

Abschlussbericht

zum Vorhaben

Energieoptimierung der Kläranlage Blümeltal

KFW-Aktenzeichen: MBc3 – 001921

Zuwendungsempfänger/-in

Stadt Pirmasens

Umweltbereich

Wasser/Abwasser, Energie

Laufzeit des Vorhabens

09/2011 – 12/2015

Autor/-en

Michael Maas, Norbert Meyer, Thomas Wolf

**Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und
Reaktorsicherheit**

Datum der Erstellung

11.07.2016

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA: UBA: MBC3-	Projekt-Nr.: 001921
Titel des Vorhabens: Energieoptimierung der Kläranlage Blümeltal	
Autor/-en (Name, Vorname): Michael Maas Norbert Mayer Thomas Wolf	Vorhabenbeginn: 09/2011
	Vorhabenende (Abschlussdatum): 12/2015
Zuwendungsempfänger/-in (Name, Anschrift): Stadt Pirmasens Exerzierplatzstraße 17 66953 Pirmasens	Veröffentlichungsdatum:
	Seitenanzahl: 48
Gefördert aus Mitteln des BMUB-Umweltinnovationsprogramms des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.	
Kurzfassung: Die Kläranlage Blümeltal wurde mit dem Ziel optimiert, die Energie- und Betriebsmittelkosten zu minimieren, ohne die Reinigungsleistung der Kläranlage zu beeinträchtigen. Durch eine abgestimmte Modernisierung der Verfahrens-, Mess- und Regelungstechnik, mit einem intelligenten Lastmanagement als Kern der Optimierungsmaßnahme ist es gelungen, einen spezifischen Energieverbrauch von unter 20 kWh/EW-a zu erreichen und gleichzeitig die Reinigungsleistung auf hohem Niveau zu stabilisieren.	
Schlagwörter: Energieoptimierung, intelligentes Lastmanagement, Verfahrens-, Mess- und Regelungstechnik	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: Elektronischer Datenträger:	Sonstige Medien: Veröffentlichung im Internet geplant auf der Webseite:

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency: MBc3-	Project-No.: 001921
Report Title: Energy optimisation at the Blümeltal wastewater treatment plant	
Author/Authors (Family Name, First Name): Michael Maas Norbert Mayer Thomas Wolf	Start of project: 09/2011
	End of project: 12/2015
Performing Organisation (Name, Address): Stadt Pirmasens Exerzierplatzstraße 17 66953 Pirmasens	Publication Date: No. of Pages: 48
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety.	
Summary: The Blümeltal wastewater treatment plant was optimised in order to minimize the energy- and resources costs without reducing its cleaning capacity. By an adapted modernisation of the procedural, measuring and control techniques combined with an intelligent load management, the energy consumption was reduced to <20 kWh/E·a and stabilisation of the cleaning capacity on a technologically advanced level.	
Keywords: Energy optimisation, intelligent load management, procedural, measuring and control techniques	

Zusammenfassung

– Einleitung

Kommune, Stadtverwaltung Pirmasens, 1.000 Beschäftigte.

Die Kläranlage Blüemetal ist eine mechanisch-biologisch reinigende Abwasserbehandlungsanlage mit einer Ausbaugröße von 62.000 Einwohnerwerten, deren Ist-Belastung allerdings bei nur 45.000 Einwohnerwerten lag. Sie ist ein Beispiel für eine über Jahrzehnte gewachsene Anlage, deren Beckenanordnungen und Verfahrensanpassungen sich aus den Anforderungen an den jeweiligen Stand der Technik ergeben haben. Ziel war die Energieoptimierung bei gleichbleibend hoher Reinigungsleistung. Die Innovation besteht aus dem anlagenübergreifenden Gedanken, das Lastprofil der biologischen Reinigungsstufe als interaktiven Koordinator für den nachfolgenden Betrieb der Anlagenkomponenten zu verwenden. Alle Stufen der Anlage und ihre Wechselwirkungen wurden in das Gesamtkonzept einbezogen.

– Vorhabenumsetzung

Ausgehend von einem damaligen spezifischen Energieverbrauch der Anlage von 40 kWh/E·a war es Ziel des Projekts mit den Maßnahmen einen Wert von <20 kWh/E·a zu erreichen. Dies bedeutet eine Einsparung an CO₂-Äquivalent von ca. 445.000 kg.

Das Projekt lässt sich in drei Maßnahmenpakete gliedern:

- Die biologische Stufe der Kläranlage wurde so umgebaut, dass alle Freiheitsgrade vorhanden sind, um den Prozess flexibel zu gestalten.*
- Eine durchdachte messtechnische Ausrüstung und viele Eingriffsmöglichkeiten bilden hierbei den Grundstock für eine anspruchsvolle Regelungstechnik.*
- Eine ausgeklügelte Steuer- und Regelungssoftware reagiert sehr differenziert auf die Last- und Nährstoffsituation und den Zustand der Biologie.*

Die vorhandene gewachsene Struktur wird genutzt, um gezielt die verschiedenen biologischen und chemischen Vorgänge ablaufen zu lassen.

Die Messwerte und Analysen werden so aufbereitet, dass eine laufende Kontrolle der Reinigungsleistung und der energetischen Situation mit geringem Aufwand anhand aussagekräftiger Parameter möglich ist.

– Ergebnisse

Der Strombezug konnte von ca. 1 Million kWh/a auf 250.000 kWh/a reduziert werden, bei gleichzeitig steigendem Auslastungsgrad der Kläranlage von 45.000 EW auf derzeit 49.000 EW. Die statistische Einordnung anhand der Summenkurven aus der DWA (siehe Anlage) zeigt, dass

die Kläranlage Blümeltal zu den besten 10 % aller Kläranlagen der Größenklasse 4 gehört (der Median wird mit 39kWh/E · a angegeben).

Es wurden 795.000 kWh/a eingespart. Dies entspricht einer Einsparung von ca. 20 kWh/E/a oder einem CO₂-Äquivalent von 445.000 kg (560 g/ kWh). 795.000 kWh bewertet mit 19,25 Cent pro kWh entspricht 153.037,- Euro jährliche Einsparungen bei Projektkosten von 995.546,60 Euro entspricht dies einer Amortisationszeit von 6,5 Jahren.

– **Ausblick**

Durch die Umsetzung des Verfahrens rückt das Ziel einer „energieautonomen Abwasserreinigungsanlage“ in greifbare Nähe und stellt einen Beitrag zur Reduzierung des Energieverbrauches und des CO₂-Ausstoßes dar.

Summary

– Introduction

Parish, Municipality Pirmasens, 1.000 employees.

The wastewater treatment plant Blümeltal is a biomechanical clarification plant designed for 62.000 inhabitants with actual operating grade of 45.000 inhabitants. It is an example for a plant grown over decades with bassins and adapted process technology resulted from the current “state of the art”. The target was the energy optimisation with unchanged cleaning capacity. The innovation was to use the load profile of the biological cleaning stage as an interactive coordinator for the following operation of the plant’s components. All steps of the plant and their interaction were included in the master plan.

– Project implementation

Project aim was the reduction of the specific energy consumption of the plant from 40kWh/E·a to <20 kWh/E·a. This means a saving of CO₂-equivalent of approx. 445.000 kg.

The project is built up in three steps:

- the biological treatment was rebuilt to keep the process adaptable in any way*
- a specific measurement technique with a wide range of intervention possibilities provides a basis for an ambitious regulation technology*
- an efficient control software reacts on the load- and nutrient situation in the biological cleaning stage.*

The existing grown structure is used to run the several biological and chemical processes.

A current control of the cleaning capacity and the energy consumption is possible by significant parameters in monitoring.

– Project results

Energy consumption was reduced from 1 million kWh/a to 250.000 kWh with an increasing level of capacity of the plant from 45.000 EW to 49.000 EW. Statistically the plant belongs to the best 10% of all wastewater treatment plants, median declared with 39 kWh/E a.

795.000 kWh/a were reduced. This corresponds to a saving of approx. 20 kWh/E.a, 445.000 kg Co₂-equivalent (560 g CO₂/kWh). 795.000 kWh rated with 19, 25 Cent per kWh makes a saving of 153.037 Euro per year and an amortisation period of 6, 5 years

– Prospects

By the realisation of the procedure the aim of an energy, autonomously wastewater treatment plant is already within reach and contributes to reduce energy consumption and CO₂ emissions.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	8
1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens.....	8
1.2. Ausgangssituation	8
2. Vorhabenumsetzung.....	9
2.1. Ziel des Vorhabens	9
2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)	10
2.3. Umsetzung des Vorhabens	14
2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	14
2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	15
2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms.....	15
3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung.....	15
3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung	15
3.2. Stoff- und Energiebilanz.....	15
3.3. Umweltbilanz	22
3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse	23
3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren	24
4. Übertragbarkeit	24
4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung	24
4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts).....	25
5. Zusammenfassung	26
6. Literatur	27
7. Anhang	28

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Ermittlung des Energiebedarfs der Belüftung nach Umbau	(Seite 14)
Tab.2.: Strombezug Betriebstagebuch 2015	(Seite 17)
Tab. 3: Kennzahlengegenüberstellung der Maßnahmen Energieoptimierung der Kläranlage Blümeltal	(Seite 19)

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Verfahrensschema Energieoptimierung Kläranlage Blümeltal (vor Maßnahme)	(Seite 6)
Abb. 2: Fließschema Kläranlage Blümeltal	(Seite 8)
Abb. 3: Fließschema der neuen Verfahrenskonzeption mit Messtechnik nach Umbau	(Seite 9)
Abb. 4: Steuer-, und Regelmodul Kläranlage Blümeltal	(Seite 9)
Abb. 5: Biologische Stufe KA Blümeltal nach Umbau (NB 4 = Spitzenlastausgleichsbecken).	(Seite 11)
Abb. 6: Ermittlung der Einwohnergleichwerte Kläranlage Blümeltal über die CSB-Zulauffrachten	(Seite 13)
Abb. 7: Stromfluss Kläranlage	(Seite 15)
Abb. 8: Strombezug unter Abzug der Einspeisemenge	(Seite 16)
Abb. 9: Gesamtstromverbrauch KA Blümeltal 2013 – 2015*; Eges kWh/a	(Seite 16)
Abb. 10: Spezifischer Gesamtstromverbrauch kWh/E·a	(Seite 17)
Abb. 11: Spezifischer Stromverbrauch für die Belüftung	(Seite 18)
Abb. 12: Entwicklung des Fällmittelverbrauchs über die Jahre 2009-2015	(Seite 19)
Abb. 13: Entwicklung der Ablaufkonzentration von Nges. und Pges. über die Jahre 2013, 2014 und 2015	(Seite 20)

1. Einleitung

1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens

Stadt Pirmasens
Exerzierplatzstraße 17
66953 Pirmasens

Kommune, Stadtverwaltung, 1.000 Beschäftigte

Die kreisfreie Stadt Pirmasens liegt am Westrand des Pfälzerwaldes und ist Verwaltungssitz des Landkreises Südwestpfalz. Sie hat eine Bodenfläche von rund 61,37 km² und umfasst sieben Stadtbezirke Erlenbrunn, Fehrbach, Gersbach, Hengsberg, Niedersimten, Windsberg und Winzeln.

1.2. Ausgangssituation

Im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms (UIP) hatte das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) im Jahr 2011 zusammen mit der KfW-Bankengruppe und dem Umweltbundesamt (UBA) speziell Maßnahmen zur Energieoptimierung auf Abwasserbehandlungsanlagen gefördert (Förderschwerpunkt „Energieeffiziente Abwasseranlagen (EAA)“). [1]

Hintergrund der Fördermaßnahme war u.a. die Tatsache, dass die Abwasserreinigung für ca. 20 % des Energiebedarfs einer Kommune verantwortlich und daher auch deren größter Energieverbraucher ist. Untersuchungen haben gezeigt, dass sich der Energiebedarf von Abwasseranlagen im Betrieb bis zu 20 % senken lässt. Darüber hinaus kann eine Verdoppelung bis Vervierfachung der Eigenenergieerzeugung erreicht werden. Dies führt dazu, dass moderne Abwasserbehandlungsanlagen einen nachhaltigen Beitrag zum stofflichen Ressourcenschutz leisten und zur Reduzierung von CO₂-Emissionen beitragen können. [2]

Neben den aktuellen Bestrebungen der Nutzung von regenerativen Energien, wie zum Beispiel durch den Bau von anaerob stabilisierenden Anlagen mit einer nachfolgenden Energiegewinnung über ein Blockheizkraftwerk realisierbar, liegt ein zweiter große Schwerpunkt zur Steigerung der Energieeffizienz auf der Reduzierung des Energieverbrauchs der Abwasserbehandlungsanlagen.

Vor diesem Hintergrund wurde das Projekt „Energieoptimierung der Kläranlage Blüemetal“ in Pirmasens in das Förderprogramm EAA aufgenommen.

Die Kläranlage Blüemetal ist eine mechanisch-biologische Abwasserbehandlungsanlage mit einer Ausbaugröße von 62.000 Einwohnerwerten, deren Ist-Belastung allerdings bei nur 45.000 Einwohnerwerten lag. Sie ist ein Beispiel für eine über Jahrzehnte gewachsene Anlage, deren Beckenanordnungen, Geometrien und Verfahrensführungen sich aus den stufenweisen Erweiterungen und der Lage im Gelände ergeben haben. Die biologische Stufe arbeitet nach dem Belebungsverfahren mit vorgeschalteter Denitrifikation zur Stickstoffelimination

(Verfahrensablauf siehe Abb. 1). Vor Maßnahmenbeginn waren eines der Nachklärecken (Nr.4) schon stillgelegt und die Anlage um eine Mikrofiltration erweitert wurden.

Die Schlammbehandlung wurde bereits in der Vergangenheit intensiv untersucht und optimiert. Zur Verbesserung der stofflichen und energetischen Verwertung der Biomasse wurde eine Thermodruckhydrolyse der anaeroben Behandlungsstufe vorgeschaltet. Dadurch ließ sich die Biogausbeute erheblich steigern.

Die Innovation des aktuellen Projektes beruht auf dem anlagenübergreifenden Gedanken, das Lastprofil der biologischen Reinigungsstufe als interaktiven Koordinator für den nachfolgenden Betrieb der Anlagenkomponenten zu verwenden. Alle Verfahrensstufen der Abwasserbehandlungsanlage und ihre Wechselwirkungen wurden in das Gesamtkonzept einbezogen.

