

LENA



Landesenergieagentur Sachsen-Anhalt GmbH

Wir machen Energiegewinner.



ENERGIEEFFIZIENZ KOMMUNALER KLÄRANLAGEN



ENERGIEEFFIZIENZ KOMMUNALER KLÄRANLAGEN – ANALYSE MITTELS SIMULATION

SCHLUMMERNDE POTENZIALE

Mit einem jährlichen Energiebedarf von insgesamt rund 3.200 GWh gehören die mehr als 10.000 überwiegend kommunal betriebenen Kläranlagen zu den größten Energieverbrauchern in Deutschland (vgl. [UBA2014]). Ihr Anteil am Stromverbrauch in den Kommunen liegt bei etwa 20 Prozent und damit deutlich über dem von z. B. Krankenhäusern, Schulen und Verwaltungsgebäuden. Im Gegensatz zu Gebäuden, die in den vergangenen Jahren vielfach energetisch saniert und hinsichtlich des Energieverbrauchs auf einen technisch modernen Stand gebracht worden sind, weisen viele Kläranlagen oft noch erhebliche Möglichkeiten zur Energieeinsparung auf.

Um die schlummernden Potenziale zu ermitteln, hat die Landesenergieagentur Sachsen-Anhalt GmbH (LENA) in Kooperation mit dem Institut für Automation und Kommunikation e. V. Magdeburg (ifak e. V.) und dem Eigenbetrieb Abwasser Aschersleben ein Pilotprojekt zur Energieeffizienzanalyse umgesetzt. Im Rahmen des Landesprogramms „Sachsen-Anhalt KLIMA“ sind dabei der Ist-Zustand erfasst und mögliche Szenarien untersucht worden – mit erstaunlichen Ergebnissen.

Das in dieser Publikation vorgestellte Beispiel der Kläranlage Aschersleben zeigt: **Die jährlich benötigte Energiemenge lässt sich durchschnittlich um rund ein Viertel verringern.** Voraussetzung dafür sind technologische Weiterentwicklung und verbesserte Betriebsabläufe, die zur Folge haben, dass auch bislang ungenutzte Energiepotenziale miteinander kombiniert und so erschlossen werden können.

Die Energieeffizienzanalyse ist eine sinnvolle Möglichkeit, vorhandene Potenziale zur Senkung des Energieverbrauchs zu entdecken. Die dynamische

Modellierung und Simulation von Kläranlagen sind anerkannte Werkzeuge für die verfahrenstechnische Optimierung. Aufgrund des hohen Informationsgehaltes eignen sich Modelle mit entsprechenden Ergänzungen dazu, Energieanalysen zu Energieverbrauch und -erzeugung zu unterstützen.

DYNAMISCHE ABBILDUNG DER PROZESSE

Bei Energieanalysen werden die elektrischen Aggregate der Kläranlage aufgenommen und mit den Betriebszahlen abgeglichen. Daraus abgeleitete Optimierungsmaßnahmen können

- Änderungen in der Betriebsführung und/oder der
- Austausch von Aggregaten

sein. Der Vorteil einer Energieanalyse unter Zuhilfenahme der Simulation liegt in der dynamischen Abbildung der verfahrenstechnischen Prozesse. Die Auswirkungen von Änderungen in den Randbedingungen und in der Prozessführung können simuliert werden. Damit wird es möglich, praktisch funktionierende Konzepte zur Verbesserung der Reinigungsleistung oder zur Verringerung des Energieverbrauchs zu entwickeln.

Die detaillierte Darstellung der Prozesse stellt einen wesentlichen Vorteil im Vergleich zur statischen Bilanzierung dar, die sich lediglich auf die Betriebswerte der Anlage stützt.

