

# Potenzialstudie für die Kläranlage Nieder-Wöllstadt des Abwasserverband Aubach

Auftraggeber:

**Abwasserverband Aubach**

**Paul-Hallmannstraße 3**

**61206 Wöllstadt**

Berichtverfasser:

**Dr.-Ing. Sebastian Tews**

April 2022

## Allgemeine Angaben

Betreiber:	<b>Abwasserverband Aubach</b>
	Paul-Hallmannstraße 3
	61206 Wöllstadt
Betriebspersonal:	Herr Reutzel
	Tel.: +49 (6034) 2955
Kläranlagennachbarschaft:	Wetterau
Baujahr/Erweiterung:	k.A.
Kläranlage:	Wöllstadt / Nieder-Wöllstadt
Ausbaugröße:	12.000 EW
Größenklasse:	4
Überwachungsparameter:	CSB: 40 mg/l, BSB <sub>5</sub> : 10 mg/l, NH <sub>4</sub> : 10 mg/l, N <sub>ges</sub> : 14 mg/l, P <sub>ges</sub> : 0,7 mg/l
Bemessungszufluss:	363 l/s (nach EKVO-Bericht 2018)
	425 m <sup>3</sup> /2h = 59 l/s nach Genehmigungsbescheid 2018
Jahresschmutzwassermenge:	ca. 800.000 m <sup>3</sup> /a
Einleitgewässer:	Nidda
Kanalisation:	Mischwasser
Verfahrensprinzip:	<i>Abwasserreinigung:</i>  chemisch-biologische Abwasserreinigung mit Rechen, Sandfang, vorgeschaltete Denitrifikation, Nitrifikation, Nachklärung, Scheibenfilter zum Schwebstoffrückhalt  <i>Schlammbehandlung:</i>  Anaerobe Schlammstabilisierung und Schlammentwässerung in Form einer Zentrifuge

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
2.1	Energieeffizienz und -management	5
2.2	Energie auf Kläranlagen und mögliche Einsparpotentiale	6
2.3	Durchführung von Energieanalysen	8
2.4	Aufgabenstellung	9
<b>3</b>	<b>Beurteilung der Kläranlage Wöllstadt</b>	<b>10</b>
3.1	Einführung	10
3.2	Beschreibung der Kläranlage	11
3.3	Temperaturverteilung	13
3.4	Hydraulische Auswertung	14
3.5	Frachtberechnung	17
3.6	Ablaufqualität	22
3.7	Betriebsparameter	24
3.8	Überrechnung der Kläranlage	30
<b>4</b>	<b>Beurteilung der energetischen IST-Situation</b>	<b>31</b>
4.1	Auswertung des Lastgangprofils der Kläranlage Wöllstadt	31
4.2	Potentialanalyse	35
4.3	Erhebung des elektrischen Energiebedarfs	37
4.3.1	Einführung	37
4.3.2	Auswertung der kontinuierlichen Leistungsmessung	38
4.3.3	Auswertung der Leistungsmessung mittels Zangenamperemeter	42
<b>5</b>	<b>Maßnahmenkatalog und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung</b>	<b>45</b>
5.1	Einführung	45
5.2	Optimierung des Zwischenhebewerkes	46
5.3	Optimierung des Sandfanggebläses	47

---

5.4	Einsatz einer bedarfsgerechten Rücklaufschlammförderung	48
5.5	Einsatz eines Sandwäschers zur Reduktion der Verwertungskosten	49
	Fazit: Wirtschaftlich ist der Tausch des Sandklassierers nicht. Sollte der alte Klassierer jedoch ersetzt werden müssen, sollte ein Sandwäscher zum Einsatz kommen.	50
5.6	Verringerung des Schlammalters	50
5.7	Nutzung der RO-Disk als Nachfällung	52
5.8	Schieber zur Umfahrung der Vorklärung automatisieren	54
5.9	Installation eines Blockheizkraftwerkes zur Nutzung des anfallenden Klärgases	55
5.10	Optimierung der Rührwerke in den Belebungsbecken	58
5.11	Optimierung der Sauerstoffversorgung in den Belebungsbecken	60
5.12	Isolation der Gebläsedruckrohrleitungen	61
5.13	Annahme von energiereichem Substrat	62
5.14	Umwälzung Faulbehälter	62
5.15	Einsatz weiterer PV-Module für den Eigenbedarf	64
5.16	Nachklärbeckenräumer 1	66
5.17	Bedarfsgerechter Betrieb der Schwimmschlammpumpe	67
5.18	Umwälzpumpe Wärmetauscher	68
5.19	Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	68
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>71</b>

# 1 Zusammenfassung

Der Abwasserverband Aubach beauftragte das Ingenieur und Gutachterbüro Dr. Tews am 31. August 2021 eine Potenzialanalyse für die Kläranlage Nieder-Wöllstadt durchzuführen. Anhand mehrfacher Begehungen der Kläranlage sowie die Auswertung der Betriebstagebücher und Leistungsaufnahmen, konnte sich ein ausführliches Bild über die Kläranlage verschafft werden. Die Überwachungswerte wurden im Betrachtungszeitraum von 2 Jahren nur sehr vereinzelt überschritten, während die Abwasserbehandlung auch an anderen Stellen der Kläranlage nach Ansicht des Autors sehr gut funktionierte. Durch die Auswertung der Betriebsdaten konnte ein umfassendes Bild über die stoffliche und energetische Situation erstellt werden. Die Kläranlage befindet sich in einem ihrem Alter entsprechenden Zustand, woraus sich in Bezug auf die Energiebedarfssituation grundsätzlich auch Verbesserungen ergeben.

In Zeiten steigender Energiepreise, der Energiewende und des Klimawandels ist es erforderlich, dass die wesentlichen Energieverbraucher der Kläranlage Nieder-Wöllstadt sowohl verfahrenstechnisch, als auch energetisch optimiert betrieben werden. Mit einem jährlich abgerechneten el. Energiebedarf von 438.471 kWh/a/207.835 kgCO<sub>2</sub>/a (Bezugsjahr 2020) für den Betrieb der Kläranlage sowie einen Wärmeenergiebedarf für das Jahr 2020 in Höhe von 14.000 Litern Heizöl ergab sich zu Beginn der Studie ein theoretisches energetisches Einsparpotential im Vergleich zum Zielwert vergleichbarer Kläranlagen von 140.800 kWh/a/66.739 kgCO<sub>2</sub>/a. Durch umfangreiche Untersuchungen verschiedener Ansätze belaufen sich die zu erwartenden energetischen Einsparungen der sofort- und kurzfristigen Maßnahmen auf insgesamt rund 200.091 kWh/a/94.843 kgCO<sub>2</sub>/a. Bei den aktuellen Energiepreisen entspricht das einer potentiellen Kosteneinsparung von rund 44.020 €/a. Hier ist allerdings zu berücksichtigen, dass durch die PV-Anlage bereits etwa 85.205 kWh/a erzeugt werden können.

Es sind die Randbedingungen der Anlage zu beachten, damit die Reinigungsleistung zu keiner Zeit beeinträchtigt wird. Zudem wird durch ausreichend große zeitliche Abstände deutlich, welche Maßnahmen welche Veränderungen bewirken konnten. Bei gemeinsamer Umsetzung lassen sich diese Zusammenhänge oft nicht differenzieren. Zudem kann eine zu schnelle Umsetzung Betriebsprobleme verursachen. Ferner sei erwähnt, dass die energetische wie verfahrenstechnische Optimierung von Kläranlagen kein zügig durchführbares Einzelprojekt ist. Vielmehr handelt es sich um einen kontinuierlichen und fortwährenden betriebsbegleitenden Prozess.

Das Ingenieur- und Gutachterbüro Dr. Tews bedankt sich für den Auftrag. An dieser Stelle sei zudem die hervorragende Zusammenarbeit mit dem Betriebspersonal der Kläranlagen erwähnt. Die schnelle und unkomplizierte Datenübermittlung hat in erheblichem Maße zu einem guten Gelingen der Studie beigetragen.

Datum: 29.04.2022



Dr.-Ing. Sebastian Tews

## 2 Einleitung

### 2.1 Energieeffizienz und -management

Wasser und Energie gehören zu den Grundpfeilern des heutigen Daseins. Zum Bestehen der modernen Gesellschaft ist eine funktionierende Wasser- und Energieversorgung damit unabdingbar, wobei beide Themenfelder sehr eng miteinander verknüpft sind. Wasser ist eine wichtige Voraussetzung für die Produktion von Energie (Wasserkraftanlagen, Prozess- und Kühlwasser im Kraftwerksbetrieb, Produktion von Biokraftstoffen in der Landwirtschaft). Andererseits wird bei der Gewinnung und Verteilung von Frischwasser sowie bei der Abwasserableitung und -behandlung eine erhebliche Menge Energie benötigt. Allein der Betrieb von Kläranlagen benötigt etwa 1 % der gesamten in Deutschland produzierten Energiemenge.

Die Energiebereitstellung findet vornehmlich durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe statt. Im Zuge der Ressourcenverknappung und des fortwährend steigenden Verbrauchs ist auch in Zukunft von höheren Bezugskosten und einer damit einhergehenden Energiekostenerhöhung auszugehen. Ferner sind die Auswirkungen des Reaktorunfalls von Fukushima und der daraufhin beschlossenen Energiewende auf die weitere Energiekostenentwicklung im Moment noch nicht abzusehen. Durch den Wegfall der atomaren Energiegrundlastsicherung müssen mittelfristig erhebliche Investitionen getätigt werden, um die Energiewende durch den Bau von regenerativen Energien voranzutreiben. Die vorstehend genannten Ursachen werden den Energiebezug in den kommenden Jahren weiter verteuern.

Eine Möglichkeit auf die sich ändernden Rahmenbedingungen in der Energieversorgung und den Kostendruck zu reagieren, ist die Einführung von Energiemanagementsystemen zur Steigerung der Energieeffizienz. Im Wesentlichen kann die Energieeffizienz in der Energieerzeugung und auf der Energienachfrageseite verbessert werden. In der Energieerzeugung kann dabei das Verhältnis von erzeugter Nutzenergie zu den eingesetzten Energierohstoffen verbessert werden. Dabei werden zum Beispiel die Wirkungsgrade der Kraftwerke oder eines Heizungssystems verbessert. Die Verbesserung der Endenergienachfrageseite kann erreicht werden, indem für ein bestimmtes Maß an Energie eine erhöhte Befriedigung energierelevanter Bedürfnisse erfolgt oder für die Befriedigung der Bedürfnisse weniger Energie benötigt wird (Pehnt, 2010). Am Beispiel einer Kläranlage wäre bei gleichbleibendem Energieeinsatz eine höhere Reinigungsleistung zu erzielen oder umgekehrt, bei gleichbleibender Reinigungsleistung ein geringerer Energieeinsatz von Nöten, um die Energieeffizienz einer Kläranlage zu steigern.

Die Steigerung der Energieeffizienz besitzt nach Pehnt (2010) eine gesellschaftliche Notwendigkeit. Deutschland und auch die europäische Union unterliegen bei allen fossilen Energieträgern einer hohen Importabhängigkeit. Uranerze werden zu 100 %, Naturgase zu über 80 %, Mineralöl zu 96 % und Steinkohle zu über 60 % aus dem Ausland importiert. Weiterhin wird die Importabhängigkeit durch die knapper werdenden innerdeutschen Ressourcen steigen. Eine Steigerung der Energieeffizienz kann diese Importabhängigkeit verringern. In Unternehmen kann durch die Energieeffizienzsteigerung die Wettbewerbsfähigkeit in zweifacher Hinsicht verbessern. Zum einen können die

Kosten für den Bezug von Energie sinken, was in einer unmittelbaren Wettbewerbsfähigkeit resultiert. Zum anderem stellt sich das Anpreisen von energieeffizienten Produkten als bedeutendes Absatzsegment heraus. Die Förderung der heimischen Wirtschaft bei Erhöhung der Energieeffizienz kann durch den Einsatz von neuen Technologien, z.B. innovativer Mess- und Regeltechnik erfolgen. Die Wertschöpfung verbleibt dabei im Land.

Die Steigerung der Energieeffizienz wurde politisch durch die Einführung von Managementsystemen vorangetrieben. Die Ausarbeitung und Veröffentlichung der DIN EN ISO 50001 (2011) hat den Zweck, „Systeme und Prozesse aufzubauen, welche zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung, einschließlich Energieeffizienz, Energieeinsatz und Energieverbrauch erforderlich sind“. Ausgehend von DIN EN ISO 50001 (2011) sind für eine energetische Planung einer Organisation drei wesentliche Schritte notwendig:

1. Analyse des Energieeinsatzes und Energieverbrauchs
2. Ermittlung der wesentlichen Bereiche mit wesentlichem Energieeinsatz und wesentlichem Energieverbrauch
3. Ermittlung von Möglichkeiten für die Verbesserung der energiebezogenen Leistung

Dabei soll die energetische Planung wiederholt durchgeführt und hinsichtlich des Erfolgs stetig überprüft werden. Die internationale Norm ist auf alle Größen und Arten von Organisationen anwendbar.

## **2.2 Energie auf Kläranlagen und mögliche Einsparpotentiale**

Kläranlagenbetreiber müssen sich zukünftig dauerhaft mit dem Thema Energie auseinandersetzen, um in Zeiten steigender Energiekosten die Abwasserbehandlung weiterhin wirtschaftlich zu gestalten und einen Beitrag zum Klimaschutz sowie zur Ressourcenschonung zu leisten, ohne dabei den Hauptfokus einer Kläranlage, die Abwasserreinigung und den Gewässerschutz, zu beeinträchtigen. Im Rahmen dessen muss eine Gesamtbilanzierung der eingesetzten Energie in Form von Elektrizität und Wärme aber auch Kraftstoffbedarf erfolgen. Im Gegensatz dazu kann das im Abwasser zur Verfügung stehende Energiepotential von 146 (Kroiss, 2006) bis 175 kWh/(EW\*a) (Pinnekamp, 2007) auf der Habenseite der Energiebilanz verzeichnet werden. Dieses Potential gilt es durch eine geeignete und effiziente Verfahrenstechnik so weit wie möglich auszuschöpfen und damit dem Ziel einer energieautarken Kläranlage einen Schritt näher zu kommen.

Ein Schwerpunkt für Kläranlagenbetreiber muss die Energieeigenversorgung mittels einer Nassvergärungsanlage für Faulschlamm sein (anaerobe Schlammstabilisierung), die auf Kläranlagen ab einem angeschlossenen Einwohnerwert von 10.000 EW unter Umständen wirtschaftlich sein kann. Wird die anaerobe Schlammstabilisierung optimiert, kann ein erheblicher Anteil des Strombedarfs selbst gedeckt werden. Mögliche Optimierungsansätze für eine Nassvergärungsanlage und die angeschlossenen Komponenten könnten sein:

- Aufnahme von biogenen Abfällen für die Co-Vergärung zur Steigerung der Effizienz von Faulbehältern
- Modernisierung alter BHKW oder Austausch gegen stromeffizientere Aggregate
- Erhöhung der Schlammbelastung zur Erhöhung der Überschussschlammproduktion
- Ersatz der Umwälzaggregate und Wärmetauscher
- Schaffung eines Erdgasanschlusses zur Bereitstellung von Ersatzbrennstoff. Auf den Einsatz von Heizöl oder Diesel kann dann vollständig verzichtet werden.
- Sanierung des Gasspeichers und Anpassung der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik an schnelle Wechsel des Füllstands. Damit ist die Stromerzeugung in Hochtarifzeiten möglich.
- Verbesserung der Faulbehälterisolation und Optimierung der Durchmischung und Umwälzung
- Zugabe von Eisen in den Reaktor zur Vermeidung der Schwefelwasserstoffbildung
- Vergrößerung der Vorklärung für eine höhere Primärschlammmenge und Gasausbeute
- Prüfung des Einsatzes von Desintegratoren

Eine weitere Möglichkeit der Energiegewinnung in Abwasseranlagen ist die Nutzung des Wärmepotentials verschiedener Quellen. Die Abwärme im Gebläseraum einer Kläranlage hat nach Mitsdörffer und Christ (2011) ein Potential zwischen 10 und 20 Wh/(EW\*d). Die BHKW-Abwärme hat mit 50 bis 100 Wh/(EW\*d) ebenfalls ein recht hohes Niveau. Darüber hinaus besitzt das gereinigte Abwasser ein vergleichsweise großes Potential von etwa 150 bis 300 Wh/(EW\*d). Wird die gesamte Energiebilanz einer Kläranlage betrachtet, so ist die vorstehend genannte Bilanzierung zwar untergeordnet, jedoch sollte nach Aussage von Mitsdörffer und Christ (2011) im Fall des Wärmebezugs durch Heizöl oder Erdgas über die Nutzung der Abwärme nachgedacht werden.

Ein anderer wichtiger Schritt zur Verbesserung der Energiebilanz ist die Verminderung des notwendigen Strombedarfs. Nach Thöle et al. (2011) bestehen große Einsparpotentiale im Bereich der „Verfahrenstechnik Belebungsanlage“. Die Anpassung von Fördermengen, wie z.B. bei der Rücklaufschlammförderung oder der internen Rezirkulation bzw. das Abschalten von Rührwerken können problemlos im Betrieb vorgenommen werden und zeigen hinsichtlich der Energieeinsparung kleine Verbesserungen. Direkt spürbare Verminderungen des Energieeinsatzes sind nach Thöle et al. (2011) im Regelfall mit größeren Investitionen verbunden. Zu nennen ist hier z.B. die Erneuerung der Belüftung. Eine dauerhafte und sukzessive Energieeinsparung ist jedoch nur durch die ständige Optimierung des Kläranlagenbetriebes und durch eine permanente Reinvestition bei stromintensiven Verbrauchern zu erreichen. Im Folgenden sind Ansatzpunkte, die zu einer Energieeinsparung auf Kläranlagen führen können, exemplarisch dargestellt:

- Gezielte Prozesswasserbehandlung, vorzugsweise durch Deammonifikation



- Ersatz der alten Umwälzaggregate und Pumpen durch Einbau von neuen stromeffizienten Aggregaten
- Überprüfung der Außenbeleuchtung auf dem Kläranlagengelände
- Nutzung der potenziellen Lageenergie des Abwassers vor Abgabe in den Vorfluter durch die Installation eines Generators
- Austausch der Belüftungsaggregate und Belüftersysteme
- Variables Schlammalter zu unterschiedlichen Jahreszeiten
- Einsatz von Frequenzumformern zum belastungsabhängigen Betrieb von Aggregaten
- Entwicklung eines Lastabwurfsystems zur Reduzierung der Lastspitzen
- Überprüfung der Steuer- und Regelungsstrategien der Wasserströme
- Beurteilung der sonstigen Verbraucher (Elektroheizungen, Analysegeräte, etc...) hinsichtlich des Energiebedarfs und eventueller Austausch durch neue effiziente Geräte

Die vorstehend genannten Energieeinsparmöglichkeiten stellen nur eine Auswahl an Möglichkeiten dar. Tatsächlich muss die energetische Situation jeder Kläranlage spezifisch betrachtet und bewertet werden. Im Anschluss an eine Energieanalyse kann eine Zusammenstellung der möglichen Maßnahmen zur Energieeinsparung erfolgen.