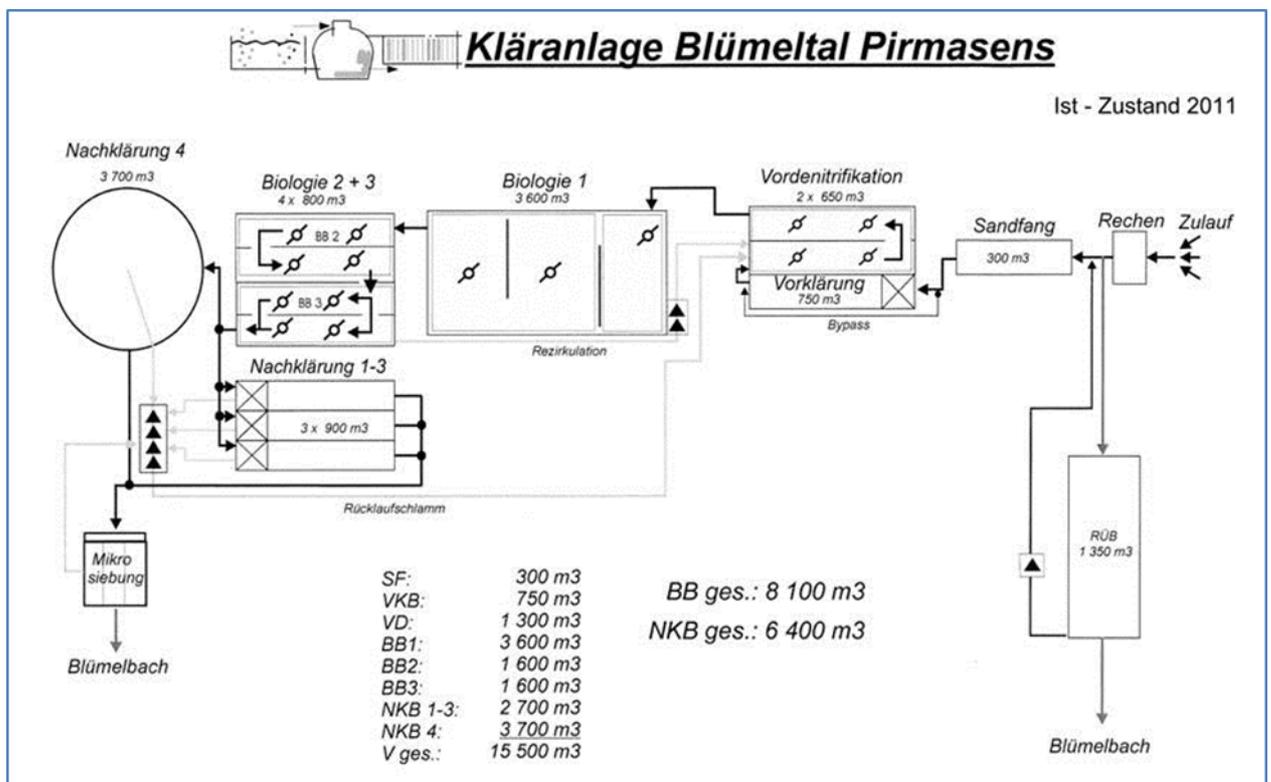


Abb. 1: Verfahrensschema Energieoptimierung Kläranlage Blüemeltal (vor Maßnahme)

2. Vorhabenumsetzung

2.1. Ziel des Vorhabens

Ziel war die Energieoptimierung bei gleichbleibend hoher Reinigungsleistung. Hierzu wurde ein Gesamtkonzept erarbeitet, in dem die verschiedenen Stoffströme der Kläranlage ganzheitlich betrachtet werden. Die Verfahrenstechnik wird so gestaltet, dass eine bestmögliche Reinigungsleistung bei minimiertem Betriebs- und Energieaufwand erreicht werden kann.

Im Einzelnen sollten durch die Umsetzung des erarbeiteten Gesamtkonzeptes und entsprechenden Verfahrensoptimierungen folgende Ziele erreicht werden:

- Hohe Energieeffizienz: Energieeinsparung und Vergleichmäßigung der elektrischen Leistungsanforderung

- *Hohe Ressourceneffizienz: Biologische Phosphatelimination und Einsparung von Fällmitteln*
- *Prozessstabilität: Zulaufbewirtschaftung, dynamische Reaktion des Belebtschlammssystems auf wechselnde hydraulische Situationen und Frachten, sprich Lastsituationen*
- *Bestmögliche Reinigungsleistung und Gewässerentlastung: Senkung und Vergleichmäßigung der Ablaufkonzentrationen*
- *Minimierter Betriebsaufwand*

Ausgehend von einem damaligen spezifischen Energieverbrauch der Anlage von 40 kWh/E · a war es Ziel des Projekts mit den Maßnahmen einen Wert von <20 kWh/E · a zu erreichen. Der Energiebedarf der Belüftung soll auf unter 10 kWh/E · a gesenkt werden. Dies bedeutet eine Einsparung an CO₂-Äquivalent von ca. 445.000 kg.

Durch die Umsetzung des Verfahrens rückt das Ziel einer „energieautonomen Abwasserreinigungsanlage“ auch ohne Annahme von Co-Substraten in greifbare Nähe. Das Projekt trägt zur Reduzierung des Energieverbrauches (CO₂-Ausstoß) bei.

2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Die Umsetzung des Projektes auf der Kläranlage Blümeltal erfolgte in verschiedenen Modulen, die im Folgenden dargestellt und erläutert werden.

Umbaumaßnahmen

Die Anlagentechnik wurde modernisiert und so umgestaltet, dass die biologische Stufe verfahrenstechnisch flexibel betrieben und belastungsabhängig möglichst betriebssicher und energieeffizient gefahren werden kann.

Inhalte des Optimierungskonzeptes waren eine durchgängige Umstellung der Kläranlage auf Pfropfenströmung mit Frachtausgleich über den Fließweg durch Zwischenlastausgleichsbecken, eine vorgeschaltete intermittierende Denitrifikation sowie eine flächendeckende Belüftungseinrichtung zur Belüftung und Umwälzung.

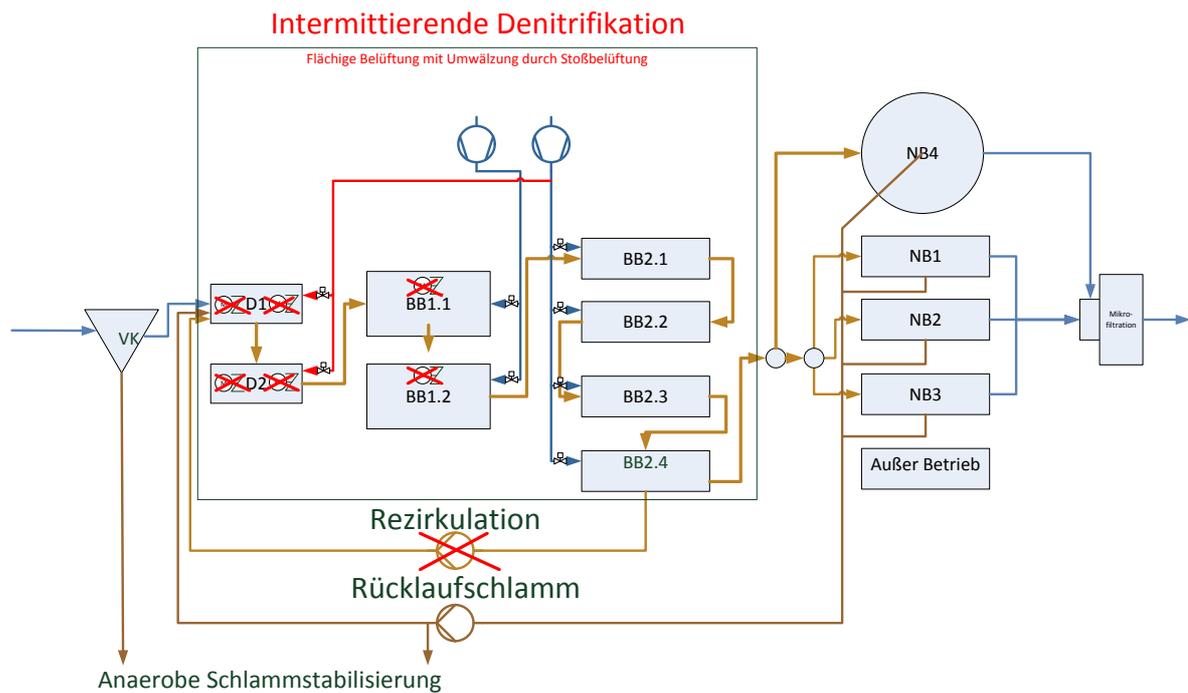


Abb. 2: Fließschema Kläranlage Blümeltal

Das Fließschema der Kläranlage mit intermittierender Denitrifikation, außer Betrieb genommenem Rezirkulationspumpwerk und Einbau von flächig angeordneten Belüfterplatten ist in Abb. 2 dargestellt. Vier der insgesamt acht Becken wurden mit einer neuen flächigen Druckluft-Membranbelüftung mit Plattenbelüftern ausgestattet. Die vier anderen Becken waren bereits flächig mit Plattenbelüftern belegt.

Um im Zulauf auftretende Frachtspitzen abzufangen, wurde das still gelegte Nachklärbecken als Spitzenlastausgleichsbecken in das Konzept eingebunden. Der Zulauf und der Inhalt des Spitzenlastausgleichsbeckens kann nun an verschiedenen Stellen zugeleitet werden. Das führt zu einem Frachtausgleich über den Fließweg. Um die Gebläse mit kühler Frischluft zu versorgen, wurde die Luftansaugung aus dem Gebläseraum nach außen verlegt. Auf Frachtspitzen kann durch eine Zwischenspeicherung im Spitzenlastausgleichsbecken reagiert werden. Ungünstige Nährstoffverhältnisse werden durch eine automatisierte Umfahrung der Vorklärung ausgeglichen. Die Denitrifikation wurde auf einen durchgehend intermittierenden Betrieb eingestellt. Belüftung und Umwälzung erfolgt durch eine flächige Belüftung mit Membranbelüftern. Zusätzliche Trennwände in den Becken D1, D2, BB1.1, BB1.2 und BB2.4 legen eine klar definierte Durchströmung und Unterteilung der Becken fest. Die vorhandene Rezirkulation konnte still gelegt und rückgebaut werden.

Steuer- und Regelmodul

Die Messtechnik wurde so erweitert, dass alle Becken gezielt bedarfsorientiert belüftet und Lastzustände frühzeitig und sicher erkannt werden. Außerdem kann anhand der Messwerte, die auch mit Hilfe der installierten Messtechnik (siehe Abb. 3) erhoben werden können, der energetische Zustand während des Betriebes auf einfache Weise überwacht und bewertet werden.

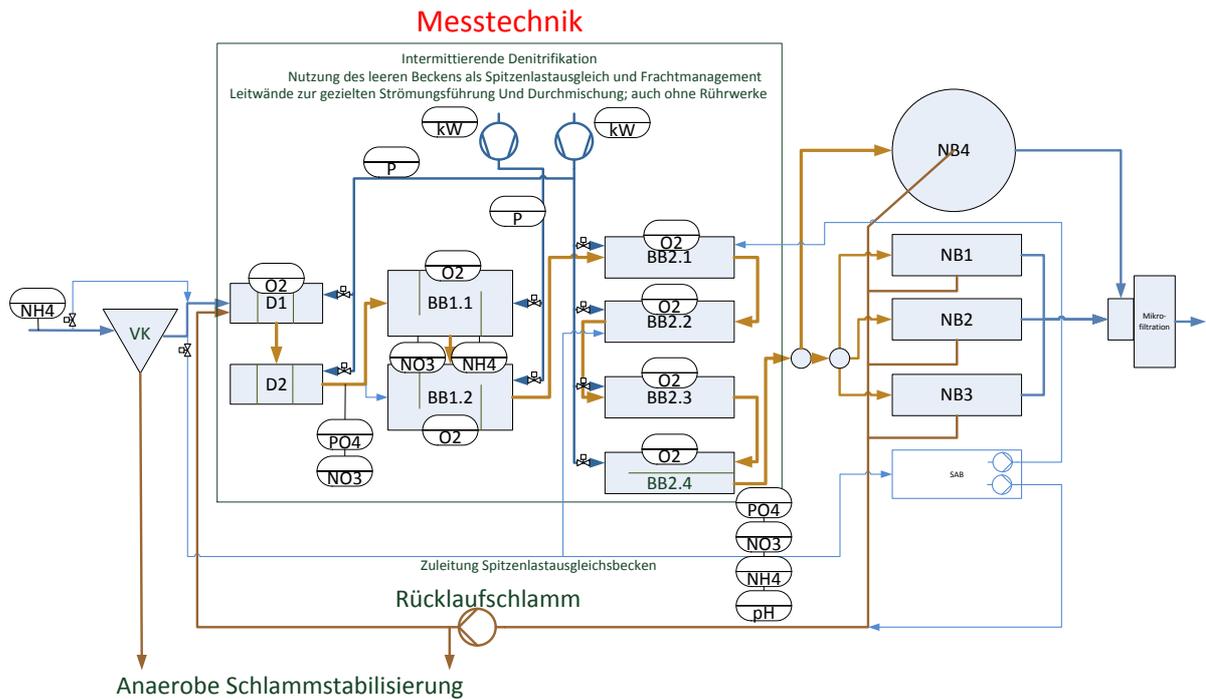


Abb. 3: Fließschema der neuen Verfahrenskonzeption mit Messtechnik nach Umbau

Die Umbauten schaffen eine sehr hohe Flexibilität der biologischen Stufe. Sowohl der gesteuerte Luftertrag, als auch die flexible Frachtverteilung auf die einzelnen Becken, der gezielte Einsatz von Rührwerken und Speichervolumina für Schmutzfrachten und Belebtschlamm sind die Voraussetzung für die Umsetzung des Herzstückes des Projektes, das Steuer- und Regelmodul.

Mit Hilfe dieses komplexen Regelmoduls kann die biologische Stufe entsprechend der verschiedensten Belastungssituationen gezielt betrieben werden.

Lasteinstufung (Sauerstoffsollwertbildung)

Schließlich wurde ein sehr aufwändiges, detailliertes Regelungs- und Überwachungskonzept entwickelt und umgesetzt, mit dessen Hilfe auf jede Frachtsituation gezielt reagiert wird. Übergeordnete Überwachungseinrichtungen verhindern, dass übermäßig Energie angefordert wird, oder bei langen belastungsarmen Phasen Mangelsituationen in Zonen der biologischen Stufe auftreten.

Lasteinstufung							
Vorwahl Messwertbildung für Lasteinstufung:	Messwert Ablauf BB1.2		Mittelwert aus BB1.1 und BB1.2		Mittelwertbildung zyklusabhängig		
	2,80		3,60		Zyklus A	Zyklus B	
					3,40	3,20	
	NH4-N Min.	NH4-N Mittel	NH4-N Max.	Freigabe Modus über KW Gebläsestrasse 1		Zyk.A in Min.	Zyk.B in Min.
Modus	2	mg/l	8				
Schwach		2,50	3,00			35	35
Eco	1,50	2,75	4,00	19	17	30	30
Standard	2,50	3,75	5,00			28	28
Last	3,50	4,75	6,00	25	23	25	25
Hochlast	4,50	5,75	7,00			20	20
O2 Modus	5,50	6,75		26	30	Dauerbetrieb im Zyklus B wegen Messwerte Max	
Hysterese Modiwechsel	1,5		Ersatzwert bei Ausfall der NH4-N Messungen		5	mg/l und Standardmodus	

Abb. 4: Steuer-, und Regelmodul Kläranlage Blümeltal

Basis des Regelpaketes ist die Lasteinstufung. Anhand der Ammonium- und Nitratkonzentrationen in den Belebungsbecken wird die Lastsituation der biologischen Stufe festgelegt. Insgesamt sechs verschiedene Lastzustände werden unterschieden und gemäß Abb. 4 betrieben.

Abhängig von der Lasteinstufung von schwach belastet bis zu sehr hoher Belastung, hier als Sauerstoffmodus bezeichnet, wird die biologische Stufe hinsichtlich der Sauerstoffversorgung unterschiedlich betrieben.

Die Intensität der Sauerstoffversorgung nimmt mit steigender Last zu. Es werden schrittweise die Sauerstoffsollwerte angehoben und die belüfteten Anteile am Gesamtvolumen erhöht. Jedem einzelnen Becken werden Zykluszeiten belüftet/ungelüftet zugewiesen. Lastabhängig können einzelne Becken auch unbelüftet oder dauerbelüftet sein. Während bei mittlerer Last, also z.B. im Standardmodus die Becken im Wechsel belüftet werden, werden bei niedriger Last einzelne Becken zusätzlich intermittierend gefahren, während bei hoher Belastung in beiden Zyklen durchgängig belüftet wird.

Bei schwacher Last wird das Spitzenlastausgleichsbecken entleert, bei hoher Last wird ein Anteil des Zulaufes in das Speicherbecken umgeleitet. Bei hoher Last wird außerdem ein Teil des Zulaufes in die hinteren Becken geleitet um auch hier ein für die Denitrifikation günstiges Nährstoffverhältnis einzustellen.

Ist ausreichend Kapazität vorhanden, wird in den ersten Becken durch anaerobe Zustände die Phosphatrücklösung herbeigeführt. Bei hoher Last werden diese Becken in die Belüftung mit einbezogen.

Trotz der neuen flächigen Belüftung wurden nicht alle Rührwerke demontiert. So kann bei schwächerer Denitrifikation die Durchmischung mit Hilfe der Rührwerke intensiviert und den Denitrifikanten auch noch der letzte Kohlenstoffrest nutzbar gemacht werden.

