100		3.671		46.254

Aus dem Transport resultieren Treibhausgasemissionen von:

$$46.254 \text{ tkm} \cdot 0,112 \text{ kg CO}_2\text{-Äq} / \text{tkm}^{18} = \mathbf{5.180 \text{ kg CO}_2\text{-Äq} / \text{a}}$$

¹⁸ Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Güterverkehr in Deutschland – Bezugsjahr 2018 [TREMODO 6.03, Umweltbundesamt, 01/2020]

Folgende Parameter werden zur Fremdschlammannahme und Behandlung in der Faulung angenommen:

$$\begin{aligned} TR &= 60 \text{ kg/m}^3 \\ Q_{FS} &= 10 \text{ m}^3/\text{d} \\ B_{oTM,FS} &= 603 \text{ kg/d} \end{aligned}$$

Entsprechend einer Überrechnung der Faulung kann angenommen werden, dass durch die Fremdschlammbehandlung ein zusätzlicher Gasertrag von rd. 186 m³/d erzielt werden kann.

Die zusätzlich durch Faulgas gewonnene Brennstoffenergie beträgt bei einem angenommenen Heizwert von 10 kWh/m³_{Methan} und einem Methangehalt von 63 %.

$$E_{Br,F} = 186 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 365 \text{ d} \cdot 63 \%_{\text{Methan}} \cdot 10 \text{ kWh/m}^3 = 427.707 \text{ kWh/a}$$

Bei den in Kapitel 4.2.2 angenommenen Wirkungsgraden können durch die vollständige Faulgasnutzung zusätzlich rd. 131.314 kWh Strom und 220.608 kWh Wärme gewonnen werden.

Die zu erwärmende Rohschlammmenge liegt um 10,1 m³/d. Entsprechend wird zur Aufheizung des zusätzlichen Schlammes folgende Wärmemenge benötigt:

$$T_{\text{Faulung}} = 38 \text{ °C}; T_{RS,Sommer} = 15 \text{ °C}; T_{RS,Winter} = 10 \text{ °C}$$

$$E = Q_{RS} \cdot (T_{\text{Faulung}} - T_{\text{Ein}}) \cdot c_{p\text{Wasser}}$$

$$E_{\text{Sommer}} = 10,1 \text{ m}^3/\text{d} \cdot (38 \text{ °C} - 15 \text{ °C}) \cdot 4,186 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}) = 269 \text{ kWh/d}$$

$$E_{\text{Winter}} = 10,1 \text{ m}^3/\text{d} \cdot (38 \text{ °C} - 10 \text{ °C}) \cdot 4,186 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}) = 327 \text{ kWh/d}$$

$$E_{th,FS} = (0,5 \cdot 269 \text{ kWh/d} + 0,5 \cdot 327 \text{ kWh/d}) \cdot 365 \text{ d} = 108.848 \text{ kWh/a}$$

Die gesamte Faulschlammmenge soll anschließend entwässert werden. Als Aggregat im Rahmen der Studie wurde eine Zentrifuge mit einem im Vergleich zu z. B. einer Schneckenpresse hohen Energieverbrauch gewählt. Die verwendete Berechnungsgleichung berücksichtigt den Stromverbrauch der Beschickungspumpe und Konditionierungsanlage.

$$B_{aM, TM} = 961 \text{ kg/d} \cdot 365 \text{ d} = 350.717 \text{ kg/a}$$

$$E = e_{spez} \cdot B_{aM, TM} = 60 \text{ kWh/Mg}^{19} \cdot 350,717 \text{ Mg/a} = 21.043 \text{ kWh/a}$$

Der entwässerte Schlamm wird in Container abgeworfen.

Insgesamt ergeben sich folgende Energieverbräuche bzw. Gewinne durch die Maßnahmen:

Tab. 9: Effekte Klärschlammverwertung im Verbund

Maßnahme	Strom	Wärme
Faulgasnutzung	-131.314 kWh	-220.608 kWh
Rohschlammerwärmung	-	108.848 kWh
Faulschlamm-entwässerung (Zentrifuge)	21.043 kWh	-
Entwässerung aktuell ²⁰	-10.412 kWh	-
Summe	-120.683 kWh	-111.760 kWh

Der zusätzliche Wärmeüberschuss kann z. B. zur Beheizung des Betriebsgebäudes genutzt werden.

Investitionskosten: 1.347.000,00 € brutto (vgl. Tab. 13)

¹⁹ Zentrifuge $e_{spez} = 60-90 \text{ kWh/Mg}$, Filterpresse $e_{spez} = 60-70 \text{ kWh/Mg}$, Bandfilterpresse $e_{spez} = 40-50 \text{ kWh/Mg}$ (inkl. Beschickung und Konditionierung)

²⁰ Entfällt durch Einsatz Zentrifugen für gesamte Schlammmenge

4.2.5 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 Aggregate bei Erneuerung mit separaten Strommessungen ausgestattet werden.