### **2.3 Durchführung von Energieanalysen**

Grundsätzlich kann eine Energieanalyse nach DIN EN ISO 50001 (2011) in die 3 Schritte Analyse des Energieeinsatzes und Energieverbrauchs, Ermittlung der wesentlichen Bereiche mit wesentlichem Energieeinsatz und wesentlichem Energieverbrauch und Ermittlung von Möglichkeiten für die Verbesserung der energiebezogenen Leistung unterteilt werden. Eine detailliertere Beschreibung über die Durchführung einer Energieanalyse gibt die Arbeitshilfe zur Verbesserung der Energieeffizienz von Abwasserbehandlungsanlagen (2011). Demnach wird die Durchführung einer Energieanalyse in die folgenden Arbeitsbereiche unterteilt:

1. Plausibilitätsprüfung der Daten: Betriebsdaten und Unterlagen der zu untersuchenden Kläranlage werden auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft. In diesem Schritt sollen bereits verschiedene Unstimmigkeiten wie z.B. Zulauffrachten im Vergleich zu den angeschlossenen Einwohnerwerten identifiziert und erläutert werden.
2. Anlagenbegehung: Während der Anlagenbegehung soll bereits auf allgemeine Mängel hingewiesen werden sowie zusätzlich zu installierende Messtechnik erörtert werden.
3. Aufnahme des Ist-Zustandes: Es findet eine Nachrechnung bezüglich der Schmutzfrachten und hydraulischen Bedingungen statt, die dann mit der aktuellen Anlage verglichen wird.

4. Bilanzierung des Energieverbrauchs: Durch die Identifizierung eventueller versteckter Verbraucher sowie der Hauptverbraucher ist es möglich, das Energieeinsparpotential aufzudecken. Dabei sollen etwa 90 % des Energieverbrauchs einzelnen Aggregaten zugeordnet werden, ggf. sind Strommessungen durchzuführen.
5. Bewertung des Ist-Zustandes: Der Vergleich des zuvor aufgenommenen Ist-Zustandes mit den Ziel- und Toleranzwerten zeigt das Energieeinsparpotential der untersuchten Kläranlage auf.
6. Vorschläge für einen ersten Maßnahmenkatalog: Der Vergleich zwischen dem Ist-Zustand der Kläranlage und dem theoretisch erreichbaren Zielwert zeigt direkt Möglichkeiten auf, die in einem ersten Maßnahmenkatalog vorgeschlagen werden sollen. Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt in dieser Phase über eine Kosten/Nutzen-Analyse, bei der mögliche Einsparungen durch die Realisierung der Einzelmaßnahmen aufgezeigt werden.
7. Bewertung der Zwischenergebnisse: Die bisher erarbeiteten Ergebnisse werden in einer Besprechung mit dem Auftraggeber beschrieben. Es werden Maßnahmenpakete vorgestellt, die zu einer Energieeinsparung auf der Kläranlage führen, sofern diese identifiziert werden konnten. Ferner werden die Maßnahmenpakete in „Sofortmaßnahmen“, „Kurzfristige Maßnahmen“ und „Abhängige Maßnahmen“ unterteilt.
8. Endbericht und Präsentation: Die Energieanalyse schließt mit einer schriftlichen Ausarbeitung und einer Sitzung zusammen mit dem Auftraggeber.

## 2.4 Aufgabenstellung

Die Abwässer der Gemeinde Wöllstadt werden der Kläranlage Nieder-Wöllstadt (folgend: Wöllstadt) zugeführt. Im Interesse des Bürgers und der Ressourcenschonung ist eine stetige Verbesserung der Reinigungsleistung bei möglichst geringem Energieaufwand erstrebenswert. Durch die Effizienzsteigerung wird die ökonomische Situation der Abwasserreinigungsanlagen verbessert. Es muss jedoch in jedem Fall darauf geachtet werden, dass sich trotz aller Bemühungen die Kläranlagenleistungen hinsichtlich der Ablaufqualität nicht verschlechtern.

Das

### **Ingenieur- und Gutachterbüro Dr. Tews**

hat den Auftrag erhalten, eine Potenzialstudie über die Abwasserbehandlungsanlage Nieder-Wöllstadt des

### **Abwasserverbandes Wöllstadt**

durchzuführen.

## 3 Beurteilung der Kläranlage Wöllstadt

### 3.1 Einführung

Die Beurteilung der Kläranlage Wöllstadt erfolgte zunächst durch die Auswertung der Betriebstagebücher der Kläranlage aus den Jahren 2019 bis 2021. Aufgrund eines Serverfehlers, der bislang nicht behoben wurde, standen nur Daten im Zeitraum vom 03.07.2019 bis zum 06.10.2021 zur Verfügung. Die Auswertung der Daten erfolgte über den gesamten Zeitraum. Die Auswertung der Betriebstagebücher lehnt sich an das ATV-DVWK-A 198 (2003) an.

Für die Bemessung von Belebungsanlagen zur Stickstoff- und Phosphorelimination wird der Jahresgang der Abwassertemperatur, insbesondere die niedrigste und höchste Temperatur im Ablauf des biologischen Reaktors, benötigt. Maßgebend ist hierbei die Jahresganglinie des 2-Wochenmittels über mindestens 2 Jahre. Ferner kann durch den Jahresverlauf der Abwassertemperatur in groben Zügen auf die Fremdwassersituation geschlossen werden. Die Auswertung zeigt jeweils den Jahresverlauf grafisch sowie die Minimal- und Maximaltemperaturen tabellarisch für die untersuchte Kläranlage auf.

Die Auswertung der hydraulischen Gegebenheiten der Kläranlagen wurde ebenfalls in Anlehnung an das Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198 „Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen“ durchgeführt. Beginnend mit der Auswertung der 85 %-Perzentilwerte der Zuflüsse bei Trockenwetter und Mischwasserzufluss kann sich ein Bild über die Zulaufcharakteristik und Streuung des Abwasseranfalls verschafft werden. Anschließend werden der Jahresgang des Abwasseranfalls sowie die Ermittlung des Fremdwasseranfalls grafisch dargestellt. Die Ermittlung des Fremdwasseranteils erfolgte nach der Methode des gleitenden Minimums. Dabei werden als Eingangswerte nur die Tagesabflüsse sowie die jährliche gebührenfähige Abwassermenge bzw. der jährliche Trinkwassergebrauch für das Einzugsgebiet benötigt. Der subjektive Wetterschlüssel wird bei der Methode des gleitenden Minimums nicht verwendet. Die Ermittlung des Fremdwassers basiert auf der Annahme, dass Schwankungen des Fremdwasserabflusses aus langsamen Schwankungen des Grundwasserspiegels resultieren und schnelle Veränderungen nur durch den oberflächlichen Regenabfluss verursacht werden. Wird nun für jeden Tag der Trockenwetterzufluss gleich dem minimalen Tagesabfluss der vorherigen 10 und folgenden 10 Tagen gesetzt (gleitendes Minimum), werden die sich schnell ändernden Regenabflüsse „herausgefiltert“. Als Ergebnis erhält man die Ganglinie des Trockenwetterabflusses. Nach Abzug des Schmutzwasserabflusses verbleibt die Fremdwasser-Ganglinie. Als Schmutzwasserzufluss werden 90 % des jährlich verkauften Trinkwassers des jeweiligen Einzugsgebietes angesetzt, sofern keine anderen Daten vorlagen.

Die anschließende Auswertung des Betriebstagebuches hinsichtlich der zufließenden Fracht gibt Aufschluss über die stoffliche Belastung der untersuchten Kläranlagen und zeigt bei einer Überrechnung der Kläranlagen eine Unter- oder Überbelastung auf. Dadurch können eventuelle Betriebsprobleme identifiziert werden.

### 3.2 Beschreibung der Kläranlage

Die Kläranlage Wöllstadt ist für einen Einwohnerwert von 12.000 EW ausgelegt. Die Funktionsweise der Kläranlage lässt sich wie folgt beschreiben (siehe auch Abbildung 3-3):

Das vorgeschaltete Regenbecken wird im Regenwetterfall durch das zufließende Mischabwasser gefüllt. Das über die Abwasserleitung kommende Abwasser gelangt in das Rechengrinne. Der Filterstufenrechen entfernt das Rechengut aus dem Abwasser. Das Rechengut wird mittels einer Förderschnecke zum Rechengutcontainer befördert. Vorher wird es durch eine Rechengutwaschpresse gewaschen. Danach fließt das Abwasser im freien Gefälle weiter durch den Sandfang, dessen Volumen etwa 39 m<sup>3</sup> beträgt. Da mineralische Feststoffe, wie Sand und Kies, die weitere biologische Abwasserreinigung behindern, werden diese im belüfteten Sandfang mechanisch aus dem Abwasser entfernt. Durch das Einblasen grobblasiger Druckluft wird eine gleichmäßige spiralförmige Bewegung des Abwasserstroms erzeugt, was die Ablagerung organischer Stoffe begrenzt. Der Sand sammelt sich an der Bauwerkssohle und wird durch einen Druckluftheber in einen Container gepumpt.



Abbildung 3-1: Blick auf Sandfang (links) und Rechen (rechts)

Die letzte Stufe der mechanischen Reinigung ist die Vorklärung mit einem Volumen von 340 m<sup>3</sup>, in welche das Abwasser zugeleitet wird. Hier werden energiereiche absetzbare Stoffe in Form von Primärschlamm abgeschieden, die dann der Faulung geführt werden.

Nach der Vorklärung wird das Abwasser der biologischen Reinigung in Form einer vorgeschalteten Denitrifikation mit anschließender Nitrifikation zugeführt. Das erste Denitrifikationsbecken mit einem Volumen von 470 m<sup>3</sup> ist in der Mitte des Ringbeckens errichtet und wird unbelüftet betrieben. Es beinhaltet 1 Rührwerk, welche im Dauerbetrieb gefahren wird. Hydraulisch gesehen im Anschluss befindet sich das Zwischenpumpwerk mit den Pumpen 1 bis 4, welches das Abwasser in das Denitrifikations-/Nitrifikationsbecken (Rechteckbecken) fördert. Das zweite Denitrifikationsbecken hat ein



Volumen von 630 m<sup>3</sup>, während das Nitrifikationsbecken mit 1.100 m<sup>3</sup> ausgestattet ist. Gebläse 1 bis 4 versorgen die Nitrifikationsbecken mit Luftsauerstoff. Das Belebungsbeckenvolumen beträgt somit insgesamt 2.200 m<sup>3</sup> und teilt sich wie folgt auf:

- Denitrifikationsbecken: 1.100 m<sup>3</sup>
- Nitrifikationsbecken: 1.100 m<sup>3</sup>



Abbildung 3-2: Blick auf die Vorklärung mit Denitrifikationsbecken

Zur Nitratrückführung in die vorgeschaltete Denizone werden Schieber eingesetzt, die Abhängigkeit der Zulaufabwassermenge entsprechend öffnen.

Weiterhin findet eine chemische P-Elimination statt, die über eine Zugabe von Eisen-III-chlorid (ca. 40 t/a) im Zulauf der Belebungsbecken (Simultanfällung) realisiert wird. Durch die implementierte Online-Phosphat-Messung kann kontinuierlich der Phosphatwert ermittelt und die Zudosierung des Fällmittels darauf eingestellt werden. Nach dem Durchlaufen der biologischen Stufe fließt das Abwasser weiter in die beiden Nachklärbecken. Die Nachklärbecken besitzen ein Volumen von 1.080 m<sup>3</sup> und 620 m<sup>3</sup>. Das gereinigte Abwasser fließt über eine Zahnschwelle in die Ablaufrinne und von dort in die Siebtrommel, die für einen weiteren Feststoffrückhalt sorgt. Im Anschluss gelangt das gereinigte Abwasser weiter in den Vorfluter. Der Sekundärschlamm des Nachklärbeckens wird über eine Pumpe in die maschinelle Überschussschlammeindickung gepumpt, welche den anfallenden Überschussschlamm eindickt und der Faulung mit einem Volumen von 700 m<sup>3</sup> zugibt. Der ausgefaulte Schlamm wird nach der Faulung im

Schlamm Speicher zwischengespeichert und anschließend mittels einer Zentrifuge entwässert. Der entwässerte Schlamm wird auf einem Schlamm Lagerplatz zum Abtransport zwischengelagert.

Auf dem Betriebsgebäude befinden sich PV-Module, die zwar nicht durch die Gemeinde Wöllstadt betrieben werden, jedoch auf dem Kläranlagengelände befindlich sind. Der hierbei produzierte Strom wird vollständig eingespeist und wird nicht im Bereich der Kläranlage verwendet.

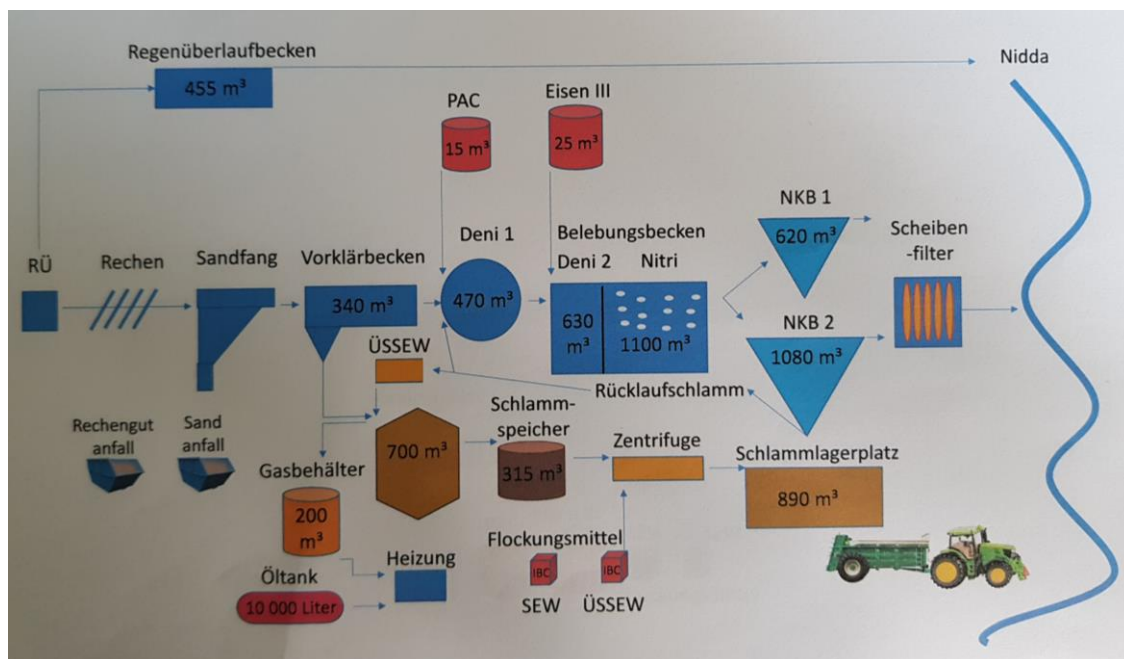


Abbildung 3-3: Fließschema der Kläranlage Wöllstadt

### 3.3 Temperaturverteilung

Tabelle 3-1 und Abbildung 3-4 stellen die Temperaturverteilung des Abwasserzulaufs dar. Die Minimal- und die Maximaltemperaturen lagen im untersuchten Zeitraum bei 22,2 °C bzw. 30,5 °C. Hierbei wurde die Minimaltemperatur immer im Zeitraum Januar/Februar, die Maximaltemperatur hingegen im Zeitraum Juli/August gemessen.

Tabelle 3-1: Min- und Maximalwerte der Temperaturverteilung

Parameter	Einheit	2019-2021
T (min)	°C	22,2
T (max)	°C	30,5

**Achtung: Die Daten sind nicht plausibel und sollten überprüft werden. Auch sollten Daten von der Biologie auf das Leitsystem übertragen werden.**

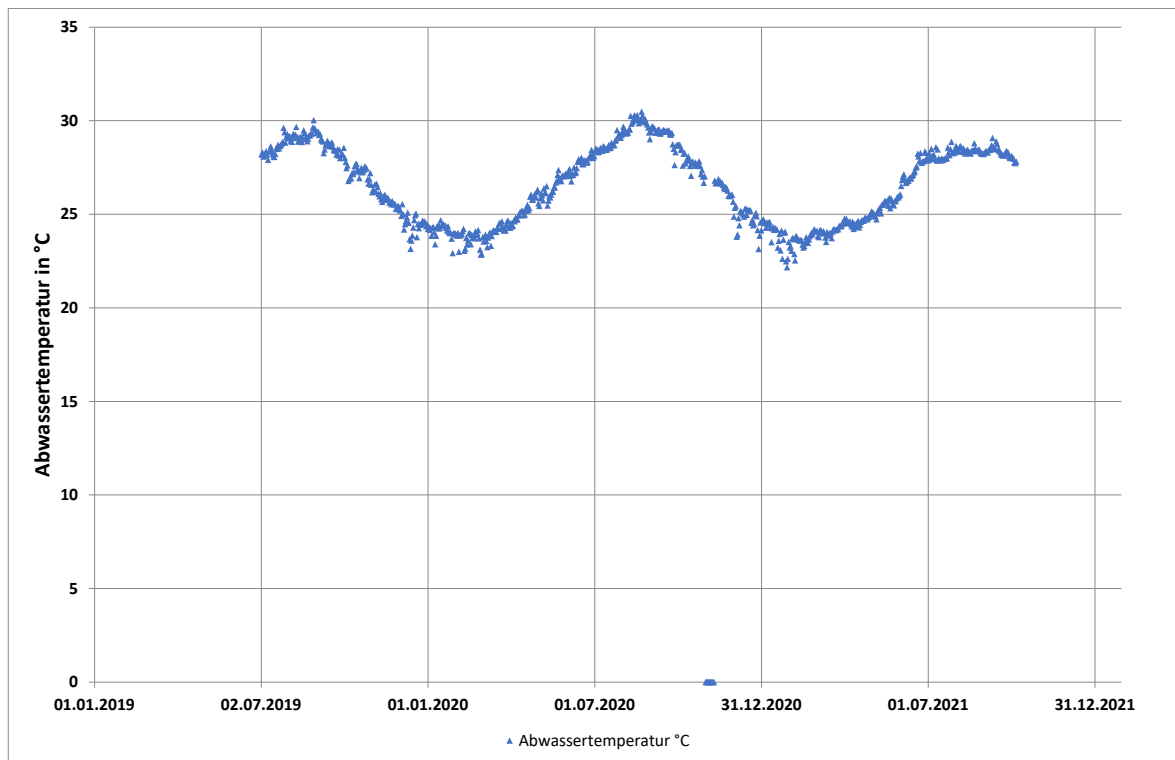


Abbildung 3-4: Temperaturverteilung der Jahre 2019 bis 2021 der Kläranlage

### 3.4 Hydraulische Auswertung

Die Unterschreitungshäufigkeit des Gesamtwasserzuflusses und des Gesamtzuflusses bei Trockenwetter (gleitendes Minimum) werden in Abbildung 3-5 dargestellt. Abbildung 3-6 zeigt eine graphische Auswertung der Gesamt- und Trockenwetterzuflüsse im Zeitraum von 2019 bis 2021 sowie den in diesem Zeitraum durchschnittlichen Schmutzwasseranfall.

