Zweckverband für Wasserversorgung
und Abwasserbeseitigung Bad Dürrenberg
Thomas-Müntzer-Straße 11
06231 Bad Dürrenberg

Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg

KSI: Klimaschutzteilkonzept für klimafreundliche Abwasserbehandlung

Schlussbericht

vom September 2014

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

Ingenieurbüro STOCKLEBEN GmbH
Beratende Ingenieure Wilde & Stöhr

Ingenieurbüro Stockleben GmbH
Schladebacher-Straße 14

06231 Bad Dürrenberg

NATIONALE KLIMASCHUTZ INITIATIVE

Inhalt

1. Einführung **1**

1.1 Ausgangslage und Zielsetzung 1

1.2 Methodik 2

2. Beschreibung des Istzustandes **4**

2.1 Beschreibung des angewandten Verfahrens auf der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg 4

2.2 Stoff- und Energieströme der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg 6

2.3 Beschreibung der einzelnen Teilabschnitte 7

3. Energie – und CO_2 – Bilanz **12**

3.1 Jahresenergie- und Stoffverbrauch 12

3.2 CO_2- Äquivalente 12

3.3 CO_2- Emissionen 13

3.4 CO_2- Bilanz 14

3.5 Energieverbrauchsbilanz – Teilkomponente Energie elektrisch 14

3.6 Energieverbrauch der Belebungsstufe 15

3.7 Energieverbrauch des Zulaufpumpwerks 19

3.8 Energieverbrauch auffälliger Einzelverbraucher 21

4. Potenzialanalyse **23**

4.1 Potenzialanalyse Energieeffizienz Belebungsstufe 23

4.2 Potenzialanalyse Energieeffizienz Zulaufpumpwerk 25

4.3 Potenzialanalyse Energieeffizienz Sandfangbelüftung 25

4.4 Potenzialanalyse Energieeffizienz Faulturmumwälzung 25

5. Maßnahmen **26**

5.1 Maßnahmenarten 26

5.2 Sofortmaßnahmen 27

5.3 Kurzfristige Maßnahmen 28

5.4 Zusammenstellung der Maßnahmen 36

6. Zusammenfassung der durchgeführten Akteursbeteiligung **37**

7. Controlling - Konzept **37**

7.1 Erfassung zukünftiger Energieverbräuche und Abbildung der CO2 – Emissionen 37

7.2 Überprüfung erreichter Klimaschutzziele 38

8. Vorschläge zur Umsetzung der Öffentlichkeitsarbeit **39**

9. Zusammenfassung **39**

Ausbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verfahrensabschritte der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg 5
Abbildung 2: Eintrags- und Austragsströme der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg 6
Abbildung 3: Diagramm CO2 - Bilanz 14
Abbildung 4: Leistungskennlinie Gebläse 16
Abbildung 5: Energieverbrauchsanteil Belebungsstufe mit Ausweisung der Komponenten 18
Abbildung 6: Energieverbrauchsanteil Zulaufpumpwerk 20
Abbildung 7: Energieverbrauchsanteil Sandfangbelüftung 21
Abbildung 8: Energieverbrauchsanteil Umwälzung Faulturm 22
Abbildung 9: Detail Ertüchtigung des Belebungsbeckens 29
Abbildung 10: Kostenverlauf Variante 1 zu Variante 2 33
Abbildung 11: Maßnahmenbezogene CO2 - Einsparpotenziale 38

1. Einführung

1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Klimaschutz ist nicht nur eine wesentliche Aufgabe für den wirtschaftlichen Bereich sondern auch für den kommunalen Sektor. Denn im kommunalen Sektor sind viele Tätigkeitsfelder angesiedelt, die erheblich zur CO_2-Emission beitragen. Der Bereich Abwasserbehandlung ist dabei einer der größten Energieverbraucher.

Die heutigen kommunalen Träger behandeln und entsorgen derzeitig unter massiver CO_2 - Emission anfallende Abwässer und Abfälle, die ein enormes CO_2 - neutrales Eigenenergiepotenzial besitzen.

Unter Einsatz neuester Technologien verknüpft mit effizienter Anlagetechnik ist es heutzutage möglich, den CO_2 - Ausstoß in diesem Segment unter Beibehaltung der derzeitigen Kosten- und Gebührenstruktur erheblich zu reduzieren.

Die Zielsetzung des Projektes ist eine konsequente Herabsetzung der Treibhausgasemissionen. Unter dem beengten Raum der Finanzierbarkeit und der steigenden Tendenz der Energie- und Stoffpreise soll dabei eine tragbare und in Einzelschritten vollziehbare Lösung herausgearbeitet werden.

Die Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg soll dabei zukünftig eine Vorreiterrolle in der Region übernehmen, in der bezahlbare CO_2 – neutrale Abwasserbehandlung angestrebt wird.

Die Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg behandelt das Abwasser von über 26.500 Einwohnergleichwerten (Stand 2013). Hierfür wird ein elektrischer Energieverbrauch aus dem öffentlichen Netz von über 600.000 kWh/a im Jahre 2014 erwartet. Im Jahre 2013 wurde ein Thermischer Energieverbrauch von über 76.000 kWh/a aufgewendet. Um den gesamten Energiebedarf decken zu können, sind bereits im Jahre 2011/2012 eine anaerobe Stufe sowie Photovoltaikanlagen auf dem Gelände der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg errichtet worden.

Neben den genannten Emissionen ist ein jährlicher Zuwachs der Energiekosten zu verzeichnen, der letztendlich unter Beibehaltung des Einsatzes bestimmter elektrischer Verbraucher sowie Teilkomponenten der Verfahrenstechnik eine mittelfristige Gebührenerhöhung zur Folge haben könnte.

Um diesen Szenario zu begegnen, hat sich der ZWA Bad Dürrenberg neben der erfolgten Errichtung einer anaeroben Verfahrensstufe entschieden, ein Klimaschutzteilkonzept für klimafreundliche Abwasserbehandlung erarbeiten zu lassen.

Das Konzept soll eine Entscheidungsgrundlage schaffen, um zielgerichtet weitere Maßnahmen auf den Weg zu bringen, mit denen die Emissionen im Zusammenhang mit Energieverbrauchssenkungen gemindert werden können.

1.2 Methodik

Datenerfassung

Zunächst sind alle notwendigen Grundlagen für die Ausarbeitung relevanter Maßnahmen zu erfassen und auszuwerten. Es wird bewusst nur auf die schon in der Literatur bekannten Sektoren einer Abwasserbehandlungsanlage eingegangen, die nachweislich einen hohen Energieverbrauch aufweisen und für eine Optimierung prädestiniert sind. Kleinere Effekte werden nur in den Lösungsvorschlägen aufgelistet, da diese letztendlich nur in einem geringen Maße zur Energieverbrauchssenkung beitragen.

Hierbei werden folgende Daten der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg ausgewertet und verwendet bzw. Messungen vor Ort durchgeführt:

- Verwendung der Monatsberichte der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg 2013
- Verwendung der Sauerstofftageskennlinien
- Zulaufpumpwerk: Messung der Stromaufnahme im Trockenwetterfall
- Gebläsestation: Messung der Stromaufnahme bei definierter Frequenzganglinie
- Rührwerke: Messung der Stromaufnahme
- Rücklaufschlammpumpwerk: Messung der Stromaufnahme
- Hochlastfaulung Messung der zugehörigen Komponenten

Datenauswertung Aufnahme des Ist - Zustandes

Aufgrund der Datenlage werden die Energieverbrauchskennzahlen für die einzelnen Verfahrenssegmente der Abwasserbehandlungsanlage fest- und dargestellt.

Potenzialanalyse

Das Potenzial für die Energie- und Treibhausgasemissionseinsparung in den einzelnen Verfahrenssegmenten der Abwasserbehandlungsanlage wird erarbeitet und dargestellt.

Maßnahmenkatalog

Hier werden Schritte aufgezeigt, die zu einer wesentlichen Reduzierung der CO_2 - Emissionen führen. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf regenerative Energieerzeugung auf der einen und Energieeffizienz auf der anderen Seite gelegt.
In der Rangfolge werden durchgeführte, in Bearbeitung befindliche, kurzfristig, mittelfristig und langfristig durchführbare Maßnahmen aufgezeigt, die das genannte Maßnahmenziel, CO_2- Emissionen reduzieren, erfüllen und wirtschaftlich umsetzbar sind. Dabei wird das wesentliche Ziel einer Abwasserbehandlungsanlage, die Reinigungsleistung, beachtet und berücksichtigt.

Konzept für die energetische Nachverfolgung umgesetzter Maßnahmen

Hier werden Vorschläge unterbreitet, wie weit der Erfolg von Maßnahmen seitens des Betreibers der Abwasserbehandlungsanlage ohne überdurchschnittlichen personellen Einsatz beurteilt werden kann.

2. Beschreibung des Istzustandes

2.1 Beschreibung des angewandten Verfahrens auf der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg

Das der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg zufließende Abwasser wird dem Verfahren – **Anaerobe Schlammstabilisation einschließlich Phosphatelimination** – unterzogen. Das resultierende Klarwasser wird nach der Behandlungsstufe dem Gewässer Saale zugeführt.

Potenziale der im Abwasser enthaltenden Rohstoffe werden durch das innovative Anaerobverfahren Hochlastfaulung genutzt. Jedoch müssen die verbleibenden Stickstoff - Schmutzfrachten unter großen Energieaufwand behandelt werden. Die aerobe Stickstoffelimination übt eine erhebliche Schlammproduktion infolge der täglichen Zuwachsrate des Belebtschlammes aus. Dieser Schlamm wird nach passieren der Hochlastfaulungsstufe unter Energieaufwand entwässert und entsorgt. Die anfallenden Tonnagen sorgen für einen externen transportbedingten CO_2 – Anfall.

In jedem Teilabschnitt des oben genannten Verfahrens sorgen elektrische Antriebe dafür, das Behandlungsziel zu erreichen.

Die im Hauptstrom der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg befindlichen Teilabschnitte sind Zulaufpumpwerk mit nachgegliederter mechanischer Reinigungsstufe (1), Misch- und Ausgleichsbecken (2), Vorklärbecken (3), Belebungsstufe (4), Nachkläreinheiten mit Rücklauf- und Überschussschlammpumpwerk (5).
Für die Schlammbehandlung im Nebenstrom sind folgende Teilabschnitte auf der Abwasserbehandlungsanlage installiert: Schlammvorentwässerung (6); Mischbehälter (7), Hochlastreaktor mit Maschinengebäude (8), Schlammzwischenspeicher (9), Schlammentwässerung (10) und Schlammlager (11).

Die Teilabschnitte sind auf den nachfolgend miniaturisierten Lageplan gekennzeichnet.