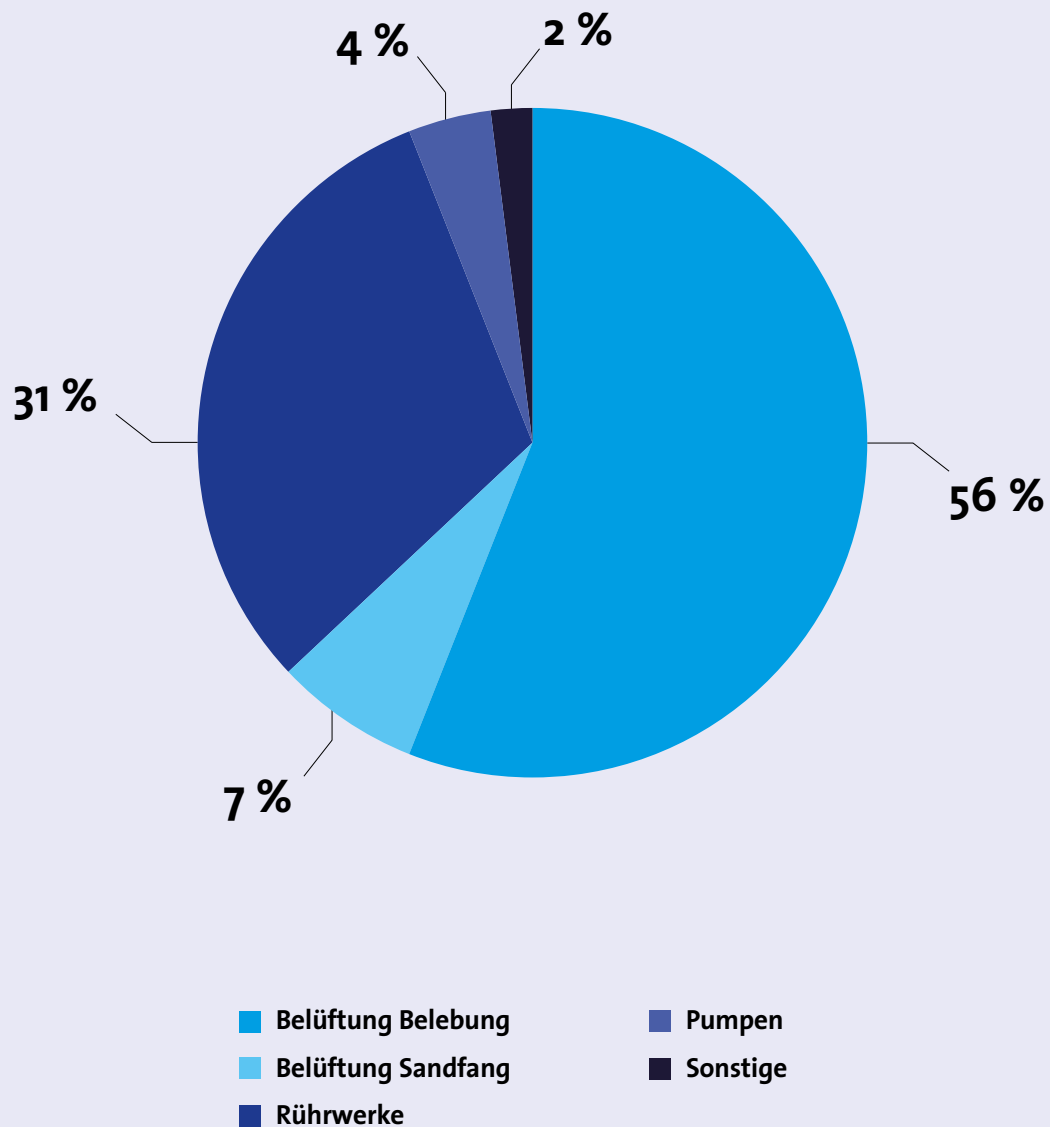


Abbildung 2-1: Anteiliger Stromverbrauch einer Kläranlage ohne Schlammfäulung (Kläranlage Aschersleben in Sachsen-Anhalt)

KLÄRANLAGEN ALS „ENERGIEFRESSER“

Kläranlagen dienen der Reinigung von Abwässern, bevor diese in ein Gewässer eingeleitet werden. Dabei unterliegen die Anlagen den Bestimmungen der Abwasserverordnung. Das primäre Ziel ist der Gewässerschutz. Die Reinigung von Abwasser erfolgt in mehreren, zum Teil sehr energieintensiven Prozessschritten. Die Arten und die Abfolge der Prozessschritte werden durch das gewählte Reinigungsverfahren bestimmt. Ein wichtiger Aspekt ist der ausgeprägte Tagesgang des zufließenden Abwassers.