Der Gesamtzufluss der Kläranlage zeigt im Jahresverlauf eine hohe Schwankungsbreite, die sich vor allem im Mischwasserzufluss zeigt (vgl. Abbildung 3-5 und Abbildung 3-6). Der Medianwert bei Trockenwetter liegt bei 1.920 m<sup>3</sup>/d, der Medianwert bei Mischwasser bei einem Wert von 2.240 m<sup>3</sup>/d. Der Maximalzufluss liegt bei Trockenwetter bei 2.991 m<sup>3</sup>/d und für Mischwasser bei 8.790 m<sup>3</sup>/d.

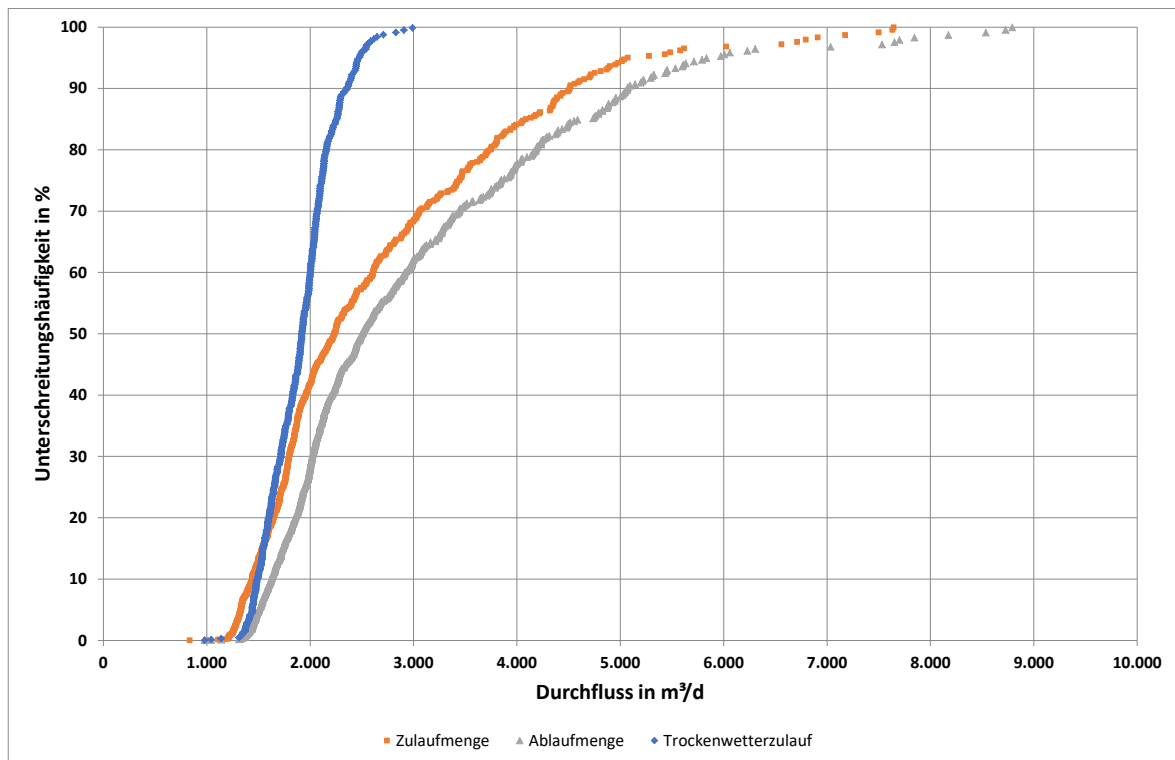


Abbildung 3-5: Grafische Darstellung der Perzentilwerte des Zuflusses zur Kläranlage Wöllstadt im Zeitraum von 2010 – 2019

Der in Abbildung 3-6 dargestellte Schmutzwasserzufluss wurde anhand der angeschlossenen Einwohnerzahl von 10.034 Einwohnern (2020) und einem gemittelten jährlichen Frischwassergebrauch der Jahre 2018 bis 2020 von 393.492 m³/a abgeschätzt. Nach dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A198 (2003) wird der errechnete Wert von 107,4 l/(EW\*d) mit 0,9 multipliziert, um den täglichen Schmutzwasserabfluss von 96,7 l/(EW\*d) zu erhalten.

Nach dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198 (2003), Formel 8 ergibt sich der zulässige Mischwasserabfluss zur Kläranlage für die untersuchten Betriebsjahre aus  $Q_M = f_{S,QM} \cdot Q_{S,aM} + Q_{F,aM}$ . Der Wert für den Spitzenfaktor  $f_{S,QM}$  zur Ermittlung des Mischwasserabflusses auf der Basis des mittleren jährlichen Schmutzwasserabflusses wurde anhand der angeschlossenen Einwohnerwerte nach ATV-DVWK-A 198 (2003), Bild 1 auf 6 festgelegt. Jedoch wird die maximale Mischwassermenge anhand der Schmutzfrachtsimulation vorgegeben, weshalb die Berechnung nach Merkblatt hier nicht relevant ist.



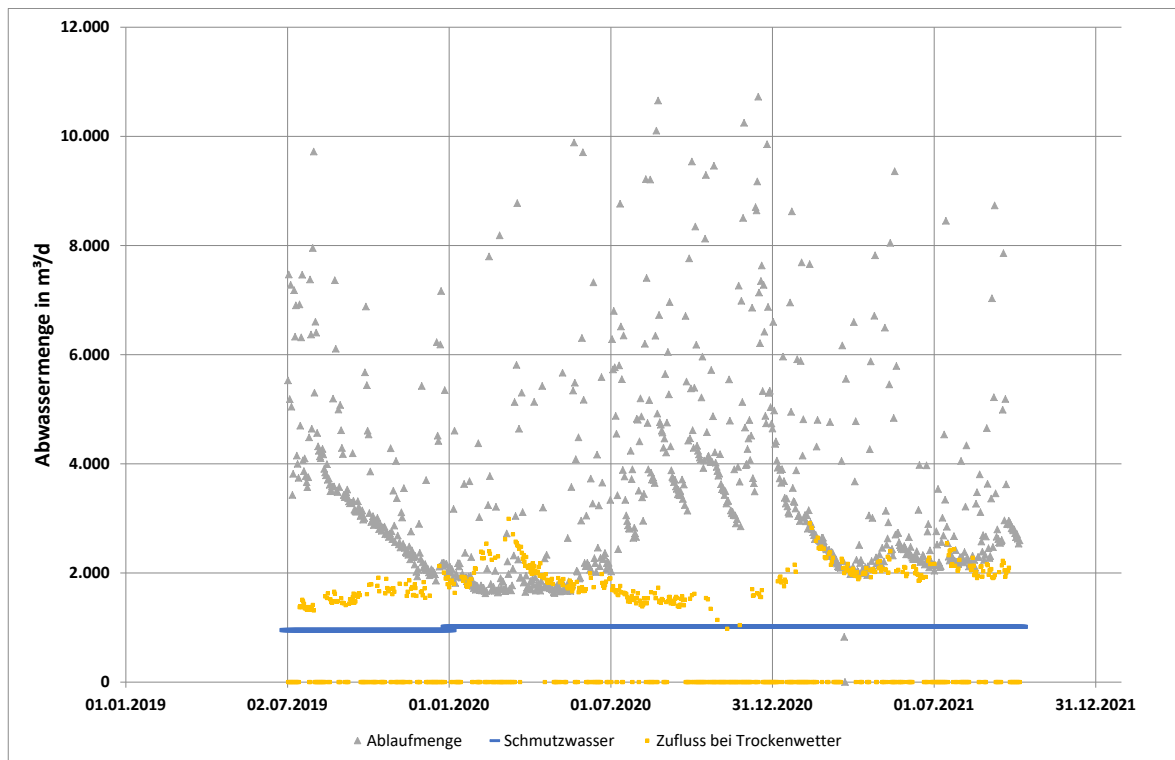


Abbildung 3-6: Darstellung der einzelnen Zuflüsse zur Kläranlage Wöllstadt der Jahre 2015 – 2019

Tabelle 3-2 stellt die gemessenen Gesamtzuflüsse sowie die errechneten Abflüsse zur Bestimmung des zulässigen Mischwasserzuflusses dar. Die täglich zufließende mittlere Abwassermenge  $Q_{d,aM}$  lag im Zeitraum 2019 bis 2021 bei 2.509 m³/d. Der tägliche mittlere Trockenwetterabfluss lag bei 1.860 m³/d.

Tabelle 3-2: Zuflüsse zur Kläranlage Wöllstadt von 2019 bis 2021

Parameter	Einheit	2019 – 2021
		<b>Gesamtabfluss <math>Q_d</math> - Ermittlung aus Betriebstagebuch</b>
$Q_{d,aM}$	m <sup>3</sup> /d	2.509
$Q_{d,min}$	m <sup>3</sup> /d	979
$Q_{d,max}$	m <sup>3</sup> /d	8.792
$Q_{d,85\%}$	m <sup>3</sup> /d	3.544
		<b>Trockenwetterabfluss <math>Q_T</math> - Ermittlung durch gleitendes Minimum</b>
$Q_{T,d,aM}$	m <sup>3</sup> /d	1.860
$Q_{T,d,min}$	m <sup>3</sup> /d	979
$Q_{T,d,max}$	m <sup>3</sup> /d	2.991
$Q_{T,d,85\%}$	m <sup>3</sup> /d	2.164
		<b>Schmutzwasserabfluss <math>Q_S</math> - Ermittlung durch Frischwassergebrauch</b>
$Q_{S,aM}$	m <sup>3</sup> /d	1.001 <sup>1</sup>
		<b>Fremdwasserabfluss <math>Q_F</math></b>
$Q_{F,aM}$	m <sup>3</sup> /d	859
		<b>Mischwasserabfluss <math>Q_M</math></b>
$Q_M$	m <sup>3</sup> /d	6.865 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Datengrundlage: Trinkwasserbedarf nach Gemeindeangaben der Jahre 2018-2020.

<sup>2</sup>  $f_{S,QM} = 6$  nach ATV-DVWK-A 198 (2003), Bild 1

### 3.5 Frachtberechnung

Die Bestimmung der Zulauffrachten zur Kläranlage erfolgte durch die Auswertung der Analyseergebnisse verschiedener Parameterkonzentrationen und der täglichen Durchflüsse aus dem Betriebstagebuch. Da eine genaue und für die Kläranlage repräsentative Bestimmung der Zulauffrachten mit dem angewandten Mess- und Probenahmekonzept einhergeht, ist eine statistische Auswertung der Probenahmetage in Abbildung 3-7 dargestellt. Insgesamt wurden 105 Stichproben aus dem Zulauf der Kläranlage gezogen. Dabei wurden die 24h-Mischproben und 2h-Mischproben ausgewertet. Dabei wurde gleichmäßig unter der Woche verteilt die Proben gezogen, d.h. von Montag bis Sonntag. Aufgrund der gleichen Beprobung ist von einem repräsentativen Bild der Belastungssituation auszugehen. Die Belastung der Kläranlage wird somit gut wieder gegeben. Anzumerken ist jedoch, dass der auszuwertende Zeitraum vergleichsweise gering war, die Daten nicht zur Verfügung standen.

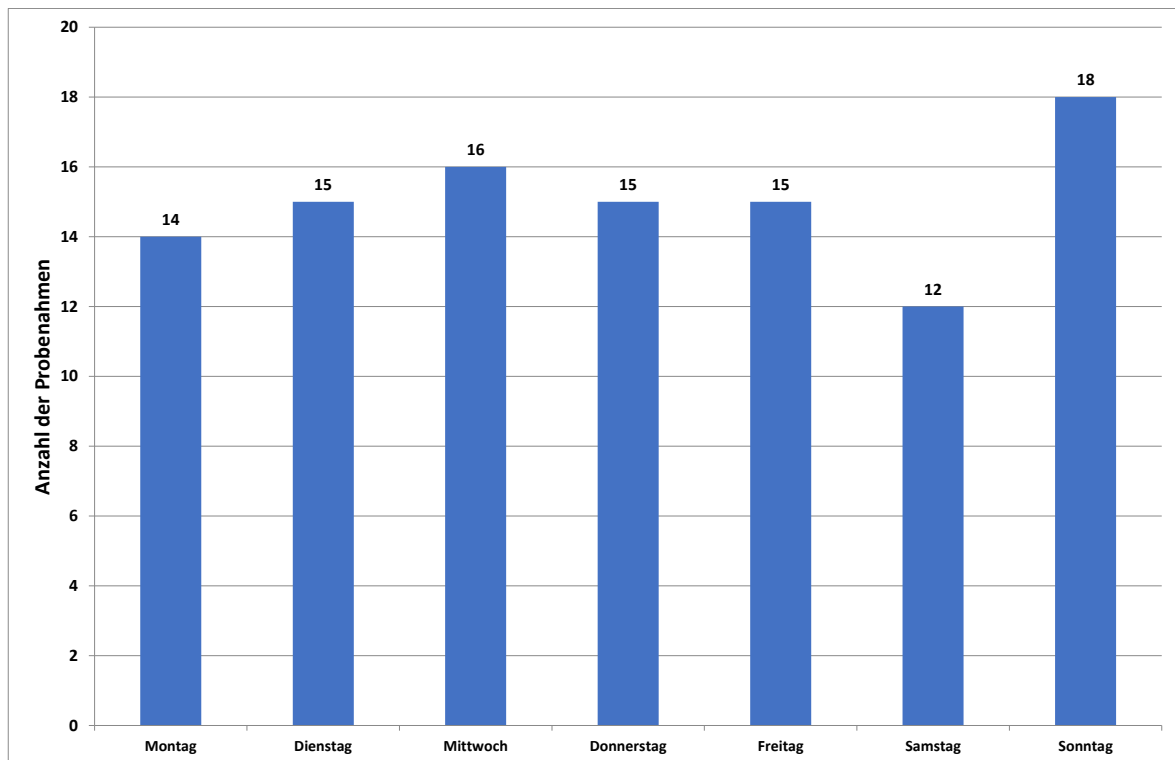


Abbildung 3-7: Statistische Auswertung der Probenahmetage

Aus den gezogenen 24h- und 2h-Mischproben wurden die Parameter  $BSB_5$ , CSB,  $P_{ges}$ ,  $NH_4-N$ , der organische Stickstoff (TNb) und  $N_{ges,anorg}$  analysiert. Es wurden alle Werte der Analysen verwendet, da gemäß A131 die Mischwasserbelastung relevant ist. Abbildung 3-8 stellt die Unterschreitungshäufigkeit der  $BSB_5$ - und CSB-Fracht für alle Analysen dar. Der Medianwert (50 %-Perzentilwert) und der 85 %-Perzentilwert liegen für die tägliche CSB-Fracht bei 1.621 und 2.900 kg/d. Für die tägliche  $BSB_5$ -Fracht liegen Medianwert und 85 %-Perzentilwert bei 700 und 1.270 kg/d. Die Mittelwerte lagen für die  $BSB_5$ - und die CSB-Fracht bei 807 und 1.897 kg/d.

Abbildung 3-9 stellt eine grafische Auswertung der Perzentilwerte aus der Frachtberechnung der Stickstoffparameter dar. Die Medianwerte der täglich zufließenden  $NH_4-N$ - und TNb-Frachten betragen 113 und 165 kg/d. Die 85 %-Perzentilwerte lagen im untersuchten Zeitraum bei 152 und 265 kg/d. Grundlegend ist von einer gleichmäßigen Verteilung der Analyseergebnisse auszugehen.