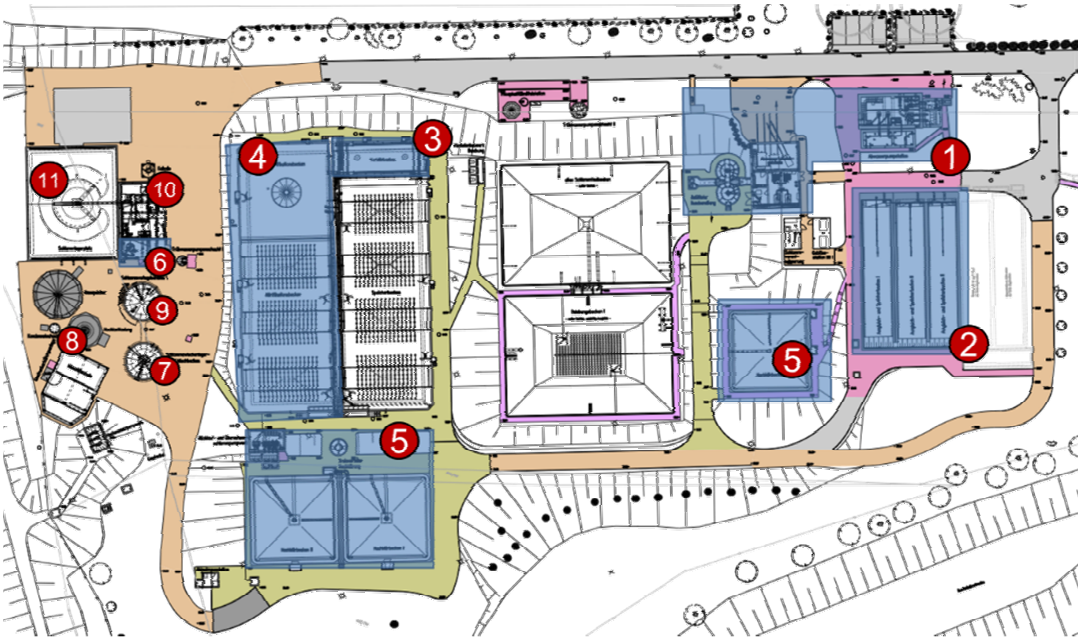


Abbildung 1: Verfahrensabschnitte der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg

(1) Zulaufpumpwerk mit nachgegliederter mechanischer Reinigungsstufe

(2) Misch- und Ausgleichsbecken

(3) Vorklärbecken

(4) Belebungsstufe

(5) Nachkläreinheiten mit Rücklauf- und Überschussschlammpumpwerk

(6) Schlammvorentwässerung

(7) Mischbehälter

(8) Hochlastreaktor mit Maschinengebäude

(9) Schlammzwischenspeicher

(10) Schlammentwässerung

(11) Schlammlager.

2.2 Stoff- und Energieströme der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg

Die Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg behandelt das Abwasser unter Beteiligung einer anaeroben Stufe. Um das Reinigungsziel zu erreichen, werden Reststoffe abgeschieden und biologisch stabilisierter Schlamm produziert. Der stabilisierte Schlamm wird durch Dritte landwirtschaftlich verwertet.

Im nachfolgenden Schema sind die wesentlichen Eintrags- und Austragsströme bezüglich Energie und Stoffe aufgezeigt:

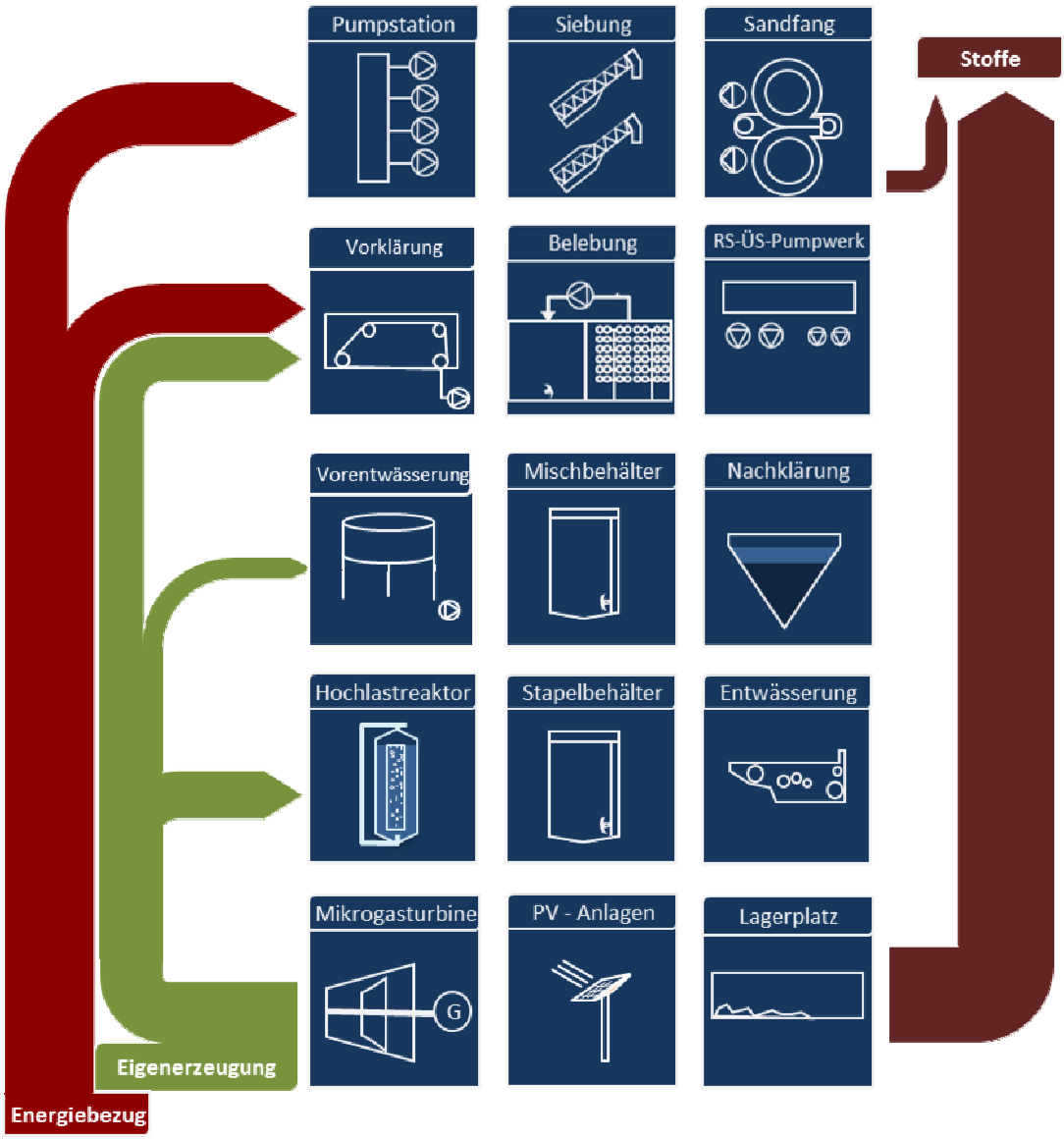


Abbildung 2: Eintrags- und Austragsströme der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg

2.3 Beschreibung der einzelnen Teilabschnitte

Energetischer Aufwand, Hilfsstoffeinträge sowie Stoffausträge sind an den entsprechenden Textpassagen mit folgenden Symbolen einschließlich stoffebezogener Kenngrößen gekennzeichnet. Weiterhin sind auch Betriebspunkte, die Energie erzeugen, mit einer entsprechenden Symbolik versehen.

- ↘$_{e}$ elektrische Energie
- ↘$_{th}$ thermische Energie
- ↘ Brauchwasser (BW)
- ↘ Hilfsstoffe ($FeCl_3$, Kalk, Flockungshilfsstoffe(FHM))
- ↗ Rechen – und Sandfanggut (RSG)
- ↗ entwässerter Schlamm
- ↗$_{e}$ elektrische Energie
- ↗$_{th}$ thermische Energie

Zulaufpumpwerk mit anschließender mechanischer Reinigung

Aus dem Einzugsgebiet der Abwasserbehandlungsanlage wird das Abwasser über Freigefälleleitungen und Druckleitungen dem Vorlageschacht des Zulaufpumpwerkes zugeführt. Das Pumpwerk hebt das Abwasser auf das notwendige Niveau, so dass dieses im Freigefälle die weiteren verfahrenstechnischen Stufen passieren kann. Auf dem Dach der Abwasserpumpstation ist eine Photovoltaikanlage installiert. Die produzierte Energie wird für die Verbraucher der Abwasserbehandlungsanlage verwendet.
↘$_{e,}$ ↗$_{e}$

Dabei durchströmt das Abwasser zunächst drei parallel geschaltete Recheneinheiten, die eine Abtrennung grobstoffiger Inhaltsstoffe vollziehen. Die abtgetrennten Stoffe werden gewaschen, gepresst und in einem Container abgeführt und bei Bedarf entsorgt. ↘$_{e}$,↘$_{BW}$, ↗$_{RSG}$

Nach der Rechenstation durchfließt das Abwasser einen Doppelrundsandfang. Der Sandfang scheidet dabei feine sedimentierende Feinbestandteile ab, die den nachgegliederten Verfahrensablauf infolge ihrer gravitativen und verschleißerhöhenden Eigenschaften empfindlich stören können. Das Sedimentgemisch wird mittels Pumpen einem Separator mit integrierter Wäsche zugeführt. Dieser vollzieht die Trennung zwischen flüssiger und fester Phase. Das Feststoffgemisch wird gewaschen, ausgetragen und einem Container zugeführt. Die Stoffentsorgung wird ebnfalls wie beim Rechengut vollzogen. ↘$_{e}$, ↗$_{RSG}$

Vorklärbecken

Nach dem Sandfang passiert der Abwasserstrom das Vorklärbecken. Dabei muss das Abwasser einen großen Querschnitt im Becken durchströmen. Durch die enorme Querschnittserweiterung im Vorklärbecken wird die Strömungsgeschwindigkeit des durchfließenden Abwasserstromes erheblich reduziert. Hierdurch können sich feinste Partikel auf dem Grund des Beckens absetzen. Die sich bildende Schlammschicht wird mittels Bandräumer einem am Boden integriertem Gerinne zugeführt. Von diesem aus wird der Schlamm (Primärschlamm) mittels Pumpe zum Vorlagebehälter vor der Faulturmstufe gefördert. $\searrow_e$

Biologisch Behandlungsstufe

Nach dem Vorklärbecken fließt der Wasserstrom dem Belebungsbecken zu. Das Belebungsbecken ist in eine Denitri- und eine Nitrifikationszone unterteilt. Die Denitrifiktationszone ist der Nitrifikationszone vorgeschaltet. Neben dem Zufluss aus dem Vorklärbecken fließen zudem der Rücklaufschlamm aus den Nachklärbecken und der Rezirkulationsschlamm aus dem Nitrifikationsbecken zu.

Die im Rücklaufschlamm befindlichen Belebtschlammflocken unterziehen sich einem phosphatbasierten Stoffkreislauf. Im Denitrifikationsbecken werden die biologisch gebundenen Phosphordepots freigesetzt. Der eingemischte Frischabwasserstrom unterstützt diesen Stoffkreislauf. Für die Durchmischung und Schwebehaltung der Schlammpartikel sind Rühraggregate notwendig. Im Denitrifikationsbecken der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg sind zwei Rührwerke installiert. $\searrow_e$

Um den geforderten Abwassereinleitgrenzwert für Phosphor insgesamt einzuhalten wird bei Bedarf ein Fällungsmittel zudosiert. $\searrow_e$, $\searrow_{FeCL3}$

Anschließend wird der hydraulische Schlammstrom dem Nitrifikationsbecken zugeführt.

Der Belebtschlamm wird in diesem Becken mit Luft versorgt. Dabei nehmen die Mikroorganismen den Sauerstoff auf, füllen Ihre Phosphatdepots vermehrt auf, nitrifizieren den Schadstoff Ammonium zu Nitrat und bauen gleichzeitig Kohlenstoff ab. Bei Überschreiten eines Sauertsoffsättigungswertes wird die Belüftung kurzzeitig abgestellt. Während der belüftungsfreien Zeit wird die Durchmischung des Beckens über Rührwerke realisiert.