Die Kosten zur Erstzertifizierung eines Energiemanagementsystems werden mit 30.000 € brutto abgeschätzt. Für zusätzliche Messtechnik und Software werden weitere 25.000 € brutto vorgesehen (vgl. Tab. 14).

4.2.6 Erneuerung mechanische Vorreinigung

Der Stromverbrauch sowohl des Rechens wie auch des Sandfanggebläses weist ein Optimierungspotential im Vergleich zum Idealwert auf. Um das energetische Potential innerhalb einer Maßnahme zu nutzen, soll die mechanische Vorreinigung zukünftig durch eine Rechen-Sandfang-Kompaktanlage innerhalb eines Aggregates erfolgen. Diese kombinierten Aggregate zeichnen sich neben der technischen Effizienz und dem geringen Platzverbrauch zusätzlich durch einen sehr niedrigen Stromverbrauch aus.

Durch Erreichen der Idealwerte kann das folgende energetische Einsparpotential genutzt werden:

$$\begin{array}{llll}
 E_{\text{ideal,Rechen}} & = & 0,1 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a}) \cdot 4.091 \text{ EW} & = & 409 \text{ kWh/a} \\
 E_{\text{spar,Rechen}} & = & 2.158 \text{ kWh/a} - 409 \text{ kWh/a} & = & \mathbf{1.749 \text{ kWh/a}} \\
 \\
 E_{\text{ideal,Sandfang}} & = & 1,45 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a}) \cdot 4.091 \text{ EW} & = & 5.918 \text{ kWh/a} \\
 E_{\text{spar,Sandfang}} & = & 6.495 \text{ kWh/a} - 5.918 \text{ kWh/a} & = & \mathbf{577 \text{ kWh/a}}
 \end{array}$$

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

$$2.326 \text{ kWh/a} \cdot 0,537 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/ kWh} = \mathbf{1.249 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/a}}$$

Investitionskosten: 415.000,00 € brutto (vgl. Tab. 16)

4.2.7 Installation von PV-Modulen auf geeigneten Dachflächen

Entsprechend Kapitel 3.1.2 sollen auf den günstig ausgerichteten Dachflächen PV-Module installiert und zur Eigenstromerzeugung genutzt werden. Die möglichen Dachflächen besitzen eine Fläche von 60 m².

$$\begin{aligned}60 \text{ m}^2 / 8 \text{ m}^2/\text{kWp} &= 7,5 \text{ kWp} \\7,5 \text{ kWp} \cdot 950 \text{ kWh/kWp} &= \mathbf{7.125 \text{ kWh/a}}\end{aligned}$$

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

$$7.125 \text{ kWh/a} \cdot 0,537 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/ kWh} = \mathbf{3.826 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/a}}$$

Investitionskosten: 20.000,00 € brutto (vgl. Tab. 15)

4.2.8 Umstellung der Gebäudeheizung

Nach der Verfahrensumstellung auf Faulung und Mitbehandlung der Klärschlämme der Satellitenanlagen kann bilanziell ein deutlicher Wärmeüberschuss erzielt werden. Dieser kann zur Beheizung des Betriebsgebäudes genutzt werden. Dadurch kann der Strom, der aktuell zum Betrieb der elektrischen Heizkörper genutzt wird, eingespart werden.

$$\begin{aligned}E_{\text{th,Strom}} &= 14.000 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{a} \\E_{\text{Strom}} &= 14.000 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{a} \cdot 1 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{kWh}_{\text{th}} = 14.000 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{a}\end{aligned}$$

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

$$14.000 \text{ kWh/a} \cdot 0,537 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/ kWh} = \mathbf{7.518 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/a}}$$

Investitionskosten: 22.000,00 € brutto

4.3 Umsetzungsfahrplan (Priorisierung/Zeitplanung/Akteure)

Parallel zur Anfertigung der Potentialstudie wurden Planungen zum Umbau der Kläranlage Bad Salzig ausgeführt. Die energetischen Optimierungsmaßnahmen sollen in der Planung eingearbeitet werden und im Rahmen des Umbaus umgesetzt werden. Folgender Umsetzungsfahrplan ist für die Umsetzung der im Rahmen der Kommunalrichtlinie förderfähigen Maßnahmen vorgesehen:

Nr.	Maßnahmen	Baukosten (brutto) in TSE																							
		2021				2022				2023				2024				2025				2026			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1.	Erneuerung der Belüftung																								
2.	Umstellung auf Faulung																								
3.	Erneuerung von Pumpen und Motoren																								
4.	Implementierung Energiemanagement																								
5.	Klärschlammverwertung im Verbund																								
6.	Erneuerung mechanische Vorreinigung																								
7.	Installation PV-Anlagen																								
8.	Umstellung der Gebäudeheizung																								

Zeitpunkt der Beantragung Zeitrahmen für die Umsetzung

Abb. 15: Zeitplan der kurzfristigen Maßnahmen

Zusätzlich zu den ggf. durch die Kommunalrichtlinie geförderten Maßnahmen sollen die weiteren Maßnahmen 6 bis 8 zur weiteren Reduktion des Stromverbrauchs und Steigerung der Eigenstromerzeugung bei den Umbaumaßnahmen 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 4.2.5) wird dies standardisiert in die Jahresroutine übernommen.

