

UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht

zum Vorhaben

Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck

KfW-Aktenzeichen: NKa3 - 003203

Zuwendungsempfänger/-in

Kanalisations-Zweckverband „Schwarzachgruppe“

Umweltbereich

Abwasserbehandlung; Klimaschutz; Energieeinsparung, Energieeffizienz, Nutzung erneuerbarer Energien

Laufzeit des Vorhabens

27.12.2018 – 30.06.2025

Autor/-en

Dr.-Ing. Tosca Zech, Regine Schatz

Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Datum der Erstellung

15.08.2025

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA:	Projekt-Nr.: NKA3 - 003203
Titel des Vorhabens: Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck	
Autor/-en: Zech, Tosca Schatz, Regine	Vorhabenbeginn: 27.12.2018
	Vorhabenende: 30.06.2025
Zuwendungsempfänger/-in: Kanalisations-Zweckverband „Schwarzachgruppe“ Gufidauner Straße 16b 90592 Schwarzenbruck	Veröffentlichungsdatum: 31.10.2025
	Seitenzahl: 66
Gefördert im Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit	

Kurzfassung (max. 1.500 Zeichen):

Die Kläranlage Schwarzenbruck ist eine Kläranlage der Größenklasse 4 mit ungefähr 35.000 Einwohnerwerten. Die Anlagenbestandteile der Kläranlage waren zum Großteil älter als 45 Jahre. Zudem wurde die Kläranlage wegen der Lage sehr verschachtelt gebaut und bot keinen Platz für Erweiterungen. Deswegen entschied man sich, einen Neubau auf einem angrenzenden Grundstück zu realisieren.

Im Projekt Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck wurden, erstens, unterschiedliche Ansätze zur Energieeinsparung auf Kläranlagen konsequent umgesetzt. Zweitens werden alle Maßnahmen zur regenerativen Stromerzeugung genutzt. Dazu gehören neben Klärgas, die Photovoltaik und die Wasserkraft. Drittens kann durch eine intelligente Steuerung der verschiedenen Stromerzeuger insbesondere der BHKWs und vergrößerter Speicher die Kläranlage netzdienlich arbeiten, d.h. die Strombezugsspitzen fallen gering aus und werden durch Maßnahmen auf der Kläranlage meist selbst kompensiert. Die Steuerung des Stromverbrauchs erfolgt durch die Kläranlage, die Optimierung erfolgt nach den Preisen am kurzfristigen Energiemarkt.

Durch die erfolgreiche Umsetzung des Vorhabens konnte der Stromverbrauch der Kläranlage Schwarzenbruck auf die Hälfte reduziert werden und beträgt noch 21 kWh pro Einwohnerwert und Jahr. Auch die CO₂-Äquivalent Emissionen sind deutlich gesunken, während sich die Reinigungsleistung der Kläranlage verbesserte und somit das Eutrophierungsrisiko im Gewässer verringert. Der elektrische Eigenversorgungsgrad beträgt über 100 % (Energieneutralität). Nahezu 80 % des Stroms wird aus Klärgas gewonnen (ohne Co-Vergärung).

Die Ergebnisse des Projektes Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck sind modellhaft für Kläranlagen der Größenklasse 4.

Schlagwörter: Kläranlage, kommunale Kläranlage, Kaskadendenitrifikation, Energieneutralität, energieneutral, Energiemanagement, Energiespeicher, Wasserkraftanlage, Deammonifikation

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency:	Project-No.: NKa3 - 003203
Report Title: Energy Intelligent Wastewater Treatment Plant Schwarzenbruck, Bavaria	
Author/Authors (Family Name, First Name): Zech, Tosca Schatz, Regine	Start of project: 27/12/2018 End of project: 30/06/2025
Performing Organisation (Name, Address): Kanalisations-Zweckverband „Schwarzachgruppe“ Gufidauner Straße 16b 90592 Schwarzenbruck	Publication Date: 31/10/2025 No. of Pages: 66
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection.	

Summary (max. 1.500 characters):

The Schwarzenbruck Wastewater Treatment Plant (WWTP) is a size class 4 WWTP with 35,000 population equivalents (p. e.). Most of the plant's components were older than 45 years. In addition, due to its location, the sewage treatment plant was built in a very convoluted manner and offered no space for expansion. Therefore, it was decided to construct a completely new plant on an adjacent plot of land.

In the Energy-Intelligent Wastewater Treatment Plant project of Schwarzenbruck, firstly, various approaches to energy saving at wastewater treatment plants were consistently implemented. Secondly, all reasonable options for renewable electricity generation are being utilised. In addition to digester gas, these include photovoltaics and hydropower. Thirdly, intelligent control of the various electricity generators, in particular the CHP units and enlarged storage facilities, enables the sewage treatment plant to operate in a grid-friendly manner, i.e. electricity consumption peaks are low and are usually compensated for by measures taken at the sewage treatment plant itself. Electricity consumption is controlled by the sewage treatment plant and optimised according to prices on the short-term energy market.

The successful implementation of the project has reduced the electricity consumption of the Schwarzenbruck sewage treatment plant by half to 21 kWh per p. e. per year. CO₂-equivalent emissions have also dropped down significantly, while the WWTP's cleaning performance has improved, reducing the risk of eutrophication in the receiving water. The degree of self-sufficiency in electricity is over 100 % (energy neutrality). Almost 80 % of the electricity is generated from sewage gas (without co-fermentation).

The results of the Schwarzenbruck Energy-Intelligent Sewage Treatment Plant project serve as a model for size class 4 sewage treatment plants.

Keywords: WWTP, municipal wastewater treatment plant, cascade denitrification, energy neutrality, energy neutral, energy management, energy storage, hydroelectric power station, deammonification

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung.....	6
1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und der Projektpartner	6
1.2. Ausgangssituation	7
2. Vorhabenumsetzung.....	7
2.1. Ziel des Vorhabens	7
2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten).....	8
2.3. Umsetzung des Vorhabens.....	10
2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	31
2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	32
2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms	32
3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung	32
3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung	32
3.2. Stoff- und Energiebilanz	35
3.3. Umweltbilanz	50
3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	53
3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren	56
4. Übertragbarkeit	58
4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung	58
4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit.....	59
4.3. Kommunikation der Projektergebnisse	60
5. Zusammenfassung/ Summary.....	64
6. Literatur.....	65
7. Anhang	66

1. Einleitung

1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und der Projektpartner

Zuwendungsempfänger ist der Kanalisation-Zweckverband (KZV) „Schwarzachgruppe“ mit Sitz in 90592 Schwarzenbruck, Gufidauner Straße 16b. Der KZV Schwarzachgruppe ist eine Körperschaft des öffentlichen Rechts. Der KZV wurde 1962 gegründet und besteht heute aus den Mitgliedsgemeinden Gemeinde Burgthann, Gemeinde Schwarzenbruck und Teilen der Stadt Altdorf. Der Zweck des Zusammenschlusses ist die gemeinsame Abwasserableitung und Abwasserreinigung in einer Verbandskläranlage.

Das Einzugsgebiet des Kanalisation-Zweckverbandes liegt im Südosten von Nürnberg und erstreckt sich von der Autobahnrasitanlage Feucht bis nach Weinhof (Stadt Altdorf). Es hat eine Gesamtfläche von rd. 650 ha und teilt sich in die zwei Hauptgebiete des mittleren Schwarzachtals und des Mühlbachtals. Die Länge der im Verbandsgebiet verlegten Abwasserleitungen beträgt ca. 200 km. Die Abwasseranlage des Kanalisation-Zweckverbandes ist hauptsächlich im Mischsystem erstellt. Zum Schutz der Vorfluter werden 33 Regenüberlaufbecken oder Regenüberläufe unterhalten.

Führende Projektpartner

Das Ingenieurbüro Dr. Resch + Partner, Weißenburg i.Bay. hat gemeinsam mit der IBA Planungs-GmbH & Co. KG, Nördlingen das Projekt fachlich initiiert und realisiert. Dem Ingenieurbüro Dr. Resch + Partner, Weißenburg i.Bay. oblag, neben der Objektplanung der Kläranlage, das Projektmanagement des Pilotprojekts der energieintelligenten Kläranlage.

Das Ingenieurbüro Dr. Resch + Partner, Weißenburg i.Bay. wurde 1996 vom Imhoff-Preisträger Dr.-Ing. Helmut Resch gegründet. Im Jahre 2011 ging die Geschäftsführung des Ingenieurbüros in die Hände von Dipl.-Ing. Regine Schatz und Dr.-Ing. Volker Schaardt über. Das Portfolio der Dienstleistungen umfasst zahlreiche Kläranlagen aller Größenklassen für kommunale und industrielle Auftraggeber. Das Ingenieurbüro Dr. Resch + Partner mit seinen 17 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern kann neben komplexen Fragestellungen auf den Gebieten der Abwasserreinigung auch Aufgabenstellungen der Abwasserableitung und der Regenwasserbewirtschaftung kompetent und umfassend bearbeiten.

Die IBA-Planungs GmbH & Co. KG in Nördlingen ist ein Ingenieurbüro für Elektrotechnik mit 25 Jahren Erfahrung im Bereich von Kläranlagen. In dem Unternehmen sind zehn Personen, davon ein Elektromeister und fünf Elektro-Ingenieure, beschäftigt. Seit Mitte 2017 gehört die IBA-Planungs GmbH & Co. KG zum Unternehmen Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG (München). Auch dieses Ingenieurbüro verfügt über langjährige Erfahrung im Bereich der Abwasserreinigung und Energieversorgung.

Im Projekt der Kläranlage Schwarzenbruck übernimmt das Büro IBA die gesamte elektrotechnische Planung und Bauleitung. Dazu zählen beispielsweise die elektrische Energieversorgung, das Prozessleitsystem, das Kommunikationsnetzwerk bis hin zur Raumbeleuchtung.

Darüber hinaus wurde das innovative Energieversorgungskonzept der Anlage und der netzdienliche Betrieb von der IBA Planungs-GmbH & Co. KG entwickelt und betreut. Im Rahmen dieser Tätigkeit wurden bereits mehrere Voruntersuchungen und wissenschaftliche Arbeiten durchgeführt.

1.2. Ausgangssituation

Die Kläranlage Schwarzenbruck wurde in ihrer Grundsubstanz 1968 errichtet und als einstufige Belebungsanlage in Betrieb genommen. Im Zuge von Erweiterungen und durch Verschärfung der Reinigungsanforderungen, insbesondere bezüglich Stickstoffreduzierung, wurde die Kläranlage mehrfach um- und ausgebaut. Zuletzt wurde die Kläranlage im Jahre 1997 schrittweise ausgebaut und optimiert. Die letzte planerische Überrechnung der Kläranlage hat den Stand der Belastung aus der Mitte der 1990er Jahre festgeschrieben und die Kläranlage unter Ausnutzung sämtlicher betrieblicher Reserven ertüchtigt. Seit 2003 war das LINPOR®-Verfahren in der Belebung mit vorgeschalteter Denitrifikation in Betrieb. Der spezifische Stromverbrauch der Kläranlage lag von 2009-2016 bei 36-53 kWh / (EW · a) und im Mittel bei 38 kWh / (EW · a). Der Anlagenbestand der Kläranlage Schwarzenbruck war zum Großteil älter als 45 Jahre, die Stickstoffentfernung war teilweise unzureichend und es gab hydraulische Überlastungen. Bedingt durch ihre Lage zwischen Schwarzachschlucht, angrenzender Bebauung und Wald mit Vogelschutzgebiet war die Anlage sehr verschachtelt gebaut und bot keinen Platz für Erweiterungen. Im Rahmen der Planungen wurde festgelegt, die erforderliche Erweiterung der Kläranlage als Neubau auf einem angrenzenden Grundstück zu realisieren, da dies die wirtschaftlichste Variante mit den geringsten Umweltauswirkungen und dem geringsten Risiko beim Bau darstellte. Der Bau einer neuen Kläranlage bot die Möglichkeit alle bekannten Techniken zu kombinieren und nicht nur hinsichtlich Gewässerschutz und Wirtschaftlichkeit, sondern zusätzlich im Hinblick auf den Klimaschutz zu optimieren. Der Beitrag der Kläranlagen zur Energiewende in Deutschland sollte anhand dieser Anlage demonstriert werden.

2. Vorhabenumsetzung

2.1. Ziel des Vorhabens

Im Projekt Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck sollen die bestehenden Ansätze zur Energieeinsparung auf Kläranlagen konsequent genutzt werden, um einen aktuellen Benchmark für eine kommunale Kläranlage zu setzen. Der Zielwert für den Strombedarf beträgt 18+2 kWh/(EW · a) Die Kläranlage soll energieneutral bezüglich Stroms betrieben werden können. Dazu wird der benötigte Strom über die Nutzung verschiedener regenerativer Energiequellen erzeugt. Zusätzlich werden neue Ansätze zur Energiespeicherung und sekto-übergreifenden Energiebewirtschaftung genutzt, um eine energetisch optimierte Kläranlage mit netzdienlichem Betrieb zu errichten.

Durch eine intelligente Steuerung der Energieerzeuger und Speicher soll die Kläranlage möglichst netzdienlich arbeiten. D.h. die Verbrauchsspitzen sollen möglichst gering ausfallen und ggfs. komplett durch die Kläranlage selbst kompensiert werden. Die Steuerung des Stromverbrauchs erfolgt durch die Kläranlage selbst und erfordert keine aktive Beteiligung des Energieversorgungsunternehmen (EVU). Die maximale Ein-, bzw. Ausspeiseleistung soll möglichst gering ausfallen. Dabei soll ein nahezu konstanter Energiefluss generiert werden. Des Weiteren soll die Kläranlage ihre benötigte Energie selbst erzeugen können. Es wird ein bilanzieller Autarkiegrad von 100 % angestrebt. Das heißt, die Kläranlage soll energieneutral betrieben werden.

2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Um eine energetisch optimierte Kläranlage nach der besten verfügbaren Technologie und mit netzdienlichem Betrieb zu errichten wurde der Standort Schwarzenbruck ausgewählt. Die bestehende Kläranlage Schwarzenbruck ist am bestehenden Standort wirtschaftlich nicht modernisier- und erweiterbar. Deshalb wurde vom Kanalisations-Zweckverband Schwarzachgruppe und den örtlichen Stadt- und Gemeinderäten entschieden, eine neue Kläranlage auf einem benachbarten Grundstück zu errichten.

Bei dem geplanten Neubau der Kläranlage Schwarzenbruck handelt es sich um eine in Deutschland seltene Gelegenheit, eine Kläranlage der Größenklasse 4 komplett neu zu errichten. Meist werden vergleichbare Anlagen durch Umbau oder Ausbaumaßnahmen im Bestand erneuert und unterliegen damit vielen Restriktionen. Beim Neubau einer Anlage können alle aktuellen Technologien zur Abwasserreinigung sowie der Energiebereitstellung und Energiespeicherung gemäß dem Stand der Technik verknüpft werden und, mit einem automatisierten Energiemanagement verknüpft, neue Maßstäbe bei der energieeffizienten Abwasserreinigung setzen.

Folgende Flexibilitätsbausteine für Kläranlagen wurden für das Vorhaben ausgewählt:

- Flexible Erzeugung regenerativer Energie
 - Biomasse aus Klärschlamm
 - Photovoltaik
 - Wasserkraft aus dem Kläranlagenablauf
- Flexibler Verbrauch
- Einsatz von Speichern (Gasspeicher, Stromspeicher, Wärmespeicher)
- Teilnahme am Regelenergiemarkt
- Lastprofiloptimierung
- Smart-Grid
- Atypische Netznutzung

Um diese Aufgabe erfüllen zu können, stützt sich das Energiemanagement der neuen Kläranlage Schwarzenbruck auf drei Säulen.

- Zum Ersten auf die Verbesserung der Energieeffizienz der Kläranlage,
- zum Zweiten auf das Ausschöpfen aller Möglichkeiten der Energieerzeugung und Speicherung.
- Zum Dritten auf ein Smart-Micro-Grid inklusive eines intelligenten Energiemanagements.

Das Smart-Micro-Grid der energieintelligenten Kläranlage ermöglicht erst die Ausnutzung der Sonnenenergie als volatilen Energieträger für die komplette erneuerbare Stromversorgung einer Kläranlage.

Abbildung 1 zeigt die Energieversorgung der Kläranlage im Tagbetrieb und im Nachtbetrieb. Während tagsüber die Stromversorgung hauptsächlich aus der Sonnenenergie (PV-Anlage) gedeckt wird, gibt es nachts mehr Klärgas, dass über die Blockheizkraftwerke (BHKWs) verstromt werden kann. Dies hat auch Auswirkungen auf die Speicher und die Wärmeerzeugung. Die bekannten Speicher für Gas und Wärme (thermischer Speicher) müssen deutlich größer gebaut sein als bei konventionellen Kläranlagen. Zusätzlich wird ein Stromspeicher (Batteriespeicher) benötigt.

Der manuelle Betrieb der Energieversorgung aus drei regenerativen Quellen und das manuelle Speichermanagement sind mit den personellen Ressourcen einer konventionellen Kläranlage nicht möglich. Hier ist der Einsatz eines Energiemanagementsystems angebracht. Im Rahmen des Projektes wurde ein Energiemanagementsystem für Kläranlagen adaptiert und ist jetzt als kommerzielle Software verfügbar.

Die Auslegung der Speicher und Energieerzeugungsanlagen wurde mit einer Simulation im Rahmen der Adaptation einer Masterarbeit überprüft, die jeweils einen Sommer- und einen Wintertag abbildet /1/.

Die Auslegung aller Anlagenteile der Kläranlage ist im Ordner Entwurf des Ingenieurbüros Dr. Resch + Partner, Weißenburg i. Bay., dargestellt. Der Entwurf der Kläranlage lag den Antragsunterlagen des Projektes bei. Zusätzlich zur Bemessung sind im Entwurf der Kläranlage auch die Leistungsdaten der wesentlichen Anlagenteile dargestellt. Die Auslegungen der Anlagenteile der Elektroanlagen sind im Entwurf des Ingenieurbüros IBA-Planungs GmbH & Co. KG, Nördlingen, und die Anlagenteile der technischen Gebäudeausrüstung im Entwurf des Ingenieurbüros TGA Projektierung, Regensburg erarbeitet.

Zusätzlich zu den Entwurfsunterlagen der Objektplanung und der Fachplaner ist im Teil A Fachtechnische Beschreibung zum Antrag des Investitionszuschusses im Umweltinnovationsprogramm (UIP) die Auslegung der Energieerzeuger und Speicher ausführlich dargestellt.

Geplant ist eine energieintelligente Kläranlage mit Rechen, Rechengutwäsche, Sandfang, Sandwäsche, zweistraßige Vorklärung, Kaskadendenitrifikation mit 3 Stufen, zwei Nachklä-

becken, maschinelle ÜSS-Eindickung, Faulung, Schlammeindickung mit Zentrifugen und Klär-gasverwertung mit Blockheizkraftwerken (BHKWs).

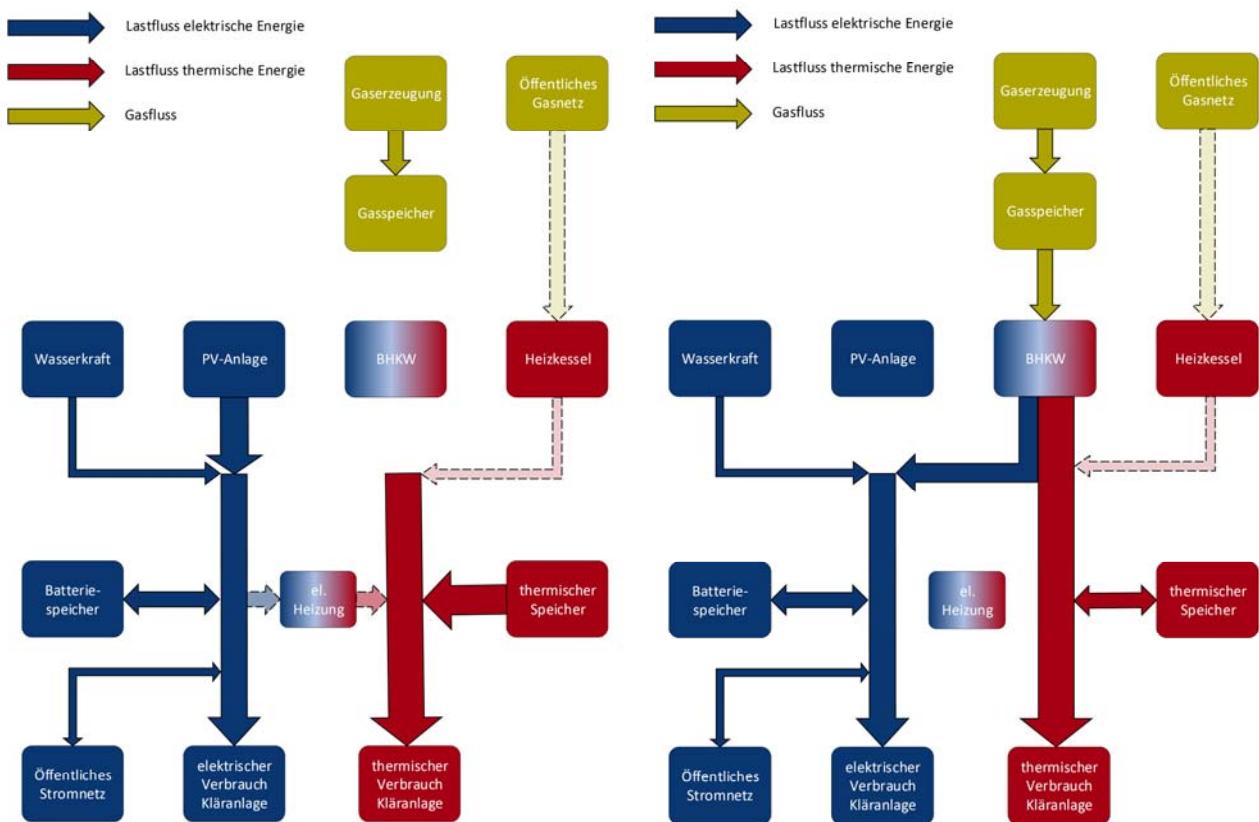


Abbildung 1: Schema Energieversorgung der Kläranlage im Tagbetrieb (links) und im Nachtbetrieb (rechts)

2.3. Umsetzung des Vorhabens

Mit Bewilligung des Projekts waren die Planungsphasen 1-4 nach HOAI (Grundlagenermittlung, Vorplanung, Entwurfsplanung und Genehmigungsplanung) bereits abgeschlossen. Die Leistungsphasen 5-9 nach HOAI (Ausführungsplanung, Vorbereitung der Vergabe, Mitwirkung bei der Vergabe, Bauüberleitung und Objektbetreuung) wurden im Projektzeitraum von 2019 bis 2024 erbracht.