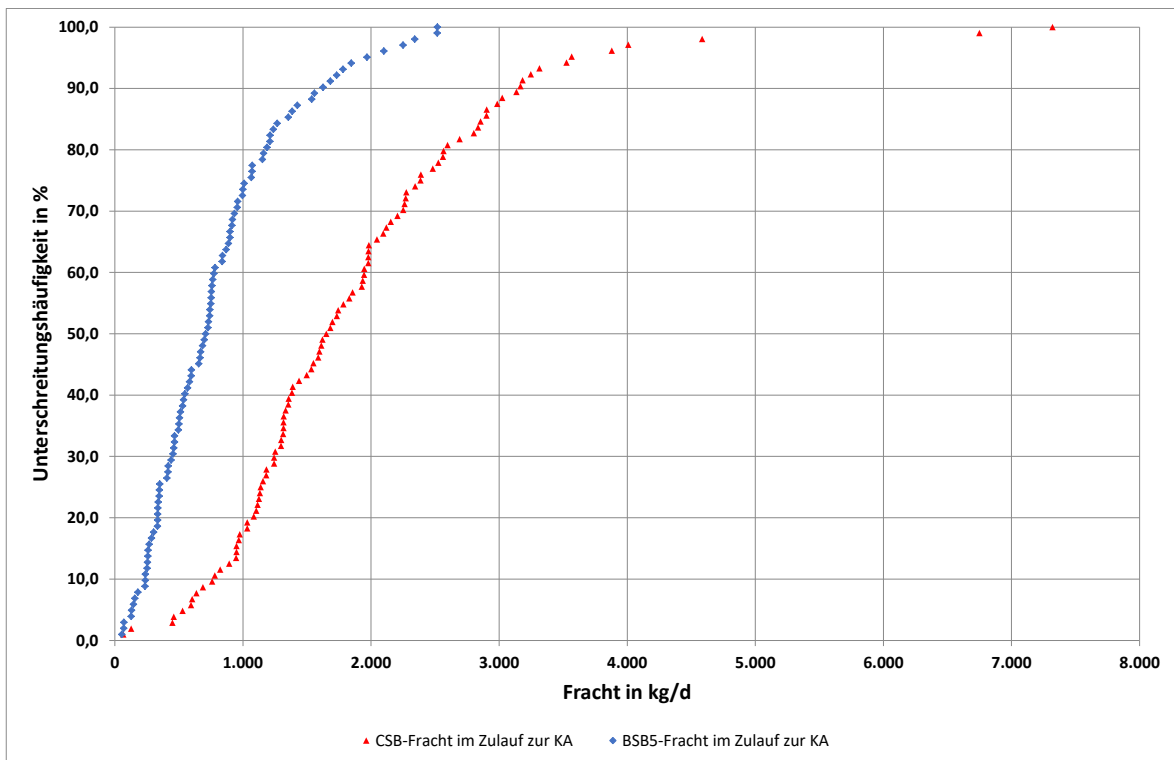


Abbildung 3-8: Grafische Darstellung der Perzentilwerte der BSB<sub>5</sub>- und CSB-Frachten der Jahre 2019 - 2021

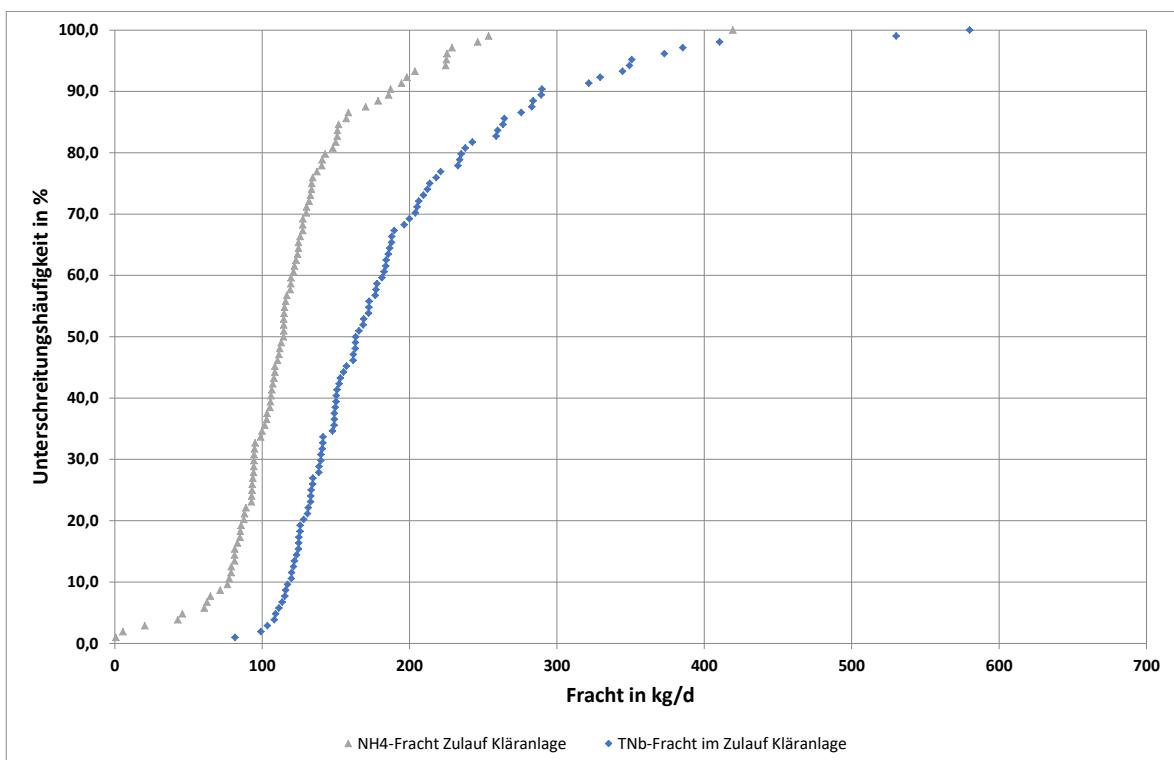


Abbildung 3-9: Grafische Darstellung der NH<sub>4</sub>- und TNb-Frachtperzentilwerte der Jahre 2019-2021

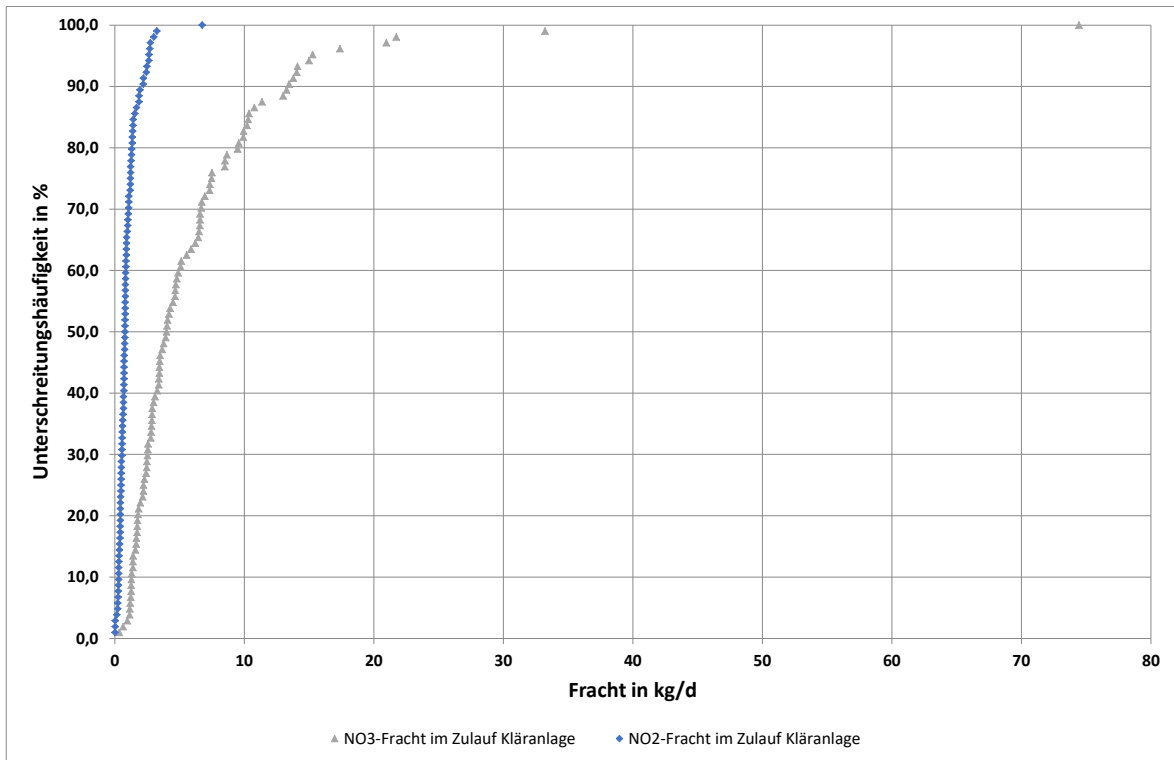


Abbildung 3-10: Grafische Darstellung der NO<sub>3</sub>- und NO<sub>2</sub>-Frachtperzentilwerte der Jahre 2019-2021

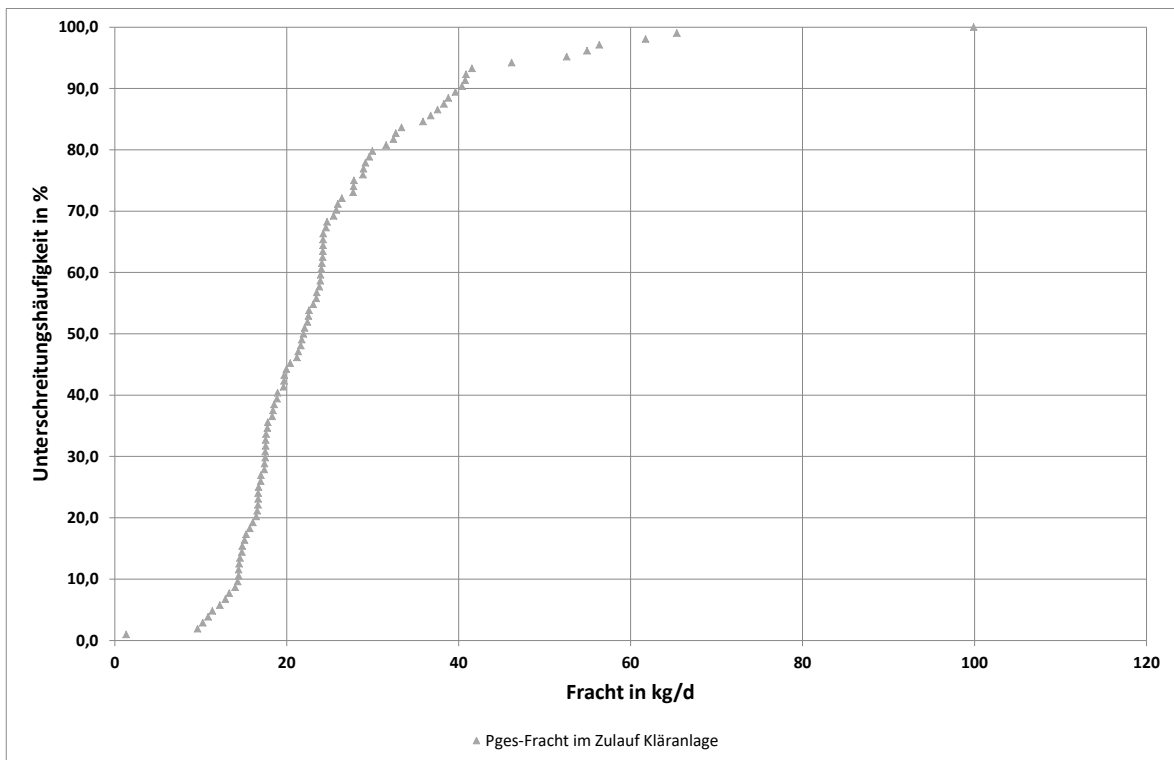


Abbildung 3-11: Grafische Darstellung der Pges-Frachtperzentilwerte bei Trockenwetter der Jahre 2010-2019

Alle weiteren Parameter sind in Tabelle 3-3 zusammenfassend dargestellt.

Der Anschlusswert von **24.167 Einwohnerwerten** wird aus der Frachtberechnung des Parameters CSB (85 %-Perzentilwert), errechnet aus den 24h- und 2h-Mischproben, abgeleitet. Der Einwohnergleichwert ergibt sich aus der  $B_{d,CSB}$ -Belastung in kg/d. Diese wird mit dem Wert der einwohnerspezifischen Frachten in kg/(E\*d) nach ATV-DVWK-A 131 – Seite 19 – Tabelle 1 ins Verhältnis gesetzt, woraus sich der Einwohnerwert ergibt, der von dem Anschlusswert abweichen kann und für die Überrechnung der Kläranlage im Abschnitt 3.8 zur weiteren Berechnung verwendet wird.

Berechnung des Einwohnerwertes:

$$\frac{\text{Fracht (85\% – Perzentilwert, 2019 – 2021) in [kg/d]}}{\text{Frachtenwert (Einwohnerspezifisch, für den jeweiligen Parameter) in kg/(E * d)}}$$

Daraus ergibt sich:

$$\frac{2.900 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{d}} \right]}{0,120 \left[ \frac{\text{kg CSB}}{\text{E * d}} \right]} = 24.167 \text{ EW}$$

$$\frac{1.270 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{d}} \right]}{0,060 \left[ \frac{\text{kg BSB5}}{\text{E * d}} \right]} = 21.167 \text{ EW}$$

$$\frac{36 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{d}} \right]}{0,0018 \left[ \frac{\text{kg Pges}}{\text{E * d}} \right]} = 20.000 \text{ EW}$$

Tabelle 3-3: Frachten und Konzentrationen im Zulauf zur Kläranlage im Zeitraum von 2019 - 2021

Parameter	Einheit	2019 – 2021	
		Frachtberechnung 24 h-Mischprobe (85%-Perzentilwert) (Einwohnergleichwert)	Frachtberechnung 2 h-Mischprobe (85%-Perzentilwert) (Einwohnergleichwert)
$B_{d,CSB}$	kg/d	2.608 (21.733)	3.069 (25.575)
$B_{d,BSB5}$	kg/d	1.299 (21.650)	1.298 (21.633)
$B_{TN(b)}$	kg/d	225 (18.750)	332 (27.667)
$B_{NH4}$	kg/d	149	186
$B_{NO2}$	kg/d	1,6	1,4
$B_{NO3}$	kg/d	13	8,8
$B_{d,Pges}$	kg/d	29,7 (16.500)	40 (22.222)

In Tabelle 3-4 werden die errechneten Verhältnisse der Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorfraktionen mit den empirisch ermittelten Verhältnissen nach ATV-DVWK-A 131 (2000) verglichen. Bei den einzelnen Parametern gibt es nur vereinzelt erhebliche Abweichungen im Vergleich zu den Literaturwerten. Es wurden die 24h-Mischproben zur Berechnung verwendet.

Tabelle 3-4: Verhältnisse der Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorfraktionen und die empirisch ermittelten Verhältnisse nach ATV-DVWK-A 131 (2000)

	<b>BSB<sub>5</sub>/CSB-Verhältnis</b>	<b>CSB/TKN-Verhältnis</b>	<b>BSB<sub>5</sub>/TKN-Verhältnis</b>	<b>CSB/P<sub>ges</sub>-Verhältnis</b>
<b>ATV-DVWK-A 131 (2000)</b>	0,50	10,90	5,50	67,00
<b>rechnerisch ermittelt</b>	0,5	11,6	5,77 <sup>1</sup>	87,8

### 3.6 Ablaufqualität

Die Abbildung 3-12 bis Abbildung 3-14 zeigen die Ablaufkonzentrationen der abwasserrelevanten Parameter. Gleichzeitig sind in den Abbildungen die gesetzlichen Überwachungswerte eingetragen, die die Kläranlage Wöllstadt zu jeder Zeit einhalten muss. Der Überwachungswert von 10 mg/l für BSB<sub>5</sub> wurde im betrachteten Zeitraum zweimalig überschritten. Alle restlichen BSB<sub>5</sub>-Werte lagen deutlich unterhalb der 10 mg/l. Eine Überschreitung des Überwachungswertes für CSB (40mg/l) wurde einmalig festgestellt.

In der Abbildung 3-13 wurden alle Messwerte für die Stickstoffparameter aufgetragen. Bezüglich des Parameters NH<sub>4</sub>-N ergeben sich somit nur vereinzelt Überschreitungen.

Für den Parameter P<sub>ges</sub> besteht ein Überwachungswert von 0,7 mg/l, der im Zeitraum häufig überschritten wurde.

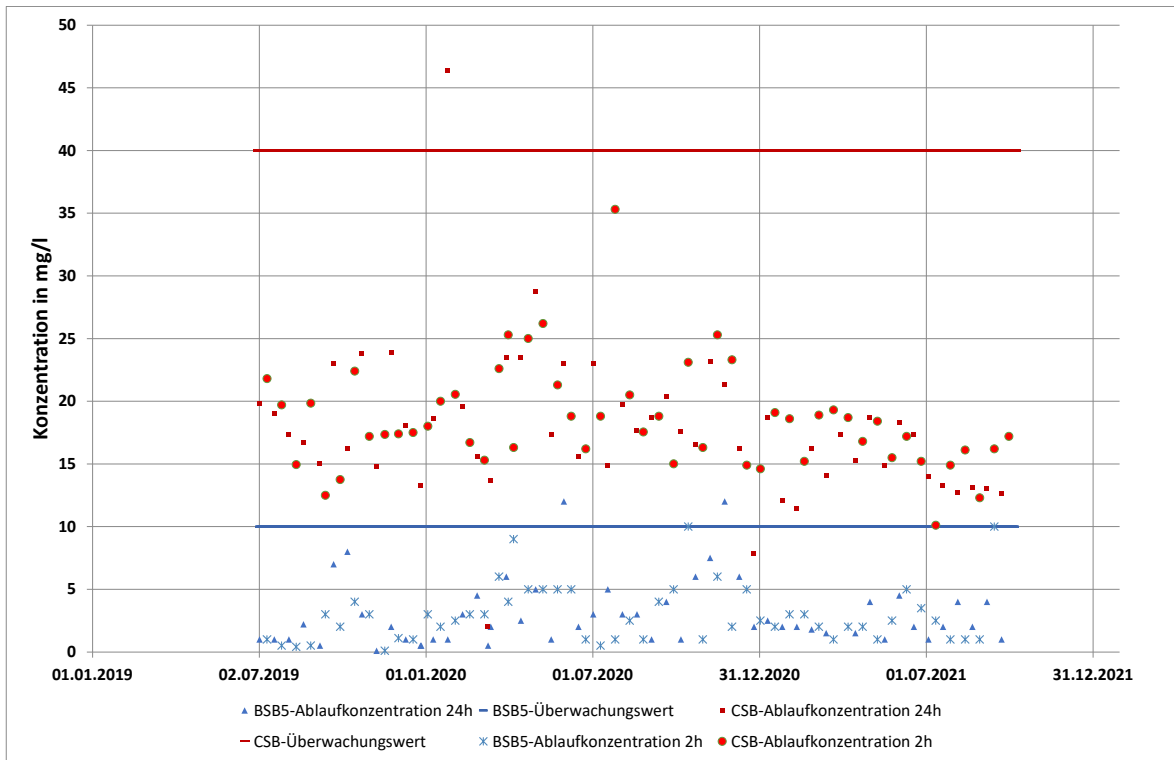


Abbildung 3-12: CSB- und BSB<sub>5</sub>-Ablaufkonzentrationen sowie die Überwachungswerte