Unabhängig vom angewendeten Reinigungsverfahren sind Kläranlagen große „Energiefresser“. Die Belüftung der biologischen Reinigungsstufe zum Beispiel macht oft einen Anteil von mehr als 50 Prozent am Strombezug aus und gehört damit zu den größten Energieverbrauchern. Weitere große Verbraucherguppen bilden die Rührwerke, die das Absetzen von Schlamm am Beckenboden verhindern, sowie die Pumpen zum Transport von Schlammströmen. Zusätzliche Verbraucher sind Aggregate der mechanischen Reinigungsstufe (Rechen, Sandfang etc.) oder der Schlammwässerung (Zentrifugen). Abbildung 2-1 veranschaulicht beispielhaft den prozentualen Energieverbrauch der Kläranlage Aschersleben.

Größere Kläranlagen verfügen über eine Schlammfäulung, mit der entsprechenden Möglichkeit der Energieproduktion über die Verstromung des gewonnenen Klärgases.

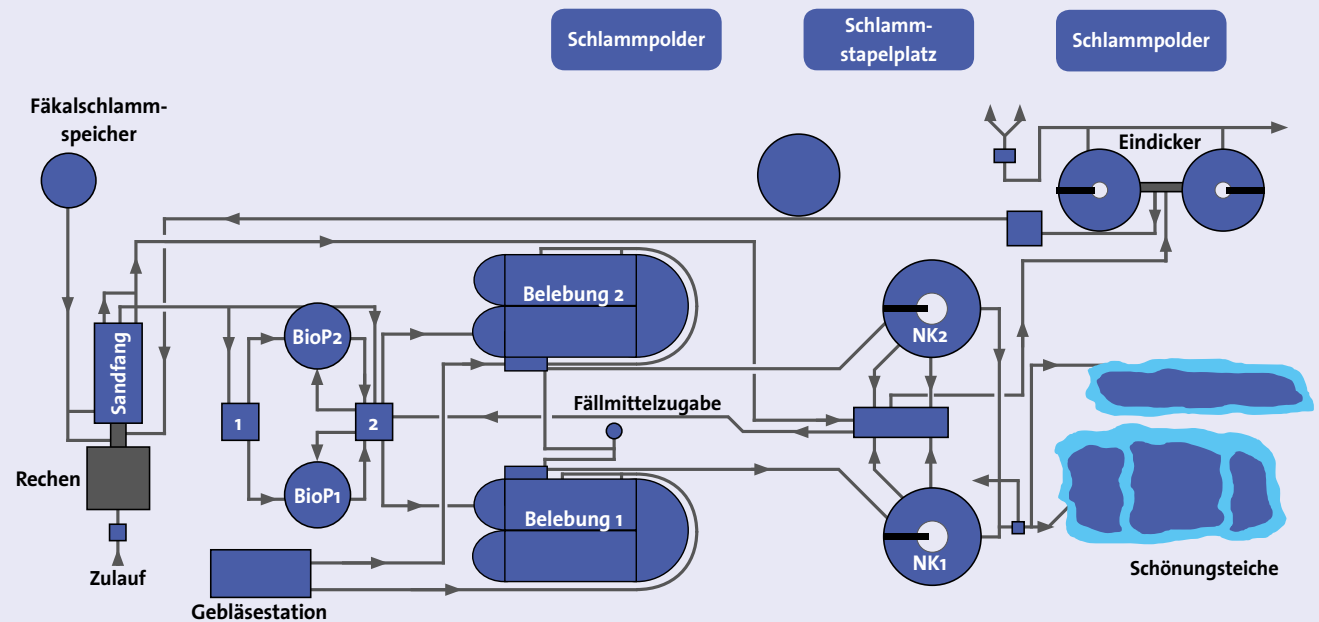
Kleine Kläranlagen mit geringen Einwohnergleichwerten im Einzugsgebiet werden für gewöhnlich aerob stabilisierend betrieben (ohne Schlammfäulung und Biogasverstromung).