Zusätzlich wurden für das Pilotprojekt eine energieoptimierte Planung als Vorleistung durchgeführt.

Wesentliche Arbeitsschritte und Fixpunkte des Projektes sind:

- Februar 2019 Beginn Ausschreibungen
- Juli 2019 Vergabe Los 1-3 (Maschinentechnik (MT) Abwasserreinigung, MT Schlammbehandlung, Bautechnik)
- September 2019 Baubeginn

- 23.10.2019 Spatenstich
- 18.02.2020 Grundsteinlegung
- Jahr 2020 Errichtung des Rohbaus der Kläranlage unter Corona-Pandemie Bedingungen
- Jahr 2021 Ausbauarbeiten für Betriebs- und Werkstattgebäude, Maschinentechnische Ausrüstung, Elektroarbeiten, TGA-Arbeiten
- Fortführung der Elektroarbeiten, Bauverzögerung durch Lieferschwierigkeiten bei div. Schaltschrankkomponenten
- Jahr 2022 Ausführungsplanung Anlagensteuerung, PLS und Visualisierung
- 04.10.2022 Inbetriebnahme Abwasserreinigung
- November 2022 Inbetriebnahme Schlammbehandlung
- Jahr 2023 Straßen- und Wegebau, Außenanlagen und Abbruch der Altanlage, Renaturierung der Ausgleichsfläche auf dem Gelände der Altanlage, Bau der Wasserkraftanlage
- Jahr 2024 Bau der neuen Zufahrtsstraße durch Ausbau der Baustraße
- 01.01.2024 Beginn der Messperiode des Monitorings
- 07.06.2024 Offizielle Einweihung der Energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck
- 31.12.2024 Ende der Messperiode des Monitorings

Die Beschreibung der Umsetzung des Vorhabens umfasst im Einzelnen:

Nach der Übersendung des Zuwendungsbescheids im Januar 2019 wurden die Ausschreibungen zügig gestartet. Bereits am 12.2.2019 wurden die Ausschreibungen für die Lose 1 (Maschinentechnik Abwasserreinigung), Los 2 (Maschinentechnik Schlammbehandlung) und Los 3 (Bautechnik) veröffentlicht. Die Submission fand am 26.3.2019 statt. Aufgrund der Kostensteigerung von ca. 48 % gegenüber den fortgeschriebenen Entwurfskosten konnte die Vergabe des Loses 3 aus wirtschaftlichen Gründen nicht erfolgen. Um bei der erneuten Ausschreibung des Loses 3 wirtschaftliche Angebote zu erzielen, wurde der Angebotsumfang grundlegend geändert und lediglich die Rohbauarbeiten der Gebäude sowie die abwasser-technischen Bauwerke und Rohrleitungen in einem Los 3 „Rohbau und Rohrleitungen“ zusammengefasst. Hierdurch verringerte sich u.a. der Anteil der Nachunternehmerleistungen erheblich. Ferner wurde die Bauzeit geändert. Die Bekanntmachung der Ausschreibung des neuen Loses 3 erfolgte am 29.04.2019 und die Submission am 7.6.2019. Mit Gesamtmehrkosten in Höhe von ca. 27 % wurden die Lose 1-3 in der Sitzung der Verbandsversammlung vom 9.7.2019 vergeben.

Die Bauarbeiten begannen im September 2019. Am 23.10.2019 fand der offizielle Spatenstich mit Presstermin statt (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Spatenstich Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck

Die Rohbauarbeiten des Vorklärbeckens, Sandfangs, Betriebsgebäude und Werkstattgebäude waren da bereits gestartet. Die Aushubarbeiten für die Nachklärbecken und das Maschinengebäude 2 liefen. Der Baufortschritt entsprach dem ersten Bauzeitenplan V01 vom 19.9.2019. Abbildung 3 zeigt einen Überblick über die Baustelle am 28.11.2019.



Abbildung 3: Baustelle Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck, 28.11.2019

Zudem wurden im zweiten Halbjahr 2019 die Ausschreibungen für EMSR-Technik, HLS und die ersten fünf Lose der Ausbaugewerke vorbereitet. Die EU-weite Auftragsbekanntmachung der Lose 4-15 fand am 05.11.2019 statt, die Submission erfolgt am 18.12.2019, die Vergaben sind in der Verbandsversammlung am 11.02.2020 erfolgt.

Die Bauarbeiten wurden nach der ersten Winterpause planmäßig im Februar 2020 fortgesetzt. Am 18.02.2020 fand die offizielle Grundsteinlegung mit Pressetermin statt (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Grundsteinlegung Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck

Die Rohbauarbeiten des Betriebs- und Werkstattgebäudes wurden im ersten Halbjahr 2020 abgeschlossen, danach wurden die Dächer errichtet. Ebenfalls waren die Rohbauarbeiten des Sandfangs- und Vorklärbeckens größtenteils abgeschlossen. Die Rohbauarbeiten der Nachklärbecken, Faulbehälter und Maschinengebäude 2 waren planmäßig im Gange. Die Aushubarbeiten für die Nachklärbecken und das Maschinengebäude 2 liefen. Der Baufortschritt entsprach dem Bauzeitenplan V02 vom 20.6.2020. Es gab keine Verzögerungen zum Zeitplan V02. Die Einschränkungen und Maßnahmen zur Eindämmung der Corona-Pandemie hatten bis dahin keine negativen Auswirkungen auf den Zeitplan der Bauarbeiten. Abbildung 5 zeigt einen Überblick über die Baustelle am 25.05.2020.

Die Vergabe der Lose 4 Elektrotechnik, Lose 5-7 HLS und Lose 8-15 Ausbaugewerke fand am in der Verbandsversammlung am 11.02.2020 statt.

Im März/April 2020 wurden die Ausschreibungen für die Ausbauarbeiten (Lose 16-20) fortgesetzt. Die Vergaben der Bauleistungen erfolgten in der Verbandsversammlung am 27.05.2020. Zur Ausschreibung der Softwareentwicklung der "energieintelligenten Steuerung" wurde ein Teilnahmewettbewerb zur Ermittlung der Eignung der Firmen im Frühjahr 2020 durchgeführt. Die Vergabe der Leistungen an die Firma ABB erfolgte ebenfalls in der Verbandsversammlung am 27.5.2020.



Abbildung 5: Baustelle Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck, 25.05.2020

Im ersten Halbjahr 2020 wurden die Ausschreibung der Maschinentechnik der Prozesswasserbehandlung (Deammonifikation) vorbereitet.

Mit den Vergaben in der Verbandsversammlung wurde eine erneute Kostenfortschreibung erstellt. Gegenüber der Kostenberechnung erhöhen sich die Baukosten lt. Kostenfortschreibung Nr. 3 um ca. 5 Mio. €. Für die bis Juli 2020 beauftragten Bauleistungen betragen die Mehrkosten ca. 3,8 Mio. €.

Die Bauarbeiten konnten bis dahin planmäßig trotz COVID-19-Pandemie fortgesetzt werden.

Bis Ende des Jahres 2020 konnten die Rohbauarbeiten des Maschinengebäudes 1 und Maschinengebäudes 2 abgeschlossen. Die Bauarbeiten am Faulbehälter waren abgeschlossen. Die Arbeiten an den Nachklärbecken und Schlammbehälter 2 und 3 waren planmäßig im Gange. Die Aushubarbeiten für das Belebungsbecken liefen. Die Verlegung der Rohrleitungen hatte begonnen. Im Betriebsgebäude und im Werkstattgebäude liefen die Ausbauerbeiten. Der Estrich im Betriebsgebäude war eingebaut. Der Baufortschritt entsprach weitestgehend dem Bauzeitenplan V03 vom 15.10.2020. Die Verzögerung der Rohbauarbeiten um ca. 3-4 Wochen hatte keine Auswirkungen auf die nachfolgenden Gewerke. Die Einschränkungen und Maßnahmen zur Eindämmung der Corona-Pandemie hatten bis dahin keine größeren negativen Auswirkungen auf den Zeitplan der Bauarbeiten. Im Winter 2020/2021 war planmäßig keine längere Baupause vorgesehen, da genügend Arbeiten im Innenbereich ausgeführt werden konnten. Abbildung 6 zeigt einen Überblick über die Baustelle am 19.09.2020.



Abbildung 6: Baustelle Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck, 19.09.2020

Die Vergabe der Lose 22 Maschinentechnik der Prozesswasserbehandlung (Deammonifikation) wurde in der Verbandsversammlung vom 7.10.2020 beschlossen. Die Investitionskosten der Kläranlage lagen bis dahin ca. 28 % über den Kosten der Kostenberechnung vom Dezember 2017.

Die Ausführungsplanung für das Energiemanagement (Los 21) hat im September 2020 begonnen.

In der Verbandsversammlung vom 25.11.2020 wurde entschieden, zwei neue BHKW zu errichten. Im Entwurf vom Dezember 2017 waren bereits zwei neue BHKWs geplant. In der Ausschreibung wurde nur ein neues BHKW aufgenommen, da es wirtschaftlicher erschien die Restlaufzeit und die Restförderdauer des alten BHKW auszunutzen. Die genaue technische Prüfung hat allerdings ergeben, dass das alte BHKW nicht für den Inselbetrieb geeignet ist und der Umzug mit diversen (Kosten-) Risiken verbunden ist. Die Verbandsversammlung hat im Februar 2021 über die Vergabe eines Nachtrags für zwei baugleiche neue BHKWs entschieden.

Die Rohbauarbeiten aller Bauwerke war bis Mitte 2021 weitgehend abgeschlossen. Abbildung 7 zeigt einen Überblick über die Baustelle im Januar 2021. In Abbildung 8 ist der Baufortschritt der Rohbauarbeiten bis Mai 2021 gut erkennbar. Danach wurden die erdverlegten Rohrleitungen gebaut. Die erdverlegten Kabeltrassen sollten bis Ende dieses Jahres 2021 fertiggestellt werden.

Seit Februar 2021 wurden die Ausbauarbeiten der Gewerke Elektro und Lüftung im Betriebsgebäude durchgeführt und mit dem der Trockenbauarbeiten fortgeführt. Danach folgten die Fliesenarbeiten. Im Außenbereich wurde das Wärmedämmverbundsystem angebracht und die PV-Anlage installiert. Im Werkstattgebäude liefen parallel die Arbeiten zur Elektroinstallation. Die PV-Anlage war fertig montiert. Im März 2021 konnte mit dem bautechnischen Ausbau des Maschinengebäude 1 begonnen werden (Gerinne, Maschinenfundamente etc.). Im Maschinengebäude 2 wurde im ersten Halbjahr 2021 mit der maschinentechnischen Ausrüstung begonnen. Im Maschinenkeller war die Rohleitungs- und Aggregatemontage der Maschinentechnik größtenteils abgeschlossen.

Die maschinentechnische Ausrüstung des Sandfangs und des Vorklärbeckens wurde im ersten Halbjahr 2021 größtenteils abgeschlossen. Im Faulbehälter hatten die Montagearbeiten begonnen.



Abbildung 7: Baustelle Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck, Januar 2021

Die Vergabe des Los 17-2 Behälterverkleidung war im ersten Halbjahr 2021 erfolgt. Die Ausführungsplanung für EMSR-Technik, HLS und Prozesswasserbehandlung wurden fortgeführt. Für das Energiemanagementsystem (EMS) lag die erste Version des Pflichten- und Lastenheftes vor. Es wurde geprüft, ob das EMS mit vorhandenen Daten als Probefahrt simuliert werden konnte.



Abbildung 8: Baustelle Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck, Mai 2021

Die Rohbauarbeiten aller Bauwerke waren Mitte des Jahres 2021 im Wesentlichen abgeschlossen. Abbildung 9 zeigt einen Überblick über die Baustelle im November 2021. Die erdverlegten Rohrleitungen wurden fertig gebaut. Die Materialengpässe auf dem Weltmarkt in diesem Bereich haben die Baustelle nur in sehr geringem Umfang durch rechtzeitige Materialbeschaffung betroffen. Die Rohrleitungen und erdverlegten Kabeltrassen wurden bis Ende März 2022 fertiggestellt.

Das Betriebsgebäude war im zweiten Halbjahr 2022 bis auf Restarbeiten fertiggestellt. Die Möblierung war ebenfalls weitgehend erfolgt. Im Werkstattgebäude waren die Ausbauarbeiten bis auf Restarbeiten abgeschlossen. Der Auftrag für die Werkstatteinrichtung (Los 103) wurde vergeben. Es liefen die Werkstatteinrichtungsarbeiten.

Im Maschinengebäude 1 liefen die Ausbau- und Montagearbeiten der Maschinentechnik. Sie waren bis auf die Arbeiten im Maschinenkeller größtenteils fertiggestellt. Die Fassaden der Maschinengebäude wurden aufgrund der pandemiebedingten Lieferzeitenerhöhungen beim Wärmedämmverbundsystem erst im Frühjahr 2022 gedämmt und gestaltet. Im Maschinengebäude 2 und am Faulbehälter, den Nachklärbecken und dem Belebungsbecken liefen die Ausrüstungs- und Leitungsbauarbeiten planmäßig.



Abbildung 9: Baustelle Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck, November 2021

Die Lüftungsmontage in den Betriebsgebäuden hatte im zweiten Halbjahr 2021 begonnen. Der Gasanschluss und die Heizungsanlage wurde termingerecht im Dezember 2021 fertiggestellt und in Betrieb genommen, sodass das Betriebs- und Werkstattgebäude und provisorisch das Maschinengebäude 1 im Winter beheizt werden konnten.

Ebenfalls im zweiten Halbjahr 2021 wurde das Einspeisekabel vom Trafo des Energieversorgungsunternehmens zur Kläranlage verlegt. Nach Lieferung der Niederspannungshauptverteilung Anfang 2022 konnte die Stromeinspeisung erfolgen. Die Auslieferung der Schaltschränke hatte begonnen. Im Maschinengebäude 1 waren alle Schaltschränke bis auf die Schaltschränke für die Deammonifikation (Prozesswasserbehandlung) geliefert. Die Auslieferung der restlichen Schaltschränke hatte sich auf das II. Quartal 2022 verschoben aufgrund von Lieferschwierigkeiten bei einzelnen Schaltschrankkomponenten wie Frequenzumrichter, speicherprogrammierbare Steuerungen und Schaltgeräte durch Rohstoffknappheit und unterbrochenen Lieferketten in der Pandemie. Es war befürchtet worden, dass sich bei einer Verschärfung der Lieferprobleme bei elektrischen Bauteilen, die Inbetriebnahme der Kläranlage verschieben würde. Es wurde zu diesem Zeitpunkt von einer Inbetriebnahme der Kläranlage bis spätestens Ende des Jahres 2022 ausgegangen.

Die Abstimmung der Lasten- und Pflichtenhefte der Kläranlagensteuerung hat im zweiten Halbjahr 2021 stattgefunden. Die Lasten- und Pflichtenhefte für die Maschinentechnik der Kläranlage waren fertiggestellt. Die Abstimmung der Lasten- und Pflichtenhefte für den Bereich Technische Gebäudeausrüstung war weitgehend abgeschlossen. Der Entwurf des Pflichtenheftes des Energiemanagements lag vor und wurde zwischen den Beteiligten begonnen abzustimmen.

Die Ausschreibung des Los 23 Außenanlagen (Straßenbau etc.) und Los 24 Einfriedung war

erfolgt. Die Vergabe erfolgte Anfang März 2022.

Abbildung 10 zeigt einen Überblick über die Baustelle im April 2022. Die Rohbau- und Rohrleitungsarbeiten der Kläranlage waren abgeschlossen. Die erdverlegten Kabelarbeiten waren beendet. Die Ausrüstungs- und Leitungsarbeiten in den Maschinengebäuden waren bis auf Restarbeiten ebenfalls abgeschlossen. Die Fassaden der Maschinengebäude waren im zweiten Halbjahr 2022 weitgehend fertiggestellt. Die Photovoltaikanlagen auf den Maschinengebäuden wurden im zweiten Halbjahr 2022 montiert. Die Inbetriebnahme aller Photovoltaik-Anlagenteile wurde bis Oktober 2022 abgeschlossen. Die Gewerke der Technischen Gebäudaeaurüstung (TGA) waren bis auf Restarbeiten fertig gestellt. Die Elektroarbeiten waren am Laufen und größtenteils noch im Zeitplan. Die genauen Liefertermine verschiedener Schaltschrankkomponenten (z.B. Frequenzumrichter) waren noch nicht alle verbindlich bekannt. Teilweise wurden der Probefebetrieb und die Inbetriebnahme nur mit Übergangslösungen möglich.

Die Wasserfahrt der Umgehungsleitungen vom Zulauf der Kläranlage zur Belebung wurde als Voraussetzung für die Inbetriebnahme im ersten Halbjahr 2022 erfolgreich abgeschlossen. Der Probefebetrieb der einzelnen Anlagenteile teilweise mit Inbetriebnahme hatte begonnen mit folgenden Anlagenteilen: Brauchwasseranlage, Siebanlage, Räumer Sandfang und Sandwäsche, Räumer Vorklärbecken und die Gebläse der Belebung.



Abbildung 10: Baustelle Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck, April 2022

Im März 2022 wurde das Los 23 Außenanlagen vergeben. Das Los 24 Zaunanlagen wurde ebenfalls vergeben. Die Gestaltung der Außenanlagen hatte mit den Bauarbeiten begonnen. Die Planungen für den Rückbau der Altanlage hatten in der Schadstoffvorerkundung erhebliche Belastungen u.a. mit Asbest, PCB festgestellt. Die Planung der Schadstoffsanierung

wurde daraufhin einem spezialisierten Planungsbüro übergeben werden. Die Ausschreibung für die Wasserkraftanlage wurde im ersten Halbjahr 2022 veröffentlicht. Die Ausführungsplanung für das Energiemanagementsystem (EMS) war weiter fortgeschritten. Die Vorabinnahme bei Fa. ABB erfolgte Mitte August 2022. Die Inbetriebnahme des EMS war bis Ende November 2022 geplant.



Abbildung 11: Baustelle Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck, Juli 2022

Abbildung 11 zeigt einen Überblick über die Baustelle im Juli 2022. Im August 2022 wurde die Biologie der neuen Kläranlage angezüchtet. Dazu wurde ein Überschusschlamm-Abwassergemisch aus der alten Kläranlage in die neue Kläranlage gepumpt. Mit Umschluss des Hauptzulaufs (Pumpwerk Moor) ist die Abwasserreinigung der energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck am 4. Oktober 2022 in Betrieb gegangen. Im November 2022 folgte die Inbetriebnahme der Schlammbehandlung der neuen Kläranlage. Die Ablaufwerte der neuen Kläranlage waren bereits in der ersten Betriebswoche auf ein neues tiefes Niveau gesunken und stets eingehalten. Die Lose 01 und 02 der Maschinentechnik waren abgenommen.

Im Folgenden wird ein Teil der im Herbst 2022 fertig gebauten Anlagenteile der Energieintelligenten Kläranlage in Bildern und mit kurzer Erläuterung vorgestellt.