Der Prozess erfordert eine gut durchmischte Schlammsuspension. Die hierfür notwendige Durchmischung wird in der belüfteten Phase über die aufsteigenden Luftblasen der Druckbelüftung und in der nicht belüfteten Phase über Rührwerke vollzogen.

Für die vollständige Funktion des Systems vorgeschaltete Denitrifikation ist eine ausreichende Rezirkulation des Belebtschlammes vom Nitrifikationsbecken direkt zum Denitrifikationsbecken erforderlich. Dies wird über eine Rezirkulationspumpe erreicht.

Die notwendigen Antriebe für den Betrieb des Belebungsbeckens sind Gebläse für die Luftversorgung, Rührwerke für die Durchmischung und Rezirkulationspumpe für den Rückstrom zum Denitrifikationsbecken. ↘e

Anschließend wird der Schlamm in drei Nachklärbecken einer Phasentrennung unterzogen. Das Nachklärbecken funktioniert rein statisch, es sind keine Antriebe an den Becken installiert. An der Oberfläche des Nachklärbecken bildet sich ein Klarwasserbereich. Über Ablaufkanten fließt das Klarwasser über den Ablaufkanal und der Ablaufleitung dem Gewässer Saale zu.

Der sich absetzende Schlamm im Nachklärbecken wird mittels Pumpen abgezogen. Infolge des Stoffwechselprozesses wächst die Schlammmasse im System an. Um die Schlammmasse im System konstant zu halten, wird der Schlammzuwachs gesondert mittels Pumpe der nachgegliederten Behandlungsstufe Schlammbehandlung mit vorgeschalteter anaerober Stufe zugeführt. Der überwiegende Schlammstrom wird zum Denitrifikationsbecken zurückgeführt (Rücklaufschlammstrom).

Die notwendigen Antriebe für den Betrieb der Nachklärstufe sind Rücklauf- und Überschussschlammpumpen. ↘e

Anaerobe Stufe

Die anerobe Stufe besteht aus folgenden wesentlichen Komponenten:

- Schlammvorentwässerung
- Misch- und Vorlagebehälter
- Hochlastfaulung

Die Hochlastfaulung funktioniert nur effizient, wenn der zugeführte Schlamm einen Mindestfeststoffgehalt von über 4% aufweist. Daher wird der Überschussschlamm über eine maschinelle Vorentwässerung auf ca. 6% TS entwässert und ebenfalls neben dem Primärschlamm dem Misch- und Vorlagebehälter zugeführt. Beide Schlämme werden in dem Misch- und Vorlagebehälter homogenisiert.

Die tägliche anfallende Schlammmenge wird über eine Beschickungspumpe dem Reaktor taktweise zugeführt. Zwischen den Beschickungstakten wird das ansteigende Schlammvolumen über eine Ablassvorrichtung ausgeglichen. Die Durchmischung des Reaktors wird mittels Gaseinpressung vollzogen.

Das enstehende Klärgas wird zu einem Gasspeicher abgeführt. Von diesem wird eine Gasturbine mit Klärgas versorgt. Diese produziert elektrische und thermische Energie. Die thermische Energie wird vorwiegend für die Temperaturaufrechterhaltung des Reaktorinhaltes bzw. zur Beheizung des Beschickungsschlammes und für die Beheizung der Betriebsgebäude genutzt. Die produzierte elektrische Energie wird für die auf der Abwasserbehandlungsanlage befindlichen Verbraucher verwendet. Auf dem Dach der zur Hochlastfaulung gehörenden Maschinenhalle ist eine Photovoltaikanlage installiert, die ebenfalls Energie erzeugt. ↘e, ↘th, ↗e, ↗th,

Schlammbehandlung

Die täglich anfallende Schlammmenge aus der Hochlastfaulung wird zunächst in einem Schlammstapelbehälter zwischengelagert, dabei wird durch die einsetzende Schwerkrafttrennung der Suspension weiteres Trübwasser abgeschieden, so dass der Eindickungsgrad des Schlammes weiter erhöht wird.

Anschließend wird der eingedickte Schlamm einer Entwässerungseinheit zugeführt. Der entwässerte Schlamm wird in einem überdachten Schlammlager zwischengelagert. In regelmäßigen Abständen wird der Schlamm entsorgt.

Das sich in dem Schlammstapelbehälter bildende und das aus der Entwässerung stammende Trübwasser wird über Pumpen einem Zwischenbehälter zugeführt. Von diesem aus wird das Trübwasser frachtbezogen über eine Pumpe in das Speicherbecken gefördert und von diesem frachtbezogen der Belebung zudosiert.

Für den Bereich des Schlammstapelbehälters sind Rührwerke notwendig, um den eingedickten Schlamm zu homogenisieren.

Für die Entwässerung sind Hilfsstoffaufbereitungs- und Zuführungsanlagen, Schlammbeschickungspumpen, Pressanlagen und Trübwasserpumpen notwendig.
↘e, ↘BW, ↘FHM, ↗ Schlamm

Nebenanlagen Misch- und Ausgleichsbecken, Hochwasserpumpwerk

Das oben beschriebende System ist hydraulisch limitiert. Darüber hinaus anfallende hydraulische Zulaufmengen werden zunächst in einem Fracht- und Ausgleichsbecken zwischengelagert und bei hydraulischer Niedrigbelastung der Anlage dem Prozess zudosiert.

Hierfür sind Pumpen und Reinigungs- und Mischaggergate für die Becken notwendig. ↘e

Bei allen Wasserspiegellagen und auch bei Hochwassersituation in der Saale muss das abfließende Klarwasser der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg ungehindert die Anlage verlassen können. Dies wird im Bedarfsfall durch ein errichtetes Hochwasserpumpwerk gewährleistet. ↘$_e$

Nebenanlagen Heizung, Druckluft, Brauchwasser und Notstrom

Für die nicht in den Becken installierten Aggregate sind entsprechende Maschinen- und Betriebsgebäude errichtet worden.
Die Gebäude werden beheizt. Die hierfür notwendige Heizenergie wird mittels eines geeigneten Heizkessels mit Heizversorgungssystem übernommen.
Die überschüssige Wärmeenergie aus der anaeroben Stufe wirkt heizungsunterstützend.

Für die oben genannten Prozesse sind weiterhin eine Druckluft- und Brauchwasserbereitstellung notwendig. Dies wird über geeignete Aggregate realisiert.
↘$_{th}$, ↘$_e$

3. Energie – und CO_2 – Bilanz

3.1 Jahresenergie- und Stoffverbrauch

Für den Zeitraum 2014 wird für die Behandlung des Abwassers auf der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg ein Energieverbrauch in Höhe von 600.000 kWh aus dem öffentlichen Netz erwartet.

Thermisch werden für die Beheizung der Betriebsräume 79.000 kWh aufgewendet.

Der Hilfsstoff Eisen - III - Chlorid wird für die Phosphatfällung benötigt. Die Jahresmenge für das Jahr 2013 betrug 100 t.

3.2 CO2- Äquivalente

Für die Herleitung der CO_2 – Emissionen aus den Energie – und Stoffverbräuchen werden die Angaben des Energielieferanten der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg bzw. aus der Datenbank PROBAS des Umweltbundesamtes genutzt.

Energiebezug: elektrische Energie – CO_2 – Emission: 608 g/kWh[1]

Energiebezug: thermische Energie
Energieträger Erdgas–CO_2 – Emission: 0,565 kg CO_2/kg
Dichte: ~ 0,8 kg/m³
⇨ CO_2 – Emission: 0,452 kg CO_2/ m³
Heizwert: 10,5 kWh / m³

Stoffeinsatz: $FeCl_3$ – Für diesen Stoff sind keine Daten hinsichtlich Emissionen in der PROBAS – Datenbank hinterlegt. Geht man jedoch von den Grundstoffen für die Herstellung von Eisen und Chlor aus, kann zumindest ein Ansatz von 1,041 kg CO_2/kg $FeCL_3$ angenommen werden.

Für den Flockungshilfsstoff liegen keine geeigneten Daten vor. Da die Einsatzmasse relativ gering zu den anderen Emittenten ist, wird auf eine Angabe der Emission verzichtet.

1 Daten aus Energieträgermix Versorger enviaM 2013 Produkt Normalstrom

3.3 CO2- Emissionen

Kriterien:

Die CO_2 – Emissionen beschränken sich ausschließlich auf den ablaufenden internen Verfahrensprozess der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg.

Energiebezug

Die Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg wird im Jahr 2014 ca. 600.000 kWh / a für die Behandlung und Reinigung des zufließenden Abwassers aus dem öffentlichen Netz aufwenden. Demnach wird CO_2 in einer Höhe wie folgt emittiert:

600.000 kWh/a x 0,608 kg CO_2/kWh = 364.800 kg CO_2/ a.

Heizenergie

Die Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg wendet ca.
79.000 kWh / a für die Beheizung der Betriebsgebäude auf. Demnach wird CO_2 in einer Höhe wie folgt emittiert:

7497 m³ x 0,452 kg CO_2/m³ = 3.434 kg CO_2/ a.

Stoffeinsatz: FeCl3

Für die Fällung des Phosphates werden jährlich 100 t Eisen III – Chlorid dem Belebtschlamm zudosiert. Demnach wird CO_2 in einer Höhe wie folgt emittiert:

100 t FeCL3 /a x 104 kg CO_2 / t FeCL3 = 10.400 kg CO_2/ a.

3.4 CO2- Bilanz

Nachfolgend ist die Gliederung der CO_2 – emittierenden Komponenten grafisch dargestellt:

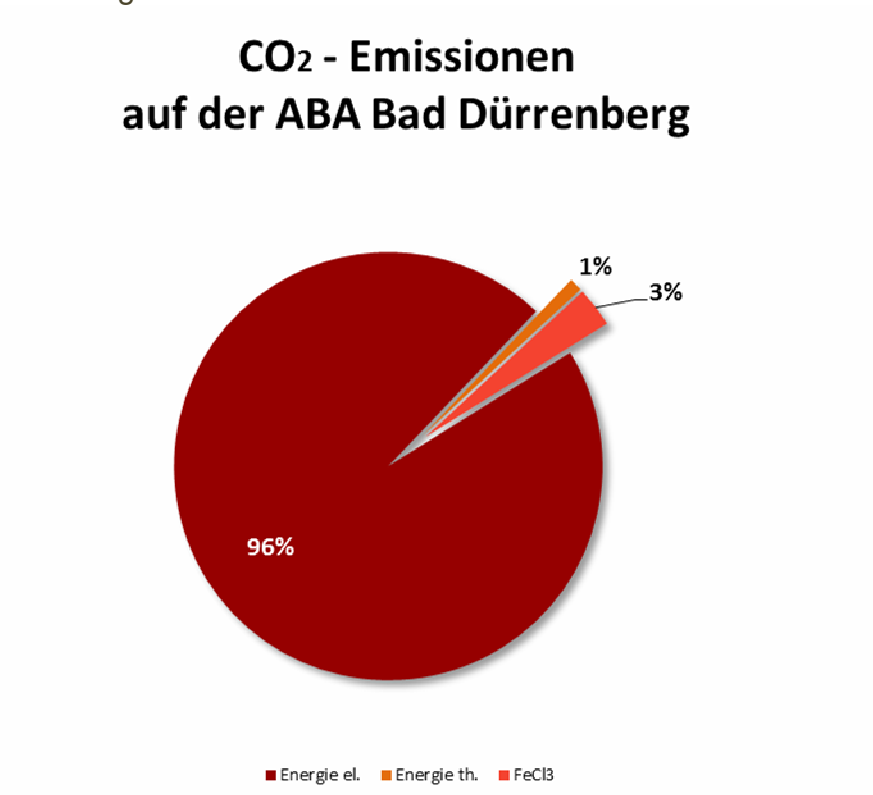


Abbildung 3: Diagramm CO2 - Bilanz

Die Grafik lässt den Schluss zu, dass ein wesentliches Potenzial im Bereich des elektrischen Energieverbrauches vorherrscht. Hiernach folgen die Stoffkosten für Eisen III Chlorid und Heizenergie.