Energiemanagement

Der Lasteinstufung bzw. Sauerstoffsollwertbildung ist eine Energieüberwachung überlagert. In allen Laststufen wird die Leistungsanforderung der Gebläse ausgewertet und geht in die Sauerstoffsollwertbildung zusätzlich ein. Wird bei hoher Last erkannt, dass die Leistungsanforderung der Gebläse zu hoch wird, wird die Sollwertanhebung ausgebremst. Es fließt dann ein Minderungsfaktor in die Sollwertbildung ein. Umgekehrt wird der Sauerstoffsollwert bei niedriger Last angehoben, wenn die Leistungsanforderung der Gebläse zu gering ist. So wird verhindert, dass die Biologie bei langen Schwachlastphasen durch zu niedrige Sauerstoffeinträge geschwächt wird. Zu lange Schwachlastphasen sind auch nachteilig für die Schlammeigenschaften.

Prozessüberwachung

Von großer Bedeutung für eine Optimierungsmaßnahme ist die ständige Überprüfung, ob alle Ziele auch im Betrieb dauerhaft eingehalten werden können. Oftmals werden Optimierungsmaßnahmen mit gutem Erfolg durchgeführt, indem Sie zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme nach Abschluss der Arbeiten, einen deutlichen Rückgang des Energiebedarfes zeigen.

Wichtige Parameter sollten daher im laufenden Betrieb automatisch ermittelt (Abb. 3) und auf einfachem Wege visualisiert werden.

2.3. Umsetzung des Vorhabens

Die baulichen Maßnahmen auf der Kläranlage Blümelstal wurden im Oktober 2011 begonnen und Anfang 2014 abgeschlossen. Im Rahmen dieser Maßnahmen wurde die biologische Stufe umfassend modernisiert. Als erstes erfolgte die Zulaufbewirtschaftung mit dem Ziel der Entlastung der biologischen Stufe. Dazu wurden Abwasserspitzen im Spitzenlastausgleichsbecken zwischengespeichert und dosiert der Anlage zugegeben. Die Denitrifikation wurde auf intermittierenden Betrieb umgestellt. Die Belebungsbecken wurden teilweise umgebaut und, wo noch nicht vorhanden, mit Plattenbelüftern (flächiger Druckluft-Membranbelüftung) ausgestattet. Um den Sauerstoffeintrag in die Belegungsstufe zu optimieren wurde die Luftansaugung der Belüftungsaggregate aus dem Gebläseraum nach außen verlegt. In Abb. 5 ist die biologische Stufe nach Umbau mit Umrüstung des außer Betrieb genommenen Nachklärbeckens 4 zu einem Spitzenlastausgleichsbecken dargestellt.

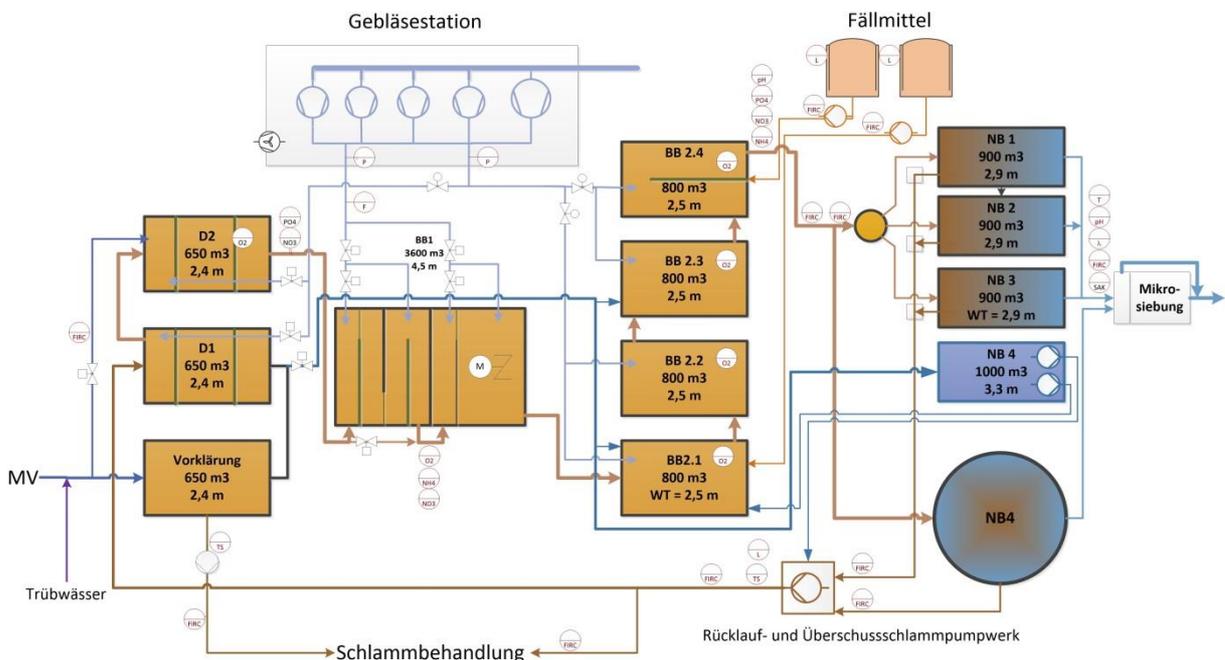


Abb. 5 Biologische Stufe KA Blümelstal nach Umbau (NB 4 = Spitzenlastausgleichsbecken).

In die Mikrosiebung wurde eine SAK-Messung eingebaut und die Gebläsestation wurde umgebaut. Projektbegleitend wurde die SPS, PLS Programmierung umgesetzt.

Danach folgte eine zweijährige Optimierungs- und Messphase, mittels welcher der Erfolg der Fördermaßnahme verifiziert wurde.

Die Auswertung der Energiedaten erfolgte im Rahmen eines Energiechecks und einer Energieanalyse nach Arbeitsblatt DWA A-216 (siehe Anhang). Bezugsjahr der Energieanalyse war das Jahr 2015.

2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Änderung der Erlaubnis zum Einleiten von Abwasser aus der Kläranlage Pirmasens Blümelstal wurde von der SGD, Zentralreferat Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Bodenschutz erteilt.

2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Die Betriebsdaten für die Energieanalyse sind im Wesentlichen dem Betriebstagebuch und dem Prozessleitsystem entnommen. Damit eine laufende Kontrolle der Reinigungsleistung und der energetischen Situation mit geringem Aufwand anhand aussagekräftiger Parameter möglich ist, werden alle im Betrieb erhaltenen Messwerte und Analysendaten permanent aufbereitet. Dies ermöglicht im Bedarfsfall ein schnelles und konsequentes Handeln.

Anhand der Auswertung der Energiedaten entsprechend der Energieanalyse wird der aktuelle energetische Zustand der Gesamtanlage und speziell der biologischen Stufe dargestellt.

2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms

Das Messprogramm war in zwei Phasen gegliedert:

1.) Optimierungsphase 01.01.2014 - 31.12.2014

2.) Überprüfungsphase 01.01.2015 - 31.12.2015

(Das Messprogramm besteht aus Zulaufmesswerten, Ablaufmesswerten und einer Auswertung für Nitrat, Ammonium, Phosphat und CSB)

Insgesamt erfolgte die Probenahme mengenproportional und korrespondierend (Zulauf VK und Ablauf Kläranlage nach Mikrosiebung). Aufgrund der korrespondierenden Probenahme sind die Zeitangaben für die Ablaufproben nur als vorläufige Schätzung bei Trockenwetter zu sehen.

Pro Quartal wurde ca. 20 Probenahmen avisiert, um eine quantitativ gesicherte Auswertung sicherzustellen. Die Probenahmen und die Analysen erfolgen gemäß Eigenkontrollverordnung des Landes Rheinland – Pfalz. Eine analytische Qualitätssicherung wird durchgeführt - gemäß DWA - A 704.

3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung

Das Vorhaben konnte in der vorgegebenen Zeit durchgeführt werden und es traten keine grundlegenden Schwierigkeiten bei der Durchführung auf.

3.2. Stoff- und Energiebilanz

Auf der Grundlage der Daten aus dem Betriebstagebuch 2015 wurden folgende Frachten und Einwohnerwerte ermittelt:

Die CSB-Fracht im Zulauf ($Zulauf_{Bd,CSB}$) betrug, bezogen auf alle 24-h-Mischproben 4.566 kg/d

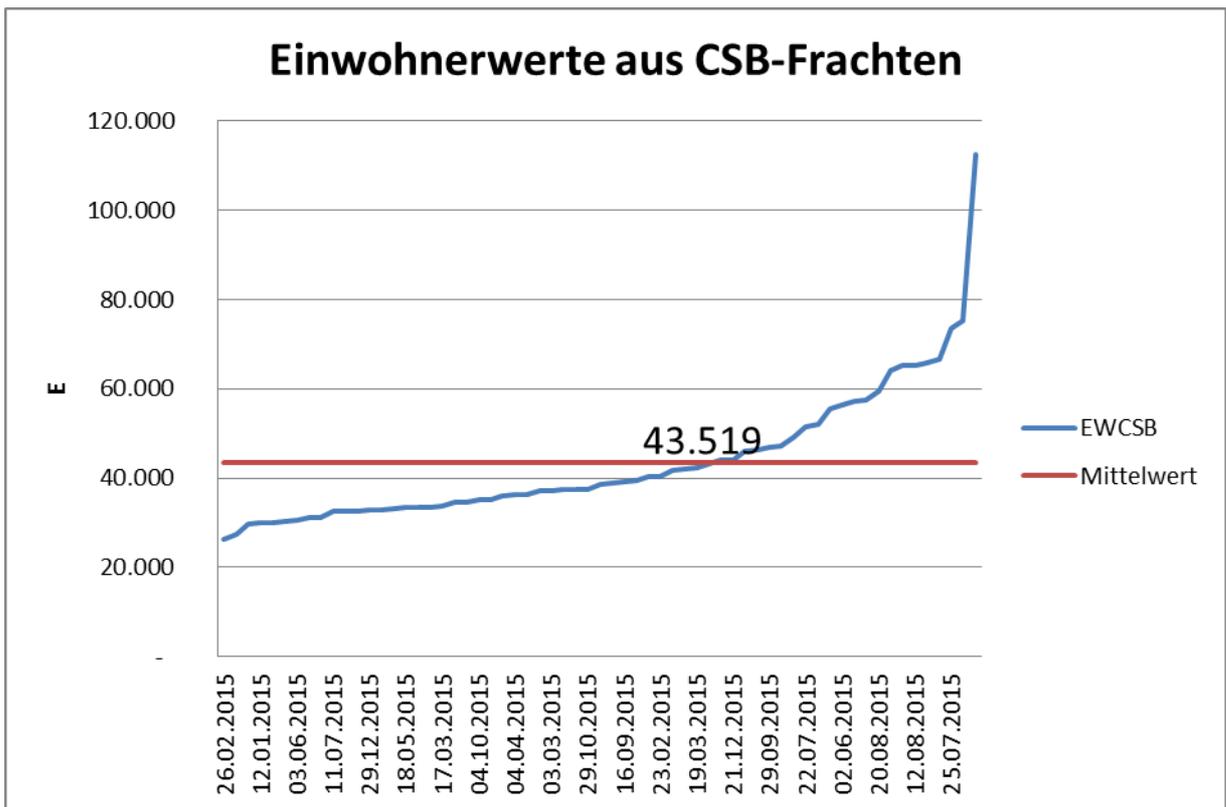


Abb. 6: Ermittlung der Einwohnergleichwerte Kläranlage Blümeltal über die CSB-Zulauffrachten

- Die mittlere Belastung, bezogen auf den CSB, entsprach einer Einwohnerzahl von im Mittel = $43519 \text{ EW}_{CSB,120}$
- Der Gesamtenergiebedarf der Anlage (E_{ges}) belief sich auf 860.481 kWh
- Der Gesamtenergiebedarf der Kläranlage, bezogen auf die durchschnittliche Belastung betrug

$$e_{gesamt} = 19,8 \text{ kWh/E} \cdot a$$
- Der Energiebedarf der Belüftung lag 2015 bei

$$e_{Bel} = 340.170 \text{ kWh (siehe Tab. 1)}$$

bzw. spezifisch bei

$$e_{bel} = 7,8 \text{ kWh/E} \cdot a$$

Tab. 1: Ermittlung des Energiebedarfs der Belüftung nach Umbau

			Stromverbrauch
			<i>kWh</i>
<i>Gebläsestation</i>	<i>Gebläse 1</i>	<i>Leistungsmessung</i>	<i>69.139,8</i>
<i>Gebläsestation</i>	<i>Gebläse 2</i>	<i>Leistungsmessung</i>	<i>65.647,24</i>
<i>Gebläsestation</i>	<i>Gebläse 3</i>	<i>Leistungsmessung</i>	<i>55.160,69</i>
<i>Gebläsestation</i>	<i>Gebläse 4</i>	<i>Leistungsmessung</i>	<i>81.568,15</i>
<i>Gebläsestation</i>	<i>Gebläse 5</i>	<i>Leistungsmessung</i>	<i>68.653,74</i>
Summe			340.169,62

Strombilanz der Kläranlage Blümeltal nach der Energieoptimierungsmaßnahme

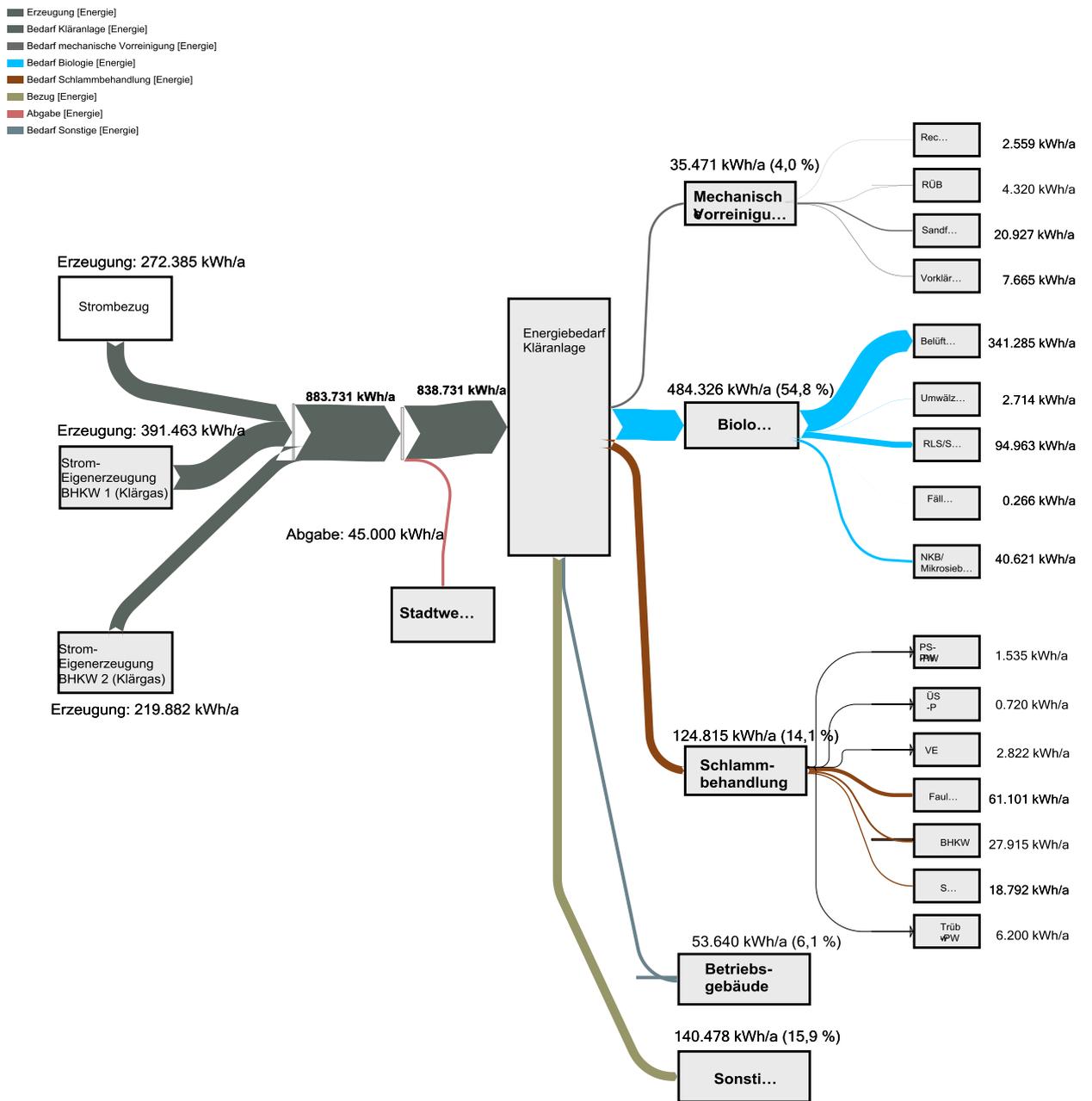


Abb.7 : Stromfluss Kläranlage

Die Analysen und Auswertungen zeigen, dass die umgesetzten Konzepte zum angestrebten Ergebnis führten. Die durch die Fördermaßnahmen erzielten Energieeinsparungen können durch einen sinkenden Stromverbrauch belegt werden.