Abbildung 12 zeigt das Maschinengebäude 1, in dem der Zulauf zur Kläranlage ankommt. Weiterhin sind dort die Rechen, Rechengutwäsche und Sandwäsche untergebracht. Außerdem sind der Sandfang und das Vorklarbecken kurz vor der Inbetriebnahme abgebildet. Auf der Rückseite des Maschinengebäudes ist die Lüftungstechnik zur Luftabsaugung und Abluftreinigung aus dem Rechenraum und der Schlammentwässerung installiert. Im rechten Teil des Fotos sind Teile der Schlammbehandlung zu sehen. Die Außenanlagen mit Straßen und Wegen waren zu diesem Zeitpunkt noch nicht vorhanden. Hinter dem Maschinengebäude 1 ist das Obergeschoss des Betriebsgebäudes zu sehen. Alle Dächer sind nach Süden geneigt und

sind vollflächig mit Photovoltaik-Anlagen zur Stromerzeugung ausgerüstet.



Abbildung 12: Maschinengebäude 1 mit mechanischer Abwasserreinigung, Prozesswasserbehandlung und Schlammtapelbehältern am 20. September 2022

Abbildung 13 zeigt das Belebungsbecken der energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck kurz vor der Inbetriebnahme. Die Belebung ist als Kaskadendenitrifikation mit vorschalteter und intermittierender Denitrifikation gebaut. Rechts unten im Bild ist der Zulauf des mechanisch vorgereinigten Abwassers in die erste Kaskade. Ein Teil des Zulaufs wird jeweils in die zweite und dritte Kaskade geführt. Jede Kaskade verfügt über zwei Beckenteile. Das linke Becken ist vollflächig mit Belüfterplatten ausgerüstet, damit der Belebtschlamm mit Sauerstoff versorgt werden kann. Das rechte Becken ist gerührt und dient der Denitrifikation. Im Hintergrund sind die Altanlagen zu sehen.



Abbildung 13: Belebungsbecken am 20. September 2022



Abbildung 14: Maschinenkeller des Betriebsgebäude 2 am 20. September 2022

Im Maschinenkeller des Maschinengebäudes 2 (MG 2) sind die sechs Rücklaufschlammpumpen angeordnet. Sie sind in Abbildung 14 zu sehen und verteilen den Rücklaufschlamm aus den beiden Nachklärbecken zurück in das Belebungsbecken. Im linken Vordergrund sind die beiden Überschusschlammumpumpen erkennbar. Sie fördern den überschüssigen Belebtschlamm in die maschinelle Überschusschlamm-Eindickung im Erdgeschoss des MG 2.

Bei den Elektroarbeiten waren die Inbetriebnahmen im zweiten Halbjahr 2022 größtenteils durchgeführt. Es folgten die Leistungsfeststellungen und Funktionsnachprüfungen. An der Software wurde noch gearbeitet. Die BHKWs sind im Dezember 2022 in Betrieb gegangen. Der Batteriespeicher konnte noch nicht in Betrieb gehen, da die Klimatisierung im Batterieraum zu schwach ausgeführt war. Die Sanitäranlagen waren bis auf Restarbeiten fertiggestellt. Die Lüftungsanlagen waren in Betrieb und liefen größtenteils störungsfrei. Die Heizungsanlage war in Betrieb und lief mittlerweile ebenfalls störungsfrei.

Der Bau der Außenanlagen wie Straßen und Wege verlief planmäßig. Der Rückbau der Altanlagen (Los 25) wurde in der Verbandsversammlung im November 2022 vergeben. Im September 2022 erfolgte die Vergabe des Loses 26 "Maschinen- und Elektrotechnik Wasserkraftanlage". Die Bautechnik für die Wasserkraftanlage wurde im April 2023 vergeben.

Das Energiemanagementsystem (EMS) war im zweiten Halbjahr 2022 auf der Kläranlage in-

stalliert und hatte mit der Datensammlung begonnen. Leider lieferte die OPC-UA-Schnittstelle des Prozessleitsystems fehlerhafte Werte an das EMS. Dadurch konnte das EMS noch nicht genutzt werden. Der Hersteller der Prozessleitsystemsoftware war informiert und hat das Problem später behoben.

Das EVU hat aufgrund fehlender Erfahrungen mit energieintelligenten Systemen Schwierigkeiten bei der Festlegung der Einspeisevergütung für den überschüssigen Strom aus der Energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck. Es konnte bis zum zweiten Halbjahr 2022 zweifelsfrei geklärt werden, dass für eine Einspeisevergütung nicht zwingend eine Förderung nach EEG und/oder KWKG in Anspruch genommen werden muss.



Abbildung 15: Baustelle Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck, März 2023

Abbildung 15 zeigt einen Überblick über die Baustelle im März 2023. Im ersten Halbjahr 2023 lag der Schwerpunkt der Bauarbeiten auf dem Straßen- und Wegebau, den Außenanlagen und den Abbrucharbeiten der Altanlage. Die Straßen und Wege der neuen Kläranlage, die Außenanlagen und Toranlage waren fertiggestellt. Die Altanlage war größtenteils abgebrochen und die Fläche verfüllt. Die Innenbeschichtung des alten Faulturms wurde als mit Asbest belastet ermittelt. Damit wurden die Abbrucharbeiten des Betonbehälters erheblich aufwändiger als ursprünglich geplant und haben sich verzögert. Abbildung 16 zeigt die energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck im August 2023 und die Baustelle der Altanlage im Hintergrund.

Die Bauarbeiten für die Wasserkraftanlage hatten im April 2023 begonnen. Der Rohbau war im Juli 2023 nahezu fertiggestellt. Die Inbetriebnahme der Wasserkraftanlage war für Ende des Jahres 2023 vorgesehen.

Die Wasserfahrt der Prozesswasserbehandlung (Deammonifikation) wurde im ersten Halb-

jahr 2023 erfolgreich durchgeführt. Die Beschaffung von Impfschlamm aus der näheren Umgebung gestaltete sich schwierig, da nicht genügend Anlagen mit Schlammüberschuss verfügbar sind.



Abbildung 16: Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck und Baustelle Altanlage im August 2023

Bei der Maschinentechnik, EMSR-Technik und TGA standen die Erledigung von Restarbeiten und Mängelbeseitigung im ersten Halbjahr 2023 im Fokus. Die Plausibilität und die Berichte der Messwerte im PLS und Datenverwaltung wurde hergestellt, geprüft und wo nötig korrigiert.

Im Juni 2023 konnte der KZV Schwarzachgruppe mit dem EVU Gemeindewerke Schwarzenbruck mit beiderseitiger anwaltlicher Beratung eine Einigung über die Einspeisevergütung des ausgespeisten Stromes erzielen. Der ausgespeiste Strom wird im Viertelstundenlastgang bilanziert und mit dem Spotpreis der 60 min Day-Ahead Auktion (epexspot. Auktion > Day-Ahead > 60min > DE-LU) abzüglich einer Bearbeitungsgebühr und Strukturierungskosten bepreist. Negative Marktpreise werden an den KZV genauso weitergeleitet. Eine Vergütung nach EEG und KWK-G erfolgt wie vorgesehen nicht.



Abbildung 17: Baustelle Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck, September 2023

Abbildung 17 zeigt einen Überblick über die Baustelle im September 2023. Im zweiten Halbjahr 2023 lag der Schwerpunkt der Bauarbeiten auf der Beendigung der Arbeiten an der Wasserkraftanlage und dem Abschluss der Arbeiten zum Abbruch der Altanlage. Abbildung 18 zeigt die rückgebaute Altanlage der Kläranlage Schwarzenbruck im Januar 2024. Die Geländeauflistung war abgeschlossen und die Bepflanzung hatte begonnen. Die Renaturierung der Ausgleichsfläche erfolgte ab Frühjahr 2024.

Die Schlussrechnungen für die Bautechnik waren größtenteils vorgelegt und abgerechnet. Es fehlten noch die Schlussrechnungen von Los 16 Fliesenarbeiten, Los 19 Malerarbeiten, Los 28 Wasserkraftanlage und Los 25 Rückbau Altanlage.



Abbildung 18: Rückgebaute Altanlage der Kläranlage Schwarzenbruck im Januar 2024

Abbildung 19 zeigt das Gebäude für die Wasserkraftanlage in der Böschung der Schwarzachklamm und die Turbine bei der Installation im November 2023. Die Inbetriebnahme erfolgte im Dezember 2023, so dass die Wasserkraftanlage seit Weihnachten 2023 kontinuierlich Strom liefert.



Abbildung 19: Wasserkraftanlage der Energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck 11/12 2023

Die Prozesswasserbehandlung (Deammonifikation) wurde im September 2023 in Betrieb genommen. Die Inbetriebnahme startete mit der Zugabe von Impfschlamm aus der Prozesswasserbehandlungsanlage der Kläranlage Neumarkt. Es konnte eine Schlammmeige von 620 kg Trockensubstanz in zwei Containern mit 1 m³ Volumen gesammelt über viele Wochen in die neue Anlage transferiert werden. Bis Dezember 2023 konnte die Deammonifikation bereits ca. ¼ seiner geplanten Kapazität behandeln.

Bei der Maschinentechnik waren die Arbeiten ebenfalls abgeschlossen. Die Schlussrechnungen für Los 01 Maschinentechnik Abwasserreinigung und Los 02 Maschinentechnik Schlammbehandlung sind fertig abgerechnet. Bei der EMSR-Technik und HLS standen die Erledigung von Restarbeiten und Mängelbeseitigung im zweiten Halbjahr 2023 im Fokus. Die Schlussrechnung für das Los 4 EMSR-Technik lag vor und wurde geprüft.

Das Energiemanagementsystem (Los 21) ist Ende des Jahres 2023 in den Probebetrieb gestartet. Zunächst wurde mit der Datensammlung begonnen. Hierbei wurden noch erhebliche Defizite und Unplausibilitäten festgestellt. Zudem wurde festgestellt, dass die Prognose der Photovoltaikanlage noch zu weit von der Realität entfernt war (siehe Abbildung 20). Es wurde eingeführt, mit wöchentlichen Überwachungstagen und einem monatlichen Jour-fixe eine schnelle Annäherung der Prognose an die Realität zu realisieren. Ziel war das EMS hinreichend gut mit der Anlagentechnik abzulegen, um einen teilautomatisierten Betrieb des EMS umzusetzen.



Abbildung 20: Prognostizierter und tatsächlicher Verlauf der Stromproduktion aus Photovoltaik im Energiemanagementsystem

Im Mai 2024 wurde die neue Zufahrtsstraße zur Kläranlage über die ehemalige Baustraße auf der Gemeindeverbindungsstraße fertiggestellt. Seither läuft der Lieferverkehr zur Kläranlage nicht mehr durch das Gsteinacher Wohngebiet. Die energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck wurde am 7. Juni 2024 mit einer symbolischen Schlüsselübergabe offiziell eingeweiht und am 8. Juni 2024 mit einem Tag der offenen Tür der Öffentlichkeit vorgestellt.



Abbildung 21: Grußworte von Herrn Dr. Obermaier, Umweltbundesamt, zur offiziellen Einweihung der energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck und symbolische Schlüsselübergabe von Frau Schatz, Geschäftsführerin des Ingenieurbüro Dr. Resch + Partner an Herrn Göhring, Betriebsleiter der Kläranlage

Im ersten Halbjahr 2024 lag der Fokus auf den Restarbeiten und der Mängelbeseitigung in den Gewerken der EMSR-Technik und TGA. Zusätzlich wurden die Betriebs- und Energieberichte der Kläranlage weiter auf Plausibilität untersucht. Die aufgedeckten Fehler wurden kommuniziert und die Behebung der Mängel überwacht. Im ersten Halbjahr 2024 lag zudem ein weiterer Fokus auf den Arbeiten der Optimierung der Prozesswasserbehandlung mit Deammonifikation.

Inbetriebnahme Deammonifikation

Abbildung 22 zeigt den Deammonifikationsreaktor in der Ansicht (a) und einen Blick in die Revisionsöffnung während der Rührphase (b) und während der belüfteten Phase (c).



a)



b)



c)

Abbildung 22: Deammonifikationsreaktor a) Ansicht, b) Innenansicht Rührphase c) Innenansicht belüftete Phase

Ende des Jahres 2023 wurde die Beschickung der Faulung deutlich verbessert. In der Folge wurde der Schlamm mit höherer Feststoffkonzentration in den Faulurm befördert, der Abbau verbesserte sich und die Gaserzeugung stieg deutlich an. Dadurch stieg auch der Ammoniumgehalt ($\text{NH}_4\text{-N}$) im Prozesswasser von unter 600 mg/l bis auf über 1.100 mg/l an. Damit stieg zunächst auch kontinuierlich die behandelte Fracht im Deammonifikationsreaktor. Da die Zulauffracht schneller Anstieg als die Schlammmenge im Reaktor wuchs, stieg im Januar 2024 auch die Ablaufkonzentration an Ammonium. Erst nach Anpassung der Zulaufmenge wurden die Ablaufkonzentration des Ammoniums wieder auf unter 300 mg/l gesenkt (Vergleiche Abbildung 23 und Abbildung 24). Abbildung 25 zeigt die mikroskopische Aufnahme des Schlammes.

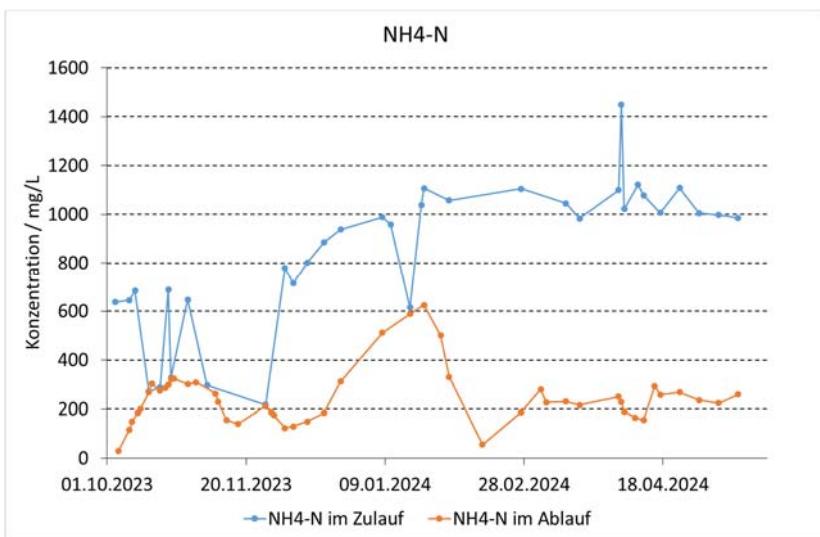


Abbildung 23: Ammoniumkonzentration im Zulauf und Ablauf der Deammonifikation seit Inbetriebnahme

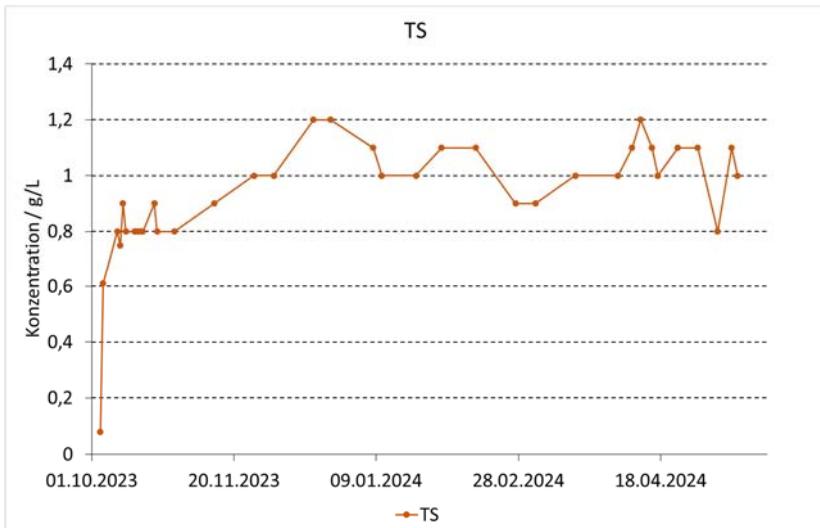


Abbildung 24: Schlammkonzentration im Deammonifikations-Reaktor seit Inbetriebnahme

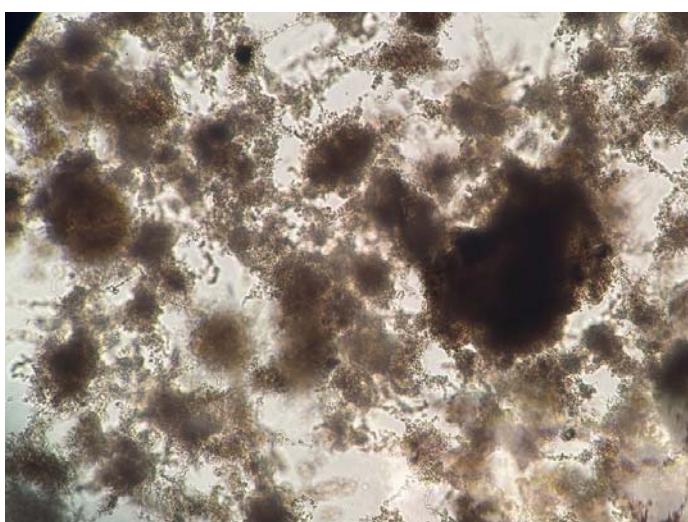


Abbildung 25: Schlamm der Deammonifikation im Phasenkontrastmikroskop 200-fache Vergrößerung

Tabelle 1: Ergebnisse der Gensondentests (VIT-Analyse)

Probenahmeort	Impfschlamm	Deammonifikationsreaktor	Deammonifikationsreaktor	Tendenz
Probendatum	10.10.2023	17.11.2023	14.05.2024	
Anammox-Bakterien	31,0	23,3	45,0	↑
Plactomyceten inkl. Anammox	36,4	27,3	48,0	↑
AOB	9,1	15,2	29,0	↑
NOB	11,0	14,2	5,2	↓
Anammox-Bakterien in rot				
NOB in grün AOB in rot				

Die Bakterienzusammensetzung und die Vitalität der Mikroorganismen im Schlamm des Deammonifikationsreaktors wurden im Impfschlamm und zu zwei weiteren Zeitpunkten mit Gensondentests überprüft. Insbesondere sollte bei der Überprüfung analysiert werden, ob die Ammoniumoxidierer (AOBs) die in Konkurrenz zu den Nitritoxidierern (NOBs) stehen tatsächlich in der Überzahl bleiben. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Gensondentests. Die NOBs konnten bis Mai 2024 deutlich reduziert werden. Davon profitieren auch die Plactomyceten bzw. Anammox-Bakterien, deren Anteil ebenfalls weiter gestiegen ist.

Damit konnte die Prozesswasserbehandlung im ersten Betriebshalbjahr erfolgreich mit der Deammonifikation etabliert werden. Die Bemühungen richten sich nun auf die Anreicherung der Biomasse, d.h. der Erhöhung der Schlammmasse und auf die Etablierung des stabilen Langzeitbetriebes.

Energiemanagement (EMS) 2024

Im EMS wurde im ersten Halbjahr 2024 zunächst die Prognose der Photovoltaik durch Einbindung von externen Wetterdaten des deutschen Wetterdienstes (DWD) erheblich verbessert. Weiterhin wurde das Modell um die Abgabe von Wärme in die Biologie erweitert. Die BHKWs wurden zunächst im Testbetrieb und schließlich im Automatikbetrieb vom EMS gesteuert. Dabei wurde festgestellt, dass durch das automatische Einschalten von zwei BHKWs

die Anlage auf „Störung“ geht. Der Fehler konnte im ersten Halbjahr 2024 behoben werden. Der steuernde Eingriff des Energiemanagementsystems konnte damit mit positiven Ergebnissen getestet werden. Im zweiten Halbjahr 2024 ging die automatische Steuerung der BHKWs in den stabilen Langzeitbetrieb.

Erstes Halbjahr 2025

Die energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck war in allen Anlagenteilen fertiggestellt. Die Maschinentechnik lief weitgehend störungsfrei. Die Mängelbeseitigung bei der EMSR-Technik und vor allem in der Programmierung und Berichtserstellung wurde im November und Dezember 2024 erheblich vorangebracht. Das Gewerk Heizung/Lüftung/Sanitär lief weitgehend störungsfrei. Der Probebetrieb des Energiemanagementsystems ist erfolgt. Das Energiemanagementsystem wurde abgenommen. Es sind alle Schlussrechnungen geprüft und größtenteils freigegeben. Die Datenerhebung für das Monitoring wurde verifiziert und wo nötig korrigiert.