3.5 Energieverbrauchsbilanz – Teilkomponente Energie elektrisch

Um das gesamte Einsparpotenzial an den elektrischen Verbrauchern erfassen zu können, sind auch die Verbräuche aufzuzeigen, die durch die regenerativen Energieerzeuger kompensiert werden.

Von den beiden installierten Photovoltaikanlagen werden ca. 32.000 kWh/a erzeugt.

Für die Hochlastfaulung wird für das Jahr 2014 ein Stromertrag von ca. 165.000 kWh erwartet. Für die nachfolgenden Berechnungen ist somit ein Verbrauch von ingesamt **797.000 kWh/a** maßgebend.

3.6 Energieverbrauch der Belebungsstufe

Der Energieverbrauch der Belebungsstufe wird von folgenden Aggregaten bestimmt:

Belebungsbecken:	6 Stück Rührwerke
	2 Stück Gebläse
	1 Stück Rezirkulationspumpe
Rücklaufschlammpumpwerk:	6 Rücklaufschlammpumpen

Schaltgeometrie der Aggregate

Belebungsbecken:

Es ist ein Belebungsbecken vorhanden. Dem Becken sind zwei Gebläse zugeordnet. Bei Belüftungsbedarf wird ein Gebläse auf Volllast hochgefahren bis der eingestellte Sauerstoffeintragswert erreicht ist. Anschließend wird der Sauerstoffeintragswertbereich gehalten. Die Belüftung wird unterbrochen, falls der gemessene NH_4 – Wert den eingestellten Abschaltwert unterschreitet. Das zweite Gebläse wird nur in Betrieb gesetzt, falls der geforderte Sollwert des Sauerstoffs in einem bestimmten Zeitintervall nicht erreicht wird.

Im Nitrifikationsteil des Belebungsbeckens sind insgesamt 4 Rührwerke installiert, die bei unbelüfteten Phasen in Betrieb gehen.

Im Denitrifikationsteil des Belebungsbeckens sind insgesamt 2 Rührwerke installiert, die sich in Dauerbetrieb befinden.

Für die notwendige Abbauleistung ist zwischen Denitrifikations- und Nitrifikationsraum eine Rezirkulationspumpe installiert. Diese wird ebenfalls 24 h am Tag betrieben.

Rücklaufschlammpumpwerk:

Im Trockenwetterfall sind zwei Rücklaufschlammpumpen in Betrieb. Der Durchsatz ist über das Prozessleitsystem vorgegeben. Bei Überschreiten eines Zuflussgrenzwertes im Zulaufpumpwerk (Regenwetterfall) wird eine dritte Rücklaufschlammpumpe in Betrieb gesetzt. Die anderen Pumpen werden redundant eingesetzt.

Energieverbrauch der Gebläseeinheiten

Grundlage für die Ermittlung der mittleren Energieaufnahme der Gebläse bilden zum einen die durchgeführten frequenzabhängigen Aufnahmeleistungsmessungen an den Gebläsen und die Frequenztagesganglinien der Gebläse, die am Prozessleitsystem aufgezeichnet wurden.

Leistungskennlinie der Gebläse

Je Gebläse ist ein Frequenzumformer zugeordnet. Bei der Leistungsmessung wurde über einen vorhandenen Frequenzumformer ein Frequenzspektrum von 25 bis 50 Hz gefahren. Dabei wurde der Aufnahmestrom mittels Messgerät registriert. Aus dem vorliegenden Datenbestand konnte folgende Kennlinie ermittelt werden:

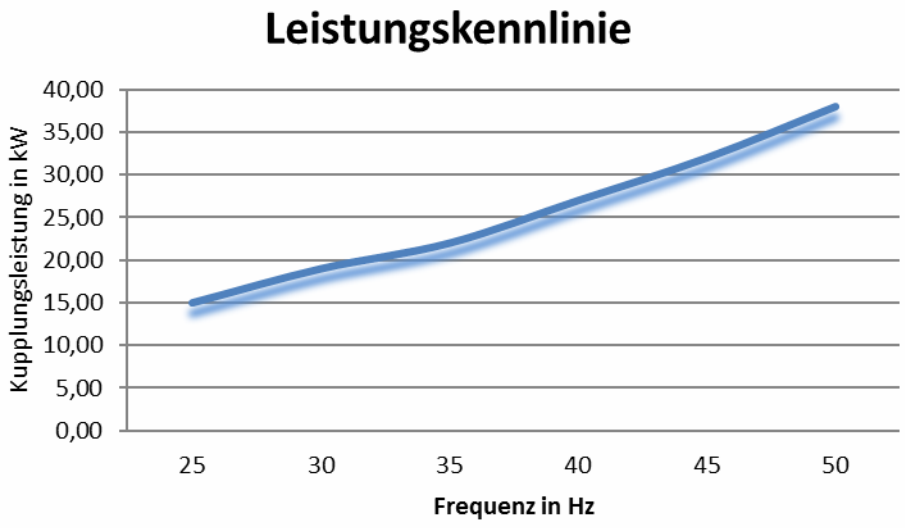


Abbildung 4: Leistungskennlinie Gebläse

Durchschn. Tagesverbrauch der Gebläse

Zur weiteren Energieverbrauchsanalyse wurden die Betriebsstunden für den Monat Juni 2014 herangezogen. Es wurde im Laufe des Betriebsmonates Juni festgestellt, dass das primäre Gebläse ca. 90% der Gesamtlaufzeit mit der Sollfrequenz von 50Hz, 5% mit der Frequenz von 40 Hz und 5 % mit der Frequenz von 35 Hz gelaufen ist.

Somit wurde für die Gebläse für den Monat Juni 2014 ein Verbrauch von 18.840 kWh ermittelt. Entsprechend der angefallenen Betriebsstunden im Jahr 2013 in Höhe von 6258 h ergibt sich ein Verbrauch für die Gebläse in Höhe von **229.220 kWh/a**.

Energieverbrauch der Rührwerke im Nitrifikationsbecken

Die Rührwerke sind in Betrieb, wenn die Gebläse durch die Steuerung abgeschaltet sind.

In den Nitrifikationsbecken sind insgesamt 4 Rührwerke installiert.

Rührwerke 1 bis 4: Fabrikat: Flygt

Die Betriebsstunden je Rührwerk betragen im Durchschnitt 1242 h/a mit einer durchschnittlichen Stromaufnahme von 4 A.

Der Aufnahmestrom wurde an allen Rührwerksabgängen in den zugehörigen Schaltschränken abgegriffen. Die Auswertung der Daten kommt zu dem Ergebnis, dass ein Energieverbrauch von insgesamt **11.724 kWh/a** durch die Umwälzung zu verzeichnen ist.

Energieverbrauch der Rührwerke im Denitrifikationsbecken

Die Rührwerke sind in Dauerbetrieb geschaltet, um eine Mindestgeschwindigkeit der Hydraulik über Beckensohle von 0,2 m/s zu erreichen.

Rührwerke 5 bis 6: Fabrikat: Flygt

Der Aufnahmestrom wurde an allen Rührwerksabgängen in den zugehörigen Schaltschränken abgegriffen. Die Auswertung der Daten kommt zu dem Ergebnis, dass ein Energieverbrauch von insgesamt **41.040 kWh/a** durch die Umwälzung zu verzeichnen ist.

Energieverbrauch der Rücklaufschlammförderung

Das Rücklaufverhältnis kann aufgrund der Nennförderleistungen der vorhandenen Pumpen nicht exakt auf den empfohlenen Bereich zwischen 0,7 und 1 eingeregelt werden. Beim Rücklaufverhältnis 0,7 laufen die Pumpen extrem außerhalb des Betriebspunktes, so dass ein schlechter Wirkungsgrad zu verzeichnen ist.

Die Leistungsmessung ist mit in den Verbrauch der Belebungsstufe eingeflossen. Aufgrund der vorhandenen Messungen in Verbindung mit den jährlichen Betriebsstunden der einzelnen Pumpen wird ein Jahresverbrauch von **106.000 kWh/a** verzeichnet.

Energieverbrauch der Rezirkulation

Der Aufnahmestrom wurde am Abgang im zugehörigen Schaltschrank abgegriffen. Die Auswertung der Daten kommt zu dem Ergebnis, dass ein Energieverbrauch von insgesamt **23.214 kWh/a** durch die Rezirkulation zu verzeichnen ist.

Durchschnittlicher Energieverbrauch der Belebungsstufe

Der Energieverbrauch durch die Gebläseeinheiten ist stark abhängig von der Zulauffracht. Aufgrund der vorliegenden Daten wird ein durchschnittlicher Energieverbrauch der Belebungsstufe von rd. 52% zum Gesamtenergieverbrauch festgestellt.

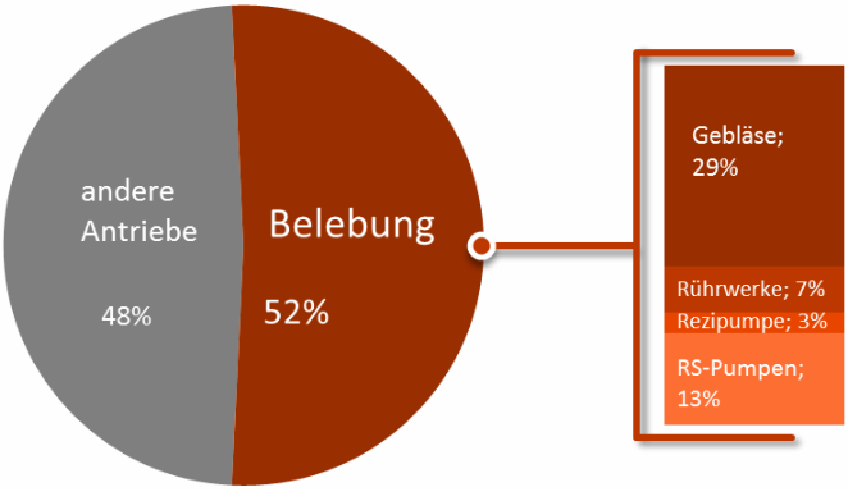


Abbildung 5: Energieverbrauchsanteil Belebungsstufe mit Ausweisung der Komponenten

Durchschnittlicher Energieverbrauch der Belebungsstufe - Einzelelemente

Der wesentliche Energieverbrauch in der Belebungsstufe wird auf der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg durch die Gebläse und Rücklaufschlammpumpen bestimmt.

Aufgrund der Datenlage würden somit folgende Jahresverbräuche für die einzelnen Komponenten vorliegen.

Gebläse:		229.000 kWh/a
Rührwerke Belebung:		53.000 kWh/a
Rücklaufschlammpumpen:		106.000 kWh/a
Rezirkulationspumpe:		23.000 kWh/a
Gesamtverbrauch:		~411.000 kWh/a
	bzw.	1.126 kWh/d

3.7 Energieverbrauch des Zulaufpumpwerks

Die jährliche Schmutzwassermenge betrug für das

Jahr 2013 1.932.000 m³.

Im Jahre 2012 betrug der Zufluss nur 1.421.000 m³. Aufgrund der im Jahr 2013 eingetretenen extremen Hochwassersituation in Sachsen-Anhalt kam es zu einem höheren hochwasser- und regenwetterbedingten Zuflussanteil. Da bis zum August 2014 kein weiterer erhöhter Aufwand hinsichtlich eines Hochwasserereignisses zu verzeichnen war, wird als Berechnungsgröße ein mittlerer Wert von **1.600.000 m³/a** zur Auswertung herangezogen.