Empfohlene Indikatoren:

- Spezifischer Fremdstromverbrauch Gesamt $e_{ges,F} < IST$
- Spezifischer Stromverbrauch Belüftung $e_B \leq$ Referenzanlagen DWA-A 216
- Spezifische Faulgasproduktion $e_{FG} \geq 20 \text{ l(EW}\cdot\text{d)}$
- Eigenversorgungsgrad Wärme V_W ca. 100 %
- Eigenversorgungsgrad Strom V_E ca. 70 %

4.5 Vorplanung der kurzfristig und mittelfristig umsetzbaren Maßnahmen

Erneuerung der Belüftung

Im förderfähigen Rahmen dieser Maßnahme, sollen die bestehenden Gebläse, aus der Erstausrüstung stammend, sowie die ineffiziente Belüfertechnik des bestehenden Belebungsbeckens ersetzt werden.

Die aktuell an der Brücke befestigten Belüfterelemente werden durch bodennah installierte, Plattenbelüfter ausgetauscht. Die Umwälzung und Durchmischung des Abwasser-Belobtschlammgemisches erfolgt zukünftig über zwei Tauchmotorrührwerke.

In Abb. 16 ist ein Planausschnitt des Belebungsbeckens nach der Umsetzung der Maßnahmen abgebildet.

Die neuen Gebläse sollen in einem neuen Gebläseraum aufgestellt werden. 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 Auslegungspunkt, vorgesehen werden.

Tab. 10: Investitionskosten Erneuerung der Belüftung

Nr.	Maßnahme	Gesamt
1.	Erneuerung der Belüftung	
	Demontage Altanlagentechnik	3.000,00
	Installation Belüftungseinrichtung	98.000,00
	Installation Tauchmotorrührwerke	24.800,00
	Erneuerung Gebläseaggregate	110.670,00
	Hauptluftleitung	7.500,00
	Zu- und Abluftkulisse	7.000,00
	Messtechnik	25.000,00
	Regelungstechnik	40.000,00
	Sonstige Kleinarbeiten	5.000,00
	Zwischensumme	320.970,00
	zzgl. Baunebenkosten; Ansatz 25%	80.242,50
	Gesamt, netto	401.212,50
	zzgl. 19% MwSt.	76.230,38
	Summe, brutto inkl. Baunebenkosten, gerundet	477.000,00