2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Folgende Genehmigungen mit behördlichen Anforderungen an das Vorhaben wurden eingeholt:

Baurecht und Naturschutzrecht

1. Änderung des Flächennutzungsplans (FNP)
2. Bauvoranfrage
3. Baugenehmigung Neubau Kläranlage, Auflassung Altanlage
4. FFH-Verträglichkeitsprüfung
5. spezielle artenschutzrechtliche Prüfung (saP)
6. Maßnahmen aus dem Landschaftspflegerischen Begleitplan (z.B. Ersatzaufforstung Bannwald)
7. Rodungsgenehmigung
8. UVP-Vorprüfung
9. Maßnahmen aus dem Lärmgutachten
10. Maßnahmen aus dem Geruchsgutachten
11. Gefährdungsbeurteilung
12. Brandschutznachweise
13. Schadstoffsanierung Altanlage

Wasserrecht

14. Wasserrechtliche Genehmigungen für Bauwasserhaltungen
15. Wasserrechtliche Erlaubnis gem. § 15 WHG (gehobene Erlaubnis)

16. Änderungen der Fristen der gehobenen Erlaubnis
Anforderungen für die Gewerke Elektro und TGA
17. TÜV-Prüfbescheinigung Explosionssicherheit
18. Registrierungen im Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur für den Batteriespeicher, die BHKWs, PV-Anlagen, Wasserkraftanlage
19. Stromsteuerbefreiung für BHKWs

2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Die im Rahmen der Eigenüberwachung nach der bayerischen Eigenüberwachungsverordnung – EÜV (Verordnung zur Eigenüberwachung von Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen vom 20. September 1995) durchgeführten Messungen auf der Kläranlage Schwarzenbruck sind in den Monats- und Jahresberichten zusammengefasst und im Anlage 1 und Anlage 2 im Anhang angefügt.

2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms

Für das durch das Umweltbundesamt (UBA) beauftragte Messprogramm wurde in Abstimmung mit dem UBA der Messzeitraum Januar bis Dezember 2024 festgelegt. Die Durchführung erfolgte nach dem technischen Regelwerk DWA-Arbeitsblatt-A 216 „Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen“. Die Messungen zur Durchführung der Energieanalyse wurden von Mitte 2024 bis Februar 2025 zusammengetragen. Die Grobanalyse wurde erstmals im August 2024 durchgeführt und im Februar 2025 aktualisiert. Die Energieanalyse wurde von Januar bis Juni 2025 erarbeitet. Die Ergebnisse der Grobanalyse (Energiecheck) und Feinanalyse (Energieanalyse) sind in einem separaten Bericht erarbeitet und liegen dem Abschlussbericht als Anlage (Anlage 4) bei.

3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung

Das Vorhaben konnte grundsätzlich erfolgreich umgesetzt werden. Alle Anlagenteile aus Kapitel 2.2 sind gebaut und eingebaut worden und arbeiten erwartungsgemäß. Der Grad der Zielerreichung ist mit dem in Kapitel 2.6 beschriebenen Monitoring ermittelt worden. In nachfolgendem Kapitel 3.2 sowie in Anlage 3 und Anlage 4 des Anhangs ist die Zielerreichung ausführlich dargestellt.

Natürlich treten bei einem so komplexen, zeit- und finanzintensiven Projekt wie der energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck unerwartete Schwierigkeiten auf, die es zu lösen galt.

Die häufigste Schwierigkeit waren unerwartete Ereignisse, die zu einer Verlängerung der Projektlaufzeit geführt haben. Hierzu war bereits 2019 eine erste Projektverlängerung notwendig:

Der Projektablaufplan hatte sich gegenüber der Version 09 vom 17.5.2018 (Antrag) aufgrund der verzögerten Übermittlung des Zuwendungbescheids sowie der Aufhebung der ersten Ausschreibung Los 3 (Bautechnik) wie folgt verschoben:

- Inbetriebnahme Kläranlage: 4/2022
- Inbetriebnahme Wasserkraftanlage: 12/2022

Es wurden folgende Maßnahmen ergriffen:

- Verlängerungsantrag der beschränkten wasserrechtliche Erlaubnis
- Einführung 10 zusätzlicher Lose für die Ausbaugewerke der Gebäude
- Übertragung geringer Anteile der Zuschüsse nach 2024

Die zeitliche Verzögerung am Projektbeginn hätte nur mit massiver Kostenerhöhung durch zusätzliches Personal und Verschiebung der Bautätigkeit in teure Wochenend- und Schichtarbeit aufgeholt werden können. Dieser erhöhte Mitteleinsatz hätte das Ergebnis nicht gerechtfertigt und wurde daher nicht weiter in Betracht gezogen.

Die COVID-19-Pandemie war die größte und die unerwartetste Störung im Projekt.

Glücklicherweise ist die befürchtete Insolvenzwelle von ausführenden Firmen ausgeblieben. Lediglich eine bereits beauftragte Firma ist während der Covid-19-Pandemie betroffen gewesen. Der Vertrag mit der Fa. VB-Fassaden GmbH, Mutterstadt, Los 17 „Behälterverkleidungen“ wurde gekündigt, da gegen die Firma ein Insolvenzverfahren eröffnet wurde. Die Arbeiten zur Behälterverkleidung hatten noch nicht begonnen. Die Leistungen aus Los 17 wurden im Januar 2020 neu ausgeschrieben.

Die winterliche Witterung und der Personalmangel aufgrund von Covid-19-Quarantänemaßnahmen haben im ersten Quartal 2021 zu erheblichen Bauverzögerungen und zeitweiligem Baustillstand geführt. Der Zeitverlust betrug ca. 2,5 Monate. Im zweiten Quartal 2021 gab es erste Verzögerungen durch Baumaterialmangel auf dem Weltmarkt und erhebliche Lieferzeitverlängerungen aufgrund der weltwirtschaftlichen Lage.

Es konnte nicht davon ausgegangen werden, dass die zeitlichen Verzögerungen kompensiert werden konnten. Die Bauzeit hat sich gemäß Projektablaufplan Version 19 vom 19.4.2021 verlängert. Der Probebetrieb der Kläranlage sollte statt Anfang 2022 nun Mitte 2022 beginnen. Die Wasserkraftanlage sollte Mitte 2023 in Betrieb gehen. Die Gesamtfertigstellung war für Ende 2023 geplant.

Auch im zweiten Halbjahr 2021 gab es pandemiebedingt in einigen Gewerken weitere kleinere Bauzeitenverlängerungen und -verzögerungen.

Die abwassertechnische Inbetriebnahme wurde letztmalig auf September 2022 verschoben. Die Wasserkraftanlage sollte weiterhin Mitte 2023 in Betrieb gehen. Die Gesamtfertigstellung wurde für Ende 2023 geplant.

Im zweiten Quartal 2021 wurden Zuwendungen in Höhe von 1 Mio. € nach 2022 übertragen. Eine weitere Mittelübertragung wurde nicht erforderlich.

Durch die Deckelung der Förderung hatten die Preissteigerungen infolge der Pandemie in Höhe von ca. 20 % keine Auswirkungen auf die Förderhöhe. Die Baukosten wurden höher für alle später als 2019 ausgeschriebenen Leistungen. In der Gesamtinvestitionssumme des Projekts sind die Preissteigerungen nicht so deutlich ausgefallen, da die Ausschreibungen mit den höchsten Anteilen am Gesamtprojekt bereits Anfang 2019 stattgefunden hatten.

Die Energiekrise durch den russischen Angriffskrieg auf die Ukraine war ebenso unvorhersehbar wie die COVID-19-Pandemie. Die Preisentwicklung für Strom und vor allem fossile Brennstoffe wie Erdgas und Erdöl während der Energiekrise hat allen Projektbeteiligten gezeigt, wie dringend die Umsetzung der Projektidee plötzlich werden konnte. Auch in der Öffentlichkeit hatte sich die Wahrnehmung über die Notwendigkeit der Energiewende zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Kläranlage (2023) verglichen mit dem Zeitpunkt der Antragstellung (2018) stark verändert. Während im Jahr 2018 die Fragestellung oft war „Worum ist das Projekt notwendig und sinnvoll?“ Wurde im Jahr 2023 eher gefragt „Wie wird die Kläranlage energetisch betrieben?“ und „Was kann davon auf andere Anlagen übertragen werden?“.

Als anspruchsvoll erwies sich die Organisation des netzdienlichen Betriebs. Das örtliche EVU hat während mehrfacher Gespräche kein Interesse an einer Projektbeteiligung gezeigt. Die Grundhaltung war eher ablehnend, da ein großer Stromkunde verloren ging. Weiterhin sind die angebotenen Speicher zu klein, um interessant zu wirken. Zugleich war es nicht möglich die Kläranlage als eine technische Einheit zu betrachten. Jede regenerative Stromerzeugungsanlage wird weiterhin für sich betrachtet.

Die bei der Netzeinspeisung vom EVU geforderte Zugriffsmöglichkeit auf die Energieerzeuger (PV, BHKW) widerspricht dem Ziel und Grundgedanken des Pilotprojektes. Im Pilotprojekt werden erst durch das Zusammenspiel aller Energieerzeuger und -verbraucher gesteuert über das Energiemanagementsystem der netzdienliche Betrieb erzeugt. Die technischen Voraussetzungen für einen Durchgriff auf die beiden einzelnen Photovoltaikanlagen müssen dennoch geschaffen werden, da die Kläranlage Schwarzenbruck sonst nicht ins Stromnetz zurückspiesen darf. Alle Beteiligten gehen im Moment davon aus, dass von dieser Option so gut wie nie Gebrauch gemacht wird. Die Abschaltung würde nicht vom örtlichen EVU, sondern vom Übertragungsnetzbetreiber Tennet erfolgen. Die Abschaltmöglichkeit ist gesetzliche Vorgabe.

Für die Abschaltmöglichkeit der Energieerzeuger durch den Übertragungsnetzbetreiber schlägt das Projektteam vor, die Auswirkungen in der Praxis abzuwarten.

Die Inbetriebnahmen für die Energieerzeuger und das EMS erfolgten gestaffelt nach Fertigstellung und Betriebsbereitschaft:

- 4.10.2022 Inbetriebnahme Abwasserreinigung
- Oktober 2022 Inbetriebnahme letzte Photovoltaik-Anlage
- November 2022 Inbetriebnahme Schlammbehandlung inklusive Faulturms und Gas-speicher
- Dezember 2022 Inbetriebnahme BHKWs, Heizungsanlage inkl. Wärmespeicher
- April 2023 Inbetriebnahme Batteriespeicher
- November 2023 Inbetriebnahme EMS
- Dezember 2023 Inbetriebnahme Wasserkraftanlage
- November 2024 Abnahme EMS

Seit Mitte 2024 läuft die Anlage im Dauerbetrieb mit allen Anlagenteilen.

Die Daten für das Monitoring der Energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck wurden seit Inbetriebnahme kontinuierlich erfasst. Erste stichpunktartige Auswertungen im Jahr 2023 hatten ergeben, dass es Unplausibilitäten und Inkonsistenzen in den protokollierten Stromverbräuchen gab. Zudem war der Probennehmer im Zulauf zur Vorklärung der Kläranlage erst seit Ende 2023 von zeitproportionaler auf mengenproportionale Probenahme umgestellt worden. Dadurch veränderte sich die Zulaufbelastung der Kläranlage und damit die Basis der spezifischen Energiebedarfe der einzelnen Anlagenteile.

Die Daten für die Grobanalyse wurden bereits seit 2023 zusammengetragen und wurden in engmaschiger Überwachung fortgeschrieben. Die Feinanalyse wurde ab September 2023 mit den vorhandenen Daten überprüft, um Unplausibilitäten vor Ablauf des Monitorings zu erkennen und ggfs. noch abstellen zu können.

Die Monitoringphase für das durch das UBA beauftragte Messprogramm wurde in Abstimmung mit der KfW, Frau Steeden, auf den Zeitraum von Januar bis Dezember 2024 festgelegt.

3.2. Stoff- und Energiebilanz

Stoffbilanz

Die stoffliche Bilanzierung der energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck ist nicht notwendig, da es hierfür keine Projektziele gab. Die nachfolgende Darstellung wichtiger stofflicher Parameter dient der Verdeutlichung der Vergleichbarkeit der Anlagen vor – und nach dem Pilotprojekt.

Die Wassermengen im Zulauf einer Kläranlage variieren sehr stark. Sie unterliegen, stündlichen, täglichen, wöchentlichen und jahreszeitlichen Schwankungen. Die Kläranlage Schwarzenbruck hat einen sehr geringen Industrianteil. Das Einzugsgebiet ist sehr groß und die

Fließwege teilweise sehr lang. Um die Abflussmengen in 2024 beurteilen zu können wurden die Tagesabflüsse aus 2024 in Abbildung 26 graphisch dargestellt und eine Trockenwetteranalyse durchgeführt. Im Vergleich zu den Wassermengen aus der Planung (Abbildung 27) sind keine Besonderheiten feststellbar. Die Wassermengen liegen im Bereich der normalen Schwankungen im Zulauf zur Kläranlage. Die leichte Erhöhung des Mischwasserzuflusses führt selten zu etwas höheren Spitzenuflüssen. Die maximalen Abflüsse laut Wasserrechtsbescheid im Misch- und Trockenwetterfall werden nicht überschritten.

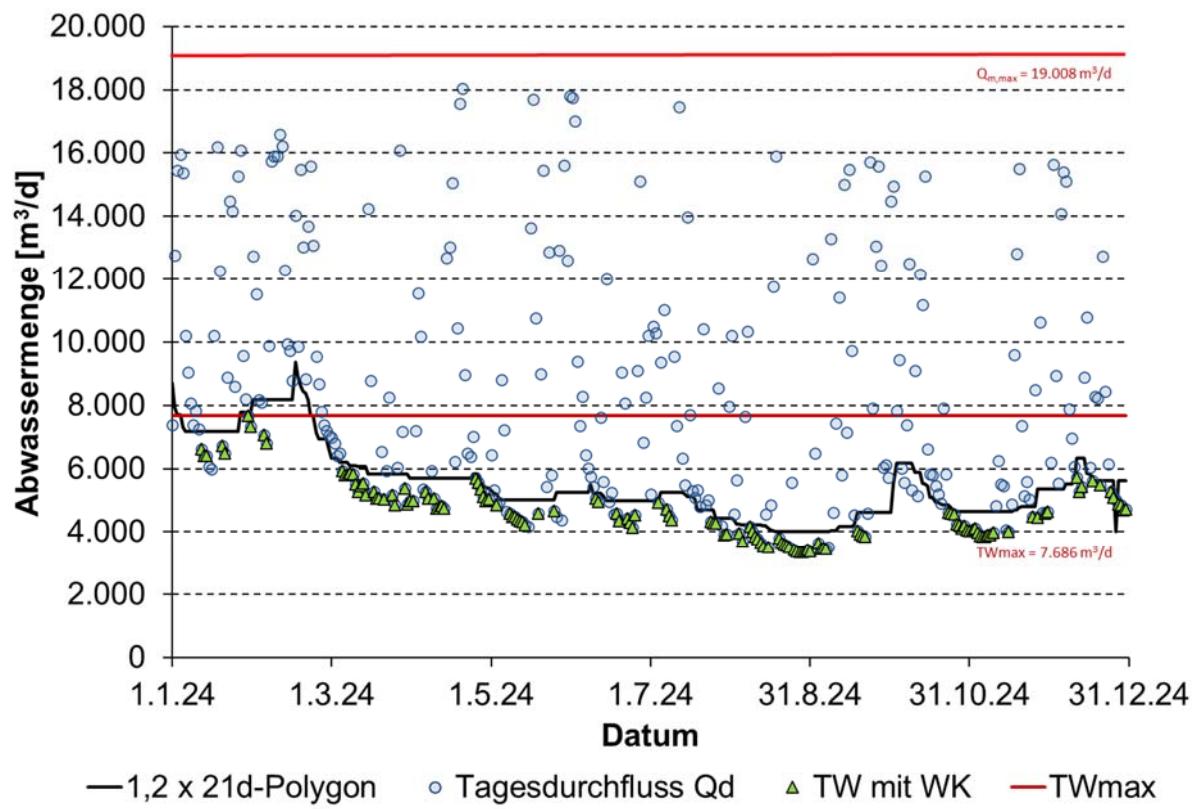


Abbildung 26: Tagesdurchfluss 2024, Trockenwetter-(TW)-Analyse nach A 198 u. mit Wetterkennung (WK)

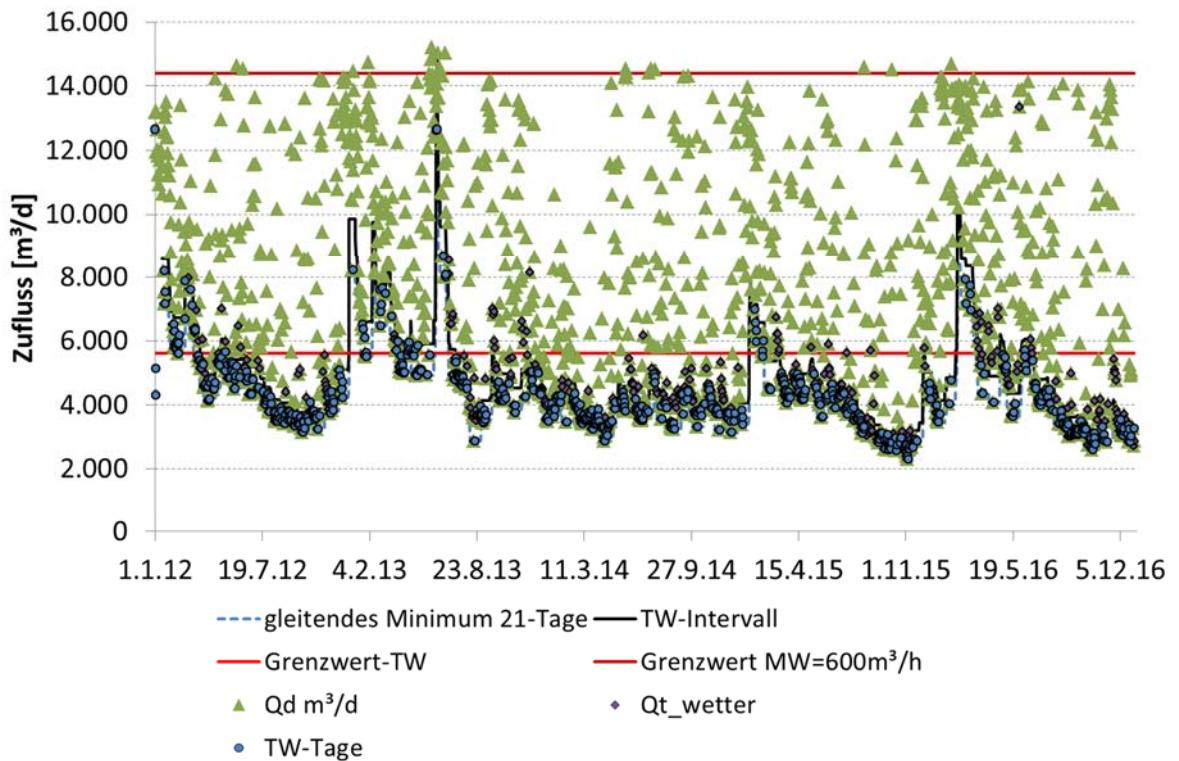


Abbildung 27: Kläranlagenzufluss der Jahre 2012-2016

Die Jahresabwassermenge (JAM) lag im Jahr 2024 bei $2.789.311 \text{ m}^3$ die Jahresschmutzwas sermenge (JSM) bei $1.822.464 \text{ m}^3$. Im Vergleich zu den zuletzt ausgewerteten Wassermengen im Entwurf der Kläranlage (vgl. Tabelle 2) liegen die Wassermengen im erwarteten ver gleichbaren Bereich. Der leichte Anstieg könnte auf den Anschluss der Kläranlage Grub (ca. 700 EW) zurückzuführen sein.

Tabelle 2: Vergleichswassermengen der Kläranlage Schwarzenbruck

Jahr	JAM	JSM
	m^3/a	m^3/a
2012	2.629.060	1.750.606
2013	2.907.942	2.073.788
2014	2.144.302	1.501.221
2015	2.305.130	1.520.358
2016	2.635.395	1.593.123

Die Zulaufbelastung der Kläranlage Schwarzenbruck wurde für das Jahr 2024 ausgewertet. Die kumulierte Summenhäufigkeit ist für die Parameter BSB_5 , CSB , N_{ges} und P_{ges} ermittelt und in Abbildung 28 dargestellt.