Durch die Leistungsmessung wurde festgestellt, dass bei einer Fördermenge von 150 m³/h eine Leistungsaufnahme von 15,9 kW zu verzeichnen ist.

Der Energieverbrauch des Pumpwerkes wird von folgenden Aggregaten bestimmt:

Pumpwerk: 2 Stück Kanalradpumpen in Trockenaufstellung
mit einer max. Fördermenge von je 360 m³/h
2 Stück Kanalradpumpen in Trockenaufstellung
mit einer gedrosselten Fördermenge von je 420 m³/h

Schaltgeometrie der Aggregate

Pumpwerk:

Das Antriebsverhalten der Pumpen wird über eine Höhenstandsmessung im Vorlaufschacht des Pumpwerkes bestimmt. Die Schaltung der Pumpen wird über eine Grenzwertschaltung realisiert. Falls der Zulaufwasserstand den ersten Schaltpunkt erreicht, wird zunächst eine kleine Zulaufpumpe in Betrieb gesetzt. Falls die Zulaufmenge höher ist als die Fördermenge der Pumpe, steigt der Pegel im Zulaufschacht und der zweite Grenzwert wird aktiviert. Daraufhin wird eine zweite kleine Pumpe in Betrieb gesetzt. Bei noch höheren Zulaufmengen übernehmen größere Pumpen die Förderung.

Der maximale Zulauf ist dabei auf 1.000 m³/h begrenzt.

Leistungsmessung der Pumpen

Den Pumpen sind Frequenzumformer zugeordnet. Bei der Leistungsmessung wurden über einen der Frequenzumformer die Frequenz und der Strom bei einer voreingestellten Wasservorlage abgegriffen. Das Fördervolumen betrug dabei rd. 150 m³/h mit einer Frequenz von 40 Hz und einem Aufnahmestrom von 27 A.
Die ermittelte Leistungsaufnahme betrug dabei 15,9 kW.
Bei einem Fördervolumen von 320 m³/h und 50 Hz wurde eine Stromaufnahme von 30 A, entspricht 17,7 kW Aufnahmeleistung, verzeichnet. In Bezug zu der geförderten Menge wurde ein Leistungsaufwand von 0,1 kW/ m³ ermittelt.

Für das Zulaufpumpwerk wird somit ein durchschnittlicher Stromverbrauch von **160.000 kWh/a** aufgewendet.

Der Energieverbrauch zum Gesamtverbrauch stellt sich somit wie folgt dar:

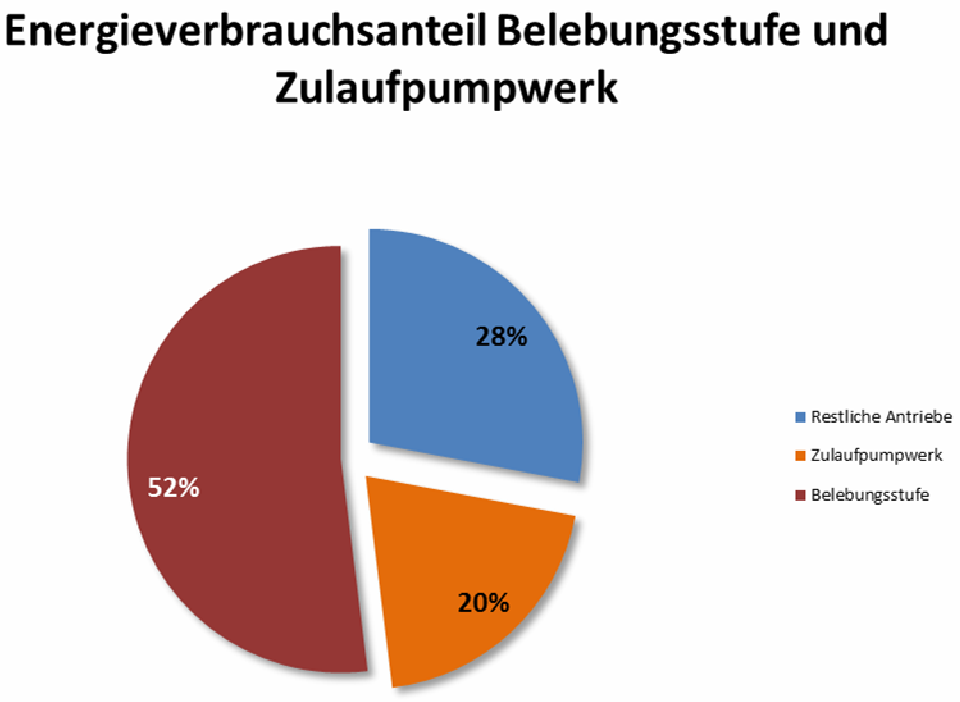


Abbildung 6: Energieverbrauchsanteil Zulaufpumpwerk

3.8 Energieverbrauch auffälliger Einzelverbraucher

Sandfangbelüftung

Der auf der Abwasserbehandlungsanlage installierte Doppelrundsandfang wird mittels eines Drehkolbengebläses belüftet. Die Belüftung wird als Dauerbelüftung vollzogen.

Die Messung an dem Aggregat hat eine Stromaufnahme von 4,25 A ergeben.
Somit wird eine Leistung von 2,5 kW aufgewendet.

Für die Belüftung des Sandfanges werden aufgrund der Messungen und des Dauerlaufes insgesamt **21.900 kWh/ a** aufgewendet.

Der Energieverbrauch zum Gesamtverbrauch stellt sich somit wie folgt dar:

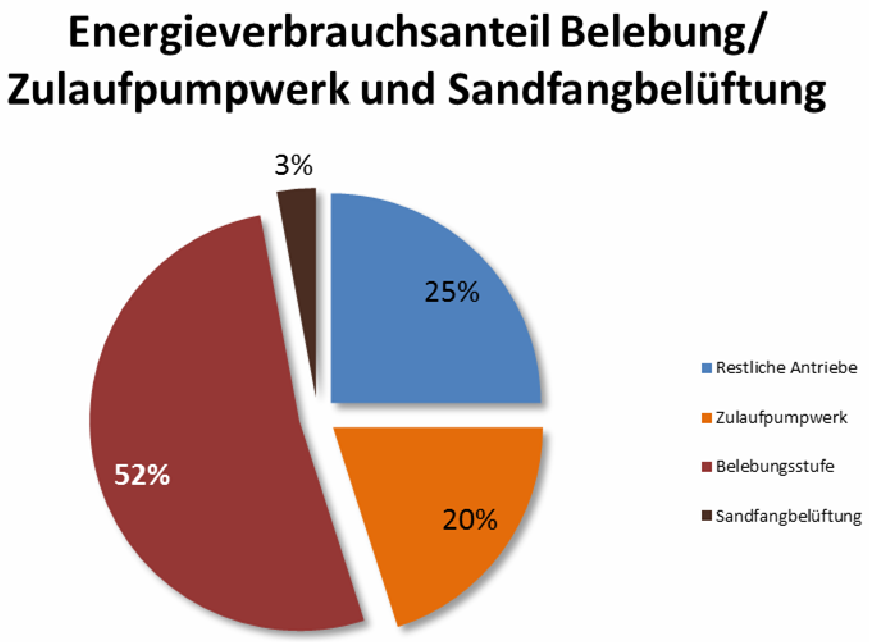


Abbildung 7: Energieverbrauchsanteil Sandfangbelüftung

Umwälzung Faulturm

Das im Faulturm enthaltende Schlammgemisch wird mittels einer Gaseinpressung umgewälzt. Die notwendige Druckerhöhung wird durch einen Drehschieberkompressor erzeugt. Die Umwälzung wird derzeit im 24 h Betrieb aufgrund eingetretener nicht vorhersehbarer Schaumbildung vollzogen.

Die Messung an dem Aggregat hat eine Stromaufnahme von 17,6 A ergeben. Somit wird eine Leistung von 12,2 kW aufgewendet.

Für die Umwälzung des Faulturminhaltes werden aufgrund der Messungen und des Dauerlaufes insgesamt **107.000 kWh/ a** aufgewendet.

Der Energieverbrauch zum Gesamtverbrauch stellt sich somit wie folgt dar:

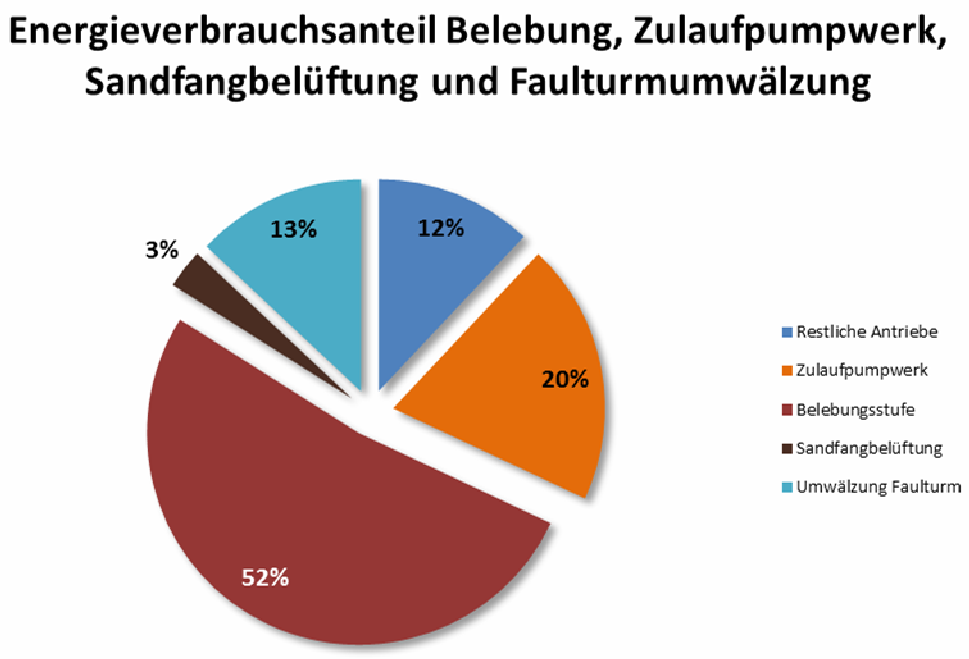


Abbildung 8: Energieverbrauchsanteil Umwälzung Faulturm

4. Potenzialanalyse

4.1 Potenzialanalyse Energieeffizienz Belebungsstufe

Das **größte Einsparpotenzial** liegt aufgrund der **Ist – Datenauswertung** im Bereich der **Belebungsstufe**, die mit **rd. 52%, ~ 411.000 kWh**, am Gesamtenergieverbrauch der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg beteiligt ist.

Umwälz- und Belüftungstechnologie:

In der Belebung ist ein effektiver Stoffwechselprozess der Mikroorganismen von der größtmöglichen Oberfläche der Schlammflocken, die schwebend in der wässrigen Phase Zugang zu Nährstoffen erhalten, abhängig. Dies wird außerhalb der Belüftungszeiten nach herkömmlicher Auffassung über eine Durchmischung mittels Rührwerke vollzogen. Diese Verfahrensweise wird ebenfalls auf der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg angewendet.

Durch die Rührwerke werden Querströmungen erzeugt, dabei sollen Schub- und Zugkomponenten horizontal auftriebsfördernd auf die Schlammflocken einwirken.