MODELLGESTÜTZTE ENERGIEANALYSE DER KLÄRANLAGE ASCHERSLEBEN

DIE AUSGANGSLAGE:

Die im Jahr 2000 in Betrieb genommene Kläranlage der Stadt Aschersleben in Sachsen-Anhalt hat eine Kapazität von 48.000 Einwohnerequivalenten bei einer Einwohnerzahl von 27.995 im Jahr 2013 [STA2013]. Bei der Kläranlage handelt es sich um eine zweistraßig ausgeführte aerob stabilisierende Anlage. Das heißt, die organischen Abwasserinhaltsstoffe werden soweit mineralisiert, dass der anfallende Klärschlamm nur noch geringfügig faulfähig ist. Dementsprechend ist auf der Anlage keine Faulung vorhanden. Der grundlegende verfahrenstechnische Aufbau ist in Abbildung 4-1 dargestellt.

Nach der mechanischen Reinigungsstufe fließt das Abwasser zunächst zusammen mit dem Rücklaufschlamm aus der Nachklärung in die Becken der biologischen Phosphorelimination (BioP). Nach dem Verteilerbauwerk (2) wird der Belebtschlamm auf die beiden Straßen aufgeteilt. Jede Straße verfügt über ein Schlaufenbecken (Belebung 1 und 2) mit aerober (belüftet) und anoxischer Zone (unbelüftet). Hier erfolgt die Elimination organischer Stoffe und von Stickstoff.



BioP1 : Phosphorelimination 1

BioP2 : Phosphorelimination 2

NK1 : Nachklärung 1

NK2 : Nachklärung 2

1 : Verteilerbauwerk 1

2 : Verteilerbauwerk 2

Abbildung 4-1: Schematischer Aufbau der Kläranlage Aschersleben
Quelle: Eigenbetrieb Abwasserentsorgung der Stadt Aschersleben