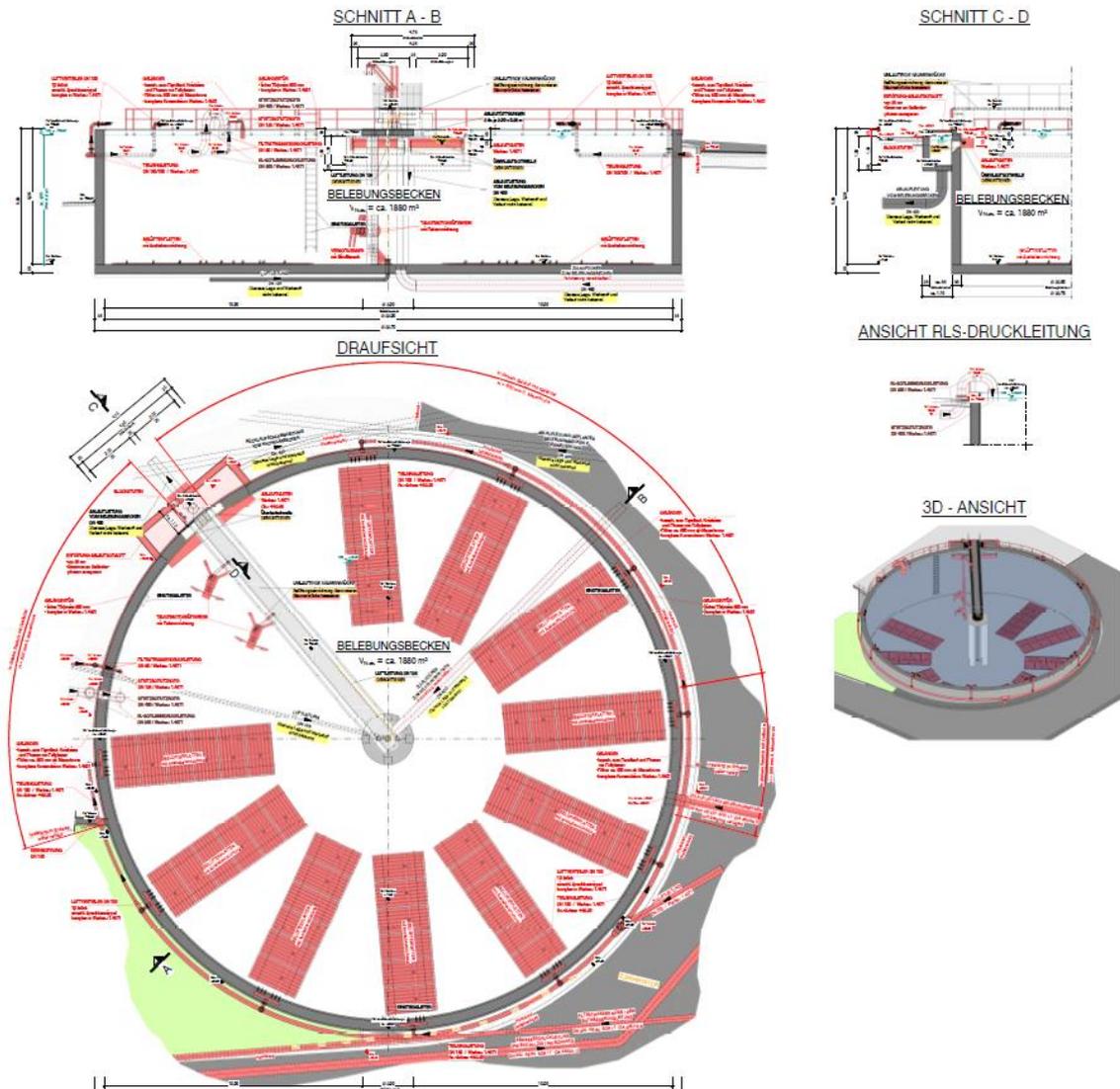


Abb. 16: Planausschnitt Erneuerung der Belüftung (Stand 10/2020)

Der Verfahrensablauf der zweistufigen Faulung gestaltet sich im Wesentlichen wie folgt:

Der Primärschlamm aus der Vorklärung und der statisch voreingedickte Überschussschlamm aus der biologischen Anlagenstufe werden jeweils über Exzentrerschneckenpumpen in den Heizschlammkreislauf eingemischt und in den Faulbehälter 1 gefördert. Die Beschickung erfolgt mehrmals am Tag. Durch die Rohschlammzugabe erhöht sich der Flüssigkeitsspiegel im Behälter, so dass eine entsprechende Schlammmenge über den installierten Ablauftrichter in den nächsten Behälter verdrängt wird.

Zur Aufheizung des Schlammes auf die vorgesehene Betriebstemperatur von ca. 35 bis 38 °C sowie zur Abdeckung der Abstrahlverluste wird ein Heizschlammumwälzkreislauf betrieben. Hierzu wird der Schlamm über eine Saugleitung bodennah aus der Behältermitte abgezogen und mit einer Umwälzpumpe über den nachfolgenden Doppelmantelwärmetauscher wieder in den Behälter zurückgeführt.

Für die Wärmeübertragung vom Heizwasser auf den Schlamm wird ein Doppelmantelwärmetauscher mit der entsprechend erforderlichen Heizleistung installiert.

Die Durchmischung der Behälter erfolgt über Rührwerke. Hierzu ist je Behälter der Einbau eines Vertikalrührwerkes vorgesehen.

Der ablaufende Schlamm aus dem Behälter 1 wird über eine Überlaufleitung in den Behälter 2 abgeleitet. Auch dieser Behälter wird mit einem Rührwerk durchmischt und erhält einen baugleichen Ablauftrichter zum Abzug des ausgefaulten Schlammes.

Die Ausführung der Faulbehälter erfolgt in Stahlbetonbauweise. Die Wärmeschutzisolierung der Wand- und Dachflächen erfolgt mit 10 cm starken Hartschaumplatten. Die Wandflächen werden anschließend mit einer Trapezblechverkleidung geschützt, während die Dachflächen mit einer 3-lagigen Bitumenschweißbahn, einer 3 cm starken Kieschüttung und einem Betonplattenbelag ausgestattet werden. Zur Bodenisolierung werden die Behälter auf einer ca. 25 cm starken Schicht aus Schaumglasschotter gegründet.