Da die umgebende wässrige Phase mit beschleunigt wird, existiert keine Relativgeschwindigkeit zwischen Schlammflocke und umgebender Phase und somit kein von außen generierter Auftrieb der Schlammflocke selbst, so dass diese innerhalb der wässrigen Phase zum Absinken bei einem linearen Strömungsvektor neigt. Auftriebsfördernd sind dabei die gegenseitigen Behinderungen der Schlammflocken zueinander und die nichtlinearen Komponenten der Strömung. Der visuelle Eindruck der Gesamtströmung an der Oberfläche der Belebungsbecken bestätigt diesen Effekt.

Stellt sich nun die Frage, ob die Schwebehaltung der Flocken mit wesentlich geringerem Aufwand generiert werden kann und sollten die auftriebsfördernden Faktoren der Flocken als potenzierender Faktor zur eingesetzten Technologie genutzt werden?

Offensichtlich werden auf verschiedenen anderen Abwasserbehandlungsanlagen hinsichtlich dieser Fragestellung neue Wege wie z.B. Kaiserslautern, Zeulenroda etc., gegangen.

Zum Beispiel wurde durch Umstellung der Belüftungs- und Umwälztechnologie der Belebungsbecken auf der Abwasserbehandlungsanlage Zeulenroda mit einem Anschlussgrad von 20.000 EW eine Energieverbrauchseinsparung von durchschnittlich 200.000 kWh/a erreicht.

Dabei wurden alle Umwälzeinrichtungen im Belebungsbecken entfernt und die Belegungsrate der Belüfter (komplett neu) am Beckenboden so erhöht, dass eine vollflächige Belüftung mit einem Belegungsgrad von 20% vorliegt. Während der Denitrifikationsphase bildet sich innerhalb von 10 min eine Klarwasserphase im Becken von ca. 20 cm. Nach dieser Zeitspanne wird der Beckeninhalt durch eine kurze Schwallbelüftung wieder homogenisiert. Zum Zeitpunkt der Umrüstung gab es noch keine Hybridgebläse auf dem Markt. Daher wurden herkömmliche Gebläse eingesetzt. Diesen o.g. Einsparungseffekt kann man nicht 1:1 auf andere Abwasserbehandlungsanlagen übertragen, da die Abwasserbehandlungsanlage mit einem energieaufwendigen System zuvor in Betrieb war.

Absetzungserscheinungen wurden bei den diversen vorgenommenen Kontrollen nicht festgestellt. Die Reinigungsleistung bleibt in der Denitrifikationsphase erhalten.

Würde man dieses Konzept auf den Betrieb der Belebungsbecken der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg spezifisch anwenden, käme ein wesentliches Energieeinsparpotenzial zum Tragen.

Bei Einsatz der zuvor beschriebenen Belüftungs- und Umwälztechnologie würde der eingesetzte Aufwand der derzeit in Betrieb befindlichen Rührwerke wegfallen. Bei Berücksichtigung des notwendigen Energiebedarfes für die Schwallbelüftung würde eine weitere Energieeinsparung von mindestens **117.000 kWh/a** möglich sein.

Gebläsetechnologie:

Durch Einsatz neuester Hybridgebläse kann der Wirkungsgrad dieser Einheiten erheblich verbessert werden. Der energetische Aufwand kann durchschnittlich um mindestens 5 – 7% gesenkt werden. Hieraus kann eine weitere Energieeinsparung in Höhe von weiteren **14.000 KWh/a** generiert werden.

Antriebstechnologie Rücklaufschlammförderung:

Da im Durchschnitt eine Mindestmenge gefördert werden muss, kann je Nachkläreinheit eine große Pumpe durch eine kleinere mit Hocheffizienzantrieb ersetzt werden. Die großen Pumpen laufen derzeit extrem außerhalb des nötigen Betriebspunktes. Die damaligen für die Auslegung relevanten hydraulischen Vorgaben aus den einschlägigen Regelwerken entsprechen nicht mehr den heutigen Vorgaben. Die hydraulisch notwendigen Rücklaufverhältnisse des Rücklaufschlammes haben sich seitdem minimiert.

Durch Einsatz einer solchen hocheffizienten Pumpe könnte ein energetisches Einsparpotenzial von mindestens 10 % (**10.000 kWh/a**) für diesen Bereich zum Tragen kommen. Dies bedeutet, dass von den insgesamt durchschnittlich aufgewendeten 106.000 kWh / a nur noch 96.000 kWh/a nötig wären.

4.2 Potenzialanalyse Energieeffizienz Zulaufpumpwerk

Ersatz der Antriebe durch Hocheffizienzmotoren für die Vorrangpumpen:

Der Bereich des Zulaufpumpwerkes ist mit einem Gesamtenergieverbrauch in Höhe von 20%, ~ 160.000 kWh/a, am Gesamtenergiebedarf beteiligt. Vorwiegend arbeitet eine Pumpe im Dauerbetrieb. Die Steuerung ist darauf ausgelegt, dass ein festgelegtes Vorlaufniveau gehalten wird. Dabei arbeiteten die Pumpen derzeit nicht im energetisch günstigen Betriebspunkt.

Die Ansteuerung soll in Zukunft so gestaltet werden, dass diese im Betriebspunkt fahren. Beim Absinken des Vorlaufniveaus steuert die Drehzahlregelung nach. Im Zusammenhang mit einem hocheffizienten Antrieb können durchaus Einsparungen in Höhe von 12 % erreicht werden.

Somit können ca. **20.000 kWh /a** eingespart werden.

4.3 Potenzialanalyse Energieeffizienz Sandfangbelüftung

Der Sandfang hat die Aufgabe, Partikel ab einer Größe von 0,1 bis 0,2 mm zurückzuhalten. Diese Partikel bestehen jedoch nicht ausschließlich aus Sand sondern auch aus biologischem Material. Durch die Belüftung soll die Fließgeschwindigkeit im Sandfang herabgesetzt werden, um so diese Partikel durch Schwerkrafttrennung abzuscheiden.

Verringert man die Lufteintragsleistung, so wird die Fließgeschwindigkeit erhöht und die organischen größeren Bestandteile können somit im Vorklärbecken abgeschieden und im Faulturm genutzt werden. Die durchgeleiteten Sandpartikel können durch die Sedimentabscheidung im Faulturm entfernt werden und tragen im anschließenden Entwässerungssystem zu einem höheren Entwässerungsgrad bei.

Um die Lufteintragsleistung optimal auszurichten, ist das Gebläse mit einem Frequenzumformer nachzurüsten. Es wird erwartet, dass ein Einsparpotenzial in Höhe von **10.000 kWh/a** zu erreichen ist.

4.4 Potenzialanalyse Energieeffizienz Faulturmumwälzung

Im Rahmen des Faulturmbetriebes wurde festgestellt, dass unter bestimmten Voraussetzungen - wie unterschiedliches Schlammverhältnis zwischen Überschuss- und Primärschlamm - eine erhöhte Schaumbildung im Reaktor zu verzeichnen ist. Hierauf wurde die Umwälzung vorsorglich auf Dauerbetrieb gestellt.

Im Rahmen von Untersuchungen wurde auf ein günstiges Schlammmischverhältnis hingearbeitet, so dass nunmehr die Umwälzung variabel auf das anstehende Schlammbild angepasst werden kann.

Es wird angenommen, dass die tägliche Umwälzzeit auf ca. 8 h / Tag begrenzt und somit der energetische Aufwand um **70.000 kWh/a** verringert werden kann.

5. Maßnahmen

5.1 Maßnahmenarten

Um eine strategisch sinnvolle Umsetzung von Maßnahmen zu vollziehen, sollten diese anhand der Durchführbarkeit in Abhängigkeit der Finanzierung gegliedert sein und zwar in Durchgeführte Maßnahmen (D), Sofortmaßnahmen (S), Kurzfristige (K) und Abhängige Maßnahmen (A).

Definition Maßnahmenart:

Maßnahmenart	Definition	Ausführungszeitraum
Durchgeführte Maßnahmen	sind Maßnahmen, die außerhalb dieser Studie veranlasst wurden bzw. sich in der Planungsphase oder in Abhängigkeit von Fördermittelbereitstellungen befinden. Eine energetische Bewertung dieser Maßnahmen sollte jedoch in der Gesamtbetrachtung berücksichtigt werden, da vielfach eine energetische bzw. stoffliche Abhängigkeit zu anderen Maßnahmen besteht.	
Sofortmaßnahmen	sind minimalinvestiv und können unter Berücksichtigung der Reinigungsanforderungen und der verfahrenstechnischen Gegebenheiten schnell umgesetzt werden.	max. 2 Jahre
Kurzfristige Maßnahmen	sind generell wirtschaftlich und bedürfen einer planerischen Umsetzung und Prüfung, da diese auch zu verfahrenstechnische Auswirkungen führen können.	2 – 5 Jahre
Abhängige Maßnahmen	sind an viele Randbedingungen gebunden – wie z.B. effizientes Ersatzaggregat wird nach Ablauf der Nutzungsdauer des zu ersetzenden Aggregates installiert.	1 – 10 Jahre

Rahmenparameter für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Maßnahmen:

Die nachfolgend unterbreiteten Vorschläge unterliegen Abschätzungen und sind vor Umsetzung dezidiert im Rahmen des Leistungsbildes der Leistungsphase 2 durch den zu beauftragenden Planer zu untersetzen.

5.2 Sofortmaßnahmen

S 01: Verringerung der Belüftungsleistung Sandfang

Für die Verringerung der Gebläseleistung ist ein Frequenzumformer einschl. notwendiger Einpflegung in das Prozessleitsystem zu installieren.

Kosten:

Für die Anpassungsarbeiten der Ansteuerung des Gebläses wird ein Kostenansatz in Höhe von

10.000;- € brutto einschl. Nebenkosten veranschlagt.

Wirtschaftlichkeitsabschätzung:

Die Wirtschaftlichkeitsabschätzung ist aufgrund des geringen investiven Aufwandes als einfache Abschätzung nachfolgend aufgeführt.

Einsparpotenzial:	10.000 kWh/a
Energiepreis Versorger:	21,44 ct / kWh brutto
Entsprechende Einsparung:	2.143,95 € brutto/a
Amortisationszeit:	4,66 Jahre

S 02: Verringerung der Umwälzzeit im Faulturm

Der Faulturm verfügt über eine Schaumerkennungssonde. Über diese kann die Schaumwachstumstendenz ermittelt und über diese nachrangig die Umwälzung angesprochen werden. Notwendige Arbeiten sind hierbei programmtechnisch umzusetzen. Für das entsprechende Mischungsverhältnis zwischen Überschuss- und Primärschlamm ist eine Bilanzierungsübersicht auf dem Prozessleitsystem zu schaffen, um so kontrolliert in den Vorprozess der Mischschlammvorlage einwirken zu können.

Kosten:

Für die Anpassungsarbeiten der Ansteuerung des Umwälzkompressors wird ein Kostenansatz in Höhe von

10.000;- € brutto einschl. Nebenkosten veranschlagt.

Wirtschaftlichkeitsabschätzung:

Die Wirtschaftlichkeitsabschätzung ist aufgrund des geringen investiven Aufwandes als einfache Abschätzung nachfolgend aufgeführt.

Einsparpotenzial:	70.000 kWh/a
Energiepreis Versorger:	21,44 ct / kWh brutto
Entsprechende Einsparung:	15.000 € brutto/a
Amortisationszeit:	0,66 Jahre

5.3 Kurzfristige Maßnahmen

K 01: Umstellung auf eine Flächenbelüftung einschl. Erzeugung einer Pfropfenströmung des in Betrieb befindlichen Belebungsbeckens und Ertüchtigung der Rücklaufschlammförderung und eines Gebläses

Wie bereits in der Energieanalyse verzeichnet, werden derzeitig im Durchschnitt 1.126 kWh/d für die Belebungsstufe aufgewendet.