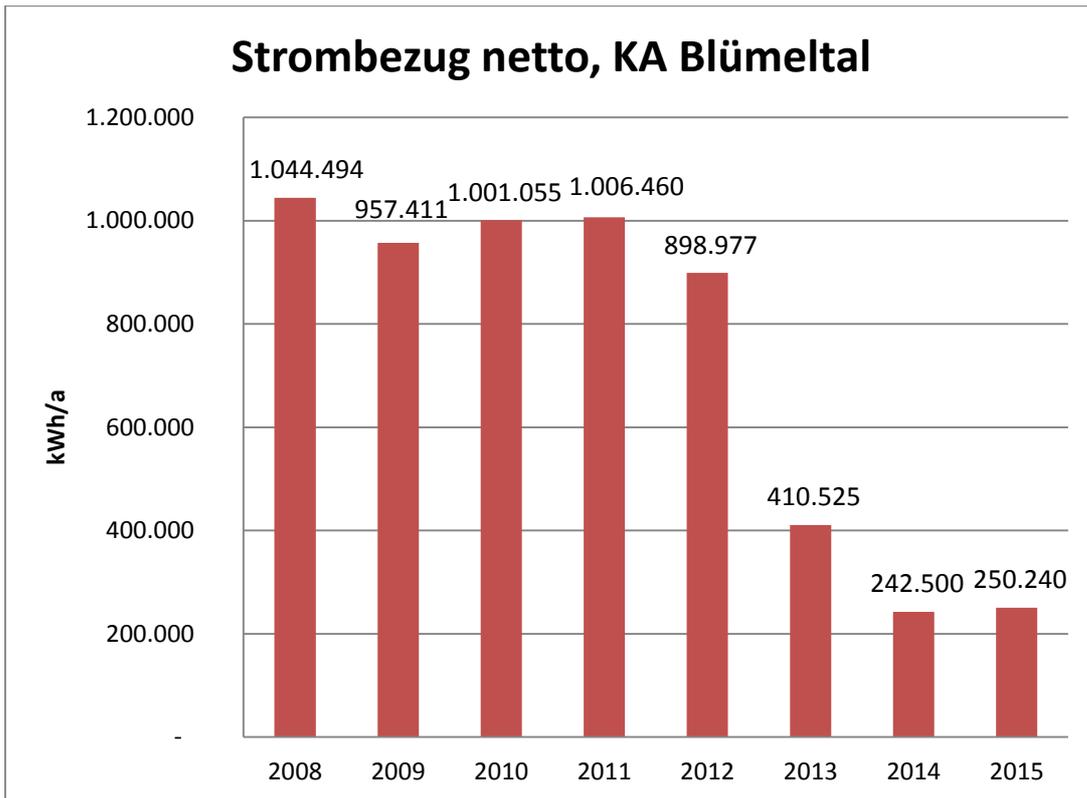


Abb.8 : Strombezug unter Abzug der Einspeisemenge

Der Strombezug (Abb. 8) konnte im Rahmen des Projektes, bei gleichzeitig steigendem Auslastungsgrad der Kläranlage von 45.000 EW auf derzeit 49.000 EW, von ca. 1 Million kWh/a auf 250.000 kWh/a reduziert werden.

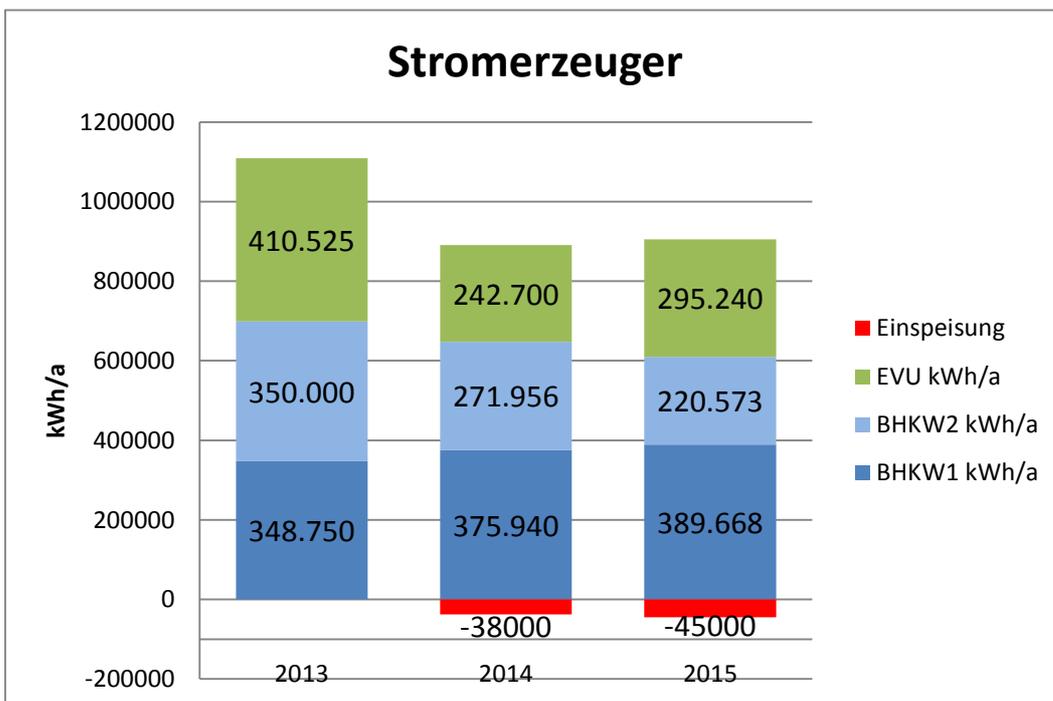


Abb.9: Gesamtstromverbrauch KA Blümeltal 2013 – 2015*; E_{ges} kWh/a

- **Strombezug, Betriebstagebuch 2015**

Tab.2.: Strombezug Betriebstagebuch 2015

BHKW1	389.668 kWh/a
BHKW2	220.573 kWh/a
EVU	295.240 kWh/a
Einspeisung	-45.000 kWh/a
Gesamtverbrauch Kläranlage E_{ges}	860.481 kWh/a

Der spezifische Gesamt-Energieverbrauch der Kläranlage kann somit (aus Tab. 2) nach Inbetriebnahme aller Umbaumaßnahmen mit 19,8 kWh/E*a postuliert werden.

$$e_{ges} = \frac{E_{ges}}{EW} = \frac{860.481}{43.519} = 19,8 \left[\frac{kWh}{EW*a} \right]$$

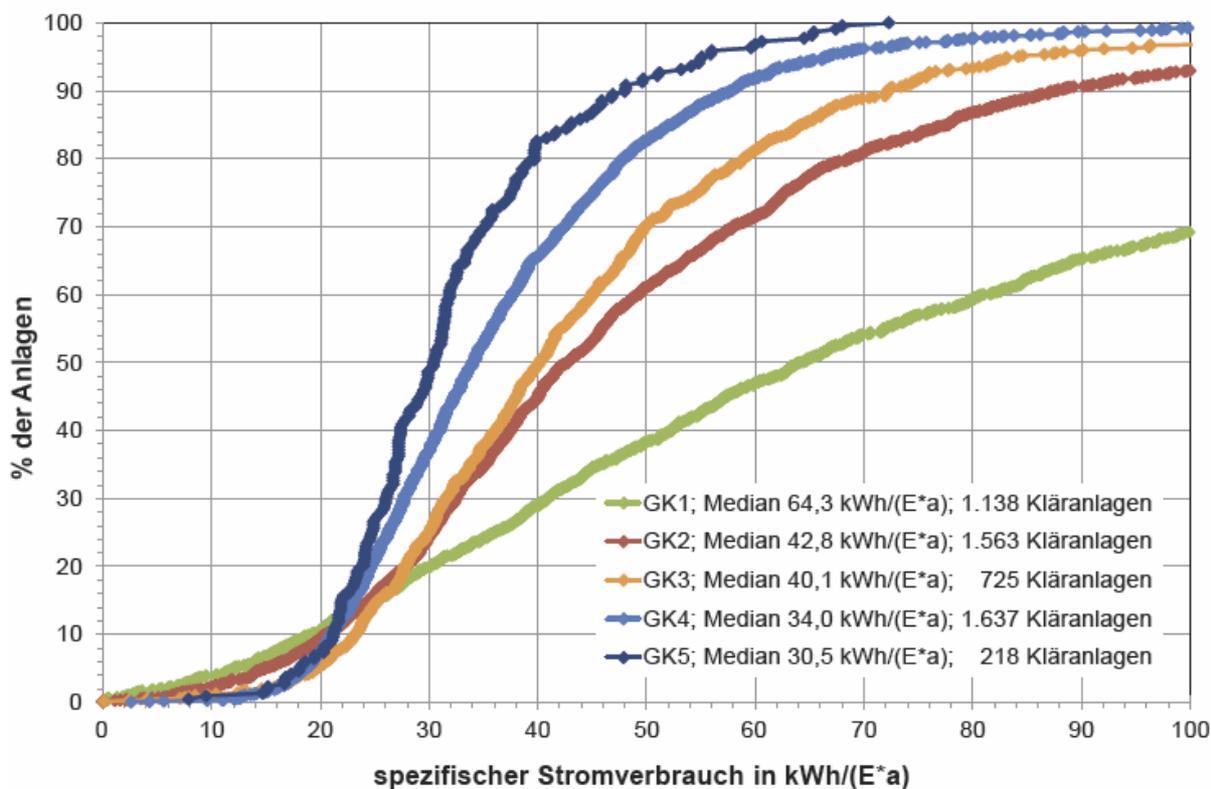


Abb. 10: Spezifischer Gesamtstromverbrauch kWh/E*a /3/

Die statistische Einordnung anhand der Summenkurven sämtlicher Kläranlagen (siehe Abb. 10) zeigt, dass die Kläranlage Blümeltal zu den besten 10 % aller Kläranlagen der Größenklasse 4 gehört.

Der Stromverbrauch der Belüftung wird durch einen eigenen Zähler erfasst. Hier ist zu berücksichtigen, dass die Belüftung auch für die Umwälzung während der Denitrifikationsphasen eingesetzt wird. Dazu wird in Abständen von ca. 20 Minuten ein Luftstoß von ca. 1 Minute in die Becken eingetragen.

Durch die genaue Lastanpassung auf Grundlage der sechs Laststufen, die Energieüberwachung und die weiteren verfahrenstechnischen Maßnahmen, ist der Energieverbrauch der biologischen Stufe auf unter 10 kWh pro Einwohner und Jahr gesunken.

Die Rührwerke werden nur noch nach Bedarf unterstützend eingeschaltet.

Der Energiebedarf der biologischen Reinigungsstufe beträgt: 341.285 kWh (siehe Tab. 1)

Somit hat diese Anlage einen rechnerischen Verbrauch von:

$$e_{\text{Bel}} = 7,8 \text{ kWh/E}\cdot\text{a}$$

Der anteilige Energieverbrauch der Belüftung beträgt 40 % des Gesamtstromverbrauches.

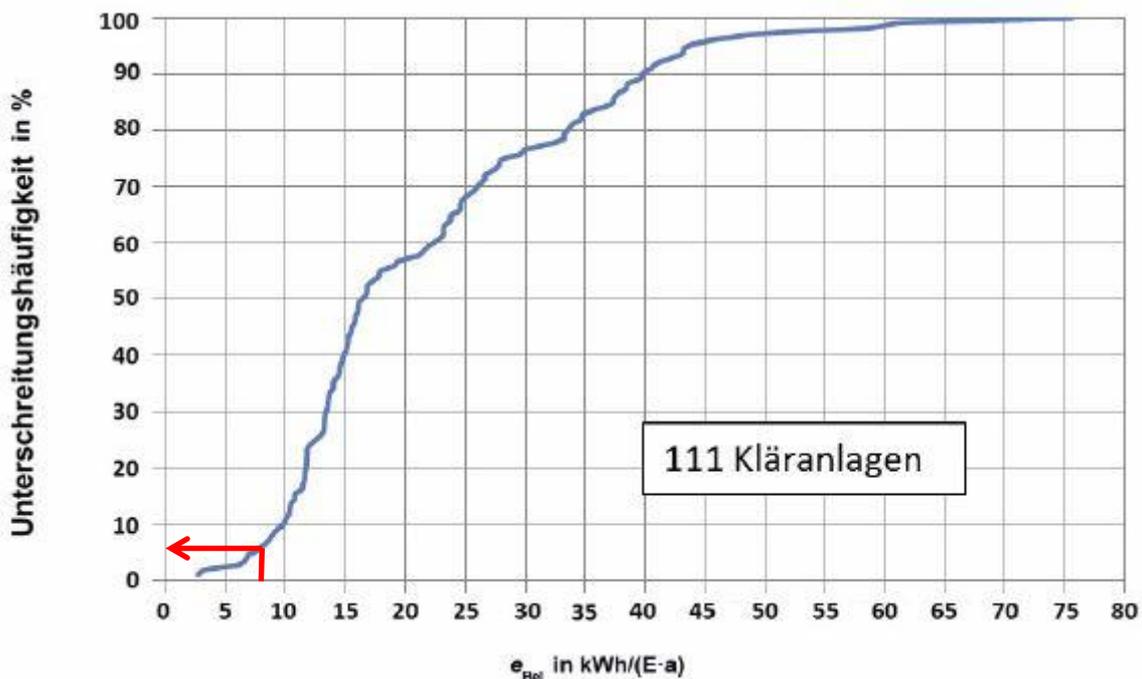


Abb. 11: Spezifischer Stromverbrauch für die Belüftung in kWh/E·a /3/

Die statistische Einordnung anhand der Summenkurven aus der DWA zeigt, dass die Kläranlage Blümeltal zu den besten 5% der Kläranlagen der Größenklasse 4 gehört (siehe hierzu Energieanalyse nach DWA A216 Kläranlage Blümeltal Pirmasens).

3.3. Umweltbilanz

Durch das angewandte Verfahrenskonzept und die gezielten Optimierungsmaßnahmen im Prozessablauf konnten in Gegenüberstellung zur Ausgangssituation folgende Ziele erreicht und bestätigt werden.