Zum Aufstieg auf die Behälter wird eine einläufige Treppe mit Zwischenpodest in Stahlprofileisenkonstruktion vorgesehen. Weiterhin erhalten die Behälter ein umlaufendes Sicherheitsgeländer.

Das erzeugte Faulgas wird in einem Gasspeicher aufgefangen und anschließend über ein BHKW verstromt. Der erzeugte Strom wird zur Eigennutzung in das Netz der Kläranlage eingespeist.

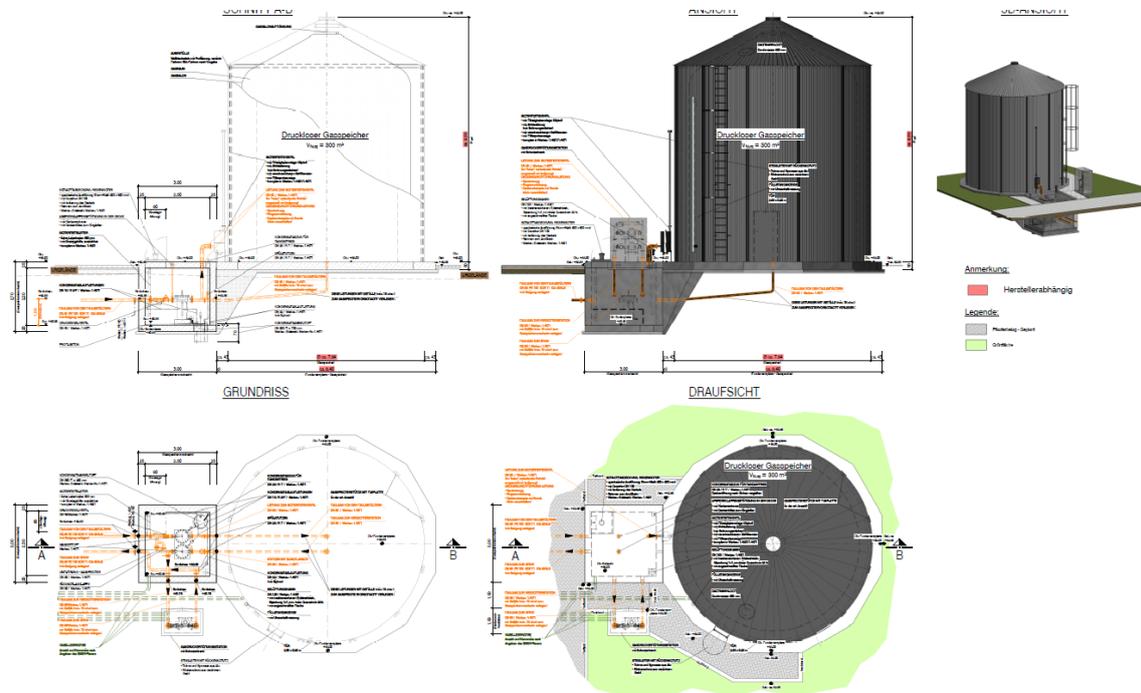


Abb. 18: Gasspeicher

Tab. 11: Investitionskosten Umstellung auf Faulung und Errichtung Vorklärbecken

Nr.	Maßnahme	Gesamt
2.	Umstellung auf Faulung und Errichtung eines Vorklärbeckens	
	Vorklärbecken	212.700,00
	Primärschlammumpwerk	38.150,00
	Kompaktfaulbehälter	772.470,00
	Technikgebäude (inkl. masch. Überschussschlammeindickung)	304.460,00
	Gasspeicher und Gasfackel	161.230,00
	Sonstige Kleinarbeiten	10.000,00
	Zwischensumme	1.499.010,00
	zzgl. Baunebenkosten; Ansatz 25%	374.752,50
	Gesamt, netto	1.873.762,50
	zzgl. 19% MwSt.	356.014,88
	Summe, brutto inkl. Baunebenkosten, gerundet	2.230.000,00

Erneuerung Pumpen und Motoren

Zulaufpumpwerk

Der grundsätzliche Aufbau des Pumpwerkes Auweg bietet zwar ein gewisses Optimierungspotential, jedoch kann dieses nur durch massive Umbauten erfolgen, so dass dieses nicht genutzt werden soll. Zur Optimierung des Stromverbrauches sollen entsprechend die bestehenden durch energieineffiziente Aggregate ausgetauscht werden. Bei der Dimensionierung der Pumpen sollte auf eine gute Regelbarkeit der Durchflussmenge geachtet werden, damit die Beschickung der Kläranlage kontinuierlicher erfolgen kann. Dabei ist ebenfalls eine Verringerung des Durchmessers der Druckleitung in den Zulauf der Kläranlage zu prüfen, um auch bei geringeren Fördermengen die erforderlichen Fließgeschwindigkeiten innerhalb der Druckleitung zu gewährleisten.