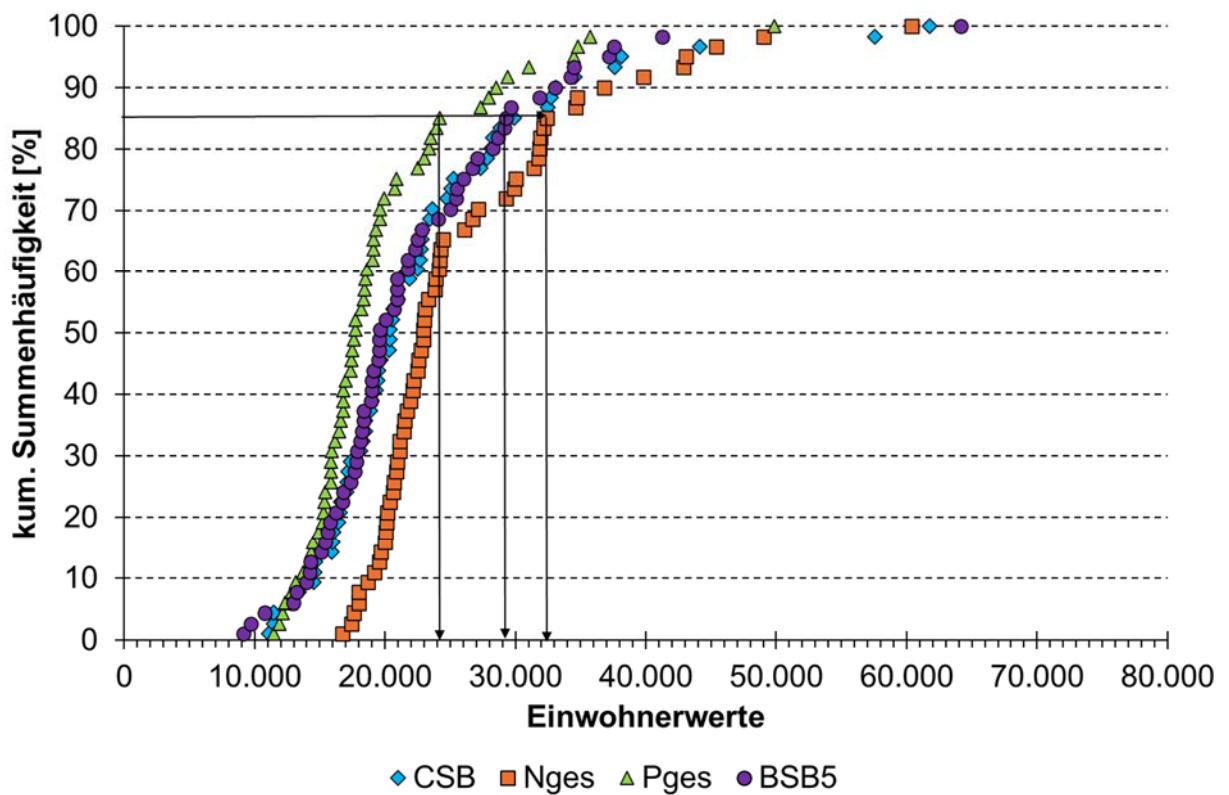


Abbildung 28: Zulaufbelastung der Kläranlage Schwarzenbruck im Jahr 2024

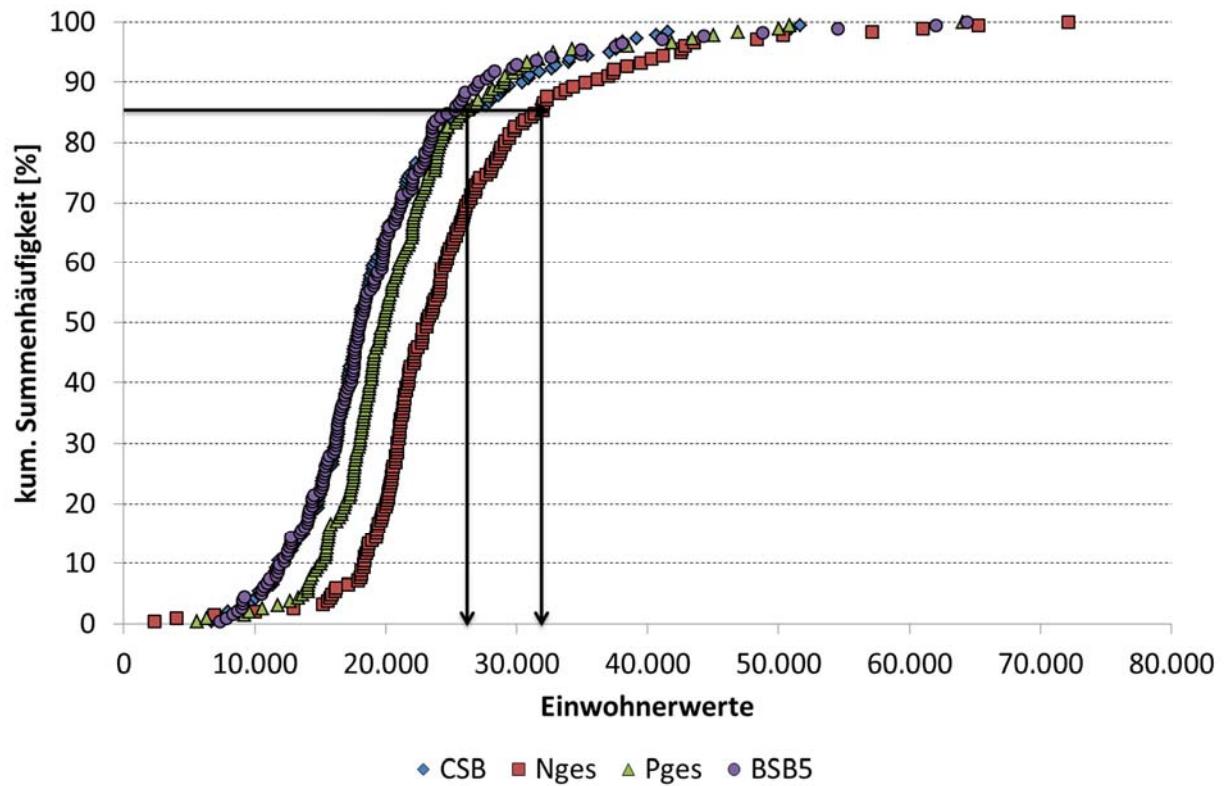


Abbildung 29: Kumulierte Summenhäufigkeit der stofflichen Zulauffrachten für die Jahre 2014-2016

Im Vergleich zu den im Entwurf ausgewerteten Jahren 2014-2016 ergeben sich für den Parameter Stickstoff keine gravierenden Änderungen (siehe Abbildung 29). Auch die Belastung

mit organischen Kohlenstoffverbindungen gemessen als BSB₅ und CSB hat sich nicht wesentlich verändert. Beim Phosphat hat die Belastung augenscheinlich abgenommen.

In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die Einwohnerwerte im Zulauf der Energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck im Jahr 2024 im Mittel und als 85-Perzentil dargestellt.

Tabelle 3: Einwohnerwerte im Zulauf der Energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck 2024

	2024	
	i. M.	85-Perzentil
CSB ₁₂₀	23.006	29.891
BSB _{5, 60}	22.312	29.253
N _{ges, 11}	26.178	32.421
P _{ges, 1,8}	19.691	24.203

Die Vergleichszahlen der Einwohnerwerte im Zulauf für die Jahre 2012-2016 zeigt nachfolgende

Tabelle 4. Die Zulaufbelastung ist mit den Vorjahren vergleichbar, da sie zwar vom Mittelwert abweicht, aber innerhalb der Schwankungsbreite liegt.

Tabelle 4: Einwohnerwerte im Zulauf der Kläranlage 2012-2016:

	2012		2013		2014	
	i. M.	85-Perzentil	i. M.	85-Perzentil	i. M.	85-Perzentil
CSB ₁₂₀	23.427	31.270	19.714	25.127	18.347	21.554
BSB _{5, 60}	22.494	29.720	20.146	24.442	17.908	22.729
N _{ges, 11}	27.584	35.483	25.229	31.173	24.683	27.287
P _{ges, 1,8}	23.652	28.930	20.489	24.431	21.437	25.051

	2015		2016		2012-2016	
	i. M.	85 %-Wert	i. M.	85 %-Wert	i. M.	85 %-Wert
CSB ₁₂₀	19.341	23.289	19.285	26.038	19.041	24.043
BSB _{5, 60}	21.596	27.192	19.677	26.038	19.727	24.823
N _{ges, 11}	26.138	32.518	24.813	31.830	25.245	31.791

$P_{ges, 1,8}$	21.376	26.678	21.550	29.292	21.504	27.179
----------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Die Ablaufwerte der neuen energieintelligenten Kläranlage wurden verschärft für die Parameter Ammonium (NH_4-N) von 10 mg/l auf 5 mg/l, gesamter anorganischer Stickstoff (N_{ges}) von 18 mg/l auf 15 mg/l und Phosphor (P_{ges}) von 2 mg/l auf 1 mg/l.

Dadurch erhöhte sich der benötigte Abbaugrad. Der tatsächliche Abbaugrad hat sich ebenfalls deutlich erhöht. Insbesondere beim Stickstoffabbau N_{ges} und beim Phosphatabbau P_{ges} ist eine sehr deutliche Verbesserung des Abbaugrades und die sehr hohe Reduzierung der emittierten Frachten in das Gewässer zu sehen.

Die Ablaufwerte der energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck im Jahr 2024 sind in Abbildung 30 dargestellt. Während bei der Altanlage die Stickstoffablaufwerte teilweise über dem Grenzwert lagen, gab es mit der neuen Anlage keine Überschreitungen trotz abgesenktem Grenzwert mehr. Der maximale Ablaufwert für den anorganischen Gesamtstickstoff lag bei unter 10 mg/l. Im Mittel wurden nur noch ca. 6 mg/l emittiert. Die Zulaufbelastung war vergleichbar, da die Prozesswasserbehandlung noch im Einfahrbetrieb arbeitet und die abgebaute Fracht der Deammonifikation noch deutlich unter der Nennleistung liegt.

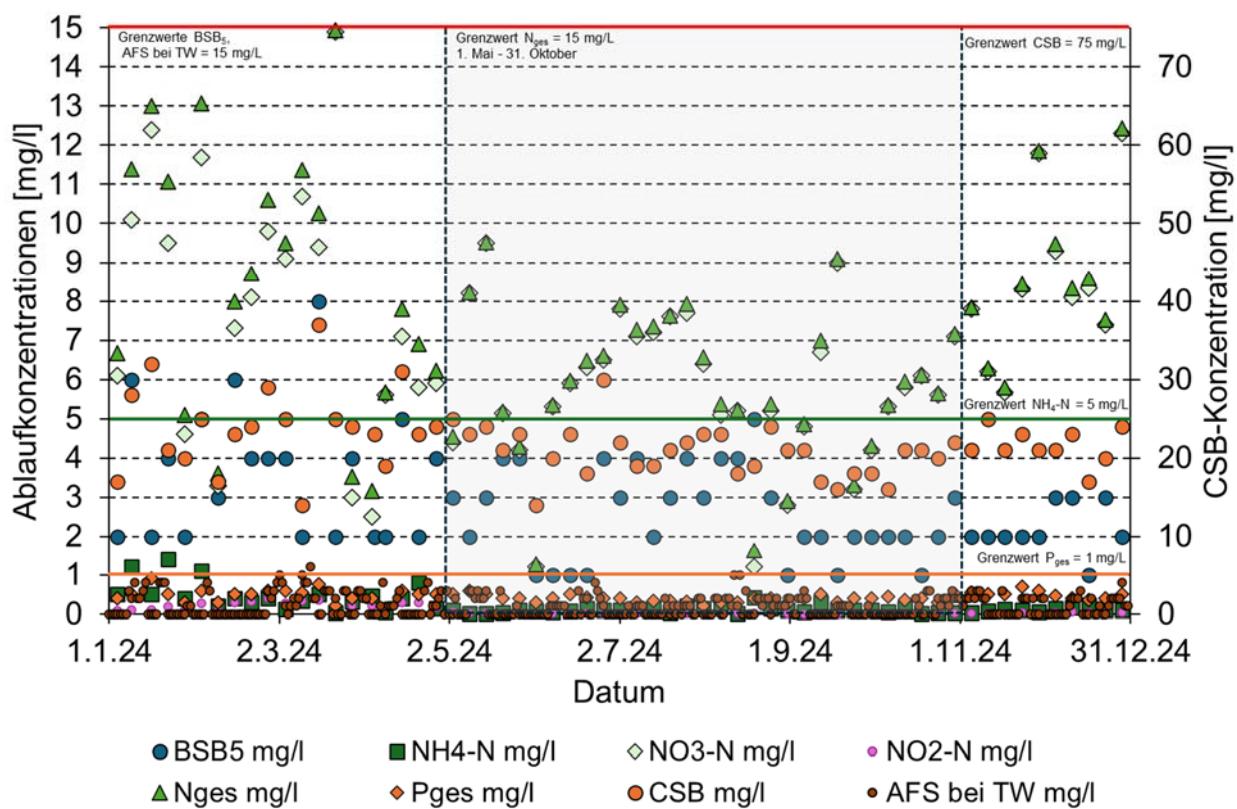


Abbildung 30: Ablaufwerte der Energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck im Jahr 2024

Energiebilanz

Die Ergebnisse des beauftragten Messprogramms sind in Anlage 4 ausführlich dargestellt.

Nachfolgend sind die wichtigsten Ergebnisse für den Vergleich der Ausgangssituation mit der Innovation herausgestellt.

Der spezifische Stromverbrauch der Kläranlage Schwarzenbruck in der Ausgangssituation lag:

- 2009 bei 53,2 kWh / (EW · a)
- 2010 bei 47,0 kWh / (EW · a)
- 2011 bei 39,5 kWh / (EW · a)
- 2012 bei 39,5 kWh / (EW · a)
- 2013 bei 41,1 kWh / (EW · a)
- 2014 bei 44,3 kWh / (EW · a)
- 2015 bei 41,1 kWh / (EW · a)
- 2016 bei 36,2 kWh / (EW · a)

Der spezifische Stromverbrauch der Kläranlage Schwarzenbruck nach der Innovation lag:

- 2024 bei 21,45 kWh / (EW · a)

Der spezifische Stromverbrauch für die Gesamtanlage hat sich nahezu halbiert. Der Zielwert des Umweltbundesamtes (UBA) für den spezifischen Energiebedarf von Kläranlagen liegt bei 18 kWh/(EW · a) und wird im Korrekturwerte für spezielle Anlagenrahmenbedingungen erhöht. In Schwarzenbruck wird als Korrekturwert für das schlechte TKN:BSB₅-Verhältnis von größer als 0,23 und die erhöhten Anforderungen an die Abluftbehandlung aus dem Geruchs-gutachten ein Zuschlag von 2 kWh/(EW · a) angesetzt. Damit wird der Zielwert des Umweltbundesamtes /3/ nur noch um weniger als 1,5 kWh/(EW · a) verfehlt (entspricht 7 %). Wäre die energieintelligente Kläranlage bereits im Jahr 2024 mit voller Kapazität betrieben worden, wäre der Zielwert ziemlich sicher unterschritten. Der aktuelle Zielwert nach Größen-klasse nach /4/ mit 22 kWh/(EW · a) ist bereits um 0,55 kWh/(EW · a) unterschritten.

Eine Positionsbestimmung des spezifischen Stromverbrauchs durch den Vergleich mit anderen Kläranlagen lässt sich mit Hilfe der Summenlinie der Kläranlagen des DWA-Arbeitsblattes-A 216 (siehe Abbildung 31) durchführen.

Demnach schneiden über 90 % der Kläranlagen der Größenklassen 3, 4 und 5 energetisch ungünstiger ab, als die Kläranlage Schwarzenbruck, die Größenklasse 4 mit einer Ausbaugröße von 35.000 EW angehört. Weniger als 10 % der Kläranlagen haben einen niedrigeren spezifischen Strombedarf.

Hiermit ist anschaulich verdeutlicht, wie ambitioniert der Zielwert des UBA ist und wie gut die Umsetzung der Energieeffizienzsteigerung der Kläranlage Schwarzenbruck gelungen ist.

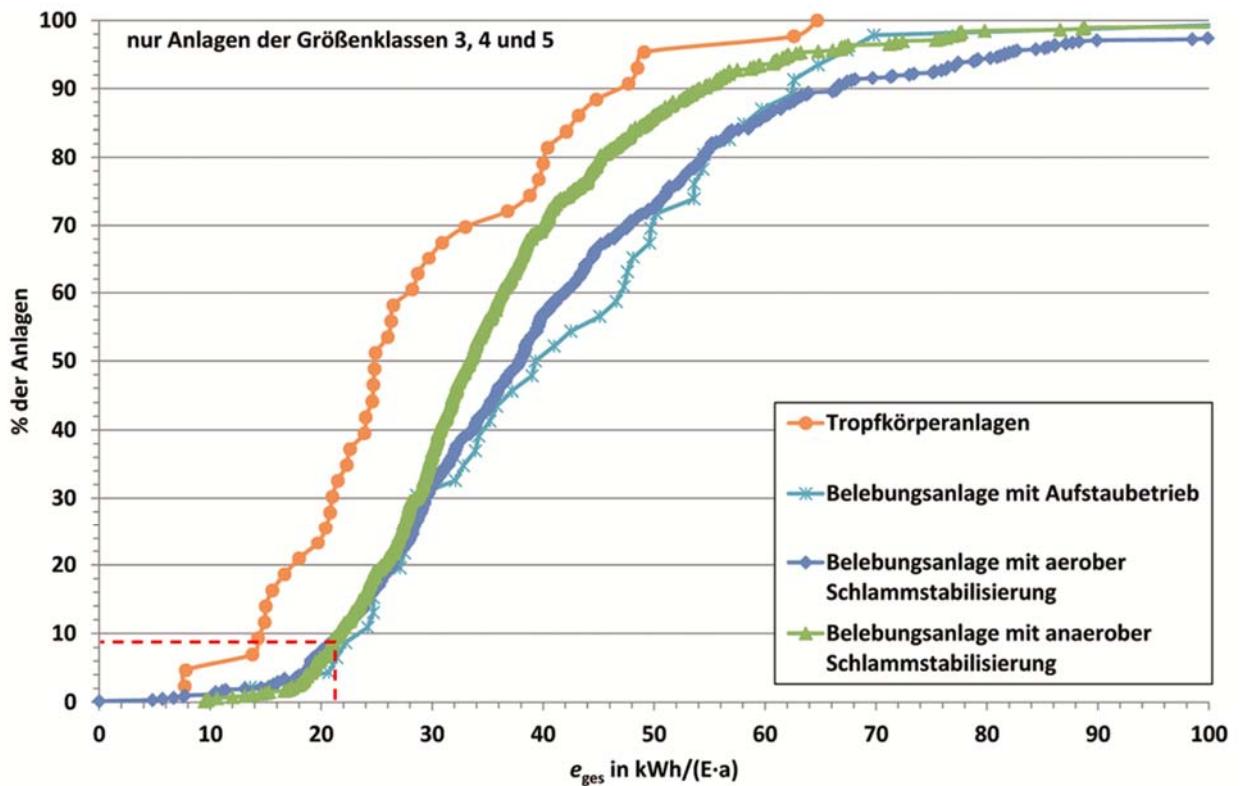


Abbildung 31: Spezifischer Gesamtstromverbrauch e_{ges} der Kläranlage Schwarzenbruck im Vergleich mit Anlagen der Größenklasse 3, 4 und 5, nach DWA-A 216.

Nachstehende Tabelle enthält die Energiebilanz der Kläranlage Schwarzenbruck nach Anhang E DWA-A 216:

Tabelle 5: Energiebilanz der Kläranlage Schwarzenbruck

Energiebilanz	2024	Einheit
Verbraucher gesamt	512.281	kWh/a
abzügl. Verwaltung und PW 31	18.693	kWh/a
Summe Stromverbrauch Kläranlage	493.588	kWh/a
Nettostromerzeugung KWK-Anlagen aus Klärgas	387.196	kWh/a
Nettostromerzeugung KWK-Anlagen aus Erdgas	1.242	kWh/a
Nettostromerzeugung weitere Anlagen (WK, PV)	175.133	kWh/a
Summe Strombereitstellung	563.571	kWh/a
Eigenversorgungsgrad regenerativ (Klärgas, WK, PV)	114	%

Der Eigenversorgungsgrad der Kläranlage Schwarzenbruck mittels BHKW mit Strom aus eigenem Faulgas beläuft sich auf 78,4 %. Der Zielwert aus der Kommunalabwasserrichtlinie (EU-KARL) zur Energineutralität mit umgerechnet 60-65 % regenerativer Eigenstromversorgung

ist damit bereits ohne die Installation zusätzlicher Energieerzeuger erreicht. Nur etwa 10 % der in der DWA-A 216 betrachteten 175 Kläranlagen inkl. Anlagen mit Co-Vergärung haben einen höheren Eigenversorgungsgrad mit Faulgas.

Gemäß Energie- und Monatsberichte der Energieintelligenten Kläranlage wurden jährlich **69.983 kWh** mehr produziert als verbraucht (563.571 kWh/a Produktion abzüglich 493.588 kWh/a Verbrauch). Laut Abrechnungen der Stromlieferungen an das EVU wurden in Summe **72.505 kWh/a** in das Stromnetz eingespeist (1. HJ: 47.171 kWh; 2. HJ: 25.334 kWh); die Differenz aus Verbrauch und Bereitstellung aus Tabelle 5 passt – mit einer Abweichung von 2.522 kWh/a – gut zu diesen Angaben.