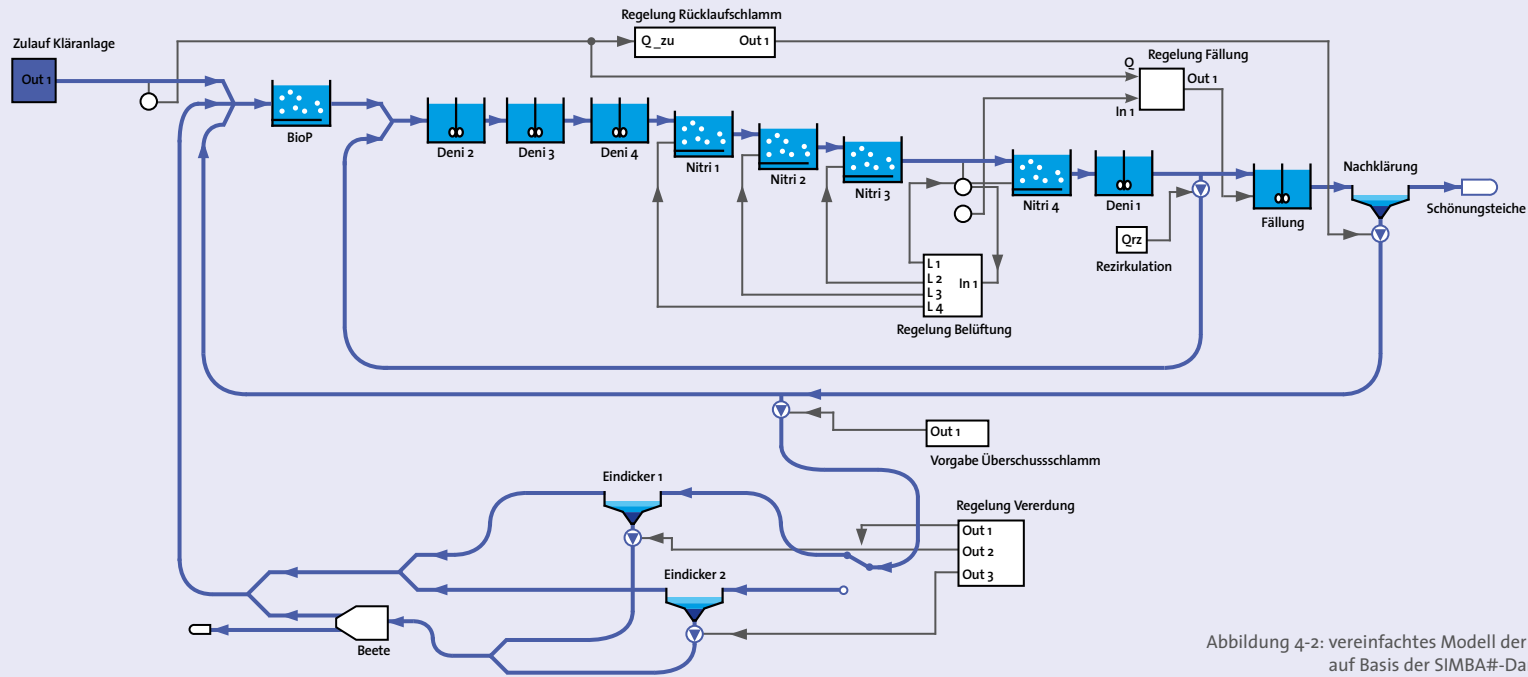


Abbildung 4-2: vereinfachtes Modell der Kläranlage Aschersleben auf Basis der SIMBA#-Darstellung

Im Anschluss fließt der Belebtschlamm in die Nachklärung (NK1, NK2). Hier kommt es zur Abtrennung des Belebtschlammes, der als Rücklaufschlamm in die BioP-Becken gefördert wird. Ein kleiner Teil des Rücklaufschlammes wird im Wechsel in zwei statische Eindicker gepumpt, dort eingedickt und als Dickschlamm anschließend zur weiteren Entwässerung auf Schlammfelder ausgebracht.

DAS SIMULATIONSMODELL:

Die Energieanalyse wurde mit der am ifak entwickelten Simulationsumgebung SIMBA# durchgeführt (vgl. [IFA2013]). Für den Aufbau des Simulationsmodells wurden ausschließlich die Betriebsdaten der Kläranlage verwendet. Dazu gehören z. B. die Messwerte im Zulauf der Anlage, die Temperatur in den Belebungsbecken und die Beckendimensionen. Diese Daten liegen in der Regel für jede Kläranlage vor, daher ist für die verfahrenstechnische

Beschreibung der Kläranlage keine weitere Messkampagne notwendig. Das Modell der Kläranlage Aschersleben ist in Abbildung 4-2 dargestellt.

Die zwei Straßen der Belebungsbecken wurden im Modell zu einer Straße zusammengefasst. Die einzelnen Becken wurden jeweils in seriell verschaltete Module aufgeteilt. Zur Verifikation wurden die Simulationsergebnisse mit Messdaten verglichen. Der Vergleich zeigte, dass die Kläranlage verfahrenstechnisch sehr gut abgebildet werden konnte.

Des Weiteren wurden die energetischen Hauptverbraucher der Anlage erfasst und anhand von Stichprobenmessungen vor Ort auf ihren tatsächlichen Verbrauch hin untersucht. Anhand eines Vergleichs der Messwerte mit Herstellerangaben konnten Rückschlüsse auf den Zustand und die Energieeffizienz der Aggregate gezogen werden. Zur energetischen Betrachtung in der Simulation wurden die Kennlinien oder spezifischen Verbrauchswerte im Modell hinterlegt.

DIE ENERGETISCHE EINORDNUNG:

Der Jahreswirkleistungsbezug wird auf den mittleren Einwohnergleichwert der Gesamtkläranlage bezogen. Für das Bezugsjahr 2013 wurde ein spezifischer Verbrauch von 38 kWh/(EW·a) ermittelt, der damit im Bereich des Richtwertes liegt. (siehe Tabelle 4-3) **Es besteht jedoch eine deutliche Differenz zum Idealwert in dieser Größenklasse**, also ein Hinweis auf das generelle Optimierungspotential der Anlage. Der spezifische Stromverbrauch der Belebung lässt erkennen, dass insbesondere dort Potenzial vorhanden ist.

DIE ERGEBNISSE:

Eine Simulationsstudie ermöglicht die virtuelle Überprüfung alternativer Betriebsszenarien. Folgende Varianten wurden im Rahmen der Simulationsstudie untersucht und simuliert:

- Austausch der Gebläse
- Veränderte Rotationsgeschwindigkeit der Rührwerke
- Umbau zu einer Anlage mit Schlammfäulung
- Einsatz von erneuerbaren Energien am Standort

Die auf der Anlage betriebenen Gebläse sind für den derzeitigen Luftmengenbedarf der Belebung zu groß dimensioniert. Simuliert wurde deshalb mit verschiedenen Gebläsegrößen. Dabei wurde festgestellt, dass auch bei geringerem Lufteintrag in die Belebung die Reinigungsleistung erzielt werden kann. Ähnliches gilt für die Rotationsgeschwindigkeit der Rührwerke.