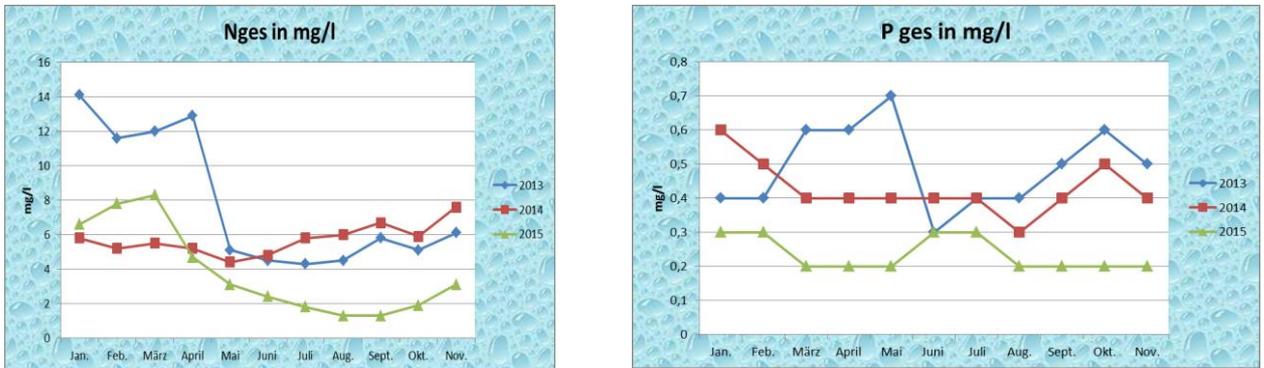


Abb. 13: Entwicklung der Ablaufkonzentration von N_{ges} und P_{ges} über die Jahre 2013, 2014 und 2015

Tab. 3: Kennzahlgegenüberstellung der Maßnahmen Energieoptimierung der Kläranlage Blümelal

Anlage/ Anlagenteil	Parameter	Vorher	Ziel	Nachher
Kläranlage insgesamt	spez. Gesamtenergieverbrauch e_{ges} [kWh/ EW a]	37,8	18+3 als Korrekturwert für Flockenfiltration und Abluftbehandlung Gesamt: 21	19,8
	Fremdbezug Energie [kWh/a]	1.000.000	< 50.000	250.000
	Eigenenergieerzeugung [%]	42	>90	73
	CO ₂ -Einsparung [t/a]		440000	445.000
	CSB Elimination [kg CSB/a] und Ablaufkonzentration [mg/l]	1.860.000 30	Kein Ziel	1.900.000 25
	N-Elimination [kg N/a] und Ablaufkonzentration [mg/l]	144.000 14	Kein Ziel	168.000 < 5
	P-Elimination [kg P /a] und Ablaufkonzentration [mg/l]	27.000 0,7	Kein Ziel	28.200 < 0,3
Belebung	spez. Energieverbrauch e_{Bel} [kWh/ E a]	30	10	7,8

3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse

Durch die Optimierung der Kläranlage konnten 795.000 kWh/a eingespart. Dies entspricht einer Einsparung von ca. 20 kWh/E·a bzw. 445.000 kg CO₂-Äquivalent (560 g CO₂/ kWh) Bewertet mit 19,25 Cent pro kWh Strombezug entspricht dies einer Einsparung von 153.037,- Euro jährlich.

Die Werte der Eigenenergieerzeugung konnten analog zu den angestrebten Zielen leider nicht komplett eingehalten werden, da sich dies zu Ungunsten der Ablaufwerte ausgewirkt hätte. Das vorrangige Betriebsziel ist in diesem Fall aber definitiv die Verbesserung der Gewässer. Vor Projektbeginn hatten wir eine Eigenenergieerzeugung von ca. 900.000 kWh/a. Im Zuge der optimierten Abwasserreinigung (C:N:P-Verhältnis) ist diese Menge auf ca. 700.000 kWh/a gesunken einhergehend aber mit einer deutlichen Verbesserung der Ablaufwerte (siehe Abb. 13).

Die Optimierung der Kläranlage Blümeltal zeigt, dass mit genauer Kenntnis der Kläranlage unter Anwendung verfahrenstechnischer Konzepte, erhebliche Einsparpotentiale, nicht nur im Energieverbrauch, sondern auch im Betriebsmittelverbrauch (Fällmittel) umgesetzt werden können. Große Teile des Konzeptes sind mit gezielter Modifikation auf andere Anlagen übertragbar.

Der Fällmittelverbrauch konnte aufgrund der intensivierten und gezielten biologischen Phosphatelimination (Nährstoffoptimierung) und geänderter Dosierstellen um 2/3 reduziert werden (Reduktion der Betriebsmittelkosten um ca. 25.000,-€).

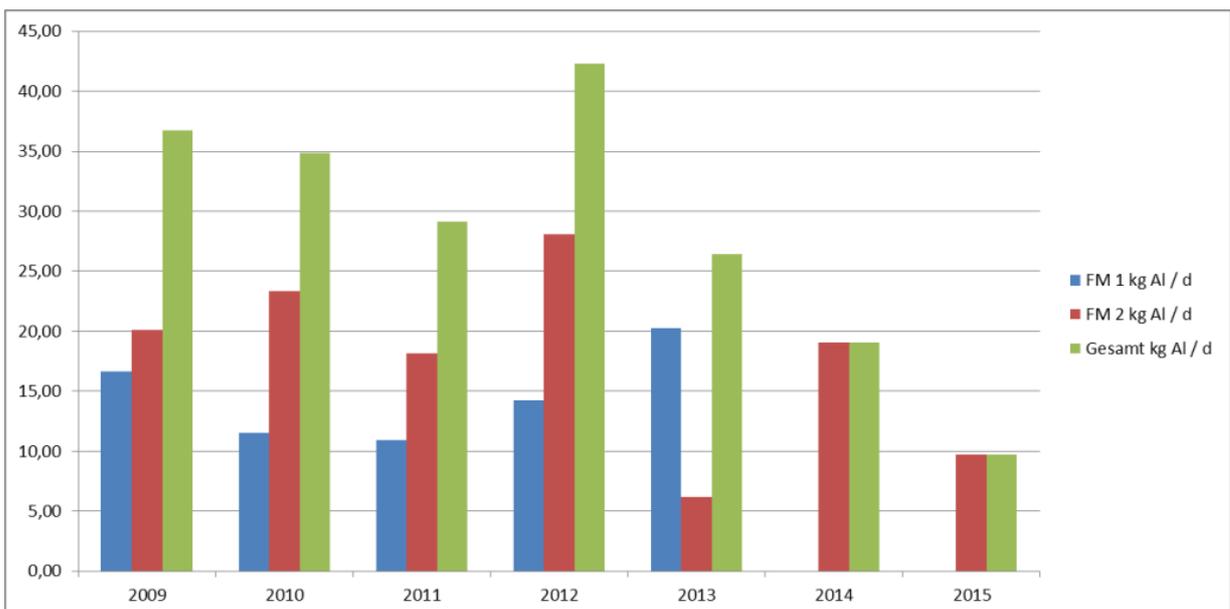


Abb. 12: Entwicklung des Fällmittelverbrauchs über die Jahre 2009-2015 Mit der Einführung dieses Konzeptes wird die Stoffstromtransparenz (an welchem Ort werden wie viele Ressourcen verbraucht) erhöht

und den Mitarbeitern des Betriebes plausibel veranschaulicht. Dies dürfte zu einer Kostenreduktion auch in weiteren Bereichen führen und ein intensiveres Nachdenken über das eigene Handeln initiieren.

Die CO2 Bilanz der Stadt konnte verbessert werden, Klimaschutzziele können eingehalten und eine Verbesserung der Gewässer konnte herbeigeführt werden.

3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Es handelt sich bei diesem Verfahren um einen neuen, ganzheitlichen, innovativen Ansatz,

Die Neuerung des Verfahrens liegt in der Erstellung eines Lastprofils und seiner Nutzung. Die eigentliche Innovation besteht aus dem anlagenübergreifenden Gedanken, das **Lastprofil der biologischen Reinigungsstufe als interaktiven Koordinator** für den nachfolgenden Betrieb der Anlagenkomponenten zu verwenden.

Das Mess-, Steuer-, und Regelkonzept ist mit der übergeordneten Lastprofilerkennung ausgestattet und greift zur Optimierung der Prozesse fracht- und nährstoffoptimierend ein. So kann das Verfahren interaktiv in die Abläufe einer Kläranlage eingreifen und die einzelnen Prozesse ideal aufeinander abstimmen.

Eine technische Vergleichsmöglichkeit mit anderen Lösungen ist daher hier nicht gegeben.

Der Verbrauch an Strom wird bei einer Kläranlage der Größenklasse 4 mit 39 kWh/E a angegeben und liegt somit im Median 100% über dem Verbrauch der Kläranlage Blümeltal (siehe Abb. 5).

4. Übertragbarkeit

4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Der Erfolg der beschriebenen Fördermaßnahme auf der Kläranlage Blümeltal beweist, dass bei einer Abwasserreinigungsanlage auch ohne die Annahme von Co-Substraten eine energetische Optimierung möglich ist und Energieverbrauch und Kohlenstoffdioxid-Ausstoß bedeutend gemindert werden können. Darüber hinaus ergeben sich auch im Betriebsmittelverbrauch erhebliche Einsparpotentiale.

Die positiven Erfahrungen bei der Umsetzung des Projektes haben dazu beigetragen, auf der Kläranlage Felsalbe (38.000 Einwohnerwerte) diese Steuerung ebenso zu implementieren. Darüber hinaus erweitern wir die Steuerung um einen Baustein zur biolog. Phosphor-Elimination.

4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts)

Der Modellcharakter liegt in der Lastprofilerkennung der Biologie. Hierfür wird ein Lastgradient erstellt, welches sich aus der Stickstoffbelastung, der spezifischen Gebläseleistung (geförderte Luftmenge zur Biologie), und der Nitrifikations-, Denitrifikationsleistung zusammensetzt. Dieses Profil wird in einen Programmablauf integriert. Anhand dieses Lastprofils steuert das Programm die gesamte Anlage.

Innovativ ist darüber hinaus die anlagenübergreifende Strategie dieses Lastprofils, interaktiv in die Abläufe einer Kläranlage einzugreifen und so die einzelnen Prozesse ideal aufeinander abzustimmen und für den Betrieb der kompletten Anlage zu verwenden.

Im Gegensatz zum Stand der Technik, bei dem in der biologischen Reinigungsstufe nur reagiert wird, greift dieses Verfahren aktiv in die Abläufe einer Kläranlage ein und versteht sich als übergeordnetes Mess-, Steuer- und Regelkonzept.

Die Regelung der Gebläseleistung anhand der Varianzerkennung, bei der außer der Sauerstoffbedarf in der biologischen Reinigungsstufe wie beim Stand der Technik, zusätzlich die Nitrifikations-, Denitrifikationsleistung, sowie die Lasteinstufung eine entscheidende Rolle spielen stellt eine weitere Innovation dar

Auch der „Früherkennungsmodus“ ist eine technische Neuerung. Hierbei handelt es sich um eine komplett neuartige Art und Weise, nach längerer Trockenperiode einen Spülstoß auf der Kläranlage anzunehmen und darauf zu reagieren. Auch dies wird erst möglich durch eine ausgefeilte Lasteinstufung und den daraus resultierenden Möglichkeiten eine Überlastung der Kläranlage zu verhindern.

Die integrierte Ausfallstrategie und die Plausibilitätskontrollen durch untereinander abgesicherte Messwerte erhöhen vor allem die Betriebssicherheit der Anlage. Auch der hier praktizierten Automatisierung, bei der sich das System zum Teil selbst überwacht und in der Lage ist, sich eigenständig veränderten Gegebenheiten anzupassen, steht gegenwärtig im Bereich der kommunalen Abwassertechnik kein vergleichbares Verfahren gegenüber. Auch dies ist eine technische Innovation.

Die Anlage verfügt nach der Optimierung über einen Energieverbrauch von <20 kWh/EW. Dies sollte zukünftig wegweisend für den Betrieb von Kläranlagen im Hinblick auf die Umweltschutzanforderungen sein.

Adaption ist innerhalb von 1-2 Jahren auf andere Kläranlagen möglich. Eine Übertragbarkeit ist für ca. 2.700 Anlagen in Deutschland gegeben, wenn man Anlagen der Größenklassen 2-4 zu Grunde legt.

5. Zusammenfassung

Bei der Umsetzung des Fördervorhabens ist die vorhandene Struktur der Kläranlage Blümeltal genutzt worden, um gezielt die verschiedenen biologischen und chemischen Vorgänge auf der Anlage zu optimieren. Die Innovation des Projektes besteht aus dem anlagenübergreifenden Gedanken, das Lastprofil der biologischen Reinigungsstufe als interaktiven Koordinator für den nachfolgenden Betrieb der Anlagenkomponenten zu verwenden. Alle Stufen der Anlage und ihre Wechselwirkungen wurden in das Gesamtkonzept einbezogen.

Es wurden folgende Maßnahmenpakete durchgeführt:

- Die biologische Stufe der Kläranlage wurde so umgebaut, dass alle Freiheitsgrade vorhanden sind, um den Prozess flexibel zu gestalten.*
- Eine durchdachte messtechnische Ausrüstung und viele Eingriffsmöglichkeiten bilden den Grundstock für eine anspruchsvolle Regelungstechnik.*
- Eine ausgeklügelte Steuer- und Regelungssoftware reagiert sehr differenziert auf die Last- und Nährstoffsituation und den Zustand der Biologie.*

Der Erfolg der hier beschriebenen Fördermaßnahme auf der Kläranlage Blümeltal beweist, dass eine Abwasserreinigungsanlage auch ohne die Annahme von Co-Substraten eine energetische Optimierung möglich ist und Energieverbrauch und Kohlenstoffdioxid-Ausstoß bedeutend gemindert werden können. Die Ergebnisse zeigen, dass mit genauer Kenntnis einer Abwasserbehandlungsanlage nicht nur im Energieverbrauch, sondern auch bei dem Betriebsmittelverbrauch und bei der Schlammproduktion erhebliche Einsparungen möglich sind. Große Teile des Konzeptes, welches auf der Kläranlage Blümeltal umgesetzt wurde, sind mit gezielter Modifikation auch auf andere Anlagen übertragbar.

6. Literatur

[1] K. Fricke: *Hintergrund - Energieeffizienz Kommunaler Kläranlagen*, Umweltbundesamt, 2009.

[2] *Umweltinnovationsprogramm (UIP), Förderschwerpunkt Energieeffiziente Abwasseranlagen (EAA)*: www.umweltinnovationsprogramm.de/foerderschwerpunkte/energieeffiziente-abwasseranlagen

[3] 28. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen; DWA, Hennef, 2015

Quellen (Anhang)

/1/ Arbeitsblatt DWA-A 216

Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen
Dezember 2015

DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef 2015

/2/ Arbeitsblatt DWA-M 229-1 (in Vorbereitung 2013)

Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen
– Teil 1: Planung, Ausschreibung und Ausführung, Merkblatt
Entwurf – April 2013

DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef 2013

/3/ Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131

Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen
GFA, Hennef, Mai 2000

/4/ Bischofsberger et al

Anaerobtechnik
Springer, Berlin, Heidelberg, 2005

/5/ Betriebstagebuch 2013, 2014, EÜ-Bericht 2014, Stromverbrauchsdaten

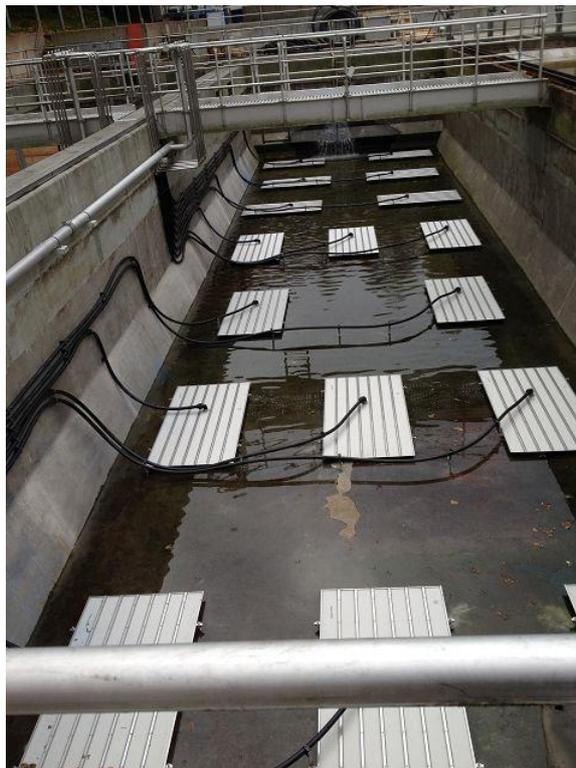
/6/ Betriebsbericht Energie

/7/ Betriebstagebuch 2015

/8/ 28. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen; DWA, Hennef, 2015

7. Anhang

Energiecheck und Energieanalyse - Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen nach Arbeitsblatt DWA-A 216



Erstellung:

Dokument:: Energieanalyse nach DWA-A 216
Anlage: Kläranlage Blümeltal
Auftragnehmer: BITControl
BITControl GmbH
Auf dem Sauerfeld 20
54636 Nattenheim

Ersteller: Dipl. Ing. Norbert Meyer
Erstelldatum: 29.01.2016
Version: 01
Auftraggeber: Abwasserbeseitigungsbetrieb der Stadt Pirmasens
Schützenstraße 16
66953 Pirmasens

1 Grundlagen

Bezugszeitraum der vorliegenden Energieanalyse ist das Jahr 2015

Die Betriebsdaten sind im Wesentlichen dem Betriebstagebuch und dem Prozessleitsystem entnommen.