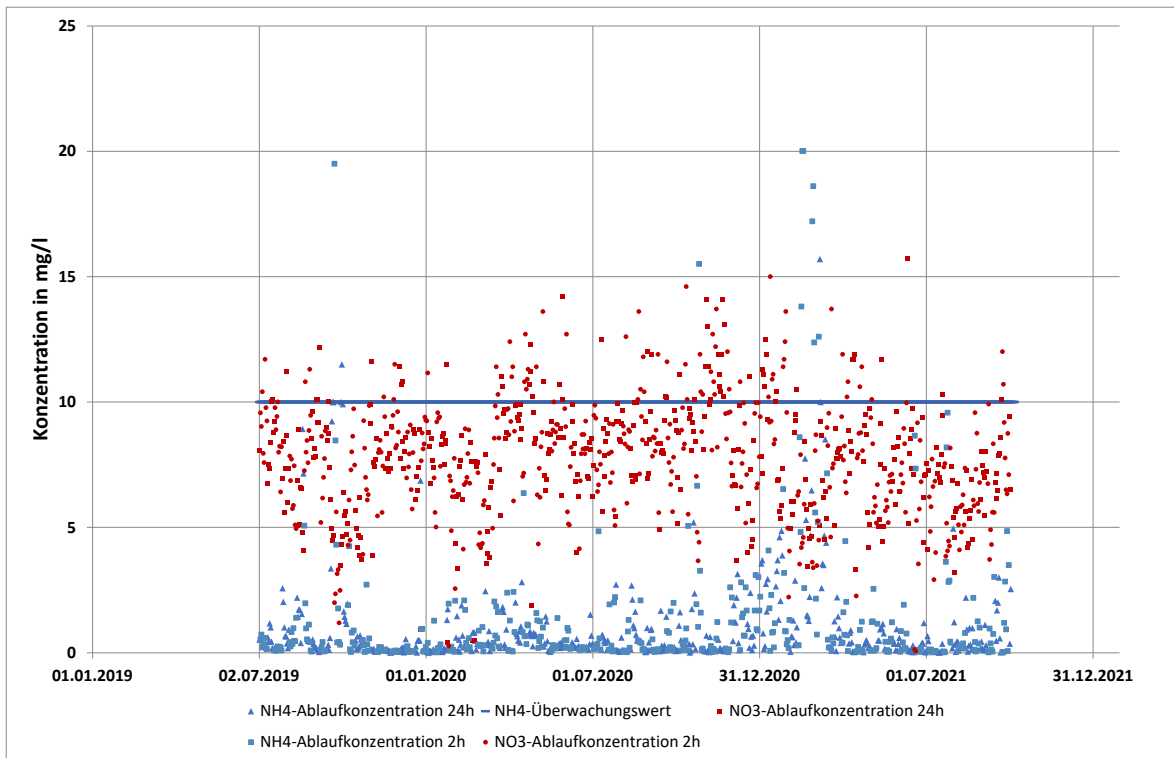


Abbildung 3-13: Stickstoffablaufkonzentrationen und Überwachungswerte



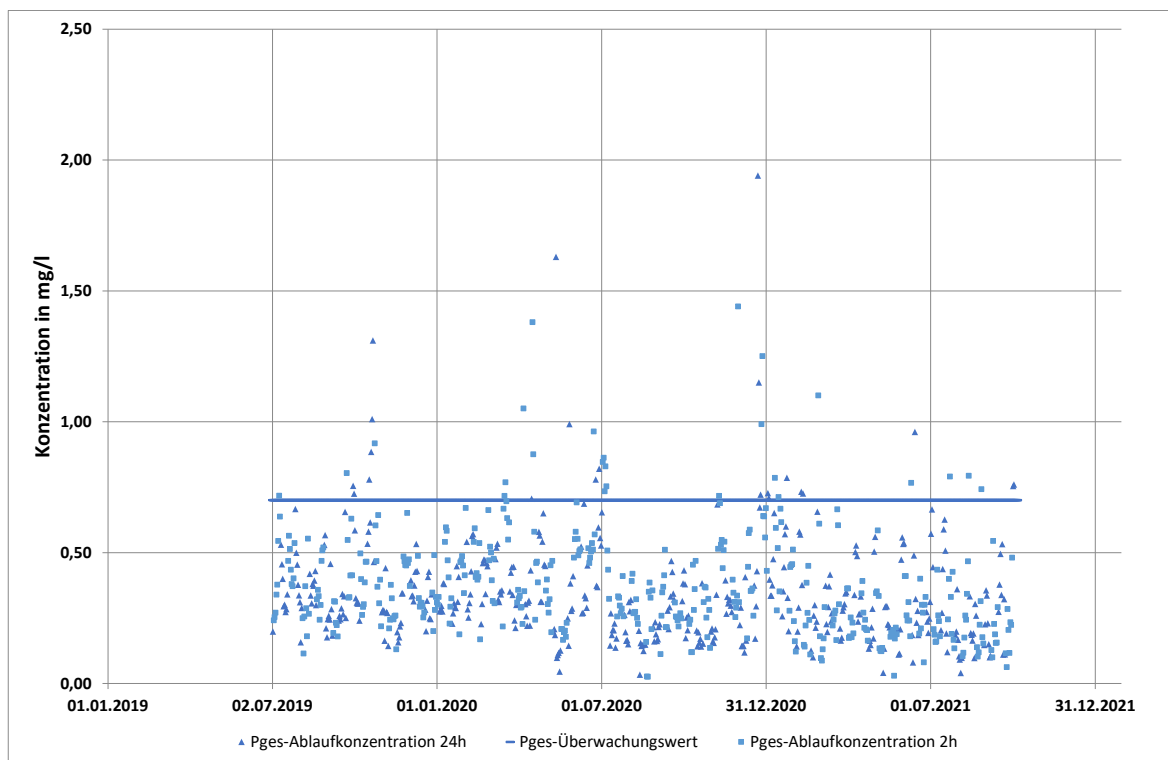


Abbildung 3-14: Phosphorablaufkonzentrationen und Überwachungswert der Kläranlage

In Tabelle 3-5 werden die Ablaufkonzentrationen und Überwachungswerte der Kläranlage noch einmal zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 3-5: Zusammenfassung der Ablaufkonzentrationen der Kläranlage

Parameter	Min	Mittel	Max	Überwachungswert
CSB in mg/l	2	18	46,4	40
BSB <sub>5</sub> in mg/l	0,1	3	12	10
NO <sub>3</sub> -N in mg/l	0,7	7,7	15,7	
TN <sub>b</sub> in mg/l	3,8	9,9	18,7	
NH <sub>4</sub> -N in mg/l	0,004	1,1	20	5
P <sub>ges</sub> in mg/l	0,025	0,36	1,94	0,7

### 3.7 Betriebsparameter

Im Rahmen der Energieanalyse fand eine ausführliche Auswertung der Betriebsparameter der Kläranlage statt. Die Auswertung der Betriebsparameter wurde durch eine Auswertung des Betriebstagebuches realisiert und soll in erster Linie die wesentlichen Rahmenbedingungen wiedergeben. Anhand der Auswertung kann teilweise qualitativ auf die Energieaufnahme geschlossen werden und es können bereits Ansätze zur Verbesserung der Energieeffizienz der Kläranlage gefunden werden.

Der Trockensubstanzgehalt gibt die mittlere Konzentration der Belebtschlammorganismen im Belebungsbecken an. Die Unterschreitungshäufigkeit des TS-Gehaltes der biologischen Reinigung sowie der TS-Gehalt des Rücklaufschlammes ist in Abbildung

3-15 dargestellt. Ausgenommen von den 10 % niedrigsten und 10 % höchsten Werten des TS-Gehaltes (Biologie) schwankt dieser zwischen 4,7 und 7,5 g/l. Der Mittelwert liegt bei 5,9 g/l (vgl. Abbildung 3-15).

Aus energetischen Gesichtspunkten ist ein geringer TS-Gehalt im Belebungsbecken grundsätzlich günstiger, da dadurch spezifisch weniger Sauerstoff benötigt wird. Dies steht jedoch der Reinigungsleistung der Kläranlage und der eingestellten Schlammbelastung entgegen. Somit ist ein Mindesttrockensubstanzgehalt im Belebungsbecken einzustellen. Nach der Überrechnung der Anlage sollte der **TS-Gehalt zwischen 3,5 und 4 g/l eingestellt werden**, um ein ausreichend hohes Schlammalter einstellen zu können, da ansonsten die Nitrifikation gestört werden kann und die Stickstoffelimination nicht sicher eingehalten werden kann.

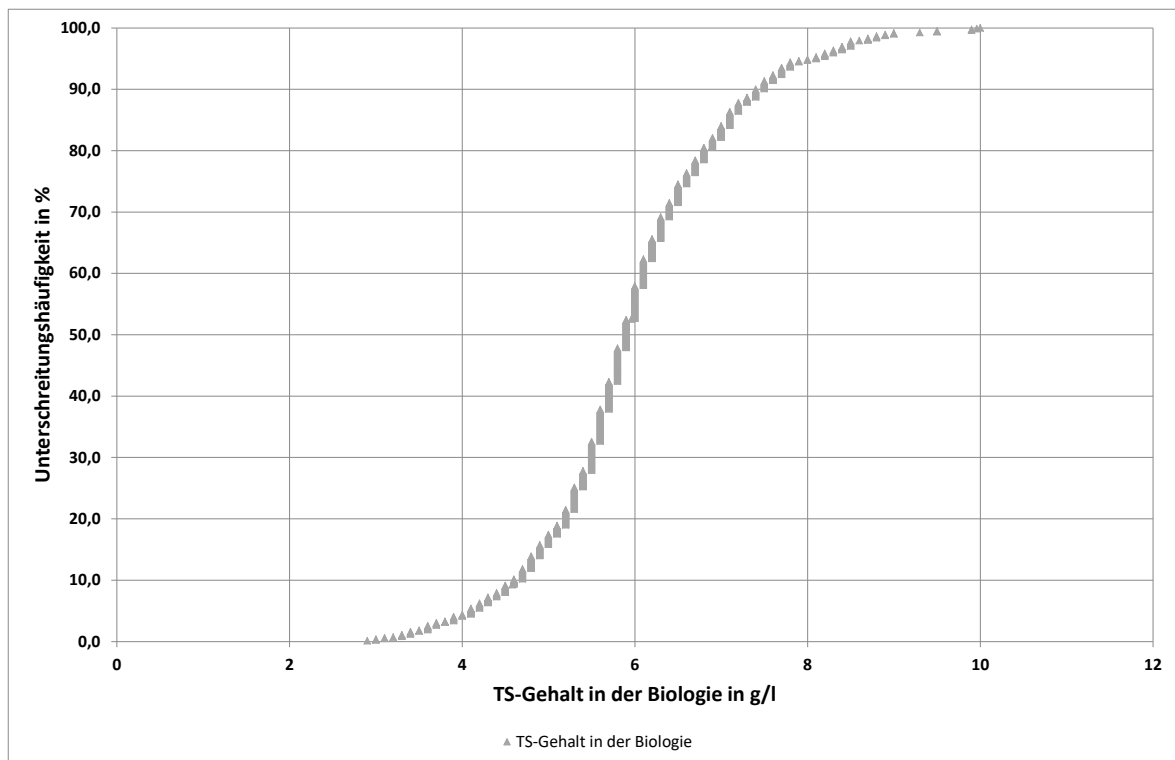


Abbildung 3-15: Unterschreitungshäufigkeit des Trockensubstanzgehalts (Biologie) der Jahre 2019 – 2021

In Abbildung 3-16 ist das Schlammvolumen sowie der TS-Gehalt in der Biologie über die Jahre dargestellt. Das Schlammvolumen korreliert mit dem Schlammindex, da beides ein Maß für die Masse an Belebtschlamm in der Biologie ist. Beides ist aus Sicht des Verfassers der Potenzialstudie deutlich zu hoch eingestellt.

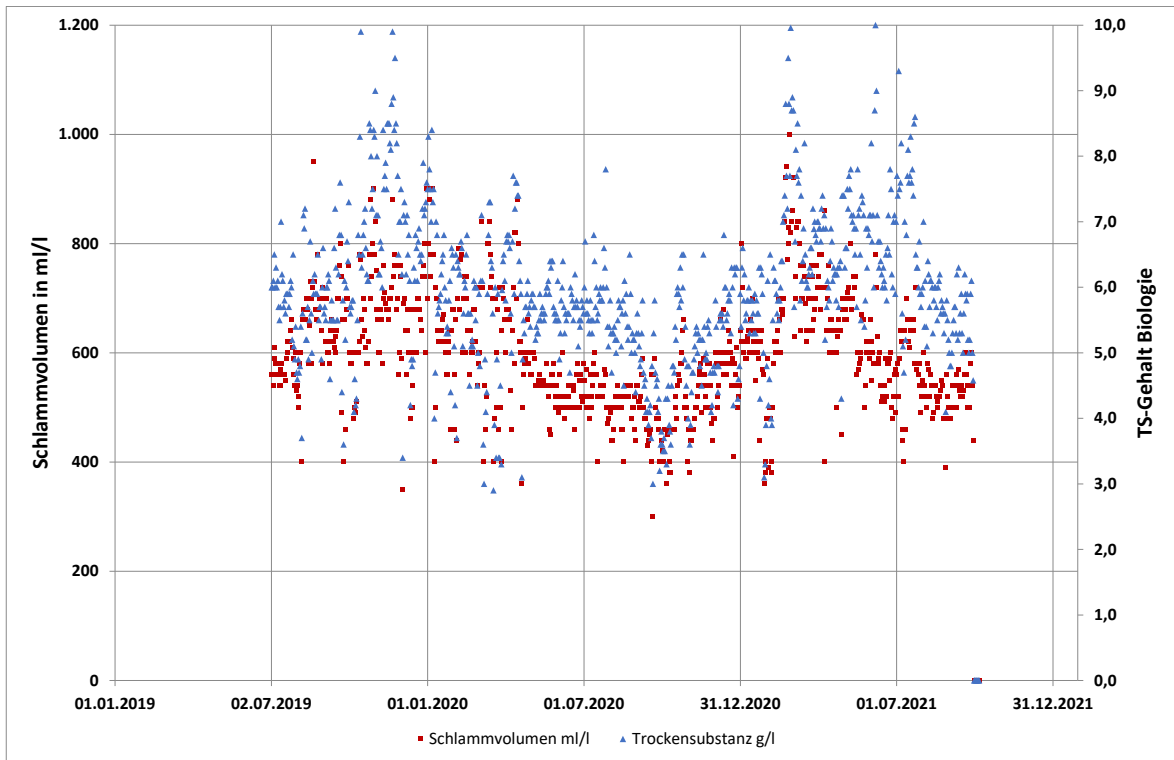


Abbildung 3-16: Darstellung des Slammvolumens und des TS-Gehaltes in der Biologie

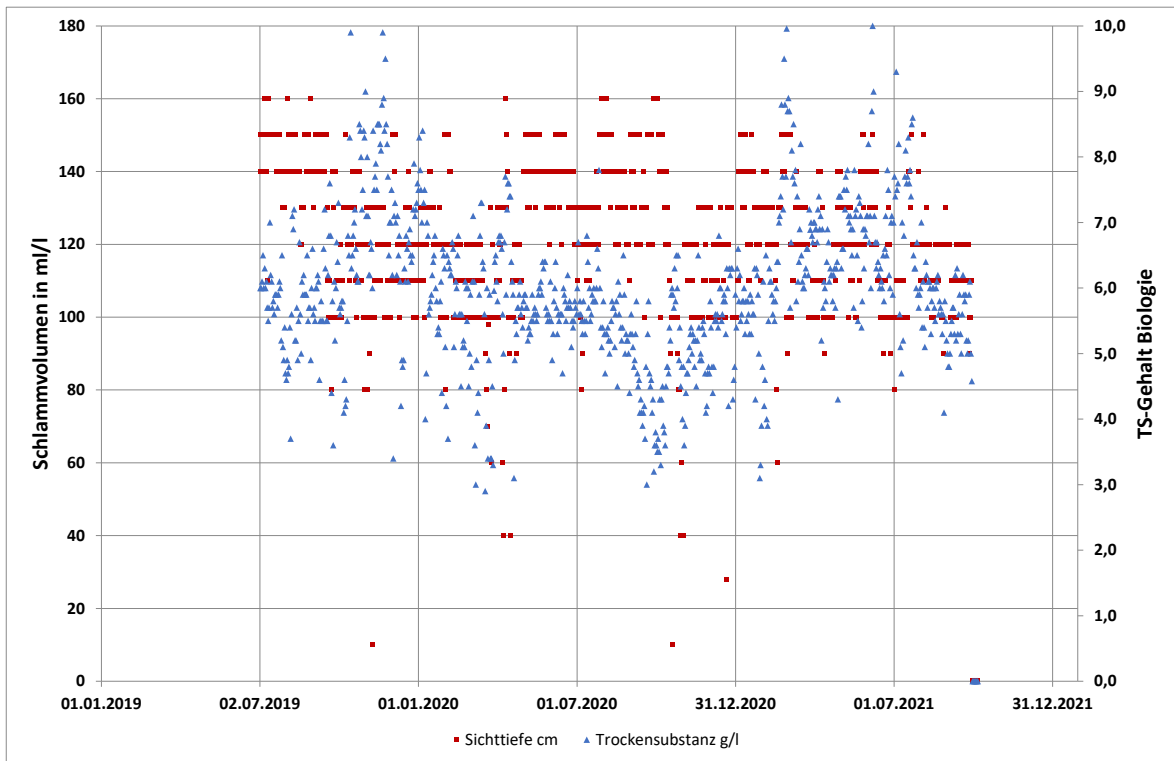


Abbildung 3-17: Darstellung von Sichttiefe im Nachklärbecken und TS-Gehalt in der Biologie

Auch zeigt sich eine unmittelbare Abhängigkeit von Sichttiefe und Trockensubstanzgehalt, da bei einem hohen TS-Gehalt die Nachklärung überlastet ist und somit die Sichttiefe deutlich reduziert wird.

Abbildung 3-18 stellt den täglichen el. Energiebedarf aus dem Betriebstagebuch für die Jahre 2019 bis Ende 2021 grafisch dar. Es ergibt sich für diesen Zeitraum ein mittlerer täglicher Energiebedarf von rund 1.232 kWh/d. Eine Korrelation zu den Durchflüssen der Kläranlage ist dabei in wesentlichen Zügen gegeben. Ebenfalls ist in gleicher Abbildung der Bedarf für die Biologie der Kläranlage dargestellt. Im Mittel wurde in den Jahren 2019 bis 2021 ein el. Energiebedarf für die Biologie der Kläranlage in Höhe von 301 kWh/d aufgewendet. In Tabelle 3-6 sind die ermittelten Jahresverbräuche für die Kläranlage aufgeführt. Ferner beinhaltet die Tabelle die Minimal-, Maximal- und Mittelwerte der betrachteten Jahre.