Rücklaufschlammförderung

Zur Erschließung des energetischen Potentials soll die bestehende Schnecke zur Rücklaufschlammförderung durch trocken aufgestellte Kreiselpumpen ersetzt werden. Diese sollen im Keller des vorhandenen Betriebsgebäudes aufgestellt werden. Durch diese Maßnahme wird entsprechend gleichzeitig der Sanierungsbedarf im Oberwasserbereich der Rücklaufschlammförderschnecke gestillt. Durch die Regelung der Kreiselpumpen mittels Frequenzumrichter, kann die Rücklaufschlammförderung zukünftig in Abhängigkeit von der Zuflussmenge erfolgen. Bei der Ausschreibung der Antriebsmotoren sollen gezielt energieeffiziente Motoren der Effizienzklasse IE 4 angefragt werden.

Tab. 12: Investitionskosten Erneuerung von Pumpen und Motoren

Nr.	Maßnahme	Gesamt
3.	3.1 Erneuerung des Zulaufpumpwerks	
	Demontage Altanlagentechnik	5.000,00
	2 St. Kreiselpumpen	50.000,00
	2 St. Trockenwetterschneckenrotorpumpen	50.000,00
	Schalt-/ Steueranlage	30.000,00
	Sonstige Kleinarbeiten	10.000,00
	3.2 Erneuerung der Rücklaufschlammumpen	
	Demontage Altanlagentechnik	2.500,00
	Rücklaufschlammumpen inkl. FU	30.000,00
	Sonstige Kleinarbeiten	7.500,00
	Zwischensumme	185.000,00
	zzgl. Baunebenkosten; Ansatz 25%	46.250,00
	Gesamt, netto	231.250,00
	zzgl. 19% MwSt.	43.937,50
	Summe, brutto inkl. Baunebenkosten, gerundet	275.000,00

Klärschlammverwertung im Verbund

Zur Annahme der Fremdschlämme der Kläranlagen Oppenhausen und Buchholz wird ein Rohschlamm- und Fremdschlammbehälter im Technikgebäude der Kompaktfaulung integriert. In diesem wird der Fremdschlamm mit dem Überschuss- und Primärschlamm der Kläranlage Bad Salzig vermischt und gemeinsam der Faulung zugegeben.

Als Vorlage zur Flexibilisierung der Schlammentwässerung wird ebenfalls ein Faulschlamm-pufferbehälter im Technikgebäude der Faulung integriert.

Die Entwässerungsmaschine wird in einem separaten Gebäude aufgestellt, welches in Kombination mit der Klärschlamm-lagerhalle ausgeführt wird. Hierzu wird der entwässerte Schlamm mittels einer Fördereinrichtung aus dem Entwässerungsgebäude geführt und danach in 2 St. Container abgeworfen, die auf einer überdachten und dreiseitig geschlossenen Lagerfläche aufgestellt werden können.