Allein die zuerst genannten Maßnahmen (Austausch der Gebläse, veränderte Rotationsgeschwindigkeit der Rührwerke) führen in der Simulation zu einer Einsparung im Energiebezug von 183 MWh – das entspricht 17 Prozent der im Bezugsjahr 2013 bezogenen Energie (siehe Abbildung 4-4).

Werte für Größenklasse 4, 10.000 bis 30.000 EW

Spez. Energieverbrauch [kWh/(EW·a)]	Richtwert	Idealwert	IST-Wert (Kläranlage Aschersleben)
Gesamt	40	31	38
Belebung	31	24	34

Tabelle 4-3: Vergleich mit Benchmark-Werten [MUE1999]





Der Umbau der Kläranlage zu einer Anlage mit Schlammfäulung würde deutliche Vorteile bringen:

- Das in der Schlammfäulung produzierte Gas könnte in Blockheizkraftwerken (BHKW) verstromt werden.
- Gleichzeitig würde der Strombedarf sinken, da in den Belebungsbecken aufgrund eines geringeren Schlammalters weniger Sauerstoff notwendig wäre.
- Mit der Simulation konnte abgeschätzt werden, dass die Kläranlage nach einem Umbau mit Schlammfäulung nur noch 68 Prozent der derzeitigen jährlichen Energiemenge benötigen würde.
- Vom jährlichen Gesamtstrombedarf könnten etwa 48 Prozent durch die Verstromung des Faulgases gedeckt werden (vgl. auch Abbildung 4-4)

UNTERSTÜTZUNG BEI ENTSCHEIDUNGSFINDUNG

Das neue und derzeit im Gelbdruck vorliegende Arbeitsblatt (A 216) der deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) wird in Zukunft hinsichtlich der Energieeffizienz wichtige Impulse für die Energieanalyse von Kläranlagen liefern. Wie das Beispiel der Kläranlage Aschersleben zeigt, kann darüber hinaus eine Simulation mit integrierter Energiebetrachtung die Energieanalysen von Kläranlagen effektiv ergänzen. Das ist möglich durch die

- Validierung von statischen Energieanalysen unter Berücksichtigung variabler Randbedingungen wie Abwasseranfall und Temperatur sowie die
- Unterstützung der Entscheidungsfindung durch Variantenuntersuchung zur Energieeinsparung am Anlagenmodell.

Durch die Berücksichtigung dynamischer Effekte deckt die Simulation ungünstige Prozessführungsstrategien auf, die zu Lastgangspitzen führen können.

Der Umbau zu einer Anlage mit Schlammfäulung erweist sich erst ab einer gewissen Anzahl von Einwohnergleichwerten als wirtschaftlich sinnvoll, da zusätzlich zu den höheren Baukosten auch eine aufwendigere Instandhaltung und Wartung eingeplant werden müssen.