Flächenbelüftung

Die bereits mehrfach bundesweit eingesetzte neue Technologie beruht auf folgenden Merkmalen:

- Verzicht auf Rührwerkstechnik im Belebungsraum
- Vollflächiger Belegungsgrad des Belebungsbeckens mit Membranflächenbelüftern
- Kürzere Intervallzeiten der Deni- und Nitrifikationsphase
- Kurzzeitige Schwallbelüftungsschübe in Taktung während des Denitrifiäkationszeitraumes
- Erzeugung einer gerichteten Pfropfenströmung zwischen Zulauf und Ablauf im Belebungsbecken

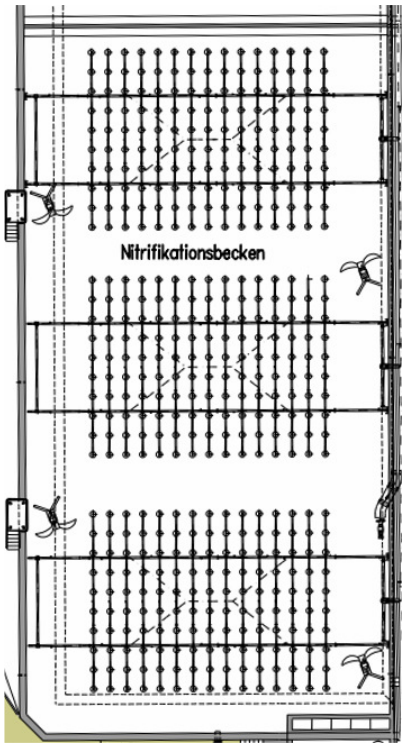
Systemgrenze für Investitionskostenschätzung und Energiespektrum

Belebungsbeckenraum
- Zulaufrohr bis Ablaufkante des Beckens

Notwendige Maßnahmen:

Die im Belebungsbecken befindliche Belüftungsanordnung ist zu ändern, so dass eine vollflächige Belüftung entsteht. Die momentane und zukünftige Einbausituation ist anhand beider nachfolgender Systemabbildungen zu ersehen.

Bauliche Situation Bestand



Bauliche Situation Umsetzung Maßnahme

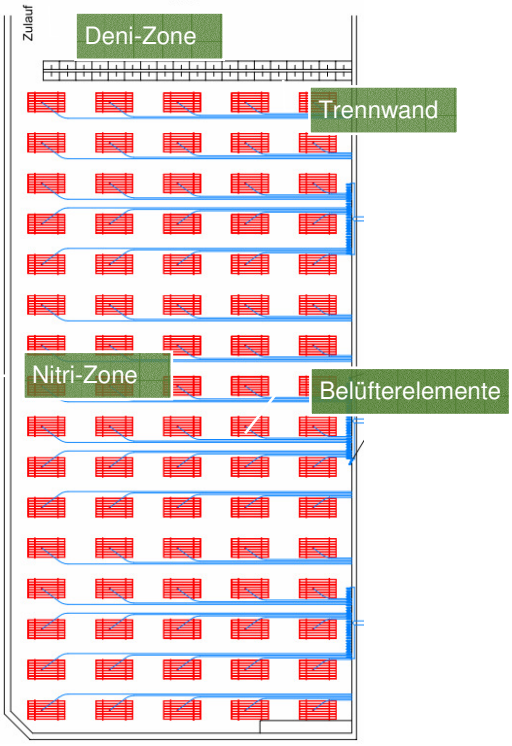


Abbildung 9: Detail Ertüchtigung des Belebungsbeckens

Gebläseertüchtigung

Ertüchtigung der Gebläsestufe durch Einsatz eines effizienten Hybridgebläses

Systemgrenze für Investitionskostenschätzung und Energiespektrum

Gebläseraum vorhandener Anschlussstutzen

Notwendige Maßnahmen:

Entfernen des vorhandenen Gebläses.
Einbau des neuen Gebläses sowie elektrischer Anschluss.

Ertüchtigung Rücklaufschlammförderung

Für jedes Nachklärbecken ist jeweils eine auf die neuen Rücklaufschlammverhältnisse abgestimmte Rücklaufschlammpumpe einschl. Hocheffizienzmotor zu installieren.
Je Nachklärbecken bleibt die jeweils redundante Pumpe erhalten.

Systemgrenze für Investitionskostenschätzung und Energiespektrum

Pumpenraum vorhandener Anschlussstutzen

Notwendige Maßnahmen:

Entfernen der vorhandenen Pumpen.
Einbau der neuen Pumpen sowie elektrischer Anschluss.

Kosten:

Rahmenbedingungen:

Es wird davon ausgegangen, dass das Revisionsbecken I bauseitig in Betrieb genommen wurde und das Belebungsbecken für die Installation entleert und gereinigt ist.

Für die Anpassungsarbeiten der Belüftungsgitter, Demontage der Rührwerke, Installation des Gebläses und der Rücklaufschlammpumpen wird ein Kostenansatz in Höhe von

340.000;- € brutto einschl. Nebenkosten veranschlagt.

Wirtschaftlichkeitsabschätzung:

Die Wirtschaftlichkeitsabschätzung wird auf der Basis der KVR – Leitlinien der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) durchgeführt, um einen hinreichenden Anhaltspunkt für die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme zu erreichen.

Durchschnittliche Nutzungsdauer für neu installierte Belüfter: 20 Jahre

Durchschnittliche Nutzungsdauer für Rührwerke, Pumpen, Gebläse: 15 Jahre

Betrachtungszeitraum: 20 Jahre

Hinweis:
Es wird bei der Betrachtung vorausgesetzt, dass die Rührwerke, Gebläse und Pumpen im Neuzustand vorliegen.

Umsetzung der Maßnahme:

Variante 1: Umbaumaßnahmen finden nicht statt.

Laufende Kosten für den Energiebedarf von: 1126 kWh/d

Preisbasis Rechnungsunterlagen Energieversorger 2014: 21,44 ct/kWh

Preisanpassung Energie über die Laufzeit: 3,5%/a

Umsatzsteuer im Vergleichszeitraum: 19%

Reinvestition für auf der Abwasserbehandlungsanlage vorhandene Aggregate

Rührwerke	Nutzungsdauer	15 Jahre	15.000 € brutto pro Stück
Gebläse	Nutzungsdauer	15 Jahre	12.000 € brutto pro Stück
Pumpe	Nutzungsdauer	15 Jahre	10.000 € brutto pro Stück
Belüfterelemente ND		15 Jahre	20.000 €

zum Zeitpunkt der Reinvestition.

Laufende Kosten Energie:

1126 kWh/d x 365 d ≈ 411.000 kWh/ a

LK = 411.000 kWh/a * 0,2144 €/kWh =88.118 € / $a_{(2015)}$

Reinvestition der Rührwerke zum Reinvestitionszeitpunkt
15 Jahre zu Bezugszeitpunkt 2015

IKR = 4 * 15.000 €(Rührwerke) + 12.000 € + 10.000 € + 20.000 € = 102.000 €

Berücksichtigung der Kostensteigerung für
laufende Kosten über Faktor: DFAKR(3,5;20) = 14,2124

Berücksichtigung Reinvestition Faktor DFAKE(3;15) = 0,64186

Projektkostenbarwert Variante 1:

LK1 = 88.118 € x 14,2124 =	1.252.368 €
IKR = 102.000 € x 0,62317 =	63.563 €
PKBW 1:	**1.315.913 €**

Variante 2: Umbaumaßnahmen finden statt.

Investitionskosten : IK = 340.000 €

Laufende Kosten Energie:

740 kWh/d x 365 d = 270.000 kWh/ a
LK = 270.000 kWh/a * 0,2144 €/kWh =57.888 € / $a_{(2015)}$

Reinvestition für auf der Abwasserbehandlungsanlage neue Aggregate

Gebläse	Nutzungsdauer	15 Jahre	15.000 € brutto pro Stück
Pumpe	Nutzungsdauer	15 Jahre	15.000 € brutto pro Stück
Belüfterelemente ND		20 Jahre	110.000 € brutto

IKR_{15} = 30.000 €
IKR_{20} = 110.000 €

Berücksichtigung der Kostensteigerung für
laufende Kosten über Faktor: DFAKR(3,5;20) = 14,2124

Berücksichtigung Reinvestition Faktor DFAKE(3;15) = 0,64186
Berücksichtigung Reinvestition Faktor DFAKE(3;20) = 0,55368

Projektkostenbarwert Variante 2:

IK_2 =	340.000 €
LK_2 = 57.888 € x 14,2124 =	822.727 €
$IKR_{2,15}$ = 30.000 € x 0,64186 =	19.256 €
$IKR_{2,20}$ = 100.000 € x 0,55368 =	60.905 €
PKBW 2:	**1.242.888 €**

Der Vergleich beider Projektkostenbarwerte weist eindeutig den Vorteil der Variante 2
Umstellung auf eine Flächenbelüftung einschl. Erzeugung einer Pfropfenströmung des in Betrieb befindlichen Belebungsbeckens und Ertüchtigung der Rücklaufschlammförderung und eines Gebläses auf.

Um den Vorteil der Variante weiter einzugrenzen, wurde eine detaillierte Einzelkostenrechnung beider Varianten durchgeführt.

Der Kostenverlauf der Varianten zueinander ist im nachfolgenden Diagramm ersichtlich.

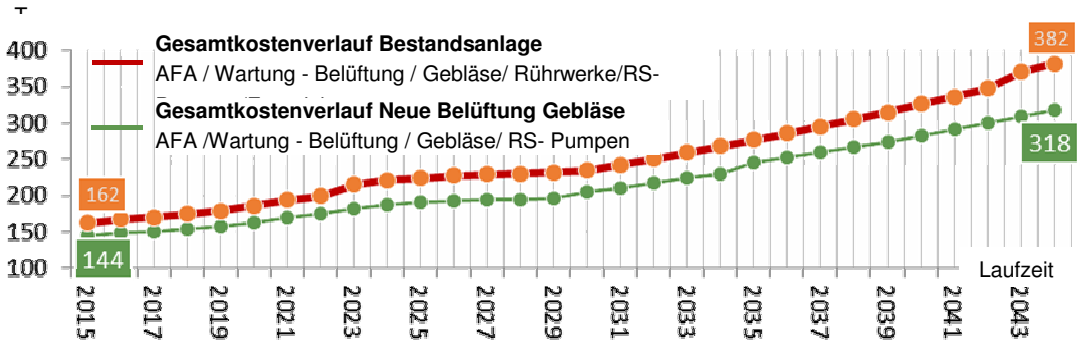


Abbildung 10: Kostenverlauf Variante 1 zu Variante 2

Umsetzungsempfehlung:

Aufgrund des hohen Energieeinsparpotenzials und dem Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsabschätzung sollte diese Maßnahme vorrangig umgesetzt werden.

K 02: effizienter Ersatzantrieb für eine Zulaufpumpe im Zulaufpumpwerk für die Vorrangpumpe

Der jährliche Energieaufwand für das Zulaufpumpwerk liegt bei 160.000 kWh /a.

Bei Ersatz eines Antriebes durch einen effizienten Antrieb neuester Generation einschl. auf den Betriebspunkt ausgerichteten Ansteuerungsverhaltens können durchschnittlich **20.000 kWh/a** an Energieverbrauch des Pumpwerkes eingespart werden.