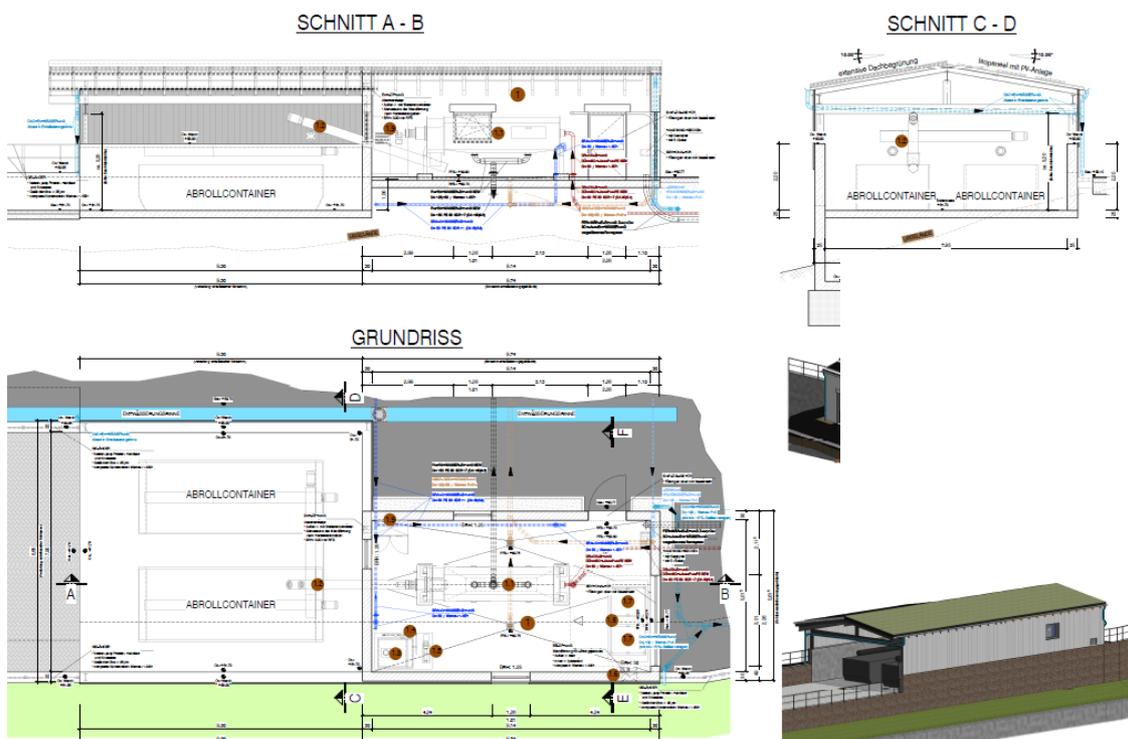


Abb. 11: Schlammentwässerungsgebäude und Schlamm-lagerhalle

Zur Pufferung des bei der Entwässerung anfallenden Filtratwassers soll der bestehende Schlamm-speicher zu einem Filtratwasserspeicher umgerüstet werden. Dadurch kann das Filtratwasser vergleichmäßig und gesteuert der Anlage, bei ausreichenden Kapazi-täten, zugegeben werden.

Tab. 13: Investitionskosten Klärschlammverwertung im Verbund

Nr.	Maßnahme	Gesamt
5.	Klärschlammverwertung im Verbund	
	Rohschlamm-/Fremdschlammannahmebehälter	130.000,00
	Faulschlamm-pufferbehälter	130.000,00
	Zentrifuge (Schlamm-twässerung)	473.000,00
	Umnutzung Schlamm-silo zu einem Filtrat-wasserspeicher	12.500,00
	Klärschlamm-lagerhalle	110.000,00
	Schlamm-verladung	50.000,00
	Zwischensumme	905.500,00
	zzgl. Baunebenkosten; Ansatz 25%	226.375,00
	Gesamt, netto	1.131.875,00
	zzgl. 19% MwSt.	215.056,25
	Summe, brutto inkl. Baunebenkosten, gerundet	1.347.000,00

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 Auswert-routine und der automatisierten Kennzahlenbildung soll eine entsprechende Software angeschafft bzw. die bestehende erweitert werden.

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

Tab. 14: Investitionskosten Energiemanagementsystem

Nr.	Maßnahme	Gesamt
4.	Implementierung eines Energiemanagements	
	Erstzertifizierung	30.000,00
	Messtechnik	20.000,00
	Software	5.000,00
	Summe, brutto	55.000,00

Installation von PV-Modulen

Zur Installation von PV-Modulen werden besonders die südlich bis südwestlich ausgerichteter Dachflächen berücksichtigt. Entsprechend kann die große Dachfläche des Betriebsgebäudes genutzt werden. Diese ist trotz ihrer südwestlichen Ausrichtung durch den flachen Neigungswinkel gut geeignet. Die voraussichtliche Dimensionierung ist Kapitel 3.1.2 zu entnehmen.

Tab. 15: Investitionskosten Installation von PV-Modulen

Nr.	Maßnahme	Gesamt
6.	Installation einer PV-Anlage	
	PV-Module	16.500,00
	Wechselrichter	3.500,00
Summe, brutto		20.000,00

Erneuerung mechanische Vorreinigung

Die Rechen-Sandfang-Kompaktanlage soll witterungsgeschützt in einem Funktionalgebäude aufgestellt werden.