Trotz Einspeisung in das Stromnetz wurden noch 23.092 kWh für das Jahr 2024 vom Energieversorgungsunternehmen (EVU) bezogen. Es ergibt sich nachstehende gesamtheitliche Energiebilanz:

Tabelle 6: Energiebilanz gesamt

Energiebilanz Strom	2024	Einheit
Stromverbrauch Kläranlage	493.588	kWh/a
Strombezug vom EVU	23.092	kWh/a
abzügl. Rückeinspeisung ins Netz des EVU	-72.505	kWh/a
Nettostromerzeugung Kläranlage	563.571	kWh/a
Summe Strombereitstellung	514.158	kWh/a

Die Gegenüberstellung von Strombezug vom EVU und Rückeinspeisung in das Netz zeigen, dass genug Strom auf der Kläranlage produziert wurde, um den jährlichen Strombedarf zu decken.

Werden alle vorhandenen Verbraucher (Kläranlage, Pumpwerk 31, Verwaltung) betrachtet, ergibt sich nachstehende Darstellung:

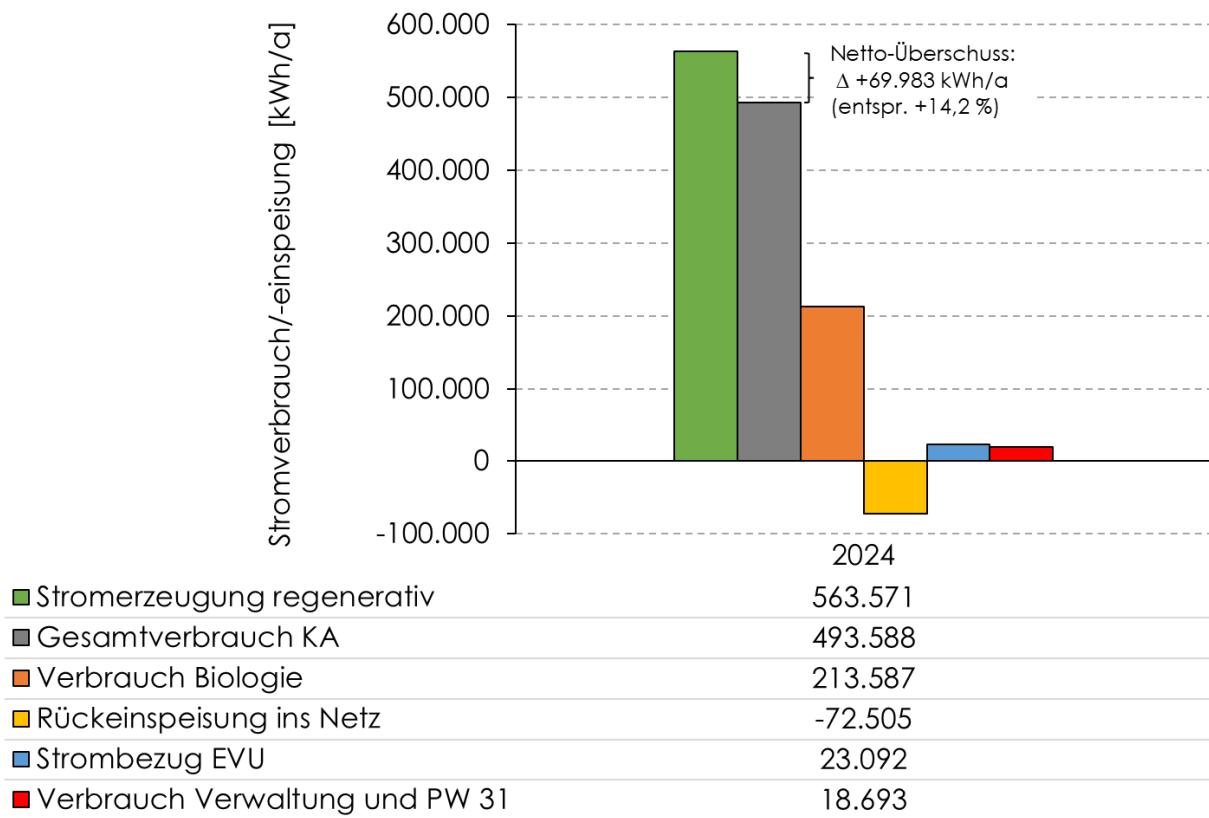


Abbildung 32: Übersicht über die Stromerzeugung und den Gesamt-Stromverbrauch der Kläranlage Schwarzenbruck, sowie den Stromverbrauch der Biologie; über die Rückeinspeisung ins Netz, den Strombezug über das EVU und den Verbrauch der Verwaltung, sowie das Pumpwerk 31.

Aus Abbildung 32 geht hervor, dass – unter Berücksichtigung von geringen Messfehlern – die Netto-Überschussmenge von ca. 70.000 kWh als Rückeinspeisung ins Netz erfasst und vergütet wurde. Die bezogene Menge Strom liegt nur um etwa 4.400 kWh oberhalb des Verbrauchs für die Verwaltung und des Pumpwerks 31.

Die Stromerzeugung aus Faulgas führt bereits zu einem sehr hohen Anteil an regenerativer Stromerzeugung. Der gesamte Strombedarf kann auf der Kläranlage Schwarzenbruck aus regenerativen Quellen gedeckt werden. Die Kläranlage ist damit bilanziell stromautark bzw. energieneutral bezüglich Stroms.

Damit wurde auch gezeigt, dass die derzeit auf der Kläranlage installierte Leistung für die Stromproduktion und die Speicher ausreichend sind. Sollte die Belastung der Kläranlage steigen oder zusätzliche Reinigungsstufen benötigt, wird ggfs. bei einigen Anlagenteilen der Stromerzeugung und Stromspeicherung eine Kapazitätserweiterung erforderlich.

Obwohl die Optimierung der Wärmeerzeugung und des Wärmebedarf nicht als Projektziel definiert war, darf die Optimierung des Strombedarfs nicht auf Kosten der Wärmebilanz gehen. Tabelle 7 zeigt die Wärmebilanz der energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck 2024. Bilanziell ist die Kläranlage als energieneutral auch für Wärme anzusehen.

Tabelle 7: Wärmebilanz Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck

Energieerzeugung thermisch	737.991 kWh/a
(davon Erdgas	- 77.192 kWh/a = 10,5 %)
Energiebedarf thermisch	- 602.219 kWh/a
Überschuss Wärme regenerativ	58.580 kWh/a

Der spezifische externe Wärmebezug von 3,36 kWh/(EW · a) liegt derzeit bei nur ca. 20 % der betrachteten 273 Kläranlage höher. 12,8 % des Gesamt-Wärmebedarfs der Kläranlage wird über Erdgas aus fossilen Quellen gedeckt. Hier gibt es noch Potential für Optimierung.

Ein Vergleich mit der Ausgangssituation ist nicht zulässig, da die alte Kläranlage über deutlich geringere Räumlichkeiten, die im Winter beheizt werden müssen, verfügte.

Netzdienlicher Betrieb

Die Netzdienlichkeit der energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck zeigt sich in nachfolgender Abbildung 33 und Abbildung 34. Dargestellt sind jeweils 15-Minuten-Werte über einen Zeitraum von 5 Tagen. Wird Strom aus der Kläranlage ausgespeist, ist die grüne Linie (Netz) negativ. Wird Strom von der Kläranlage bezogen ist der Wert positiv.



Abbildung 33: Netzdienlicher Betrieb im Sommer 2024

Die BHKWs sind tagsüber, während die Sonne scheint, abgeschaltet und während der Zeiten mit hoher Ausspeisevergütung eingeschaltet. Während der Teillastbetrieb der BHKWs im Sommer 2024 noch überwiegt, ist im Sommer 2025 die Optimierung noch besser und geht nur noch selten in den Teillastbetrieb.



Abbildung 34: Netzdienlicher Betrieb im Sommer 2025

Die Prognosegüte ist für die Güte der Entscheidungen des Energiemanagementsystems von zentraler Bedeutung. Abbildung 35 zeigt die Prognose und den tatsächlichen Verlauf für die drei regenerativen Energiequellen Photovoltaik, Klärgas (Produktion im Faulurm) und Wasserkraft der Kläranlage. Die Daten für die Photovoltaik sind mit Wetterdaten des DWD verknüpft. Die Klärgasproduktion und die Wasserkraft wird aus Vergangenheitsdaten prognostiziert. Bei dieser Vorgehensweise sind die größten Abweichungen bei der Stromproduktion aus Wasserkraft zu verzeichnen. Da der Anteil des Stroms aus der Wasserkraft jedoch gegenüber den anderen Energiequellen sehr gering ist, hat die Prognosegüte keine nachteiligen Auswirkungen auf die Funktionsweise des gesamten Modells.

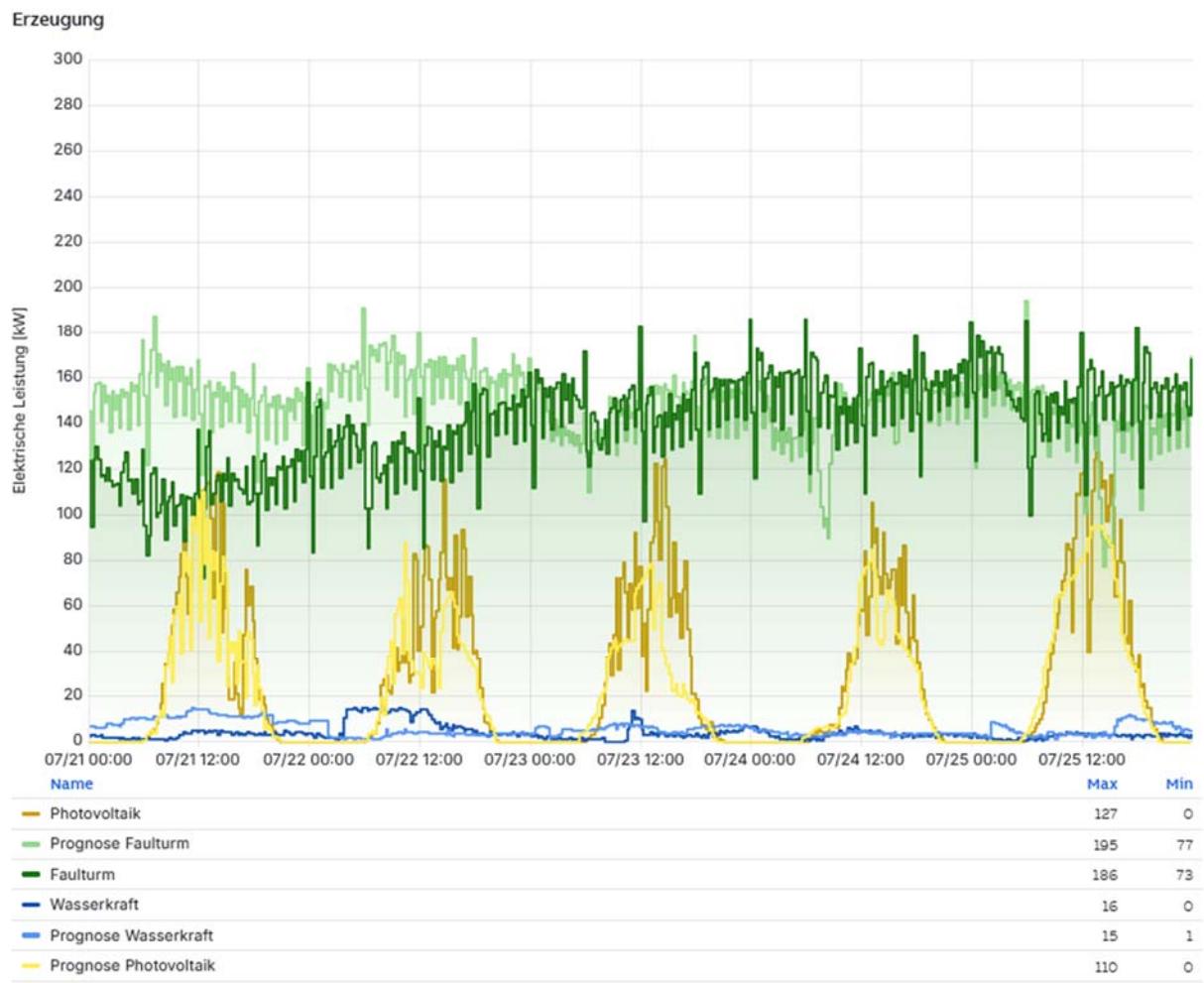


Abbildung 35: Prognose und tatsächlicher Verlauf im Sommer 2024

Im Winterbetrieb gelten grundsätzlich die gleichen Erkenntnisse wie im Sommerbetrieb. Zusätzlich muss im Winterbetrieb die Wärmeversorgung berücksichtigt werden. Im Sommerbetrieb puffert der Wärmespeicher die zeitliche Verschiebung zwischen Wärmeerzeugung (BHKW-Betrieb) und Wärmeverbrauch im Faulturm und zur Warmwasserbereitung (Thermische Last). Beispielsweise ist in Abbildung 36 sichtbar, dass im Sommer die Überschusswärme in die Biologie abgeführt wird (Kühlung). Während der Faulturm beheizt wird (negative thermische Leistung = thermische Last) ist entweder ein oder zwei BHKWs in Betrieb oder der thermische Speicher wird geleert (Ladestand Wärme-Speicher). Der Heizkessel war im dargestellten Zeitraum nicht in Betrieb. Die sichtbaren Peaks (Heizkessel) sind Artefakte aus der Datenübergabe, die später bereinigt wurden.



Abbildung 36: Wärmebetrieb im Sommer 2024

Im Winterbetrieb reicht der Wärmespeicher nicht aus, um die Wärmeversorgung des Faulturms und der Gebäudeheizung komplett aus dem Speicher sicherzustellen. Hier ist der Faulturm selbst als zusätzlicher Speicher vorgesehen. Wenn tagsüber die Temperatur im Faulturm um weniger als ein Kelvin absinken darf, können auch im Winter bei Sonnenschein die BHKWs ausgeschaltet werden.

Diese scheinbar schnelle und einfach beschriebene Verknüpfung zwischen Strom- und Wärmemanagement war im vorliegenden Projekt bis Ende 2024 noch nicht automatisiert realisiert. Erst mit Ende des Winters 2024/2025 konnten erste automatische Abschaltungen der BHKWs tagsüber, während die Sonne schien, beobachtet werden. Abbildung 37 zeigt den BHKW-Betrieb im Februar 2025. An drei der fünf Tage schaltet das BHKW tagsüber aus. In Abbildung 38 kann nachvollzogen werden, dass an diesen drei Tagen die thermische Last tagsüber sehr gering war. Die Heizung des Faulturms war ausgeschaltet, weil die Temperatur über dem Sollwert lag. Während der letzten beiden Tage war die thermische Last durchgehend hoch (hoher negativer Wert). Dadurch wurden das Grundlast-BHKW tagsüber trotz Sonnenschein nicht ausgeschaltet.



Abbildung 37: BHKW-Betrieb im Winter (Februar 2025)



Abbildung 38: Wärmebetrieb im Winter 2025

3.3. Umweltbilanz

Die CO₂-Bilanzen wurden mit Hilfe des Klick-Tools der Landesagentur für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz Baden-Württemberg (Umwelttechnik BW GmbH) Version 0.5.7 erstellt (klimabilanzklaeranlage.de). Im Projektantrag wurde keine CO₂-Bilanzen erstellt. Daher wurden nachfolgend die Jahre 2016 und 2024 neu bilanziert.

Für den Strombezug in Jahr 2016 wurden der Strommix für Deutschland im Jahr 2016 mit 537 g CO₂ pro kWh angesetzt. Die direkten Emissionen aus Kläranlagen sind erst in jüngster Zeit in den Fokus bei der Bilanzierung geraten. Aufgrund von Lachgas und Methanmessungen auf Kläranlagen wurde deutlich, dass deren Beitrag zu den Gesamtemissionen bis dahin deutlich unterschätzt war.

Auf der Kläranlage Schwarzenbruck wurden bisher keine Messungen zur Lachgasbildung und zum Methanschlupf durchgeführt. Die in der Bilanz verwendeten Emissionen für Lachgas und Methan entsprechen den spezifischen Standardwerten des Klick-Tools, die mit den tatsächlichen Frachten für Stickstoff, Schlammensorgung etc. zu Gesamtemissionen berechnet wurden.

Die CO₂-Bilanz der Kläranlage Schwarzenbruck im Basisjahr 2016 ist in Abbildung 39 als Sankey-Diagramm dargestellt. Insgesamt wurden 1.254 t CO₂ Äquivalente pro Jahr emittiert. Die direkten Emissionen in Höhe von 945 t CO₂ Äquivalente pro Jahr entsprechend ca. 75 % waren zum Zeitpunkt der Antragstellung noch nicht bekannt. Lediglich die indirekten Emissionen in Höhe von 312 t CO₂ Äquivalente pro Jahr sollten reduziert werden. Die spezifische CO₂-Emission der Kläranlage betrug 2016 insgesamt 65 kg CO₂ pro EW_{CSB}.

Abbildung 40 zeigt die CO₂-Bilanz der energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck im Jahr 2024. Die Gesamtemissionen sind auf 721 t CO₂ Äquivalente/Jahr gesunken. Dies entspricht noch 57,4 % der Emissionen vor der Investition. Die direkten Emissionen sind von 945 auf 621 t CO₂ Äquivalente/Jahr gesunken. Dies entspricht einer Reduzierung von ca. einem Drittel bzw. 34,3 %. Die indirekten Emissionen sind von 312 auf 101 t CO₂ Äquivalente/Jahr gefallen. Dies entspricht einer Reduktion von 68 %.

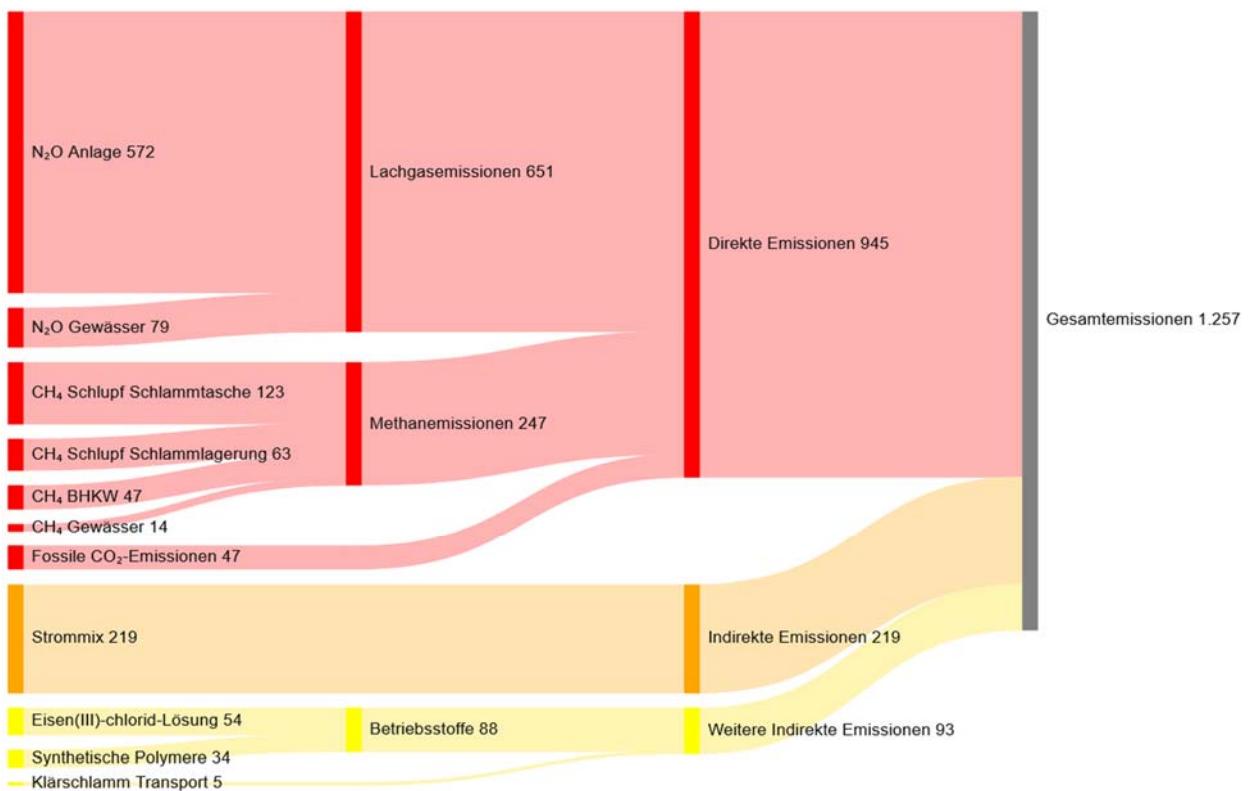


Abbildung 39: CO₂-Bilanz der Kläranlage Schwarzenbruck (33.000 EW) im Jahr 2016 (Basisjahr) / Treibhausgasemissionen [t CO₂ Äquivalente/Jahr] - Szenario TU Wien 2016 (N₂O-EF=1,12)



Abbildung 40: CO₂-Bilanz der Energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck (35.000 EW) im Jahr 2024 / Treibhausgasemissionen [t CO₂ Äquivalente/Jahr] - Szenario TU Wien 2016 (N₂O-EF=0,60)

Die spezifische CO₂-Emission der Kläranlage betrug 2024 insgesamt noch 31 kg CO₂ Äquivalent pro EW_{CSB}. Dies entspricht fast einer Halbierung der Gesamtemission bzw. einer Reduktion um 54 %.