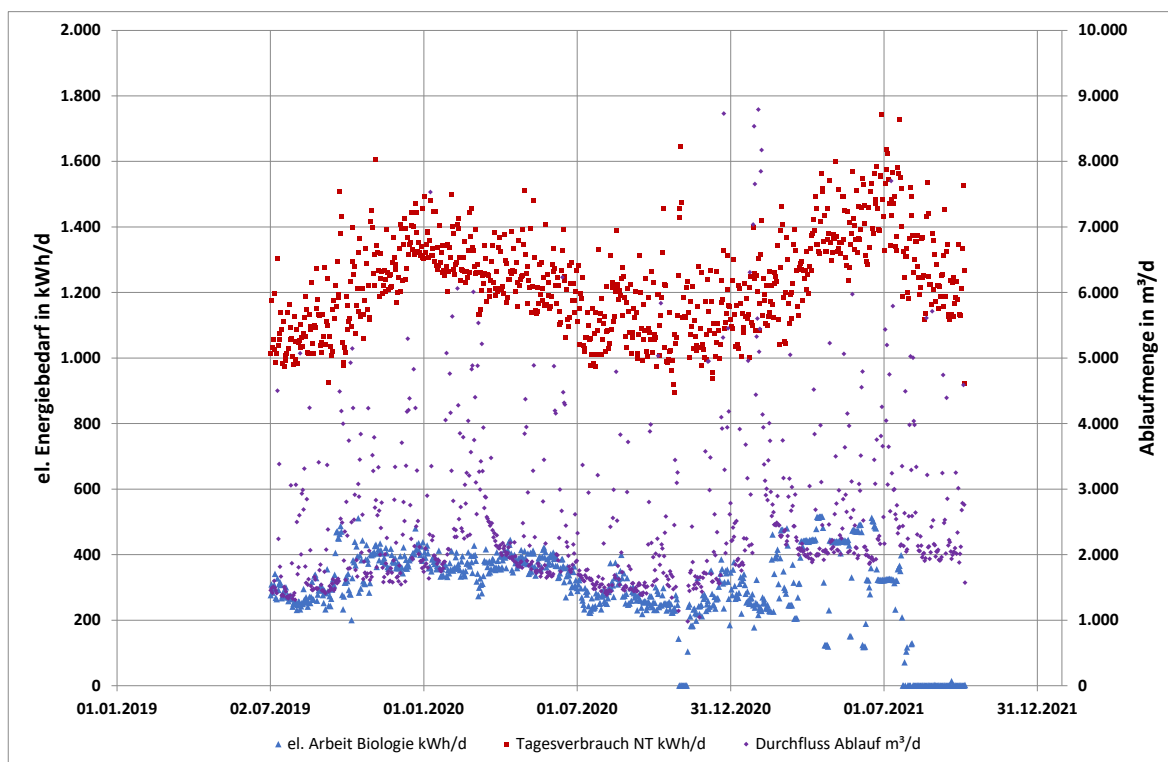


Abbildung 3-18: Darstellung des elektrischen Energiebedarfs

Tabelle 3-6: elektrischer Energiebedarf der Kläranlage Wöllstadt

	2018	2019 (nicht vollständig; Hochrechnung)	2020	2021 (nicht vollständig; Hochrechnung)
<b>El. Energiebedarf (BTB) in kWh/a</b>	-	433.255	<b>438.299</b>	477.055
Minimum in kWh/d	-	925	<b>894</b>	922
Maximum in kWh/d	-	1.605	<b>1.644</b>	1.741
Mittelwert in kWh/d	-	1.187	<b>1.198</b>	1.307
<b>El. Energiebedarf (EVU) in kWh/a</b>	392.950	416.931	<b>438.471</b>	-

In Abbildung 3-19 ist die Gasverwertung der Kläranlage dargestellt. Im täglichen Mittel ist laut Aufzeichnungen aus dem Betriebstagebuch eine Gasmenge von 26,7 m³ über die

Fackel verbrannt worden. Dies ergibt eine jährliche Gasmenge von 9.745,5 m<sup>3</sup>. Wird ein CH<sub>4</sub>-Anteil von 63 % unterstellt, ergibt dies eine jährliche Energiemenge von rund **61.397 kWh/a**, was über die Fackel verbrannt wird. Weiterhin wurde das Gas über die Heizung zur Erzeugung der Prozesswärme verbrannt. Im Mittel lief die Heizung täglich 5,43 h auf Klärgasbetrieb. Bei einer Leistung des Kessels von 368 kW (Typenschild) und einer jährlichen Laufzeit von 1.982 h ergibt dies eine produzierte Wärmemenge von rund **729.376 kWh/a**. Allerdings erscheint dies zu hoch, da nach Angaben des Betriebspersonals der Kessel rund 36 m<sup>3</sup>/h Gas benötigt, was einer Leistung von rund 227 kW entspricht. Bei einer Leistung von 227 kW werden somit jährlich rund **449.914 kWh/a** Wärme produziert. Gemäß EKVO-Berichte wurden jährlich 62.947 m<sup>3</sup> Klärgas verbraucht. Bei 63 % Methangehalt ergibt dies eine Energiemenge von **396.568 kWh/a** und unterscheidet sich deutlich von der zuvor ermittelten Energiemenge. Grundlegend ist dies auf die Leistung des Kessels zurück zu führen, die nicht immer mit 368 kW angegeben werden kann.

Neben dem Gas wurde weiterhin Öl zur Erzeugung der Prozesswärme eingesetzt. In den Jahren 2018 bis 2020 wurden gemäß EKVO-Berichte jährlich im Mittel 9.669 l Heizöl verbrannt. Bei einem spez. Heizwert von 9,8 kWh/l ergibt dies somit **94.753 kWh/a**.

**Die Summe aus Fackelgas, Gas welches in der Heizung verbrannt wurde und Ölbedarf ergibt eine Feuerungswärmeleistung zwischen 552.718 kWh/a und 885.526 kWh/a, je nach Berechnungsgrundlage für das verbrannte Klärgas.**

**Ohne die Wärmeproduktion aus der Verbrennung des Öls ergibt sich eine Feuerungswärmeleistung der Faulung zwischen 450.000 kWh/a und 800.000 kWh/a, wobei der erstgenannte Wert mit Blick auf die Kläranlagengröße der plausible Wert ist und für weitere Berechnungen verwendet werden soll.**

In Abbildung 3-20 ist der Rohschlammabzug aus der Biologie angegeben, der im Bereich der maschinellen Eindickung weiter verarbeitet wird. Täglich werden im Mittel etwa 9,5 m<sup>3</sup> abgezogen. Angaben zum TS-Gehalt liegen nicht vor. Weiterhin werden gemäß Betriebstagebuch täglich rund 13 m<sup>3</sup> Schlamm entwässert.

**Die Daten erscheinen zunächst nicht plausibel und sollten im Rahmen der Betriebsführung überprüft werden.**

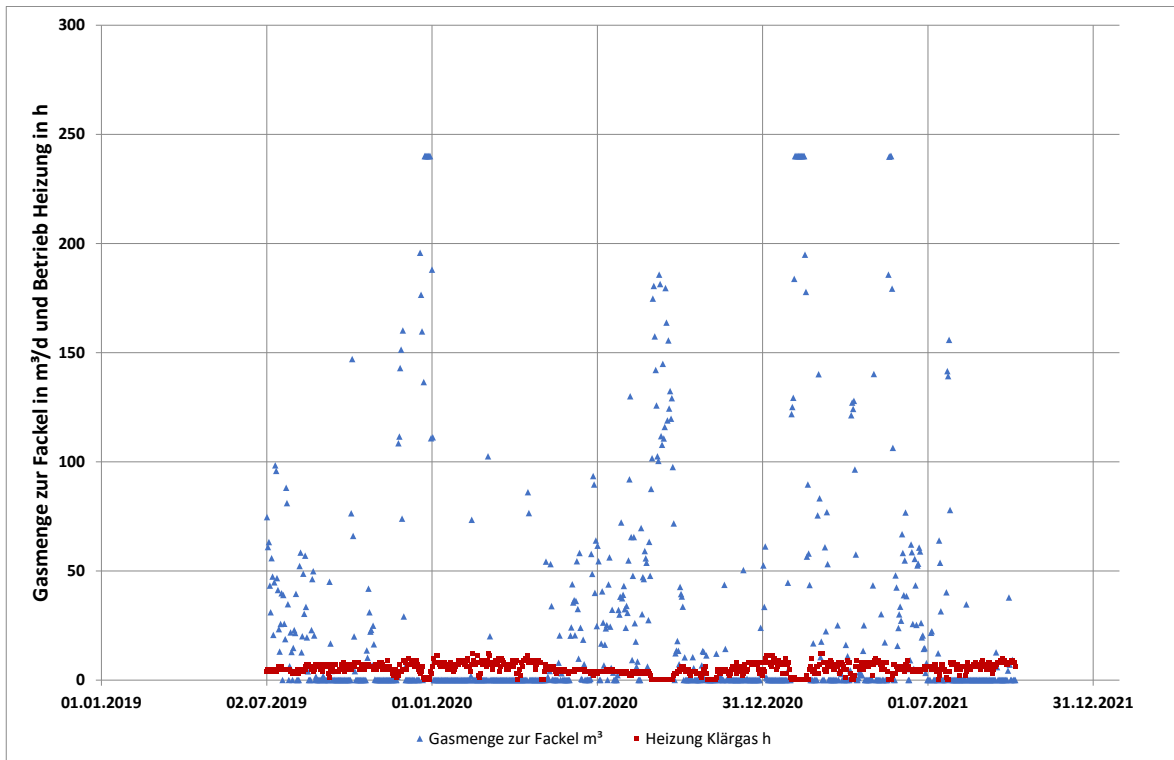


Abbildung 3-19: Gasverwertung der Kläranlage

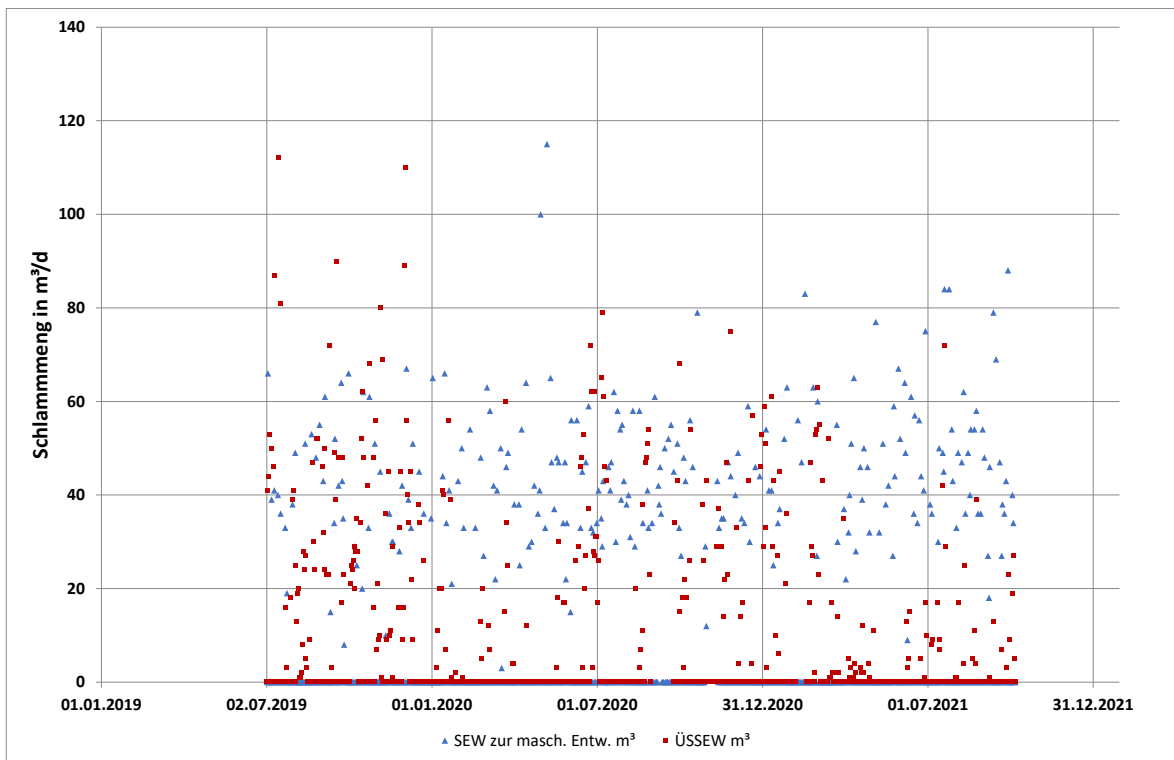


Abbildung 3-20: Rohschlammabzug der Kläranlage Wöllstadt

### 3.8 Überrechnung der Kläranlage

Die Überrechnung der Kläranlage Wöllstadt erfolgte mit Hilfe einer dafür ausgelegten Software. Alle den Berechnungen zugrunde gelegten Daten werden üblicherweise aus den statistischen Auswertungen des Betriebstagebuchs entnommen und an den entsprechenden Stellen nachfolgend mit aufgeführt. In diesem Fall ist die Belastungssituation anhand der ausgewerteten Daten nicht schlüssig, weshalb ein Einwohnerwert von 11.000 EW angesetzt wird. Die Überrechnung des Bestandes geht von der aktuellen Verfahrenstechnik bei der Belastung von 11.000 EW aus. Dabei findet ein Schlammalter für eine anaerobe Schlammstabilisierung Anwendung. Für die Überrechnung der Kläranlage relevante Ergebnisse werden nachfolgend dargestellt.

Tabelle 3-7: Überrechnung der Kläranlage des IST-Zustandes

<b>Lastfall:</b>		Bemessung	
<b>ZULAUF:</b>			
<b>Abwassermenge</b>	$Q_D$	<b>1860</b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>
	$Q_t$	<b>116</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>
<b>CSB</b>	$C_{CSB.ZB}$	<b>710</b>	<b>mg/l</b>
<b>Gelöster CSB</b>	$S_{CSB.ZB}$	<b>376</b>	<b>mg/l</b>
<b>Zudosierter CSB</b>	$S_{CSB.DOS}$	<b>0</b>	<b>mg/l</b>
<b>Abfiltrierbare Stoffe</b>	$X_{TS.ZB}$	<b>215</b>	<b>mg/l</b>
<b>Kjeldahl-Stickstoff</b>	$C_{TKN.ZB}$	<b>65,1</b>	<b>mg/l</b>
<b>Ammoniumstickstoff</b>	$S_{NH4.ZB}$	<b>51,1</b>	<b>mg/l</b>
<b>Nitratstickstoff</b>	$S_{NO3.ZB}$	<b>2,7</b>	<b>mg/l</b>
<b>Phosphor</b>	$C_{P.ZB}$	<b>10,6</b>	<b>mg/l</b>
<b>Säurekapazität</b>	$S_{KS.ZB}$	<b>8</b>	<b>mmol/l</b>
<b>ABLAUF:</b>			
<b>Ammoniumstickstoff</b>	$S_{NH4.AN}$	<b>0</b>	<b>mg/l</b>
<b>Nitratstickstoff</b>	$S_{NO3.AN}$	<b>12</b>	<b>mg/l</b>
<b>Phosphor</b>	$C_{P.AN}$	<b>0,5</b>	<b>mg/l</b>
<b>Säurekapazität</b>	$S_{KS.AN}$	<b>4</b>	<b>mmol/l</b>
<b>BELEBUNGSBECKEN:</b>			
<b>Gesamtvolumen</b>	$V_{BB}$	<b>1916</b>	
<b>Denitrifikationsanteil</b>	$V_D/V$	<b>50</b>	<b>%</b>
<b>Nitrifikationsvolumen</b>	$V_N$	<b>958</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
<b>Denitrifikationsvolumen</b>	$V_D$	<b>958</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
<b>Schlammrockensubstanz</b>	$TS_{BB}$	<b>3,44</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Temperatur</b>	$T$	<b>12</b>	<b>°C</b>
<b>Schlammalter</b>	$t_{TS}$	<b>13,7</b>	<b>d</b>
<b>Prozessfaktor</b>	$PF$	<b>1,5</b>	<b>-</b>
<b>Nitrifizierter Stickstoff</b>	$S_{NN}$	<b>51,2</b>	<b>mg/l</b>
<b>Denitrifizierter Stickstoff</b>	$S_{ND}$	<b>41,8</b>	<b>mg/l</b>
<b>Erforderliche Rückführung</b>	$RF$	<b>326</b>	<b>%</b>

Werden die aktuellen Belastungswerte der Kläranlage mit der zur Verfügung stehenden Verfahrenstechnik verglichen, kann folgendes festgestellt werden:

- Das vorhandene Belebungsbeckenvolumen ist im Vergleich zum benötigten Volumen ausreichend. Die Anlage kann somit nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik betrieben werden.
- Zur Stickstoffelimination ist die Zugabe von externem Kohlenstoff nicht erforderlich. Dies wurde im Rahmen der Überrechnung berücksichtigt.

## **4 Beurteilung der energetischen IST-Situation**

### **4.1 Auswertung des Lastgangprofils der Kläranlage Wöllstadt**

Zur Auswertung des Lastgangprofils standen die 15-minütigen Mittelwerte der Leistungsaufnahme für die Zeit von 2018 bis Ende 2020 als Datengrundlage zur Verfügung. Unter einem Lastgangprofil wird das Ergebnis einer Messung des Energiebedarfs eines Abnehmers über einen längeren Zeitraum verstanden. Es setzt sich aus Daten über die Lastspitzen, den Zeitpunkt des Auftretens, ihre Häufigkeit und Dauer zusammen. Damit dient das Lastgangprofil als Grundlage für die Ermittlung des genauen Energiebedarfs und für die spätere Abrechnung beim Energieversorgungsunternehmen (EVU).

Die Kostenabrechnung des EVU mit dem Unternehmen setzt sich aus einem Grund- und einem Leistungspreis zusammen. Die Höhe des Leistungspreises errechnet sich in den meisten Fällen aus der höchsten 15-Minuten-Leistungsabnahme innerhalb eines Monats oder in manchen Fällen eines Jahres. Kann die Leistungsabnahme durch eine intelligente Laststeuerung über das Jahr gleichmäßiger gestaltet und auftretende Lastspitzen gekappt werden, ist es möglich allein durch diese Maßnahme eine Kosteneinsparung herbeizuführen. Die Anwendung einer Lastoptimierung auf einer Kläranlage erfordert daher zwingend eine Identifizierung der elektrischen Verbraucher und deren Auftreten hinsichtlich der Häufigkeit, Ausmaß und Dauer der Leistungsaufnahme. Bei der Erstellung eines Konzeptes zum Lastabwurf werden im weiteren Verlauf die Aggregate in deren Abschaltreihenfolge priorisiert. Dabei dürfen Aggregate, die zur Stabilität der Kläranlage beitragen, nicht abgeschaltet werden, um die Reinigungsleistung zu keiner Zeit zu beeinträchtigen.