Der Energiebericht betrachtet zum Einen den allgemeinen energetischen Zustand der Kläranlage und dann speziell die biologische Stufe. Die biologische Stufe wurde 2012/2013 umfassend modernisiert. Ziel war dabei auch, einen besonders energieeffizienten Betrieb auf Dauer umzusetzen.

2 Veranlassung

Von 2011 – 2013 wurde die biologische Stufe der Kläranlage Blümeltal umfassend modernisiert. Diese Maßnahme wurde vom BMU unterstützt.

Die Unterstützung ist an den Erfolg der mit der Maßnahme beabsichtigten Verbesserungen gebunden.

Folgende Ziele sollten durch die Modernisierungsmaßnahmen erreicht werden:

Energiebedarf der Gesamtanlage < 21 kWh/E/a

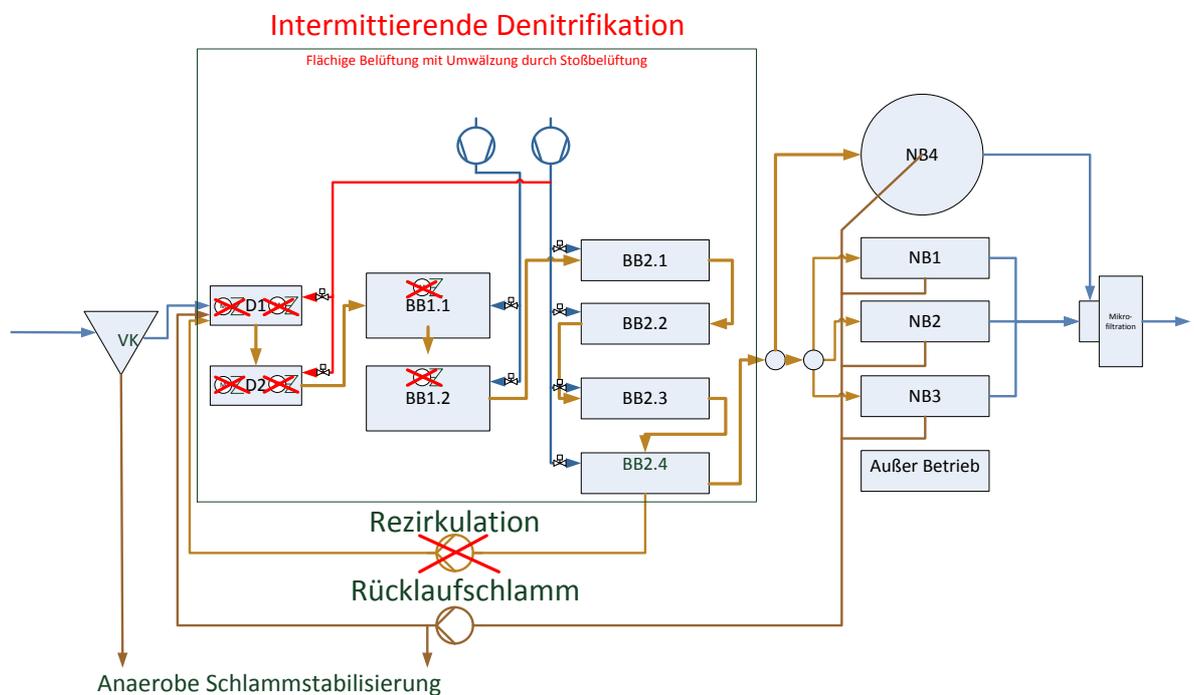
Energiebedarf der Belüftung < 10 kWh/E/a

Im Folgenden wird anhand einer Auswertung der Energiedaten der aktuelle energetische Zustand der Gesamtanlage und speziell der biologischen Stufe dargestellt.

3 Kurzbeschreibung Modernisierung

Die Modernisierung lässt sich in drei Maßnahmenpakete gliedern.

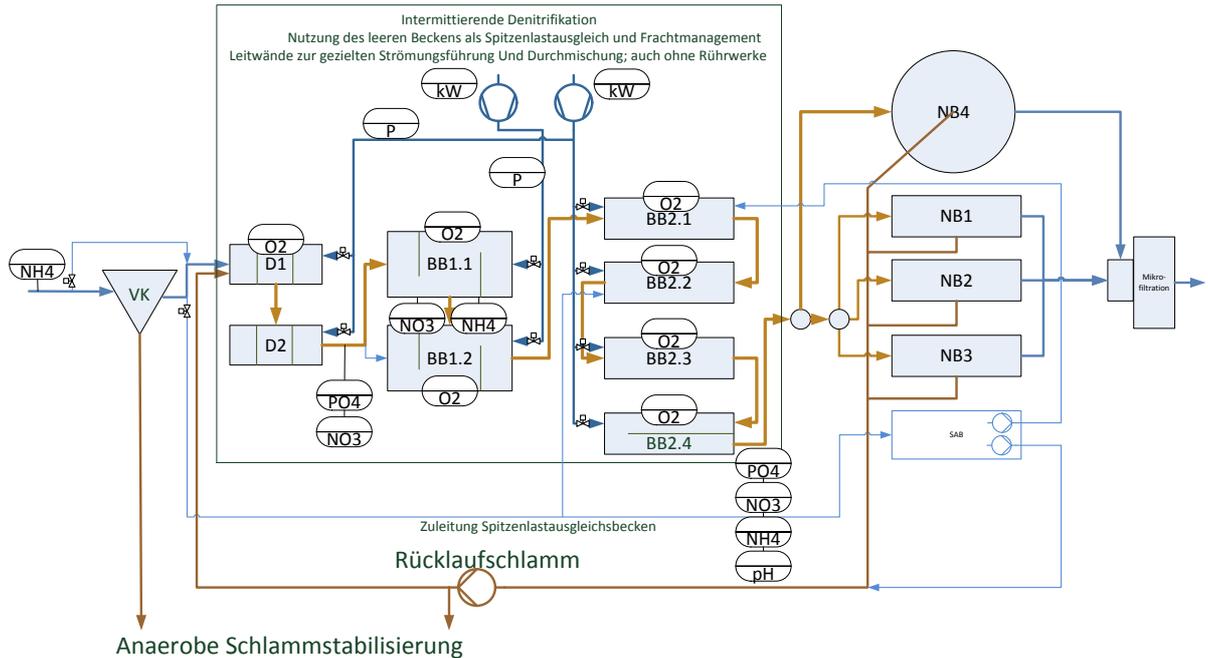
1. Die Anlagentechnik wurde modernisiert und so umgestaltet, dass die biologische Stufe verfahrenstechnisch flexibel betrieben werden kann und belastungsabhängig möglichst betriebssicher und energieeffizient reagiert wird.



Dazu wurde das Verfahren von vorgeschalteter auf intermittierende Denitrifikation umgestellt, ein Zwischenlastausgleichsbecken zur Bewirtschaftung von Frachtspitzen integriert und eine flächendeckende Belüftungseinrichtung zur Belüftung und Umwälzung installiert.

2. Die Messtechnik wurde so erweitert, dass alle Becken gezielt bedarfsorientiert belüftet werden und Lastzustände frühzeitig und sicher erkannt werden. Außerdem kann anhand der Messwerte der energetische Zustand während des Betriebes auf einfache Weise überwacht und bewertet werden.

Messtechnik



3. Schließlich wurde ein sehr aufwändiges, detailliertes Regelungs- und Überwachungskonzept entwickelt und umgesetzt, mit dessen Hilfe auf jede Frachtsituation gezielt reagiert wird. Übergeordnete Überwachungseinrichtungen verhindern, dass übermäßig Energie angefordert wird, oder bei langen belastungsarmen Phasen Mangelsituationen in Zonen der biologischen Stufe auftreten.

Lasteinstufung							
Vorwahl Messwertbildung für Lasteinstufung:	Messwert Ablauf BB1.2	Mittelwert aus BB1.1 und BB1.2		Mittelwertbildung zyklusabhängig			
	2,80	3,60		Zyklus A	Zyklus B		
				3,40	3,20		
	NH4-N Min.	NH4-N Mittel	NH4-N Max.	Freigabe Modus über KW Gebläsestrasse 1		Zyklus A in Min.	Zyklus B in Min.
Modus	2	mg/l	8				
Schwach		2,50	3,00			35	35
Eco	1,50	2,75	4,00	19	17	30	30
Standard	2,50	3,75	5,00			28	28
Last	3,50	4,75	6,00	25	23	25	25
Hochlast	4,50	5,75	7,00			20	20
O2 Modus	5,50	6,75		26	30	Dauerbetrieb im Zyklus B wegen Messwerte Max	
Hysterese Modiwechsel		1,5	Ersatzwert bei Ausfall der NH4-N Messungen			5	mg/l und Standardmodus

Die durchgeführten Modernisierungsmaßnahmen haben im Ergebnis bewirkt, dass der Energieverbrauch deutlich gesenkt werden konnte.

Die biologische Phosphatelimination konnte intensiviert werden, so dass weniger Fällmittel verbraucht wird und Phosphor im Belebtschlamm biologisch gebunden ist und so für eine weitere Verwertung zur Verfügung steht.

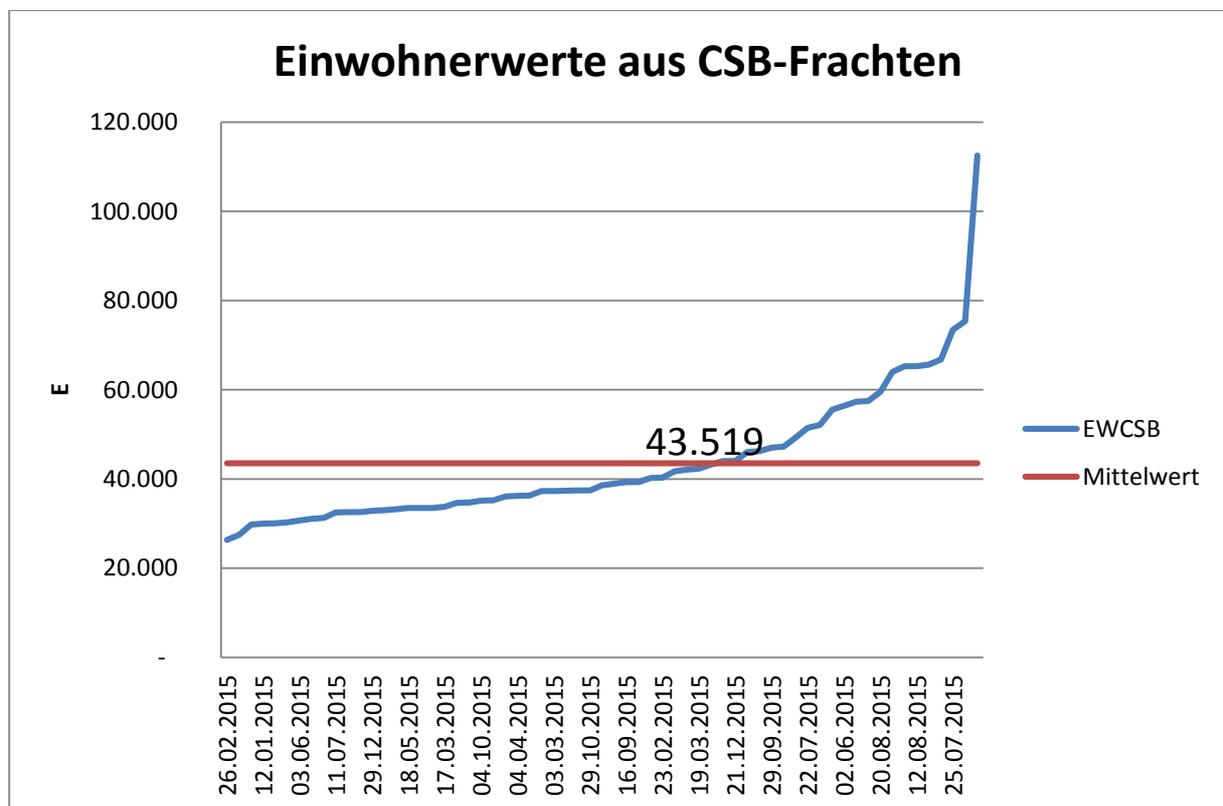
Die Ablaufwerte wurden stabilisiert. Durch die belastungsabhängige Regelung der Reinigungsprozesse und den Frachtausgleich mithilfe des Spitzenlast-Ausgleichbeckens konnten die Schwankungen der Ablaufwerte verringert werden.

4 Zusammenfassung Energiebilanz

Ermittlung der Frachten und Einwohnerwerte für das Jahr 2015 /7/

Fracht des CSB, bezogen auf alle 24-h-Mischproben im Zulauf

$$B_{d,CSB} = 4.566 \text{ kg/d}$$



Die mittlere Belastung, bezogen auf den CSB, betrug

$$\text{Einwohnerzahl im Mittel} = 43519 \text{ EW}_{CSB,120}$$

Energiebedarf Gesamt

$$E_{\text{ges}} = 860.481 \text{ kWh}$$

Der Gesamtenergiebedarf der Kläranlage, bezogen auf die durchschnittliche Belastung betrug

$$e_{\text{gesamt}} = 19,8 \text{ kWh/E/a}$$

Der Energiebedarf der Belüftung lag 2015 bei

$$E_{\text{Bel}} = 340.170 \text{ kWh}$$

bzw. spezifisch bei

$$e_{\text{bel}} = 7,8 \text{ kWh/E/a.}$$

			Stromverbrauch
			kWh
Gebälsestation	Gebälse 1	Leistungsmessung	69.139,8
Gebälsestation	Gebälse 2	Leistungsmessung	65.647,24
Gebälsestation	Gebälse 3	Leistungsmessung	55.160,69
Gebälsestation	Gebälse 4	Leistungsmessung	81.568,15
Gebälsestation	Gebälse 5	Leistungsmessung	68.653,74
Summe			340.169,62

5 Übersicht Strombilanz Kläranlage

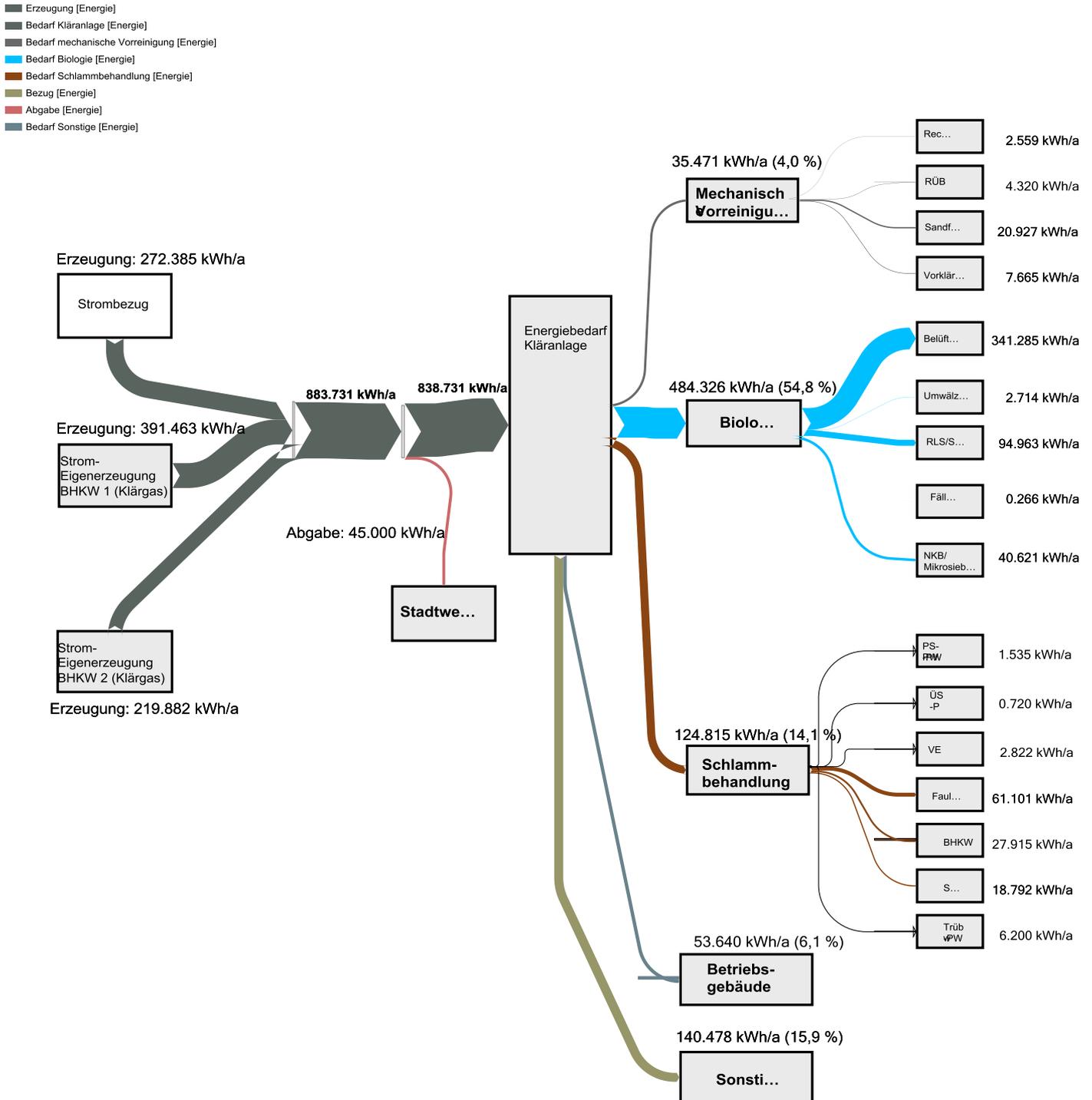


Abb. 2: Stromfluss Kläranlage

6 Energiekennwerte

6.1 Überblick

Folgende Kennwerte gemäß A 216 sind hier anwendbar:

E_{ges}	Stromverbrauch gesamt	kWh/a
$EW_{CSB,120}$	Einwohnerwert bezogen auf CSB (EZ+EGW)	E
E_{bel}	Stromverbrauch Belüftung	kWh/a
E_{PW}	Stromverbrauch des Pumpwerks	kWh/a
H_{man}	Manometrische Förderhöhe	a
Q_{PW}	Fördermenge des Pumpwerks	m ³ /a

6.2 Stromverbrauch E_{ges}

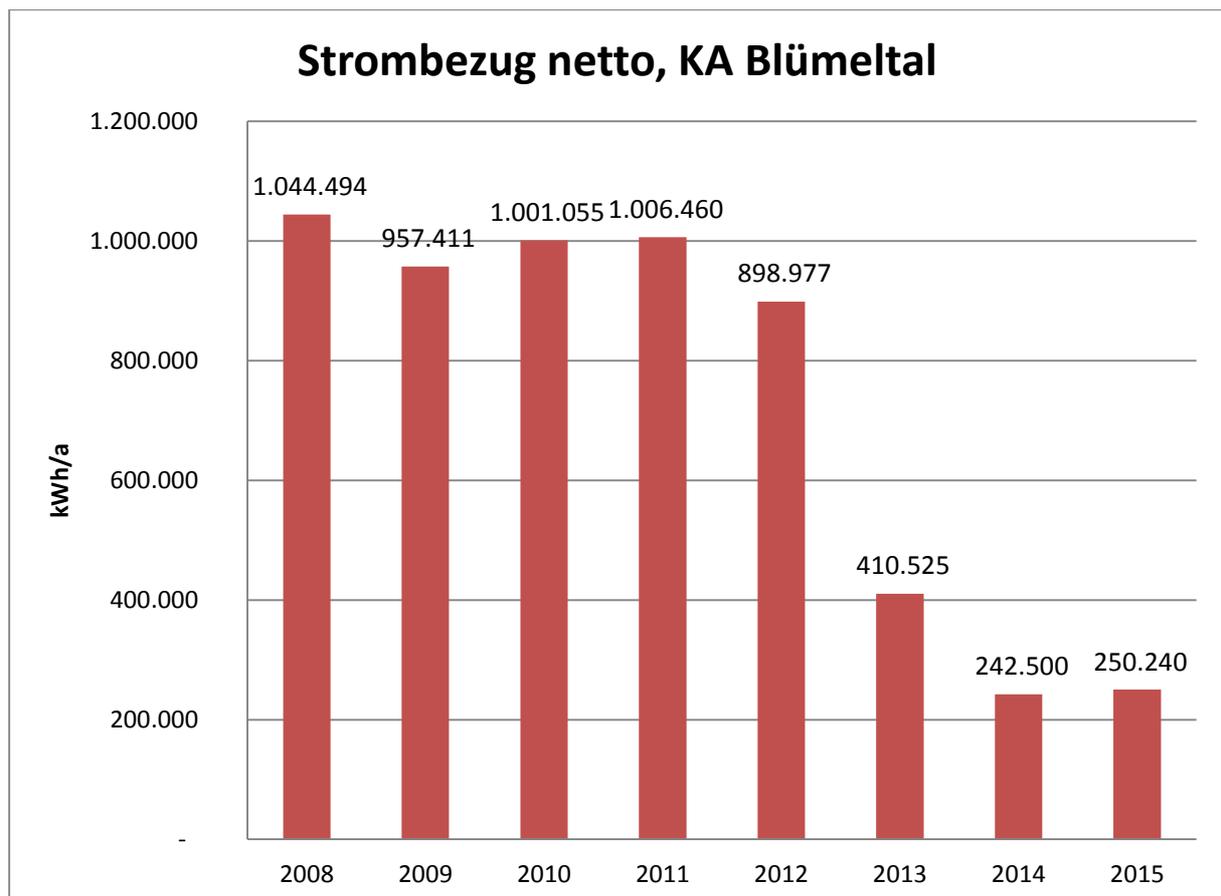


Abb. 3: Strombezug unter Abzug der Einspeisemenge

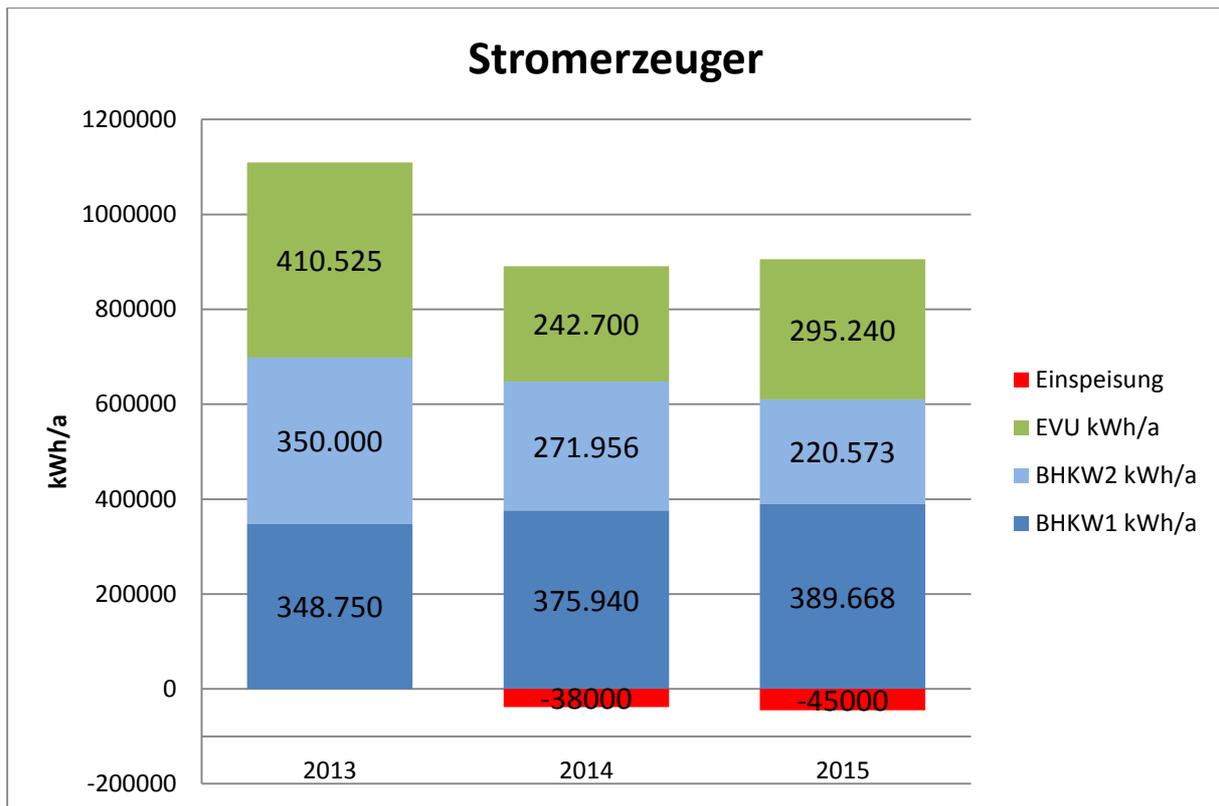


Abb. 4: Gesamtstromverbrauch KA Blümelal 2013 – 2015*; Eges kWh/aSpezifischer Gesamtstromverbrauch e_{ges} , kWh/(Exa)

Strombezug, Betriebstagebuch 2015

BHKW1	389.668
BHKW2	220.573
EVU	295.240
Einspeisung	-45.000
Gesamtverbrauch Kläranlage E_{ges}	860.481

spezifischer Gesamt-Energieverbrauch

$$e_{ges} = \frac{E_{ges}}{EW} = \frac{860.481}{43.519} = 19,8 \left[\frac{kWh}{EW * a} \right]$$

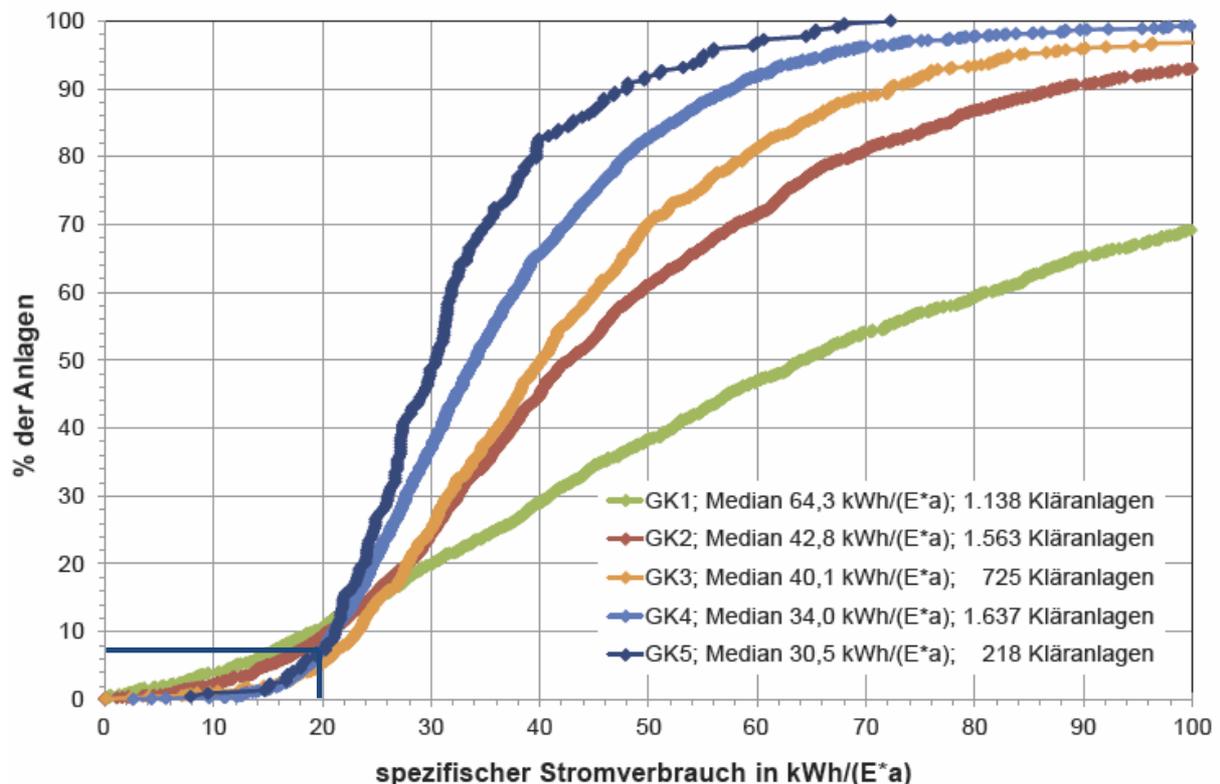


Abb. 5: Spezifischer Gesamtstromverbrauch kWh/E/a /8/

In obiger Grafik ist der spezifische Energieverbrauch einer Vielzahl von Kläranlagen aufgetragen. Diese Auswertung wurde von der DWA durchgeführt. Die statistische Einordnung anhand der Summenkurven aus dem DWA-Leistungsvergleich zeigt, dass die Kläranlage Blümelstal zu den besten 10 % aller Kläranlagen der Größenklasse 4 gehört.

6.3 Spezifischer Stromverbrauch für die Belüftung

Der Stromverbrauch der Belüftung wird durch einen eigenen Zähler erfasst. Hier ist zu berücksichtigen, dass die Belüftung auch für die Umwälzung während der Denitrifikationsphasen eingesetzt wird. Dazu wird in Abständen von ca. 20 Minuten ein Luftstoß von ca. 1 Minute in die Becken eingetragen.

In E_{bel} ist also auch der überwiegende Energiebedarf für die Umwälzung enthalten.

Die Rührwerke werden nur noch nach Bedarf unterstützend eingeschaltet.

$$E_{\text{bel}} = 341.285 \text{ kWh /6/}$$

$$e_{\text{Bel}} = 7,8 \text{ kWh/E/a}$$

Der Energieverbrauch der Belüftung beträgt 40 % des Gesamtstromverbrauches.