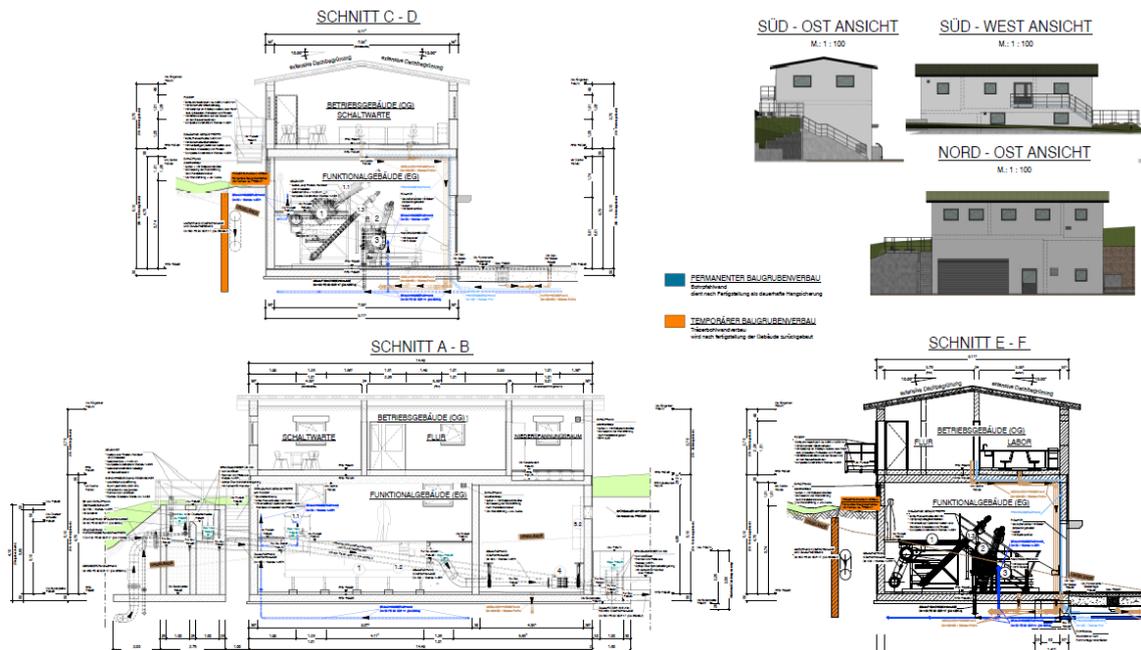


Abb. 19: Funktionalgebäude mit Rechen-Sandfang-Kompaktanlage

Tab. 16: Investitionskosten Erneuerung mechanische Vorreinigung

Nr.	Maßnahme	Gesamt
7.	Erneuerung mechanische Vorreinigung	
	Errichtung Rechen-Sandfang-Kompaktanlage	150.000,00
	Sandaufbereitung	40.000,00
	Peripherie (Schieber, Rohrleitungen, Einhausung)	54.000,00
	Schalt- /Steueranlage	20.000,00
	Sonstige Kleinarbeiten	15.000,00
	Zwischensumme	279.000,00
	zzgl. Baunebenkosten; Ansatz 25%	69.750,00
	Gesamt, netto	348.750,00
	zzgl. 19% MwSt.	66.262,50
	Summe, brutto inkl. Baunebenkosten, gerundet	415.000,00

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. 17: Deckungsquote des Eigenenergiebedarfs aus erneuerbaren Energien (normiert)

	Strom			Wärme		
	Verbrauch [kWh/a]	Erzeugung [kWh/a]	Deckungsgrad	Verbrauch [kWh/a]	Erzeugung [kWh/a]	Deckungsgrad
2019	253.153	0	0 %	0	0	0 %
Nach kurzfristigen Maßnahmen	223.831	210.846	94 %	232.771	354.221	100 %
Nach allen Maßnahmen	207.505	218.346	100 %	246.771	354.221	100 %

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

Der gesamte spezifische Strombedarf beträgt nach Umsetzung der kurzfristigen Maßnahmen (normiert):

$$E_{\text{spez}} = (253.153 \text{ kWh/a} - 29.322 \text{ kWh/a}) / 4.091 \text{ EW} = 54,71 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a})$$

Der gesamte spezifische Strombedarf beträgt nach Umsetzung aller Maßnahmen (normiert):

$$E_{\text{spez}} = (253.153 \text{ kWh/a} - 45.648 \text{ kWh/a}) / 4.091 \text{ EW} = 50,72 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a})$$

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

$$e_{\text{spez,Fremd,el}} = (253.153 \text{ kWh/a} - 29.322 \text{ kWh/a} - 210.846 \text{ kWh/a}) / 4.091 \text{ EW} \\ = 3,17 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a})$$

Bei Umsetzung aller Maßnahmen ergibt sich folgender spezifischer Fremdbezug:

$$e_{\text{spez,Fremd,el}} = ((253.153 \text{ kWh/a} - 45.648 \text{ kWh/a} - 218.346 \text{ kWh/a}) / 4.091 \text{ EW} \\ = - 2,65 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a})$$

Entsprechend wird der Zielwert²¹ eines spezifischen Stromverbrauchs von 23 kWh/(EW·a) erreicht.

Der Gesamtdeckungsgrad der Anlage (elektrisch und thermisch) beträgt nach Umsetzung der kurzfristigen Maßnahmen rd. 97 % und nach Umsetzung aller Maßnahmen rd. 100 %.

Thür, 23.02.2021



Jürgen Jakob

i. A. 
Lukas Ellerich

**Ingenieurgesellschaft
Dr. Siekmann + Partner mbH**

²¹ Entsprechend Mail von Franziska Brade (PTJ) an Sebastian Bauer-Bahrtdt (1.2.2019): „... Es handelt sich um den spezifischen Energiebedarf der aus Fremdenergie zur Verfügung gestellt werden muss.“