In Abbildung 4-1 ist die prozentuale Unterschreitungshäufigkeit der Leistungsaufnahme der Kläranlage Wöllstadt vom 01.01.2018 bis zum 31.12.2020 dargestellt. Zudem ist in Abbildung 4-2 die mittlere Leistungsaufnahme für diese Zeit ab einer Unterschreitungshäufigkeit von 95 % genauer abgebildet. Aus den Grafiken geht hervor, dass in allen Jahren ein ähnlicher Verlauf sowie eine ähnlich hohe Schwankungsbreite verzeichnet wurden. Es ergibt sich eine mittlere Leistungsaufnahme von etwa 49 kW für das Jahr 2019. Wird dieser Mittelwert auf ein Jahr hochgerechnet ergibt sich ein Bedarf von rund 432.454 kWh/a.

Wäre es möglich, die 1 % höchsten Spitzen durch ein Lastmanagement zu eliminieren, könnte eine zu zahlende Leistung von rund 20 kW je Jahr eingespart werden.



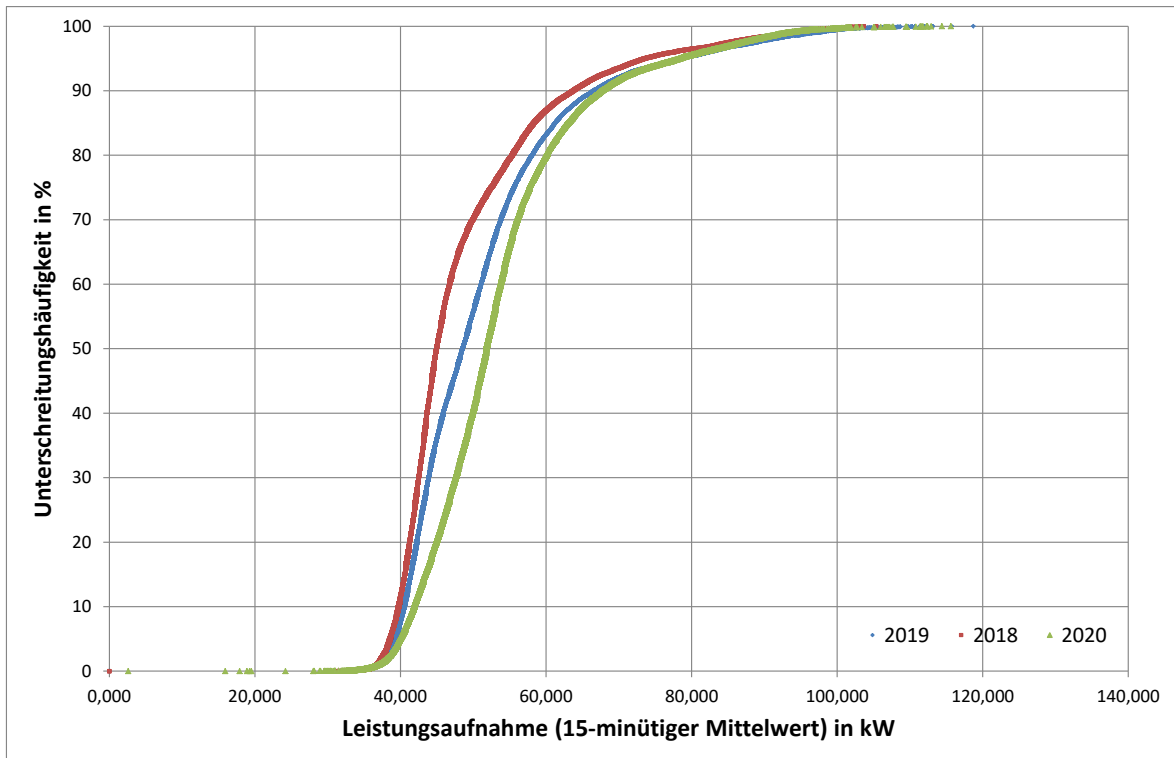


Abbildung 4-1: Unterschreitungshäufigkeit der Leistungsaufnahme der Kläranlage Wöllstadt als 15-minütigen Mittelwert

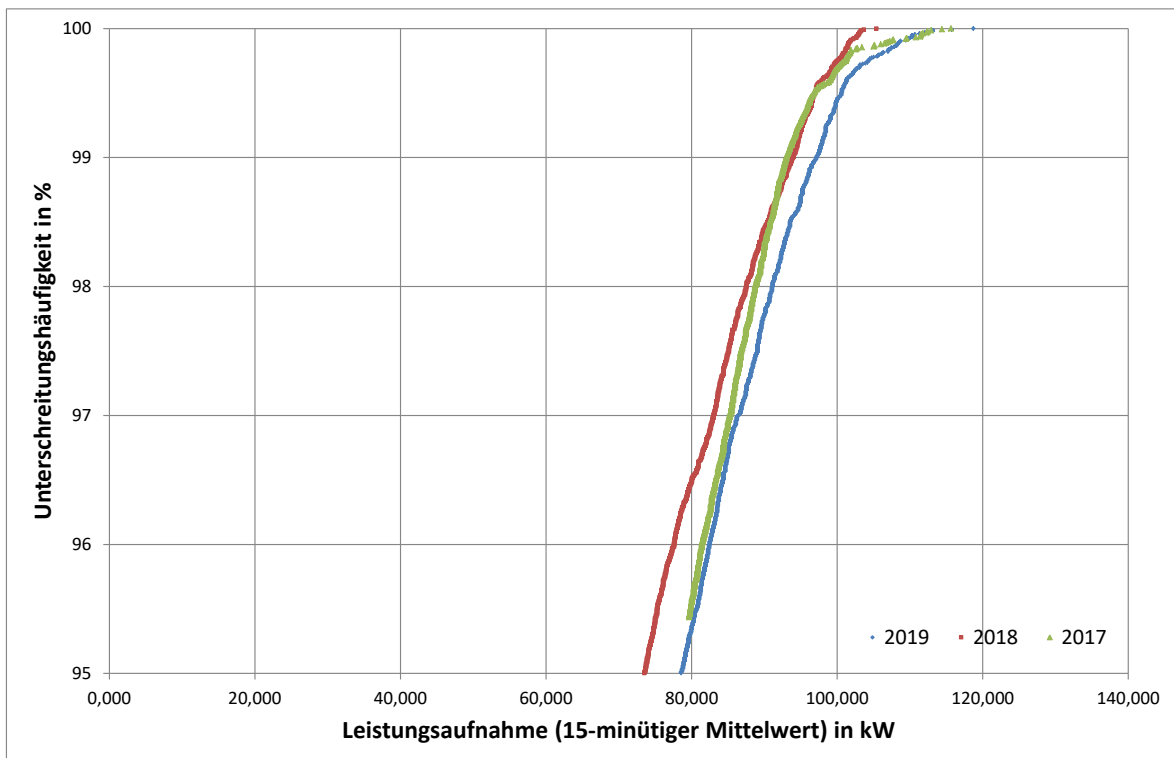


Abbildung 4-2: Unterschreitungshäufigkeit der Leistungsaufnahme der Kläranlage Wöllstadt als 15-minütigen Mittelwert ab 95 %

In Abbildung 4-3 bis Abbildung 4-5 sind Tagesmittel- und Maximalwerte der Leistungsaufnahme sowie der tägliche Zufluss im Jahrgang für 2018, 2019 und 2020

dargestellt. Der Zufluss zur Kläranlage konnte zumindest teilweise für die betroffenen Jahre aus dem Betriebstagebuch entnommen werden. Im Verlauf des Jahres kommt es zu einem vergleichsweise homogenen Energiebezug. Im Gegenteil zum Verlauf der Maximalwerte sind die Mittelwerte in den Wintermonaten im Januar, Februar und Dezember höher als im Rest des Jahres und nehmen in den Frühlings-/Sommermonaten tendenziell ab und im Herbst wieder zu. Die Tendenz des Verlaufs der Mittelwerte entspricht in etwa der des Abwasserzuflusses. Ein direkter Zusammenhang zwischen dem Zulauf zur Kläranlage und den Energiemaxima kann jedoch nicht festgestellt werden. Zu Beginn des Jahres ist der Zulauf am höchsten. Er sinkt bis zum Ende des zweiten Quartals stetig, was im Zusammenhang mit der Schneeschmelze/Regenereignissen gesehen werden muss.

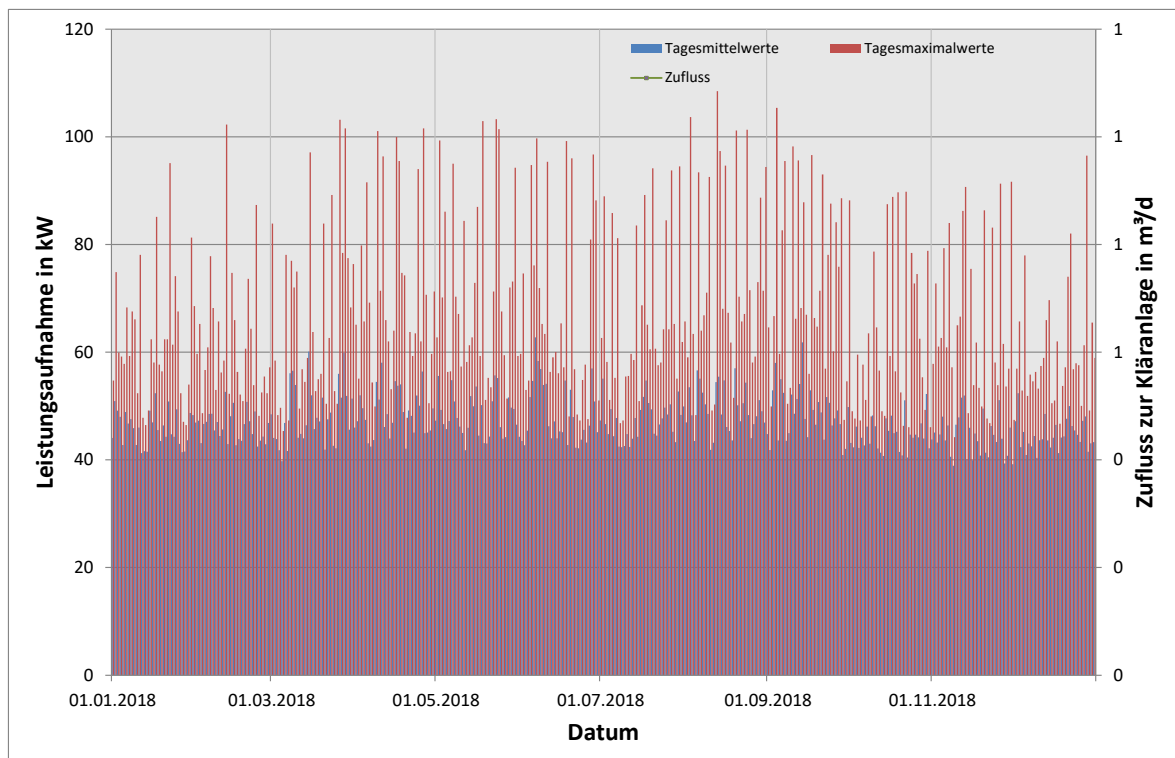


Abbildung 4-3: Mittel- und Maximalwerte der täglichen Leistungsaufnahme sowie der tägliche Zufluss zur Kläranlage im Jahr 2018

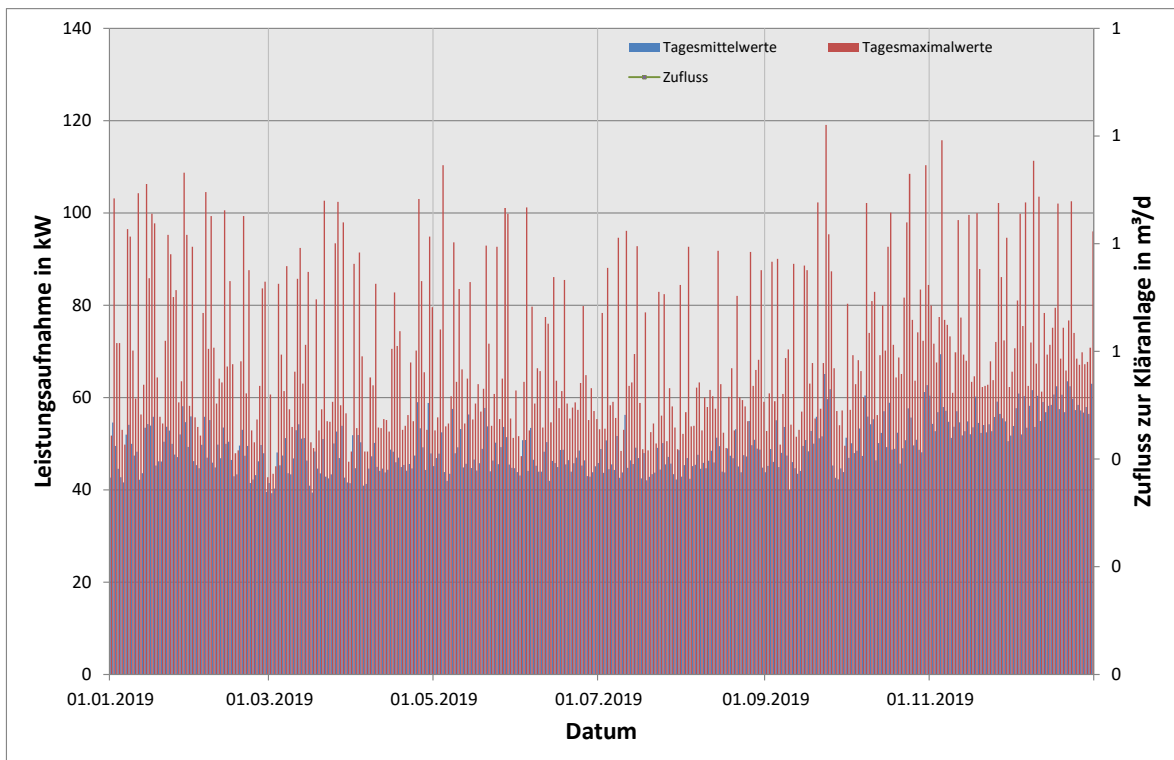


Abbildung 4-4: Mittel- und Maximalwerte der täglichen Leistungsaufnahme sowie der tägliche Zufluss zur Kläranlage im Jahr 2019

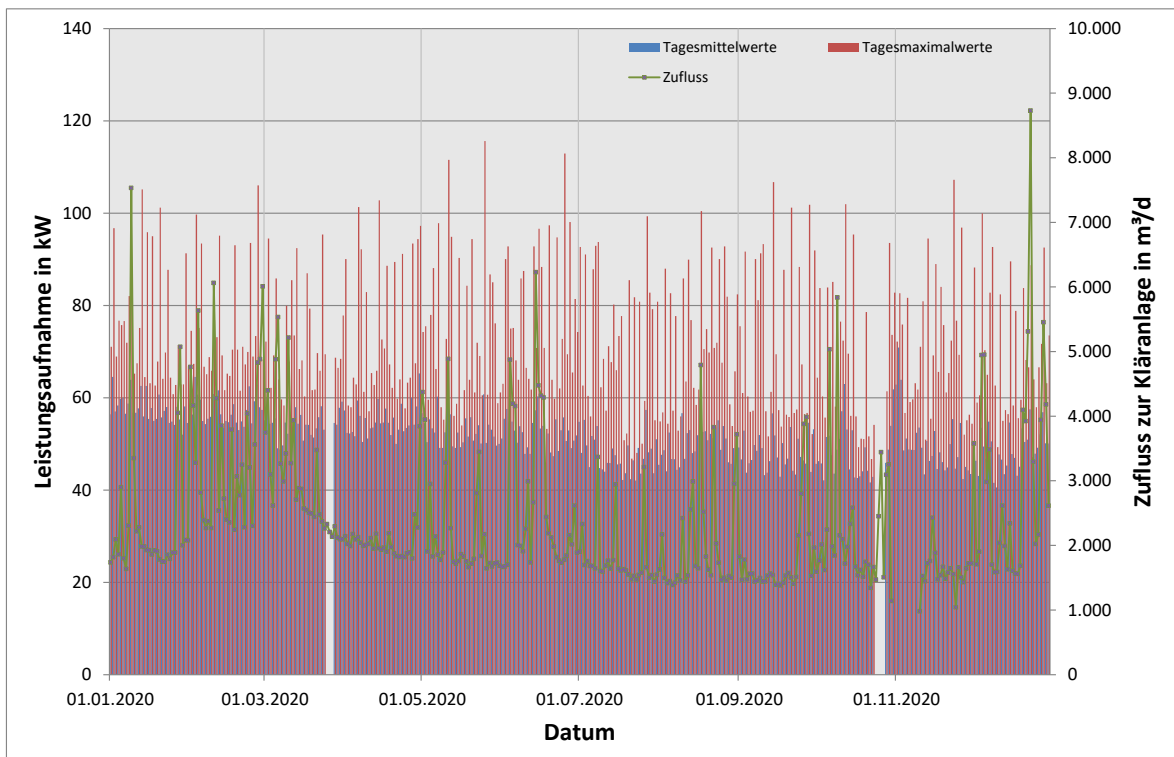


Abbildung 4-5: Mittel- und Maximalwerte der täglichen Leistungsaufnahme sowie der tägliche Zufluss zur Kläranlage im Jahr 2020

Tabelle 4-1: Minimal-, Maximal- und Mittelwerte der Leistungsaufnahme der Kläranlage Wöllstadt im Zeitraum 2018 bis 2020

Parameter	Einheit	2018	2019	2020
Minimum	kW	0	0	2,6
Maximum	kW	108	119	116
Mittelwert	kW	47	49	52

Die Abbildung 4-6 zeigt die Tagesgänge der Tage mit den vier größten Maxima des Jahres 2020. Die 4 Tage, die für das Jahr 2020 dargestellt sind, liegen bezüglich ihrer Leistungsaufnahme über dem Jahresdurchschnitt. Die Maximalwerte der vier dargestellten Tage liegen bei rund 120 kW. Im Verlauf sind die einzelnen Spitzen nicht weiter zu differenzieren. Vielmehr handelt es sich um wiederholte Spitzen mit ähnlich starker Ausprägung. Ein Zusammenhang mit dem Zufluss zur Kläranlage kann für die 4 Maxima des Jahres 2020 nicht erkannt werden. Insofern sind andere größere Verbraucher (z.B. Zentrifuge) für den hohen Leistungsbedarf verantwortlich.