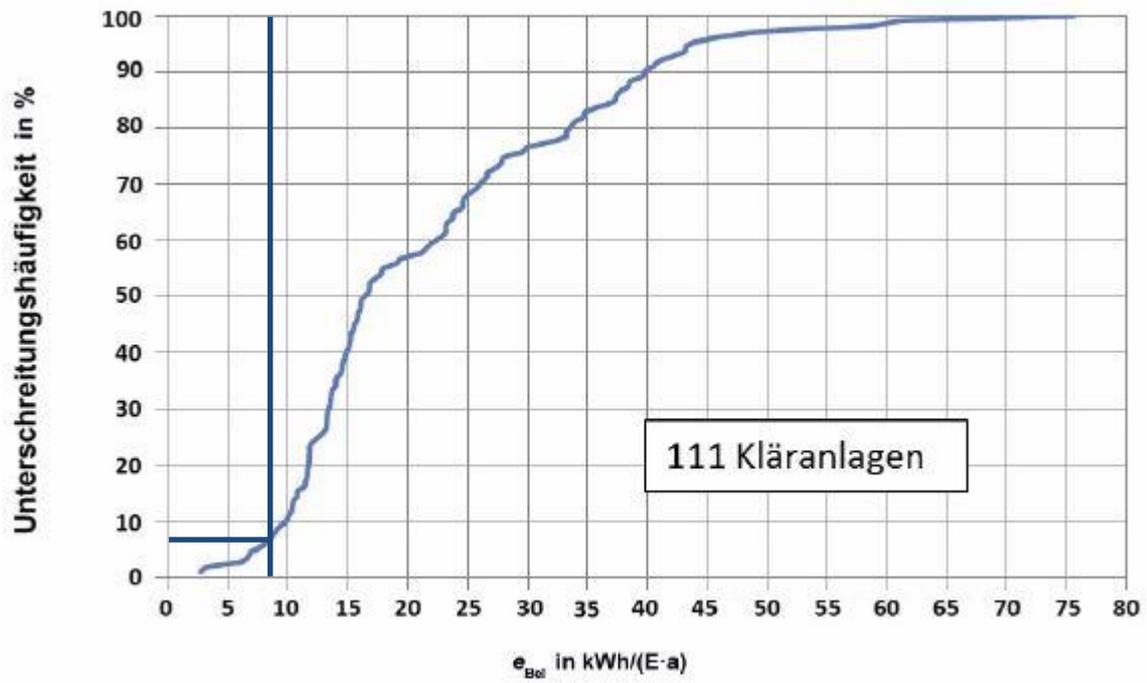


Abb. 6: Spezifischer Stromverbrauch für die Belüftung /1/

7 Idealwerte

7.1 Biologische Stufe

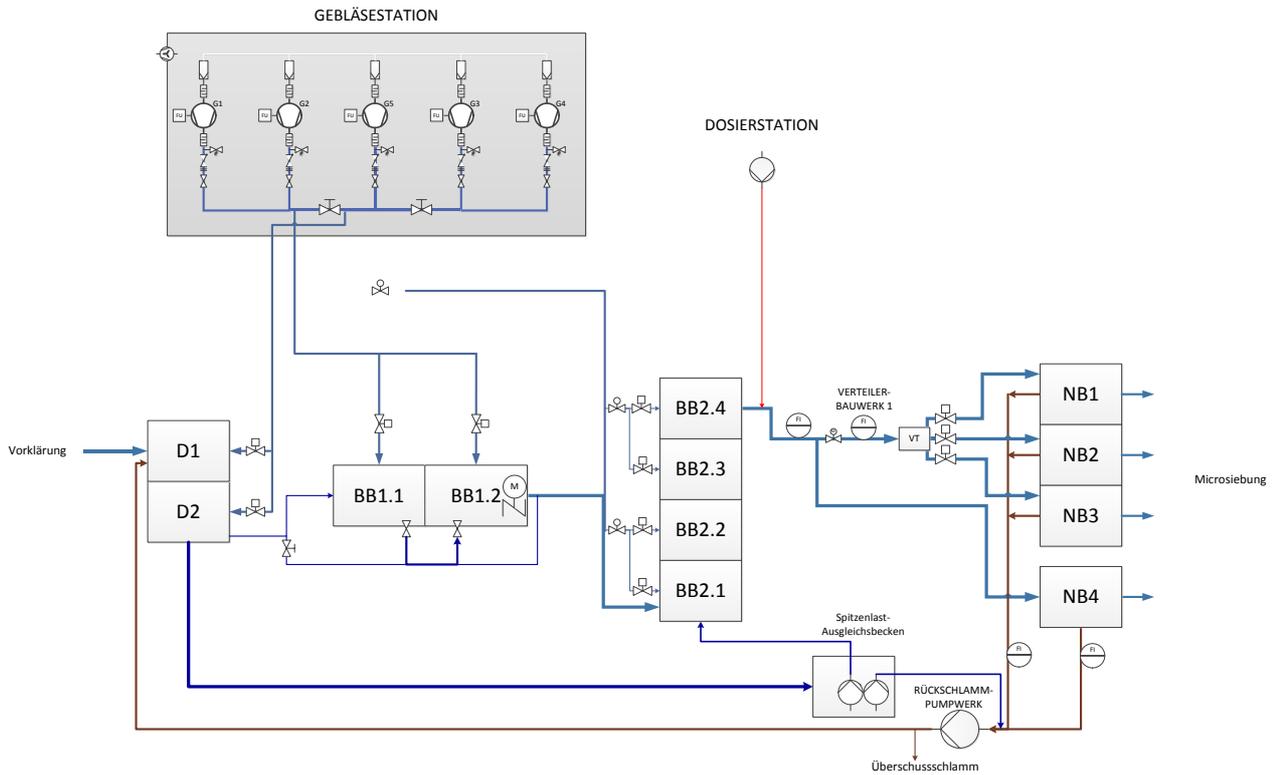


Abb. 7: Fließschema biologische Stufe

7.1.1 Anlagenspezifischer Idealwert e_{Bel}

Modell SOTR

$$E = \frac{SOTR * t}{SAE} \quad [\text{kWh/a}]$$

Mit

t

Dauer der Beüftung

h/a

SAE Standard Sauerstoffertragswert kgO2/kWh

SOTR Standard Sauerstoffzufuhr kg O2/h

$$SOTR = OV_h * \frac{f_d * c_{s,20}}{(f_d * c_{s,T} - cx) * \theta^{T-20} * \alpha} \quad [m^3 / h]$$

α -Wert Grenzflächenfaktor

$\theta(T-20)$ Temperaturkoeffizient 1,024(T-20)

fd Belüftungskoeffizient fd=1+hd/20,7 (Druckluftbelüftung)

$$OV_h = \frac{f_c * (OV_d, C - OV_d, D) + f_N * OV_d, N}{24} \quad [kgO_2 / h]$$

fC, fN Stoßfaktoren = 1

Berechnung der Sauerstoffzufuhr SOTR

Anschlusswert:

43.519 Einwohner

Belebungsbecken

Gesamtvolumen

VBB, gesamt = 8.600,0 m³

Bemessungsgrößen

23.01.	19.02.	14.03.	14.04.	07.05.	03.06.	01.07.	01.08.	03.09.	01.10.	01.11.	11.12.
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

gemessener geringster Nachtzufluss [l/s]	54,44	37,78	28,06	28,06	28,06	28,06	28,06	28,06	28,06	28,06	28,06	28,06
Abzug für geschätzten Nachtzufluss der angeschlossenen Einwohner (EZ): $q * EZ / 1000$ [l/s]	13,47	13,47	13,47	13,47	13,47	13,47	13,47	13,47	13,47	13,47	13,47	13,47
Abzug geschätzter Nachtzufluss aus Industrie [l/s]	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Fremdwasserzufluss A - B - C [l/s]	32,97	16,31	6,59	6,59	6,59	6,59	6,59	6,59	6,59	6,59	6,59	6,59
Tagesfremdwasserzufluss D * 86,4 [m³/d]	2.848	1.409	569	569	569	569	569	569	569	569	569	569
gemessener Tagesabwasserzufluss (24 h bei Trockenwetter) einschl. FW [m³/d]	6.840	6.512	4.862	5.380	5.025	5.240	4.853	4.371	5.849	4.274	3.553	5.647
Tagesschmutzwasserabfluss F - E [m³ / d]	3.992	5.103	4.293	4.811	4.456	4.671	4.284	3.802	5.280	3.705	2.984	5.078

Fremdwasseranteil 100 * E / F	42%	22%	12%	11%	11%	11%	12%	13%	10%	13%	16%	10%
-------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Belastung der Biologie

Beckengeometrie

Gesamtvolumen VBB, gesamt = 8.600,0 m³

Ablaufwert org. N $S_{Norg,AN}$ 2,00 mg/l

Belüftung

α -Faktor α 0,80

Einblastiefe h_D 4,50 m

Verlusthöhe, Druckverlust Belüftung	hv	1,00 m
Laufzeit Gebläse	t_{Gebl}	10,00 h/d
Spezifische Standard-Sauerstoffausnutzung	SSOTE	7,00 %/m

Denitrifikationsverfahren	intermittierend
Belueftungsverfahren	Druckluftbelüftung

Berechnungen

Temperaturfaktor	FT	0,92
Konzentration des gelösten inerten CSB im Ablauf	S _{CSB,inert,AN}	26,19 mg/l
Konzentration des inerten, partikulären CSB, Zulauf Belebung	X _{CSBinert,ZB} X _{CSB,ZB}	20,10 mg/l
Konzentration des abbaubaren CSB in der homogenisierten Probe, im Zulauf	C _{CSBabb,ZB}	477,59 mg/l
CSB der Biomasse	X _{CSB,BM}	111,49 mg/l
Konzentration des inerten, partikulären CSB in der Biomasse	X _{CSBinert,BM}	41,70 mg/l
Sauerstoffverbrauch der Kohlenstoffatmung	OVC	324,41 mg/l
Konzentration des Gesamtstickstoffes in der homogenisierten Probe als Stickstoff, im Zulauf	C _{N,ZB}	44,22 mg/l
in die Biomasse eingebauter organischer Stickstoff	X _{orgN,BM}	7,80 mg/l
an inerte partikuläre Stoffe gebundener organischer Stickstoff	X _{OrgN,inert}	1,85 mg/l
Konzentration des zu denitrifizierenden Nitratstickstoffes	S _{NO3D}	26,56 mg/l
Sauerstoffverbrauch für die Nitrifikation	OV _{d,N}	927,96 kg/d
Sauerstoffverbrauch für die Kohlenstoffelimination, der durch die Denitrifikation gedeckt wird.	OV _{D,d}	573,98 kg/d
Sauerstoffverbrauch der Kohlenstoffatmung	OV _{d,C}	2.451,52 kg/d

Denitrifikationsverhältnis	VDV, BB1	0,55 mit tTS
Denitrifikationsverhältnis	VDV	0,58 mit Belüftungszeit
Faktor intermittierend	f_{int}	2,40 mit Belüftungszeit
Stündlicher Sauerstoffverbrauch	OV _h	395,35 kg/h
Sauerstoffsättigungskonzentration bei der Betriebstemperatur im Belebungsbecken	C _{s,T}	10,37 mg/l
Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken	C _X	1,00 mg/l
Sauerstoffsättigungskonzentration bei 20 °C	C _{s,20}	9,10 mg/l
Tiefenfaktor bei der Druckluftbelüftung	f _D	1,22
Standard Sauerstoffzufuhr im Reinwasser	SOTR	546,00 kg/h
Luftvolumenstrom unter Normbedingungen	Q _{L,N}	5.777,81 m ³ /h
Wirkungsgrad Gebläse	η _{Geb1}	0,85
Energiebedarf	E _{Bel}	304.216,94 kWh/a
Einwohner	EW _{CSB120}	43.516,00 E
spezifischer Energiebedarf ideal	e_{bel,ideal}	6,99 kWh/E/a

7.1.2 Realwert

Gebläsestation

Gebläse 1	69.139,80 kWh
Gebläse 2	65.647,24 kWh

Gebläse 3	55.160,69 kWh
Gebläse 4	81.568,15 kWh
Gebläse 5	68.653,74 kWh
Gesamt Belüftung Real	340.169,62 kWh

spezifischer Energiebedarf real **7,82 kWh/E/a**

7.2 Jahresenergieverbrauch Umwälzung

7.2.1 Idealwert

Betriebsstunden	Bh	12,00 h/d
Volumen	V	8.600,00 m ³
spezifischer Energiebedarf	espez	2,00 W/m ³
Leistung		17,20 kW
Gesamt Energiebedarf ideal		75.336 kWh

7.2.2 Realwert

Belebungsbecken 1	
Rührwerk MT301	664,62 kWh
Belebungsbecken 2, Straße 1	
Rührwerk MT301	988,78 kWh
Rührwerk MT302	0,22 kWh

Belebungsbecken 2, Straße 2

Rührwerk MT301 183,79 kWh

Rührwerk MT302 0,49 kWh

Belebungsbecken 2, Straße 3

BB2.3 Rührwerk 3 875,72 kWh

BB2.3 Rührwerk 4 0,15 kWh

Belebungsbecken 2, Straße 4

BB2.4 Rührwerk 1 0,00 kWh

BB2.4 Rührwerk 3 0,00 kWh

Gesamt Umwälzung Real 2.713,78 kWh

spez. Energiebedarf real 0,07 W/m³

7.3 Rücklaufschlammförderung

Modell Pumpe

$$E = \frac{Q * h * 2,7}{\eta_{ges} * 1000} = \frac{Q * h * 2,7}{\eta_{Pumpe} * \eta_{Motor} * 1000} = \frac{Q * h * espez}{1000} \left[\frac{kWh}{a} \right]$$

Q Abwassermenge m³/a

ηPumpe hydraulischer Wirkungsgrad Pumpe-

ηMotor Wirkungsgrad Motor -

h hman = hgeod + hv bei Kreiselpumpen

hv Reibungsverluste

7.3.1 Idealwert Jahresenergieverbrauch RLS

Mittelwert der Tagessumme über den Auswertungszeitraum

Bemessungszufluss	Q	2.278.284,12 m ³
Förderhöhe	h _{geo}	7,50 m
Verlusthöhe	h _v	1,00 m
Wirkungsgrad Motor	η_{Motor}	0,90
Wirkungsgrad Pumpe	η_{Pumpe}	0,65
Energiebedarf	E	89.378,84 kWh
spezifischer Energiebedarf	espez	4,62 Wh/m³/m

7.3.2 Realwert aus den Strommessungen

Rücklaufschlammpumpe 1	0,00 kWh
Rücklaufschlammpumpe 2	32.605,57 kWh
Rücklaufschlammpumpe 3	32.244,84 kWh
Rücklaufschlammpumpe 4	32.136,75 kWh
Gesamt Pumpen, Hebewerke Real	94.962,67 kWh
spezifischer Energiebedarf real	4,90 Wh/m³/m

8 Zusammenstellung

Verfahrensstufen	Unterstufen	Realwerte		Idealwerte
Rechengebäude		2.559		
Sandfang		20.927		
Regenüberlaufbecken		4.320		
Vorklärung		7.665		
SAB		4.478		
Biologische Stufe		444.471		
	Gebälsestation		341.285	340.170
	Belebungsbecken 1		2.714	150.672
	RLS-Pumpwerk		94.963	89.379
	Nachklärung		5.244	
	Fällmitteldosierung		266	
Mikrosiebung		35.377		
Schlammbehandlung		96.900		
	Primärschlammschacht		1.535	
	Voreindicker		2.822	
	ÜSS-Pumpenschacht		720	
	ÜSS-Eindickung		2.376	
	Faulturm		61.101	
	Klärschlammbehandlung		2.988	
	Trübwasserbehälter 1		367	
	Trübwasserbehälter 2		83	
	Trübwasserpumpwerk		6.117	
	Schlamm entwässerung		18.792	

BHKW		27.915		
	BHKW1		14.385	
	BHKW2		13.530	
Betriebsgebäude		53.640		
Sonstiges		140.478		
Verbrauch		838.731		
BHKW	BHKW1		391.463	
BHKW	BHKW2		219.882	
EVU			272.385	
Erzeugung			883.731	
Einspeisung			45.000	
Verbrauch			838.731	

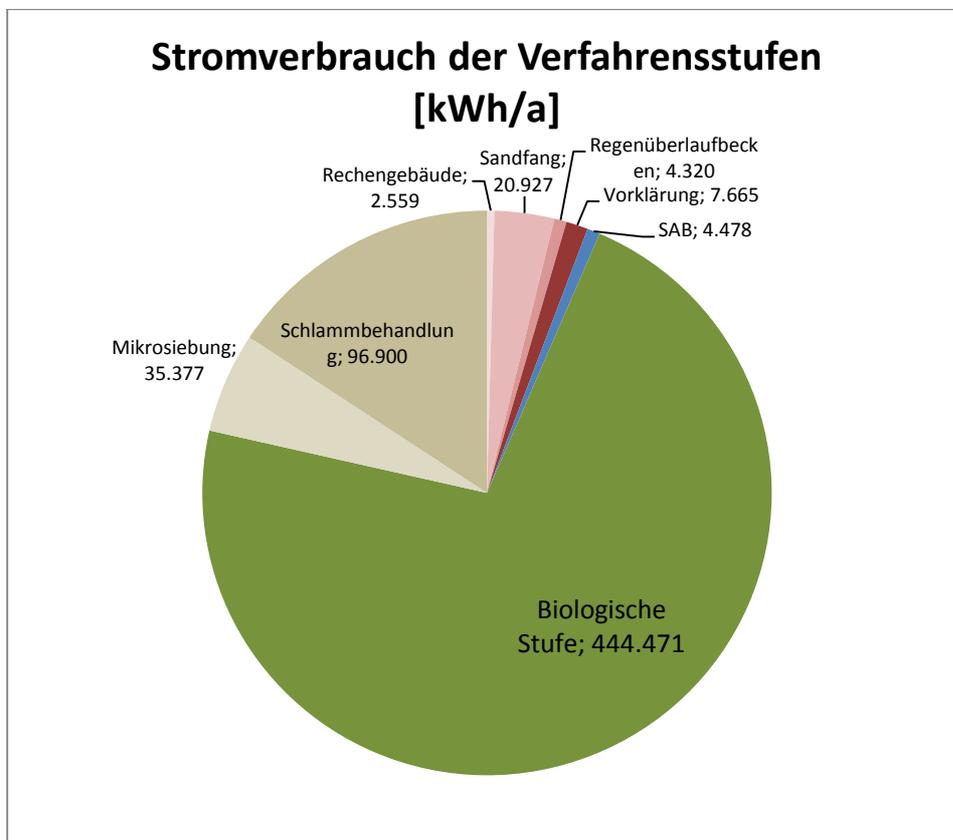


Abb. 8: Anteile am Gesamtstrombedarf (kWh/a)