Unberücksichtigt bleiben bei dieser Bilanzierung die ausgespeiste Energie, die den CO₂-Fußabdruck des Strommixes in Deutschland weiter reduziert. In der Bilanz sind noch knapp 70.000 kWh/a Überschusstrom ausgespeist worden. Dies sind genau 69.983 kWh, die weitere ($363 - 50 \text{ g CO}_2 \text{ äq. / kWh} / 10^6 =$) 21,9 t CO₂ Äquivalente pro Jahr vermeiden.

Im Vergleich zum durchschnittlichen CO₂-Fußabdruck pro Kopf in Deutschland in Höhe von 10,4 t CO₂ Äquivalente pro Jahr spielt der Anteil der Kläranlage eine untergeordnete Rolle. Der Anteil der Kläranlage am CO₂-Fußabdruck pro Kopf in Deutschland betrüge nur noch 0,27 %, wenn alle Kläranlagen den gleichen CO₂-Fußabdruck wie die energieintelligente Kläranlage hätten. Allerdings muss der CO₂-Fußabdruck pro Kopf in Deutschland um Faktor 10 gesenkt werden, damit Deutschland die Klimaziele erreicht. Bei den direkten Emissionen wurden im Pilotprojekt ohne Maßnahmen Faktor 1,5 erreicht. Bei den indirekten Emissionen wurde im Pilotprojekt Faktor 8,6 erreicht.

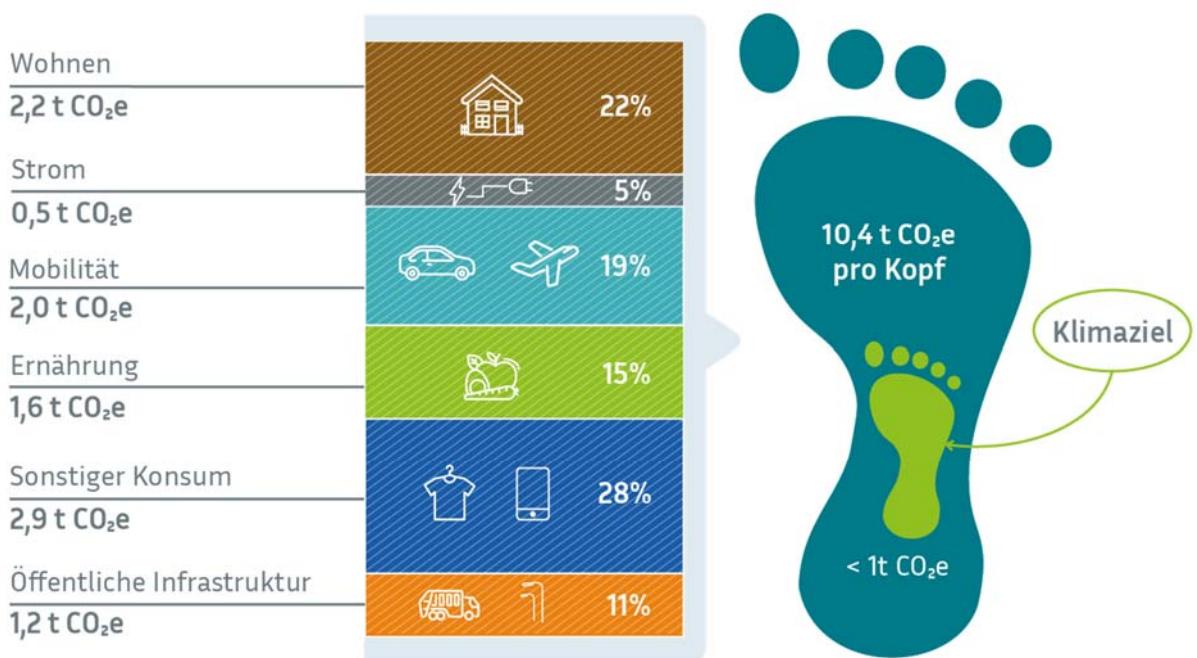


Abbildung 41: Durchschnittlicher CO₂-Fußabdruck pro Kopf in Deutschland, UBA 2025

Zusätzlich zum Treibhauspotential tragen die vermiedenen Stickstoff- und Phosphoremissionen zur Reduzierung des Eutrophierungspotentials im Gewässer (Süßwasser) bei. Zum Eutrophierungspotential tragen im Wesentlichen Stickstoffverbindungen in Form von Nitrat und Phosphorverbindungen in Form von Ortho-Phosphat bei. Vermieden werden 17.155 kg Nitrat-Stickstoff pro Jahr berechnet aus den Jahresberichten von 2016 und 2024 mit 81-34 kg/d *365 d/a. Außerdem werden 1.256 kg Phosphor pro Jahr vermieden, berechnet aus 0,9 mg/l*2.635.395 m³/a im Jahr 2016 abzüglich 0,4 mg/l*2.789.331 m³/a im Jahr 2024.

3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Wirtschaftlichkeit des durchgeführten Projektes wurde bereits im Projektantrag untersucht. Hier wurde die energieintelligente Kläranlage mit einer konventionellen SBR-Anlage verglichen. Konventionelle SBR-Anlagen haben im Vergleich zu anderen Anlagen deutlich geringere Investitionskosten. Die SBR-Vergleichsanlage hat zudem keine eigene Schlammbehandlung und ist damit in der Anschaffung als die Minimalvariante mit den geringsten möglichen Investitionskosten anzusehen.

Die Investitionskosten für die energieintelligente Kläranlage in nachfolgender Aufstellung aus dem Projektantrag betragen laut Planung brutto 21,5 Mio. €. Während für eine SBR-Vergleichsanlage 7,76 Mio. € benötigt worden wären.

Tabelle 8: Investitionskostenvergleich der energieintelligenten Kläranlage mit der SBR-Vergleichsanlage

Kostenvergleich			
Titel	Bezeichnung	energie-intelligente Kläranlage	SBR- Vergleichs-anlage
2	Kosten der Erschließung	530.000 €	530.000 €
3	Kosten der Bauwerke im Kanalnetz	602.000 €	572.000 €
4	Kosten der Bauwerke der Kläranlage	15.169.000 €	4.518.000 €
5	Abbruch und Rückbau Altanlage	420.000 €	420.000 €
Baukosten netto		16.721.000 €	6.040.000 €
+ 19 % MwSt. (gerundet)		3.177.000 €	1.148.000 €
Baukosten brutto		19.898.000 €	7.188.000 €
Nebenkosten		1.592.000 €	575.000 €
Gesamtkosten brutto		21.490.000 €	7.763.000 €

In Tabelle 9 sind die Positionen der Betriebskostenschätzung der energieintelligenten Kläranlage und der Vergleichsanlage im Einzelnen aufgeführt. Betrachtet wurden nur Kostenpositionen, die in unmittelbarem Zusammenhang zur Investition stehen. Beispielsweise zählen Kosten für Labor und Verwaltung nicht zu den betrachteten Kosten. Die ermittelten jährlichen Betriebskosten entsprachen damit nicht den gesamten jährlichen Betriebskosten der Kläranlage.

Während die spezifischen Betriebskosten der energieintelligenten Kläranlage mit ca. 676.000 € pro Jahr abgeschätzt wurden, wurden für die Vergleichsanlage mit knapp 1,3 Mio. € pro Jahr gerechnet.

Zukünftige Einsparungen für die Betriebskosten der energieintelligenten Kläranlage ergeben sich vor allem aus den reduzierten Strombezugskosten. Die bei der SBR-Vergleichsanlage in der Investition gesparten Kosten müssen vor allem bei der Schlammensorgung mit den Betriebskosten abbezahlt werden.

Tabelle 9: Betriebskosten der Varianten zur Erneuerung und Erweiterung der Kläranlage Schwarzenbruck

	Energieintelligente Kläranlage				SBR-Vergleichsanlage		
	27.500 EW _{i.M.}		27.500 EW _{i.M.}		27.500 EW _{i.M.}		
Personal	6.160 h/a	30,00 €/h	184.800,00 €/a	5.280 h/a	30,00 €/h	158.400,00 €/a	
Wartung	ca. doppelt zum SBR		107.600,00 €/a	(ca. 1,0 % der Invest.-kosten)		53.800,00 €/a	
Instandhaltung	ca. 1,8fach zum SBR		72.540,00 €/a	ca. 0,75 % der Investkosten		40.300,00 €/a	
Polymerdosierung	20,8 t/a	2.915,50 €/t	60.549,77 €/a	27,0 t/a	2.915,50 €/t	78.714,70 €/a	
Fällmitteldosierung	214,8 t/a	374,85 €/t	80.534,18 €/a	257,8 t/a	374,85 €/t	96.641,02 €/a	
Strombedarf	19 kWh/EW.a	522.500 kWh/a		35 kWh/EW.a	962.500 kWh/a		
Eigenstromerzeugung	80%	418.000 kWh/a					
Strombezug/Einspeisung		83.800 kWh/a	14.246,00 €/a		962.500 kWh/a	231.000,00 €/a	
Heizung Betriebsgebäude			0,00 €/a	30.000 kWh/a	0,07 €/kWh	2.142,00 €/a	
mob. Klärschlammwäscherung				43.243 t/a	9,50 €/t	410.810,40 €/a	
Klärschlammensorgung	1.485 t/a	66,40 €/t	98.604,00 €/a	2.162 t/a	66,40 €/t	143.567,42 €/a	
Rechengutentsorgung	119 Behälter/a	83,90 €/Behälter	9.974,05 €/a	119 Behälter/a	83,90 €/Behälter	9.974,05 €/a	
Abwasserabgabe			46.900,00 €/a			46.900,00 €/a	
Summe			675.748,00 €/a			1.272.250,00 €/a	

Mit den ermittelten Investitions- und Betriebskosten wurde eine Kostenvergleichsrechnung entsprechend den KVR-Leitlinien der DWA mit anschließender Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Mit diesem Verfahren können die oben beschriebenen Varianten mit ihren unterschiedlichen Investitionskosten, Nutzungsdauern der Komponenten und Betriebskosten verglichen werden. Hierbei werden die Kosten je nach Zeitpunkt der Entstehung auf- oder abgezinst und dann über den Gesamtzeitraum aufsummiert.

Als Ergebnis erhält man den sogenannten Projektkostenbarwert (PKBW) für den Gesamtbe trachtungszeitraum von 50 Jahren. Für dessen Berechnung wurden folgende Kalkulationsparameter angesetzt (Basisszenario):

- Zinssatz real 4 % p. a
- Preissteigerung 3 % p. a
- Nutzungsdauer Bautechnik i.M. 40 Jahre
- Nutzungsdauer Maschinentechnik i.M. 20 Jahre
- Nutzungsdauer Elektrotechnik i.M. 10 Jahre

Die anfallenden Reinvestitionen der Gewerke Bautechnik, Maschinentechnik und Elektrotechnik sind am Ende der Nutzungsdauer berücksichtigt.

Unter Berücksichtigung einer allgemeinen Preissteigerung von 3 % ergeben sich die Projekt kostenbarwerte für die Varianten für einen Zeitraum von 50 Jahren zu denen in Abbildung 42 gezeigten Verläufen.

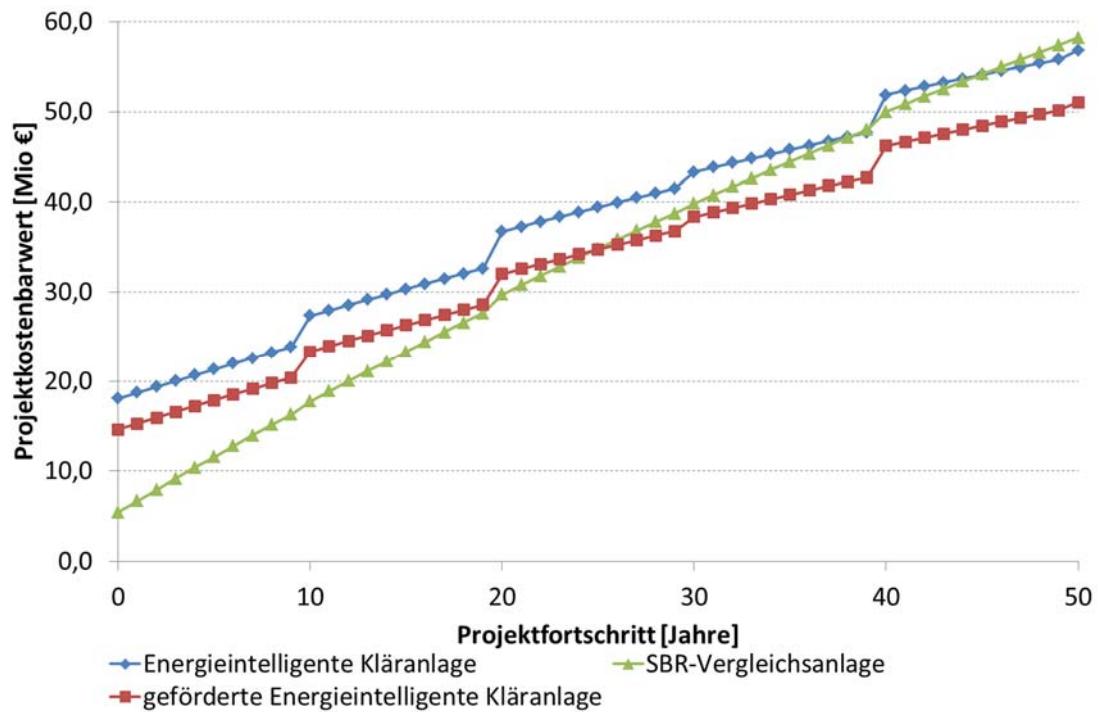


Abbildung 42: Entwicklung des Projekt kostenbarwertes über die Projektaufzeit von 50 Jahren

Der Projekt kostenbarwert der SBR-Vergleichsanlage steigt von 5,4 Mio. € im Jahr der Investition (Baukosten brutto ohne Nebenkosten) auf 58,2 Mio. € nach 50 Jahren. Der Projekt kostenbarwert der energieintelligenten Kläranlage steigt von 18 Mio. € auf 56,8 Mio. € am Ende des Betrachtungszeitraumes. Nach 39 Jahren liegt der PKBW der energieintelligenten Kläranlage unter dem PKBW der SBR-Vergleichsanlage. Unter Berücksichtigung der Förderung der Investitions mehrkosten rechnet sich die energieintelligente Kläranlage nach 20-25 Jahren.

Die reine monetäre Bewertung des vorgestellten Konzepts der Energieintelligenten Kläranlage würde den Entscheidungsträgern die Umsetzung nach dem Kommunalabgabengesetz (KAG BAY) verbieten. Nur mit der beantragten Förderung entspricht die Wirtschaftlichkeit den gesetzlichen Vorgaben und das Projekt konnte umgesetzt werden.

Das Beispiel der Kläranlage Schwarzenbruck verdeutlicht, dass die momentanen Marktpreise (noch) wenig Anreize für umweltpolitisch sinnvolles Handeln setzen.

In der Rückschau hat sich gezeigt, dass die gewählten Ansätze im Wesentlichen robust waren. Die getroffenen Aussagen behalten ihre Gültigkeit. Im Einzelnen können folgende Aussagen getroffen werden. Die gesamten Investitionskosten für die energieintelligente Kläranlage lagen bei 24 Mio. € brutto ohne Nebenkosten. Dies entspricht einer Steigerung von

20 %. Die Preissteigerung war hauptsächlich durch die zeitliche Verschiebung zwischen Kostenberechnung und Ausschreibung (2 bis 4 Jahre) und die Covid-19-Pandemie erklärbar. Die Betriebskosten sind gleichzeitig schneller gestiegen als mit den angenommenen 3 %. Dies lag vor allem an den Preisanstiegen in den Jahren 2022 und 2023. In den letzten 10 Jahren lag der Preisanstieg für Strom in Deutschland bei ca. 41 % und damit nur leicht über den angenommenen 3 % p.a. (entspricht 34,4 % in 10 Jahren). Der Strombezug ist deutlich geringer ausgefallen als in der Planung angenommen. Damit erhöht sich die Ersparnis. Der Tariflohnindex im öffentlichen Dienst zeigt einen Inflationsausgleich für die letzten 10 Jahre an. Eine aktuelle Auswertung für die Preisentwicklung für die mobile Klärschlammwäscherung und -entsorgung liegt nicht vor.

3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Stand der Technik auf Kläranlagen ist eine mechanische Vorreinigung des Abwassers mit Rechen, Sandfang und Vorklärung zur Entfernung von groben Verunreinigungen und Feststoffen. Anschließend dient das Belebungsverfahren (biologische Abwasserreinigung) der Entfernung von gelösten Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen. Gelöste Phosphorverbindungen werden teilweise biologisch und durch Simultanfällung mit Eisen- und Aluminiumsalzen (chemische Abwasserreinigung) entfernt. Ist die Kläranlage an einem sensiblen Vorfluter oder Gebiet angeordnet, können weitere Aufbereitungsschritte z.B. Filtration für vollständigen Feststoffrückhalt, Verfahren zur Spurenstoffelimination oder Desinfektion des Kläranlagenablaufs folgen. Diese weitergehende Abwasserbehandlung ist standort-spezifisch und sehr unterschiedlich ausgeprägt. Im vorliegenden Projekt ist keine weitergehende Abwasserreinigung vorgesehen.

Für die Erzeugung gereinigten Abwassers ist der Einsatz stofflicher und energetischer Resourcen notwendig. Zudem fallen verschiedene stoffliche und energetische Outputströme an. Seit Einführung des Belebungsverfahrens wird beispielsweise die Behandlung des Klärschlams optimiert. Stand der Technik ist heute die Reduzierung des Klärschlammfalls mittels Faulung und Klärgasnutzung. Damit kann die zu entsorgende Klärschlamm-trocken-substanz auf die Hälfte reduziert werden und die Kläranlage zu 40-60 % mit eigenem Strom versorgt werden. Der Wärmebedarf der Faulung kann zu über 70 % gedeckt werden und es wird insbesondere im Sommer Abwärme produziert.

Trotzdem ist für die Versorgung der Kläranlage mit Strom und Wärme zusätzlich die Nutzung verschiedener Energieträger notwendig. Hierzu zählen vor allem der Bezug elektrischer Energie aus dem Stromnetz und ein weiterer Energieträger wie z.B. Erdgas oder Erdöl für die Wärme- und Notstromversorgung der Kläranlagen.

Die energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck sollte zum einen alle Potenziale des energieeffizienten Bauens (insbesondere bei der Maschinentechnik) komplett ausschöpfen. Der Zielwert für den spezifischen Stromverbrauch der Abwasserbehandlungsanlage lag bei 18 kWh/(E·a) und bei 10 kWh/(E·a) für die Belüftung. Der Grad der Faulgasnutzung sollte bei

100 % liegen, der elektrische Wirkungsgrad der Faulgasverwertung bei 38 % und der Eigenversorgungsgrad für Wärme bei 100 %. Hinzu kommen 1 kWh/(E·a) für das schlechte CSB/N-Verhältnis im Zulauf und 1 kWh/(E·a) für die Auflagen aus dem Geruchsgutachten (Abluftbehandlung). Im Pilotprojekt energieeffiziente Kläranlage Schwarzenbruck stellte sie sich der Herausforderung diese Energiewerte auch auf einer kleineren Kläranlage einhalten zu können. (Vgl. Kapitel 3.2 und Anlage 4)

Im Projekt „Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck“ sollte nicht zwingend die Sektorkopplung durch bilaterale Zusammenarbeit erreicht werden, sondern der netzdienliche Betrieb, ohne zwingend aktive Teilnahme des EVU erzeugt die gewünschte Entlastung der Stromnetze. Die Stromnetze werden entlastet, indem während tagsüber die Sonne scheint, die Ausspeisung von Strom weitgehend vermieden wird. Dafür wurden zusätzliche Speicher auf der Kläranlage errichtet. Es wird neben einem zusätzlichen Stromspeicher, ein größerer Gasspeicher und ein größerer Wärmespeicher benötigt. Weiterhin werden die BHKWs tagsüber abgeschaltet und können mit der höheren installierten Leistung das Klärgas außerhalb der Sonnenstunden also nachts in Strom umwandeln. Für das Management der unterschiedlichen Stromerzeuger und -verbraucher benötigt es ein eigenes internes Netz, ein Smart-Grid, dass mit einem Energiemanagementsystem EMS das Speichermanagement automatisch optimiert.