Kosten:

Rahmenbedingungen:

Die Ersatzkosten für einen Antrieb beinhalten den Austausch des Motors einschl. zugehörenden Frequenzumformers. Derzeit liegen die Kosten in dieser Leistungsklasse bei durchschnittlich 9.000 €/Pumpe.

Wirtschaftlichkeitsabschätzung:

Durchschnittliche Nutzungsdauer für den Antrieb:	20 Jahre
Betrachtungszeitraum:	30 Jahre

Umsetzung der Maßnahme:

Variante 1: Umbaumaßnahmen finden nicht statt.

Laufende Kosten für den Energiebedarf von 438 kWh/d.

Sonstige Parameter wie unter K01.

Reinvestition des Standardantriebes.

Investitionskostenniveau: IK_1 = 0 €

Laufende Kosten Energie:

438 kWh/d x 365 d = 160.000 kWh/ a

LK = 160.000 kWh/a * 0,2144 €/kWh =34.304 € / $a_{(2015)}$

Reinvestitionskostenniveau = Investitionskostenniveau

IKR = 0 €

Berücksichtigung der Kostensteigerung für
laufende Kosten über Faktor: DFAKR(3,5;30) = 18,3920

Berücksichtigung Reinvestition Faktor DFAKE(3;20) = 0,55368

Variante 2: Umbaumaßnahmen finden statt.

Investitionskosten :

IK = Investitionskostenniveau Variante 1 + Mehrkosten Effizienzvariante
Mehrkosten Effizienzvariante 9.000 €

Laufende Kosten Energie:

383 kWh/d x 365 d = 140.000 kWh/ a
LK = 140.000 kWh/a * 0,2144 €/kWh =30.016 € / $a_{(2015)}$

Reinvestition der Pumpe zum Reinvestitionszeitpunkt
20 Jahre zu Bezugszeitpunkt 2015

IKR = Reinvestitionskostenniveau Variante 1 + Mehrkosten Effizienzvariante
Mehrkosten Hybridvariante 20.000 € zum Reinvestitionszeitpunkt

Berücksichtigung der Kostensteigerung für laufende Kosten über Faktor: DFAKR(3,5;30) =	18,3920
Berücksichtigung Reinvestition Faktor DFAKE(3;20) =	0,55368

Projektkostenbarwert Variante 1:

LK_1 = 34.304 € x 18,3920 = 630.919 €

PKBW 1: 630.919 €

Projektkostenbarwert Variante 2:

IK_2 =	9.000 €
LK_2 = 30.016 € x 18,3920 =	552.054 €
IKR_2 = 20.000 € x 0,55368 =	11.074 €

PKBW 2: 572.128 €

Der Vergleich der beiden Projektkostenbarwerte weist eindeutig den Vorteil der Variante 2
Umsetzung der Maßnahme: effizienter Ersatzantrieb für eine Zulaufpumpe im Zulaufpumpwerk
auf.

Umsetzungsempfehlung:

Im Rahmen der Umsetzungsempfehlung im Punkt K01 sollte die Maßnahme nach Umsetzung der Maßnahme K01 erfolgen.
Der Gesamtenergiebedarf sinkt somit auf ~ **556.000 kWh/a**.

5.4 Zusammenstellung der Maßnahmen

S 01	*Verringerung der Belüftungsleistung Sandfang*
Energieeinsparung auf der Verbraucherseite:	10.000 kWh/a ≈ 6.080 t CO_2/a
Investitionsbedarf:	10.000 € brutto
Wirtschaftlichkeit:	Amortisation < 5 Jahre; Basis: 21,44ct /kWh
Empfehlung:	Maßnahme ist zeitnah umzusetzen

S 02	*Verringerung der Umwälzzeit im Faulturm*
Energieeinsparung auf der Verbraucherseite:	70.000 kWh/a ~ 42.560 CO_2/a
Investitionsbedarf:	10.000 € brutto
Wirtschaftlichkeit:	Amortisation < 1 Jahr; Basis: 21,44ct /kWh
Empfehlung:	Maßnahme ist zeitnah umzusetzen

K 01	*Umstellung auf eine Flächenbelüftung einschl. Erzeugung einer Pfropfenströmung des in Betrieb befindlichen Belebungsbeckens und Ertüchtigung der Rücklaufschlammförderung und eines Gebläses*
Energieeinsparung auf der Verbraucherseite:	141.000 kWh/a ~ 85.728 CO_2/a
Investitionsbedarf:	340.000 € brutto
Wirtschaftlichkeit:	Maßnahme ist wirtschaftlich; detaillierte Prüfung ist in der planerischen Umsetzung notwendig
Empfehlung:	Maßnahme ist zeitnah umzusetzen

K 02	*effizienter Ersatzantrieb für eine Zulaufpumpe im Zulaufpumpwerk für die Vorrangpumpe*
Energieeinsparung auf der Verbraucherseite:	20.000 kWh/a ~ 12.160 CO_2/a
Investitionsbedarf:	Reinvestition von vorhandener Pumpe bereits notwendig; Mehrkosten Effizienzvariante 9.000 €
Wirtschaftlichkeit:	Maßnahme ist wirtschaftlich; detaillierte Prüfung in der planerischen Umsetzung notwendig
Empfehlung:	Maßnahme ist zeitnah in Abhängigkeit von K01 nachgegliedert umzusetzen

6. Zusammenfassung der durchgeführten Akteursbeteiligung

Die Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg ist dem Verfasser durch die weitreichend in der Vergangenheit liegenden Planungen hinreichend bekannt, so dass keine relevanten Erörterungen seitens des Betreibers notwendig waren.

Anlässlich der energetischen Bestandsaufnahme wurden mit dem Betriebspersonal Leistungsmessungen auf dem Gelände der Abwasserbehandlungsanlage durchgeführt. Mit dem zuständigen Betriebspersonal wurden frühzeitig erste Ideen für mögliche Maßnahmen und Betriebsverbesserungen entwickelt.

In der Umsetzungsphase des Klimaschutzteilkonzeptes fand ein regelmäßiger
Austausch mit den entsprechenden Ansprechpartnern für die Verwaltung und
Überwachung des Kläranlagenbetriebes statt. Auf Grundlage der vorgenommenen Feinanalyse wurden dem Betreiber der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg energiesparende Maßnahmen vorgestellt.

7. Controlling - Konzept

7.1 Erfassung zukünftiger Energieverbräuche und Abbildung der CO_2 – Emissionen

Bei der Umsetzung der zuvor angesprochenen Maßnahmen sollte möglichst darauf geachtet werden, dass die Stromaufnahmen über die zugehörenden Frequenzumformer geeignet in das Archivierungssystem des Prozessleitsystems abgelegt werden. Bei größeren Maßnahmen ist es zudem sinnvoll, eine Stromaufnahmemessung in der jeweiligen SPS-Unterstation zu integrieren. Mit diesen Voraussetzungen sind somit auch personelle Aufwendungen für die manuelle Erfassung der Energieverbräuche weitgehend minimiert.

Die aufgenommenen Energiedaten sollten in eine speziell hierfür angelegte Verbrauchermatrix eingepflegt werden. In diese Matrix sollten zudem verfahrensspezifische Kennwerte, die aus den Aufzeichnungen des Betriebstagebuches stammen, mit eingegliedert werden. Somit können frachtbezogene Lastwerte ermittelt und interpretiert werden. Mit den aufbereiteten Daten kann somit der Erfolg der aufgezeigten Maßnahmen nachgewiesen werden.

7.2 Überprüfung erreichter Klimaschutzziele

Durch die angeführten Maßnahmen soll eine weitere Senkung der CO_2 – Emissionen auf der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg erreicht werden. Dabei soll als Ziellösung der Energieverbrauch unter dem Niveau der Eigenstromerzeugungsmenge aus Faulgas in Abhängigkeit von Platzierungen neuer Technologien, die sich derzeitig noch in der Entwicklungsphase befinden, angestrebt werden. Diese neuen Technologien können derzeitig noch nicht bewertet und somit nicht in der Betrachtung berücksichtigt werden.

Die Berücksichtigung der Eigenstromerzeugung kann nicht in die Betrachtung einbezogen werden, da gegenwärtig der Faulturmanlagekomplex einem verfahrenstechnischen Optimierungszyklus unterzogen wird.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die entsprechenden CO_2- Einsparpotenziale ohne Einfluss der Eigenstromproduktion maßnahmenbezogen auf.

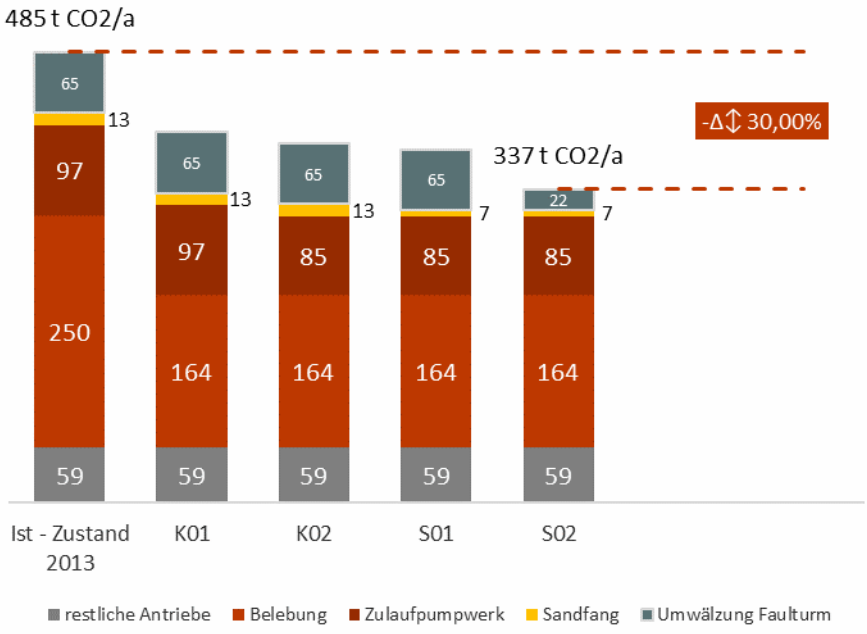


Abbildung 11: Maßnahmenbezogene CO2 - Einsparpotenziale

8. Vorschläge zur Umsetzung der Öffentlichkeitsarbeit

Für die Veröffentlichung der herausgearbeiteten Ergebnisse des Klimaschutzteilkonzeptes wird vorgeschlagen, die Medien und Möglichkeiten zu nutzen, die sonst für Veröffentlichungen genutzt worden sind.

Dies sind Bekanntmachungen in den regionalen Pressemedien und Einträge auf der Verbandswebseite des ZWA Bad Dürrenberg. Des Weiteren sollte eine Präsentation in Kurzform auf der Verbandwebseite im PDF der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt werden.
Die Erfolgskontrolle bereits durchgeführter Maßnahmen sollte ebenfalls als Ergebnispräsentation verfügbar sein.

9. Zusammenfassung

Die im - KSI: Klimaschutzteilkonzept für klimafreundliche Abwasserbehandlung - herausgearbeiteten Vorschläge stellen eine herausragende Lösung für die zukünftige Betriebsweise mittelgroßer Abwasserbehandlungsanlagen dar.

Durch das Ineinandergreifen von Eigenstromerzeugung auf der einen und Energiesparmaßnahmen auf der anderen Seite kann der angestrebte Effizienzgrad der Abwasserbehandlungsanlage Bad Dürrenberg erhöht werden und somit ein wesentlicher Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden.

Aufgestellt:

Ingenieurbüro Stockleben GmbH
Bad Dürrenberg, im September 2014