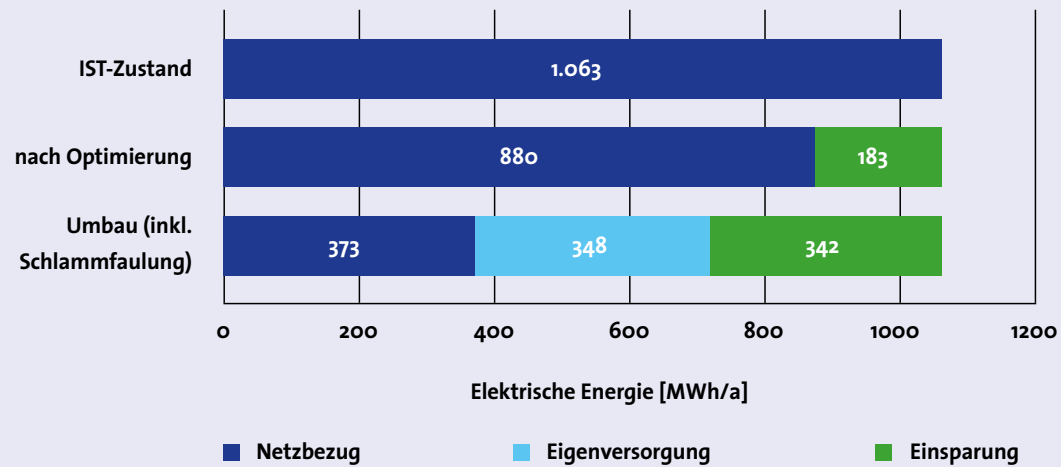


Abbildung 4-4: Energieverbrauch verschiedener Szenarien

Die Kläranlage Aschersleben ist hinsichtlich der Einwohnergleichwerte an der Grenze der Wirtschaftlichkeit einzuordnen. Ein entsprechender Umbau ist mit erheblichen finanziellen Aufwendungen verbunden, die auch unter dem Aspekt der tendenziell sinkenden Bevölkerung betrachtet werden müssen. Aufgrund der beschriebenen Konstellation wurde dieser Ansatz daher nicht weiter verfolgt.

Für viele Kläranlagen wird in der Regel fortwährend an Überlegungen zu Verbesserungsmaßnahmen gearbeitet. Unsicherheiten hinsichtlich von Aufwand und Nutzen möglicher Maßnahmen erschweren oftmals für Betreiber die Entscheidungsfindung. Hier können gezielte Fördermaßnahmen motivierend wirken, um entsprechende Dienstleistungen und Hilfestellungen von Dritten anzunehmen.

Ebenso können im Rahmen von Fördermaßnahmen durchgeführte Pilotprojekte wie das Beispiel der Kläranlage Aschersleben die Potenziale von Energieeinsparmöglichkeiten gerade auch mit Hilfe von Simulation aufzeigen.



LITERATUR

- [DWA2013] DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT; ABWASSER UND ABFALL (DWA): Arbeitsblatt DWA-A 216: Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen. 2013. Entwurf. ISBN: 978-3-942964-87-6
- [IFA2013] ALEX, J.; OGUREK, M.; SCHÜTZE, M.: A novel simulation platform to test WWTP control options. 11th IWA conference on instrumentation control and automation. 18.-20.09.2013. Narbonne, France. 2013
- [STA2013] STATISTISCHE LANDESAMT SACHSEN-ANHALT: Bevölkerung und Erwerbstätigkeit. Oktober 2014. Online verfügbar unter: http://www.statistik.sachsen-anhalt.de/download/stat_berichte/6A102_hj_2013_02.pdf. Abruf: 23.07.2015
- [MUE1999] MÜLLER, E.A. et al: Energie in Kläranlagen Handbuch. Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf, 1999
- [UBA 2008] HABERKERN, B.; MAIER, W.; SCHNEIDER, U.: Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen. Forschungsbericht 205 26 307. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Texte 11/08. Dessau-Roßlau. 2008. ISSN 1862-4804. Online verfügbar: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/steigerung-energieeffizienz-auf-kommunalen>. Abruf: 23.07.2015
- [UBA2014] KIRSCHBAUM, B.; RICHTER, S.: Wasserwirtschaft in Deutschland: Wasserversorgung – Abwasserbeseitigung. April 2014. Informationsflyer Umweltbundesamt Dessau-Roßlau Online verfügbar: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/wawiflyer_uba_de_web.pdf. Abruf: 22.07.2015

„Energieeffizienzanalyse von kommunalen Kläranlagen mit Simulation“. C. Leupolt, Dr. J. Alex, C. Hübner, erschienen in: Marco K. Koch, Heike Jacobsen, Britta Oertel (Hg.); Wettbewerb Energieeffiziente Stadt; Band 7: Dienstleistungen für die energieeffiziente Stadt; Berlin: LIT Verlag, Veröffentlichungsdatum z.Z. noch nicht bekannt







Herausgeber:
Landesenergieagentur Sachsen-Anhalt GmbH
Olvenstedter Straße 4
39108 Magdeburg
Tel.: 0391 567-2040
Fax: 0391 567-2033

HRB Nr.: 18884
USt ID: DE286800023
Amtsgericht Stendal

E-Mail: lena@lena-lsa.de
www.lena.sachsen-anhalt.de
www.facebook.com/lenagmbh