Die zusätzlichen Techniken sind im Vergleich zum konventionellen System im Einzelnen keine neuen Techniken. Einzige Ausnahme ist das Energiemanagementsystem. Energiemanagementsysteme sind bisher nicht Stand der Technik auf Kläranlagen. Uns ist keine weitere Anlage bekannt, die ein EMS bisher eingesetzt hat. Der kommerzielle Anbieter im Projekt hat das EMS erstmalig auf Kläranlagen angewendet. Die energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck ist seine erste Referenz. Bei der Ausschreibung des EMS haben sich weitere Firmen beteiligt, die aber alle ebenfalls Entwicklungsleistung in dem Projekt durch Übertragung aus anderen Branchen wie z.B. aus dem Kraftwerksbereich erbringen wollten.

Durch die Adaptionen der konventionellen Techniken und die Zusammenfassung zum Smart-Grid sind auf der Kläranlage zwar weitgehend keine neuen Techniken eingesetzt worden, aber die Bewirtschaftung erfordert beim Betreiberpersonal eine große Umstellung und sehr große Anpassungsleistungen. Es gibt zudem keine Vorbilder oder Kläranlagen-Nachbarschaften, die bei Detailfragen unterstützen können.

Als neues Verfahren ist die Prozesswasserbehandlung mit einer Deammonifikation in Betrieb gegangen. Dies ist ein neues Verfahren der Stickstoffelimination, das noch nicht zu den allgemein anerkannten Regeln der Technik auf Kläranlagen zählt. Hierfür gibt es ein paar vor allem größere Anlagen, die bereits Erfahrungen mit dem Verfahren der Deammonifikation gesammelt haben.

4. Übertragbarkeit

4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Positive Erfahrungen aus der Projektumsetzung:

Aus Sicht der Planer war vor allem das Vormonitoring ein sehr gut geeignetes Instrument, um die Planung bereits vor der Umsetzung zu validieren. (Vergleiche Anlage 3)

Die Aussagen aus der Simulation des Smart-Grid und die Ermittlung der Speichergrößen hat sich als robust erwiesen.

Aus Sicht der Betreiber und des Bauherrn kann erwähnt werden, dass

- die Abwasserreinigung sehr schnell auf der neuen Anlage funktioniert hat und
- die Abwasserreinigung im Vergleich zur Altanlage und den Reinigungszielen sehr gut funktioniert,
- die Projektabwicklung und die Bauleitung der Objektplanung sehr gut funktioniert hat,
- die Planung der Gebäude und Bauwerke gut durchdacht ist.

Zum Zeitpunkt der eingereichten Projektskizze war Strom vergleichsweise günstig. Mit den Krisen Covid-19, Lieferkettenproblemen und letztendlich dem Ukraine-Krieg sowie den politischen Entscheidungen ist der Strompreis nicht mehr mit dem aus dem Jahr 2018 zu vergleichen. Deshalb war es doppelt positiv, dass sich der Betreiber nicht für eine konventionelle, sondern eine energieintelligente Anlage entschieden hat.

Nach der EU-KARL sollen alle Kläranlagen bis zum Jahr 2045 energieneutral werden. Die energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck ist bereits jetzt so weit, dass dieses Ziel realisiert werden konnte.

Durch das Pilotprojekt hat sich die Außenwahrnehmung der Kläranlage sowohl bei der örtlichen Bevölkerung als auch in Fachkreisen sehr deutlich gesteigert und zum Positiven verändert.

Negative Erfahrungen aus der Projektumsetzung:

Aus Sicht der Planer war die Planung der energieintelligenten Kläranlage mit zeitlichem Mehraufwand verbunden. Teilweise wurde der Mehraufwand vergütet.

Aus Sicht der Betreiber und des Bauherrn muss erwähnt werden, dass

- die lange Wartezeit bis zur Projektbewilligung (Doppelhaushalt Bund 2017/2018) das Projekt verteuert hat, da nicht ausgeschrieben werden konnte,
- Fachplaner mit wenig Erfahrung auf Kläranlagen schwierig waren,
- ausführende Firmen mit wenig Erfahrungen mit Kläranlagen in für das Pilotprojekt, wichtigen Anlagenteilen zu teilweise nicht optimalen Lösungen gekommen sind,
- eine erfahrene ausführende Firma im Gewerk EMSR durfte wegen geringfügig höherer Angebotssumme (<< 5%) aus vergaberechtlichen Gründen nicht gewählt werden,
- nicht alle Beteiligten die Projektziele gleich priorisiert haben,

- einige Nachträge (Kosten) aufgrund der fehlenden Erfahrung im Bereich Elektro mit dem Pilotprojekt zukünftig vermeidbar sind (z.B. Kommunikationsschnittstelle zwischen Prozessleitsystem und Energiemanagementsystem),
- und ein hoher Messaufwand bestand.

Optimierungsvorschläge für Folgeprojekte:

Die Erfahrungen aus jedem Projekt fließen in die nachfolgenden Projekte ein. Dabei profitiert jedes nachfolgende Projekt in der Regel am meisten aus der Summe der einzelnen kleinen Verbesserungen.

Zwischen der Inbetriebnahme der EMSR-Technik und der Installation des EMS sollte ein großzügiger zeitlicher Puffer gewählt werden, um die Datengrundlage zu verbessern.

Da die Kläranlage auch im Winter Überschussstrom erzeugt, kann dieser einfach für die Wärmeerzeugung genutzt werden. Dafür können z.B. Wärmepumpen oder Heizstäbe genutzt werden. Die nachträgliche Installation von Heizstäben kann deutlich teurer werden als der Einbau beim Bau des Pufferspeichers.

4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit

Die energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck hat Modellcharakter. Sie ist als Vorbild für weitere Anlagen geeignet. Dies zeigt sich beispielsweise am Interesse an Besichtigungen der Kläranlage in Fachkreisen.

Die Übertragbarkeit des Konzeptes auf Kläranlagen mit anaerober Schlammbehandlung (Faulung) ist relativ einfach. Dabei ist es unerheblich, welche zusätzlichen regenerativen Energiequellen der Kläranlage genutzt werden. Je geringer der Eigenversorgungsgrad mit Strom aus Klärgas ausfällt und je größer die Schwankungen bei der Stromerzeugung sind, desto größer müssen die Speicher ausgelegt werden.

Die größte Hürde stellen die notwendigen Investitionen auf den Kläranlagen dar. Da sich die Investitionen derzeit nur über einen sehr langen Zeitraum amortisieren und die Abwasseranlagen gebührenfinanziert sind, gibt es wenig wirtschaftliche Anreize für die großflächige Umsetzung. Mit der Umsetzung der EU-KARL in Deutschland könnte ein Anreiz für Energieneutralität geschaffen werden. Die anlagenbezogene Betrachtung mit netzdienlichem Betrieb ist keine Forderung in der EU-KARL.

Die Anzahl der neu zu errichtenden Kläranlagen in Deutschland ist eher gering. Meist werden bestehende Anlagen erweitert oder saniert. Das Konzept kann auch auf bestehende Anlagen übertragen werden. Hierbei sind die individuellen Randbedingungen jeder Anlage zu berücksichtigen. Für die Umrüstung bestehender Anlagen kommen Kläranlagen der Größenklasse 4 (10.000-100.000 EW) und größer in Frage, da kleinere Anlagen nur sehr selten mit einer Faulung ausgerüstet sind. In der Größenklasse 4 und größer gibt es über 2.000 Anlagen in Deutschland. Eine Übertragung auf andere Belebungsanlagen in Europa und weltweit ist

überall dort sinnvoll, wo das Stromnetz noch nicht vollständig mit regenerativer Energie gespeist wird.

4.3. Kommunikation der Projektergebnisse

Mit einer Pressemitteilung wurde die Übergabe des Zuwendungsbescheids öffentlich bekannt gegeben.

Der Spatenstich am 23.10.2019 und die Grundsteinlegung im Februar 2020 waren öffentliche Veranstaltungen mit Teilnahme der lokalen Presse.

Das Projekt wurde der Fachöffentlichkeit von Frau Schatz, Geschäftsführerin und Inhaberin des Ingenieurbüros Dr. Resch + Partner vorgestellt auf der Regionalkonferenz Energiewende Oberfranken von den Autorinnen Dipl.-Ing. Regine Schatz und Dr.-Ing. Tosca Zech unter dem Titel „Kläranlage Schwarzenbruck-Demonstrationsprojekt Energieintelligente Kläranlage“ am 24.09.2019 in Bayreuth.

Die Baustelle wurde mit der in Abbildung 43 dargestellten Bautafel kenntlich gemacht.



Abbildung 43: Bautafel der Energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck mit Bildwortmarken der Fördermittelgeber

Die Grundsteinlegung am 18.02.2020 war eine öffentliche Veranstaltung mit Teilnahme der lokalen Presse.

Das Projekt wurde der Fachöffentlichkeit von Frau Schatz vorgestellt auf dem Nürnberger Wasserwirtschaftstag digital von den Autorinnen Dipl.-Ing. Regine Schatz und Dr.-Ing. Tosca Zech unter dem Titel „Auch Kläranlagenumbau ist aktiver Klimaschutz-Beispiel Kläranlage Schwarzenbruck“ am 16.7.2020.

Auf dem virtuellen ETG Kongress 2021 wurde ein Kurzvortrag per Videokonferenz gehalten

und ein Paper veröffentlicht unter dem Titel: Zech et. al. (2021) "Demonstrationsvorhaben Energieintelligente kommunale Kläranlage Schwarzenbruck" in ETG-FB 163: ETG Kongress 2021 (ISBN 978-3-8007-5549-3), p.477-482.

Auf dem virtuellen *Workshop of the VII Cycle of the Utility Benchmarking Program in Ukraine* des *Danube Water Program* wurde am 09.12.2021 von Dr.-Ing. Tosca Zech ein Vortrag gehalten mit dem Titel "Energy intelligent municipal wastewater treatment plant – a full scale demonstration project in Bavaria".

Am 20. September 2022 erfolgte die offizielle Inbetriebnahme der Abwasserreinigung durch den Kanalisations-Zweckverband Schwarzachgruppe. Zu diesem Termin war auch die lokale Presse anwesend und hat berichtet.

Die energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck wurde im Februar 2023 positiv in der lokalen Presse mit einem Artikel zur Ankündigung der Besichtigung der Kläranlage mit den Verbandsräten gewürdigt (siehe Abbildung 44).



Abbildung 44: „Kläranlage als Selbstversorger“ ein Artikel von Alex Blinten in Der Bote für Nürnberger Land in Gemeinschaft mit den Nürnberger Nachrichten am 21.02.2023

Fit für die Zukunft – Kanalisations-Zweckverband „Schwarzachgruppe“ lautet die Überschrift des Artikels in der KA 10/23, der Horst Wagner, Geschäftsführer Kanalisations-Zweckverband „Schwarzachgruppe“ im Interview mit Kerstin Wellhöner, RAL-Gütegemeinschaft Güteschutz Kanalbau zeigt. Abbildung 45 zeigt das Titelbild der Oktoberausgabe der Korrespondenz Abwasser mit der Projektanlage im Hintergrund und dem Geschäftsführer des KZV.



Abbildung 45: Titelbild Korrespondenz Abwasser KA Ausgabe Oktober 2023

Das Interview erschien in ähnlicher Fassung in einer Sonderausgabe der Zeitschrift wwt wie in Abbildung 46 dargestellt.

Abbildung 46: Sonderausgabe wwt Modernisierungsreport (ET 23.11.23)
<https://www.umweltwirtschaft.com/epaper/umw/>

Am 8.11.2023 wurde das Projekt auf der internationalen Konferenz Blue Planet Water Berlin in der Break-Out Session 2: Water Energy Management unter der Leitung von Frau Dr. Rechenberg, Umweltbundesamt, mit dem Titel „Energy intelligent municipal wastewater treatment plant – a full scale demonstration project in Bavaria“ von Frau Dr. Zech vorgestellt.

Zudem wurde Frau Dr. Zech zum Fachgespräch „Klimaneutrale Kläranlagen“ zu den Grünen in den Landtag Baden-Württemberg nach Stuttgart eingeladen. Hier präsentierte sie am

7.11.2023 das Projekt mit dem Titel „Energieintelligente Abwasserbehandlung: technologische Innovationen und zukunftsweisende Ansätze“.

Zur offiziellen Einweihung der energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck am 07.06.2024 wurde eine Broschüre durch den KZV veröffentlicht (siehe Anlage 5). Zudem wurde die Einweihung in der örtlichen Presse publiziert:

1. Mario Landauer (2024) „Einweihung des Millionenprojekts-Von der Planung bis zur Fertigstellung vergingen insgesamt zwölf Jahre. Jetzt hat der Kanalisationszweckverband die neue Kläranlage in Schwarzenbruck offiziell eingeweiht. Warum sie Ihrer Zeit bereits jetzt voraus ist.“; Der Bote, 08.06.2024
2. Einweihung Kläranlage und Tag der offenen Tür, Mitteilungsblatt Burgthann MB 215 Ausgabe August/September 2024

Die energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck wurde am 08.06.2024 mit einem Tag der offenen Tür der Öffentlichkeit vorgestellt. Beteiligt waren neben dem Kanalisations-Zweckverband „Schwarzachgruppe“ das Wasserwirtschaftsamt Nürnberg und die Firma ABB als Ausrüsterfirma des Energiemanagementsystems.

Die Kläranlage Schwarzenbruck war Ausrichterin des jährlichen Workshops „Prozesswasser aus der Schlammtennwässerung“ des Landesverbandes Bayern der DWA am 12. Juni 2024. Vertreterinnen und Vertreter von ca. 15 bayerischen Kläranlagen mit eigener Prozesswasserbehandlung trafen sich in Schwarzenbruck zum Erfahrungsaustausch inklusive Besichtigung der dortigen Deammonifikation.

Fr. Dr. Zech war eingeladen einen Vortag mit dem Titel „Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck – von der Theorie in die Praxis“ auf dem 2. Technologieforum Wasser / Abwasser am 21./22. Mai 2025 in Wiesbaden zu halten.

Hr. Wagner wurde vom Bayerischen LfU in Hof eingeladen einen Vortrag „Wastewater treatment plant Schwarzachgruppe, an energy-intelligent, energy-plus wwtp“ auf der Vortragsveranstaltung zum Thema Energieeffizienz bei der Abwasserbehandlung in Danzig/Polen, 02.-04. April 2025 zu halten.

Hr. Göhring hat auf der 53. Lehrerbesprechung der Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften des DWA-Landesverbandes Bayern am 12./13. Februar 2025 in Landshut über das „Energiekonzept der KA Schwarzenbruck“ gesprochen.

Fr. Dr. Zech wird die Projektergebnisse mit einem Vortrag „Betriebserfahrungen mit der energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck“ auf der Landesverbandstagung der DWA Bayern 2025 am 7./8.10.2025 in Lindau am Bodensee vorstellen.

Besichtigungen der energieintelligenten Kläranlage von anderen Kläranlagenbetreibern:

- Mai 2024 Stadtwerke Hersbruck
- August 2024 Stadt Weißenburg i. Bay.

Die Firma ABB hat ein Produktdatenblatt zur Verwendung auf Messen erstellt. Die Firma ABB stellt das Energiemanagementsystem vor, dass im geförderten Projekt erstmalig auf Kläranlagen angepasst wurde.

5. Zusammenfassung/ Summary

1. Einleitung/Introduction

Zuwendungsempfänger ist der Kanalisation-Zweckverband (KZV) „Schwarzachgruppe“. Der KZV besteht aus den Mitgliedsgemeinden Gemeinde Burgthann, Gemeinde Schwarzenbruck und Teilen der Stadt Altdorf. Das Ingenieurbüro Dr. Resch + Partner, Weißenburg i.Bay. hat gemeinsam mit der IBA Planungs-GmbH & Co. KG, Nördlingen das Projekt fachlich initiiert und realisiert. Dem Ingenieurbüro Dr. Resch + Partner, Weißenburg i.Bay. oblag neben der Objektplanung der Kläranlage das Projektmanagement des Pilotprojekts der energieintelligenten Kläranlage.

Die erforderliche Erweiterung der Kläranlage Schwarzenbruck wurde im Ergebnis der Vorplanungen als Neubau auf einem angrenzenden Grundstück realisiert, da dies die wirtschaftlichste Variante mit den geringsten Umweltauswirkungen und dem geringsten Risiko beim Bau darstellte. Der Bau einer neuen Kläranlage bot die Möglichkeit alle bekannten Techniken der Energieeffizienz und regenerativen Energieerzeugung zu kombinieren und nicht nur hinsichtlich Gewässerschutz und Wirtschaftlichkeit, sondern zusätzlich im Hinblick auf den Klimaschutz zu optimieren.

2. Vorhabenumsetzung/Project implementation

Im Projekt Energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck sollen die bestehenden Ansätze zur Energieeinsparung auf Kläranlagen konsequent genutzt werden, um einen aktuellen Benchmark für eine kommunale Kläranlage zu setzen. Die Kläranlage soll energieneutral bezüglich Stroms betrieben werden können. Dazu wird der benötigte Strom über die Nutzung verschiedener regenerativer Energiequellen erzeugt. Zusätzlich werden neue Ansätze zur Energiespeicherung und sektorübergreifenden Energiebewirtschaftung genutzt, um eine energetisch optimierte Kläranlage mit netzdienlichem Betrieb zu errichten.

Während tagsüber die Stromversorgung hauptsächlich aus der Sonnenenergie (PV-Anlage) gedeckt wird, gibt es nachts mehr Klärgas, dass über die Blockheizkraftwerke (BHKWs) verstromt werden kann. Dies hat auch Auswirkungen auf die Speicher und die Wärmeerzeugung. Die bekannten Speicher für Gas und Wärme (thermischer Speicher) müssen deutlich größer gebaut sein als bei konventionellen Kläranlagen. Zusätzlich wird ein Stromspeicher (Batteriespeicher) benötigt.

Der manuelle Betrieb der Energieversorgung aus drei regenerativen Quellen und das manuelle Speichermanagement sind mit den personellen Ressourcen einer konventionellen Kläranlage nicht möglich. Für die Optimierung des Smart-Grid ist der Einsatz eines Energiemanagementsystems vorgesehen.

3. Ergebnisse/Project results

Der spezifische Stromverbrauch der Kläranlage Schwarzenbruck nach der Innovation lag im Jahr 2024 bei 21,45 kWh / (EW · a). Der spezifische Stromverbrauch für die Gesamtanlage hat sich nahezu halbiert. Die ausgespeiste Strommenge beträgt ca. 70.000 kWh/a. Die bezogene Menge Strom für die Kläranlage liegt nur noch bei etwa 4.400 kWh/a. Die Kläranlage ist damit energieneutral. Der netzdienliche Betrieb führt zu den geringen Mengen an ausgespeistem und bezogenem Strom. Die spezifische CO₂-Emission der Kläranlage betrug 2024 insgesamt noch 31 kg CO₂ pro EW_{CSB}. Dies entspricht fast einer Halbierung der Gesamtemission.

4. Ausblick/Prospects

Die energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck hat Modellcharakter. Sie ist als Vorbild für weitere Anlagen geeignet. Die Übertragbarkeit des Konzeptes auf Kläranlagen mit anaerober Schlammbehandlung (Faulung) ist relativ einfach. Dabei ist es unerheblich, welche zusätzlichen regenerativen Energiequellen der Kläranlage genutzt werden. Je geringer der Eigenversorgungsgrad mit Strom aus Klärgas ausfällt und je größer die Schwankungen bei der Stromerzeugung sind, desto größer müssen die Speicher ausgelegt werden.

Die größte Hürde für eine schnelle großflächige Umsetzung stellen die notwendigen Investitionen auf den Kläranlagen dar, da sich die Investitionen derzeit nur über einen sehr langen Zeitraum amortisieren.

6. Literatur

1. Nagl, M. (2017) Modellierung und individuelle Auslegung von PV-Hausspeichersystemen auf Basis gemessener Verbrauchsdaten, TU München und FfE GmbH, unveröffentlicht
2. DWA-Arbeitsblatt A 216 Energiecheck und Energieanalyse - Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen, Dezember 2015
3. Haberkern, B.; Maier, W. und Schneider, U. (2006) Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen, UBA FZK 20526307
4. Baumann, P.; Maurer, P. und Roth, M. (2024) Erhöhung der Energieeffizienz auf Kläranlagen, Praxisleitfaden für das systematische Vorgehen zur Nutzung von Energiesparpotenzialen, DWA-Landesverband Baden-Württemberg

7. Anhang

- Anlage 1 Betriebsdaten der energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck 2024
- Anlage 2 Jahresbericht der energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck 2024
- Anlage 3 Abschlussbericht Vormonitoring
- Anlage 4 Abschlussbericht Monitoring / Energieanalyse energieintelligente Kläranlage Schwarzenbruck Juni 2024
- Anlage 5 Broschüre zur Einweihung der energieintelligenten Kläranlage Schwarzenbruck