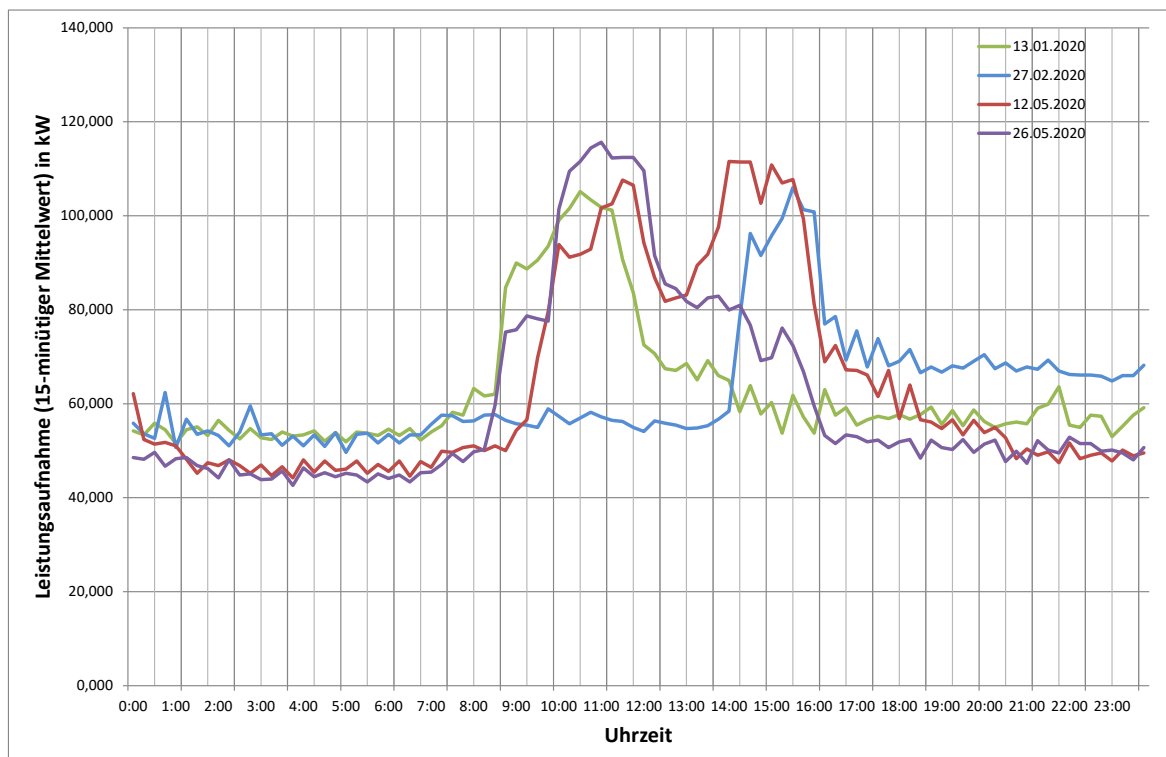


Abbildung 4-6: Tagesgang der Leistungsaufnahme der im Jahr 2020 aufgetretenen Maximalwerte

## 4.2 Potentialanalyse

Um den elektrischen Energiebedarf von Kläranlagen besser einordnen und vergleichen zu können, wurde nach Arbeitsblatt DWA-A 216 (vgl. Abbildung 4-7) eine Referenz hergestellt. Bei großen Anlagen liegen die spezifischen elektr. Stromverbräuche im Bereich der Medianwerte, wohingegen bei den kleineren Anlagen der Stromverbrauch und der spezifische Energiebedarf massiv ansteigen. Baumann und Roth (2008) geben in

Ihrem Leitfaden Zielwerte für den spezifischen Stromverbrauch in Abhängigkeit von Ausbaugröße und biologischen Grundverfahren an, was in Tabelle 4-2 zum Tragen kommt.

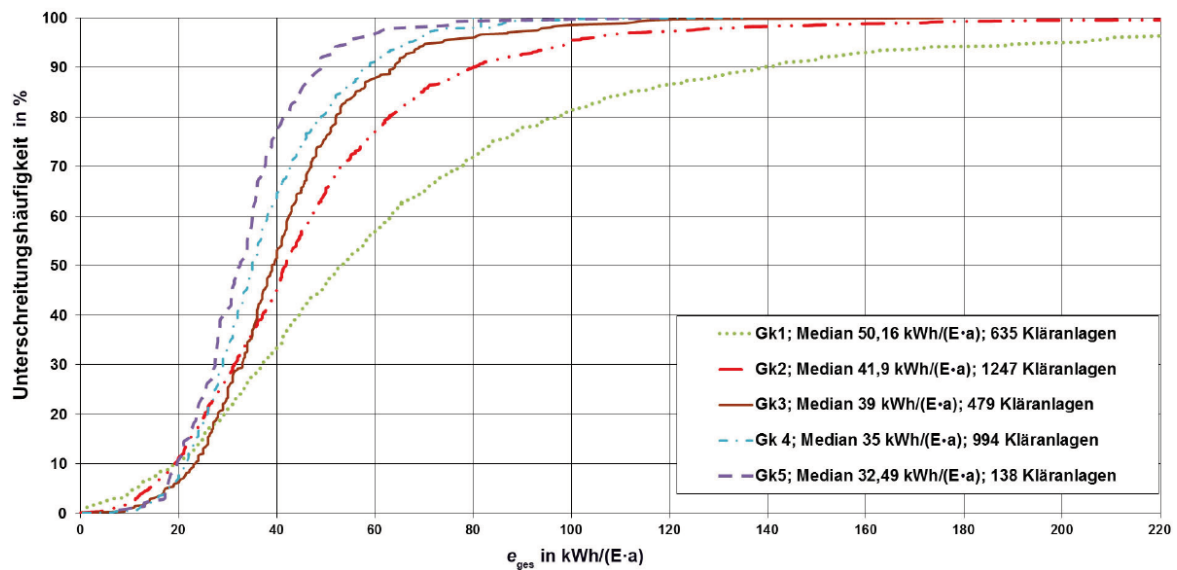


Abbildung 4-7: Statistische Auswertung der Energieeffizienz von Abwasserbehandlungsanlagen nach Arbeitsblatt DWA-A 216

Ordnet man die Kläranlage Wöllstadt (jährlicher el. Energiebedarf im Mittel 416.117 kWh/a [2018 – 2020] bei einer realistischen Belastung von rund 11.000 EW) mit dem spezifischen Stromverbrauch von 37,8 kWh/(EW\*a) in die Grafik (Abbildung 4-7) ein, wird deutlich, dass die Anlage nicht im optimalen Bereich liegt (Orientierungswerte für GK 4) und etwa 60 % der Kläranlagen gleicher Größenklasse einen effizienteren Energieverbrauch aufweisen. Durch verschiedene Optimierungsmaßnahmen kann der spezifische Energieverbrauch jedoch abgesenkt werden.

Der Bedarf an elektrischer Energie der Kläranlage ist zusammenfassend in Tabelle 4-2 dargestellt. Es wurde ein elektrischer Energiebedarf der Kläranlage von im Mittel 416.117 kWh/a ermittelt. Vergleicht man diesen Wert mit dem angegebenen Zielwert, lässt sich ein theoretisches Einsparpotenzial von 140.800 kWh/a bzw. 30.976 €/a (brutto; bei einem durchschnittlichen Strompreis von 0,22 €/kWh) ermitteln. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass die erreichbaren Einsparungen immer von den vorliegenden Randbedingungen abhängig sind. Das kann dazu führen, dass die tatsächlichen Einsparungen hinter den theoretischen Werten zurückbleiben.

Tabelle 4-2: Übersicht des elektrischen- und spezifischen Energiebedarfs

Parameter	Einheit	2017	2018	2019	2017 – 2019
<b>Elektrischer Energiebedarf aus Lastgang/EVU</b>	<b>kWh/a</b>	<b>416.117</b> (Mittelwert 2018-2020)			
<b>Elektrischer Energiebedarf (bilanziert)</b>	<b>kWh/a</b>	<b>437.569</b> (tatsächlicher Bedarf in 2020: 438.471 kWh/a)			
Ausbaugröße	EW	12.000			
Größenklasse	-	4			
CSB-Fracht	kg/d	2.900 (nicht plausibel)			
<b>Einwohnerwert nach CSB-Fracht</b>	<b>EW</b>	24.167 (nicht plausibel, es werden 11.000 EW verwendet)			
<b>Spezifischer Energiebedarf der Kläranlage</b>	<b>kWh/(EW*a)</b>	<b>37,8</b>			
Toleranzwerte (zum Medianwert)	kWh/(EW*a)	35			
Zielwerte (20 % Perzentil)	kWh/(EW*a)	25			
Einsparung zum Toleranzwert	kWh/a	30.800			
<b>Einsparung zum Zielwert</b>	<b>kWh/a</b>	<b>140.800</b>			

### 4.3 Erhebung des elektrischen Energiebedarfs

#### 4.3.1 Einführung

Zur Ermittlung des Stromverbrauchs der Kläranlagen wurde eine Reihe von Kurzzeitmessungen mit Hilfe eines Zangenamperemeters durchgeführt. Anhand der gemessenen Stromstärken kann für einfache, einphasige Wechselstromgeräte nach Formel 4-1 die Leistungsaufnahme des Aggregats bestimmt werden.

$$P = U_S \cdot I \cdot \cos\varphi \quad \text{Formel 4-1}$$

Für Drehstromgeräte gilt entsprechend Formel 4-2, die mit der Beziehung der Außenleiter- zur Strangspannung nach Formel 4-3 in Formel 4-4 umgewandelt werden kann. Dieser Weg wurde zur Berechnung herangezogen.

$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos\varphi \quad \text{Formel 4-2}$$

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_S \quad \text{Formel 4-3}$$

$$P = U_S \cdot (I_1 + I_2 + I_3) \cdot \cos\varphi \quad \text{Formel 4-4}$$

Für die Strangspannung  $U_S$  wurden die im deutschen Stromnetz üblichen 230 V angenommen. Zum Zeitpunkt der Messung kann die Spannung allerdings durchaus um mehrere Volt von der Annahme abweichen, wodurch das Ergebnis der Berechnung beeinträchtigt wird.

Der Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  ist von Gerät zu Gerät unterschiedlich und muss nicht in jedem Fall mit den Angaben auf dem Typenschild übereinstimmen. Dennoch wurde zur Grobbestimmung des Stromverbrauchs auf die Typenschilder zurückgegriffen, insofern diese vorhanden waren. Anderenfalls wurde ein Wert von 0,8 angenommen.

Gemäß Formel 4-5 ergibt sich aus der Multiplikation der Leistung mit der Zeit die verrichtete elektrische Arbeit.

$$W = P \cdot t \quad \text{Formel 4-5}$$

Aufgrund fehlender Daten mussten für die Betriebsstunden der Aggregate ebenfalls teilweise Annahmen getroffen werden. Diese Annahmen sind mit A gekennzeichnet. Konnten Betriebsstunden berechnet werden oder lagen diese vor, ist dies mit B gekennzeichnet.

Anhand des Verbrauchs lassen sich anschließend daraus resultierende Parameter wie Stromkosten u. a. ermitteln. Im Falle der Kläranlage Wöllstadt ist der Preis pro Kilowattstunde aus Rechnungen des EVU ermittelt worden. Für die Kläranlage Wöllstadt beträgt der durchschnittliche Strompreis rund 0,22 €/kWh. Dieser ist als Bruttopreis anzusehen.

### 4.3.2 Auswertung der kontinuierlichen Leistungsmessung

Im Folgenden wird auf die kontinuierliche Leistungsmessung einzelner Aggregate eingegangen. Anhand dessen kann die Häufigkeit und Dauer des Energiebezugs dieser Aggregate analysiert werden.

#### Zwischenpumpwerk

Das Zwischenpumpwerk beinhaltet die Förderung des anfallenden Abwassers, das Schlamm-Wasser-Gemisch der internen Rezirkulation sowie die Rücklaufschlammförderung der Biologie. Eine Aufgliederung ist der einzelnen Teilströme ist nur dahingehend möglich, da der Ablauf der Kläranlage bekannt ist. Weiterhin kann im

Leitsystem der Kläranlage eine gewünschte RLS-Fördermenge eingestellt werden, die prozentual zum Zulauf gesteuert wird.

Die kontinuierliche Strommessung der vier Pumpen hat aus technischen Gründen nicht funktioniert, weshalb eine alternative Ermittlung vorgenommen wurde. Für alle 4 Pumpen werden die Frequenzen der Umformer aufgezeichnet und ins Betriebstagebuch übernommen. Somit konnten die mittleren Frequenzen der Pumpen eines jeden Tages ermittelt werden. Neben den Aufzeichnungen wurde eine Korrelation zwischen Stromaufnahme und Frequenz ermittelt (vgl. Abbildung 4-8). Da der Zusammenhang zwischen Stromaufnahme und Frequenz linear ist, kann die mittlere Frequenz zur Berechnung der Stromaufnahme herangezogen werden.

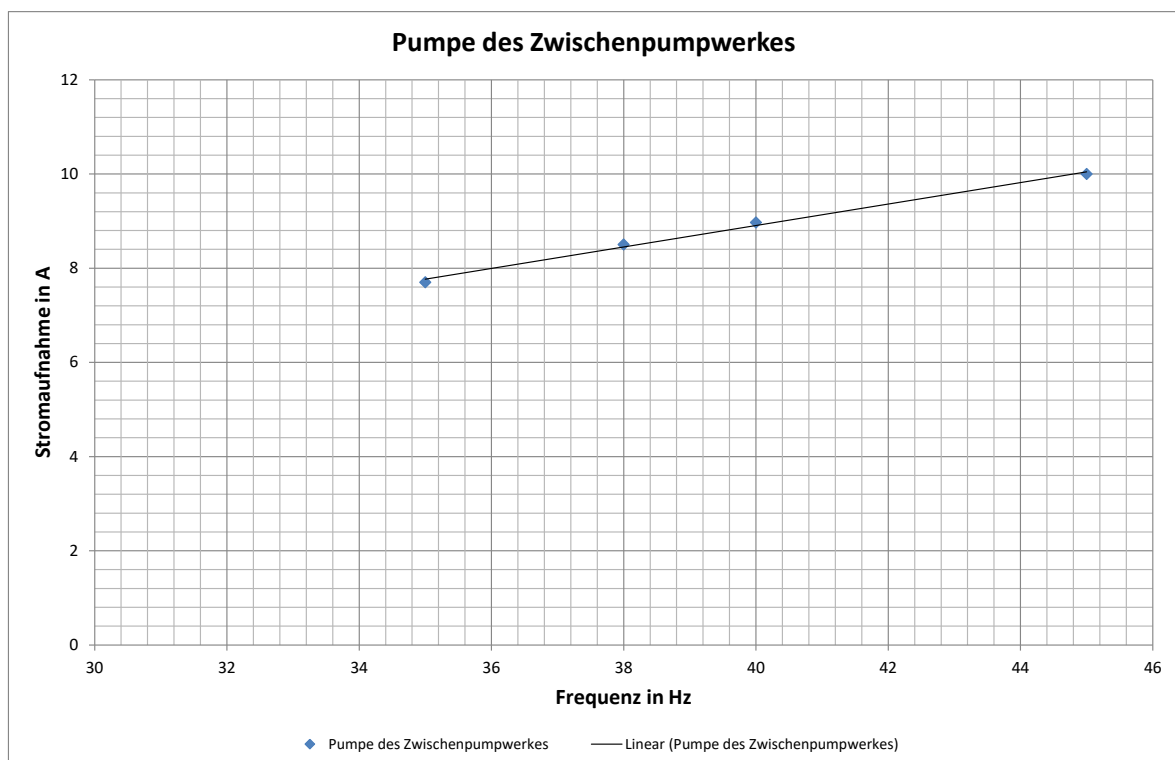


Abbildung 4-8: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Frequenz und Stromaufnahme des Zwischenpumpwerkes

Im Zeitraum vom 22.03. bis zum 24.03.2022 wurden mittlere Frequenzen der Pumpen von 35 Hz aufgezeichnet. Bei einer Stromaufnahme von 7,7 A bei 35 Hz liegt der Mittelwert der Leistungsaufnahme somit bei 4,535 kW, sofern die Pumpe in Betrieb war. Am Donnerstag, den 24.03.2022 wurden insgesamt 2.228 m<sup>3</sup>/d in der Kläranlage behandelt. Drei der vier Pumpen liefen mit einer mittleren Frequenz von 35 Hz durch. Somit wurden über einen Zeitraum von 24 Stunden eine Arbeit von 326,52 kWh verrichtet. Spezifisch gesehen ergibt dies eine erforderliche Energie von 0,14655 kWh/m<sup>3</sup>, inklusive der RLS- und internen Ströme. Wird die spez. Arbeit mit 850.000 m<sup>3</sup>/a multipliziert, ergibt dies eine jährliche Arbeit der Pumpen in Höhe von rund 125.000 kWh/a.

Bei einer Förderhöhe von 3,10 m und einer Verlusthöhe von rund 0,9 m ergibt dies eine **Förderhöhe von rund 4 m**. Bei einer geschätzten Rezirkulationsmenge von 100 % zum Zulauf (850.000 m<sup>3</sup>/a) sowie einer Rücklaufschlammmenge von 75 % vom Zulauf (637.500 m<sup>3</sup>/a) und der erforderlichen Abwassermenge von 850.000 m<sup>3</sup>/a ergibt



insgesamt eine zu fördernde Menge von **2.337.500 m<sup>3</sup>/a**. Mit einem spez. Energiebedarf von 4,2 – 3,6 Wh/(m<sup>3</sup> x m), hier gewählt **4 Wh/(m<sup>3</sup> x m)**, wäre ein theoretischer Energieeinsatz von 37.400 kWh/a für den Betrieb des Zwischenpumpwerkes erforderlich. Somit kann von einer maximalen Einsparung der jährlichen Arbeit von rund **87.600 kWh/a** im Bereich des Zwischenpumpwerkes ausgegangen werden.

Hinweis: Die Rezirkulationspumpe wird noch nicht anhand der Nitratkonzentration im Nitrifikationsbecken gesteuert. Diese Betriebsweise gilt somit noch nicht als bedarfsgerecht und ist grundsätzlich nicht so effizient, wie eine bedarfsgerechte Förderung. Die RLS-Förderung ist mit einem Faktor von 100 % als zu hoch eingestellt und kann reduziert werden (siehe Regelwerk). Durch diese beiden Anpassungen der internen Rezirkulation und der RLS-Förderung kann bereits ein erhebliches Potenzial eingespart werden.

Im Nachgang zu den Anpassungen müssen die Pumpen erneut auf die Energieeffizienz untersucht werden, um festzustellen, welchen Wirkungsgrad die Pumpen aufweisen.

### **Gebläse 1-4**

Die kontinuierliche Strommessung der vier Gebläse hat aus technischen Gründen nicht funktioniert, weshalb eine alternative Ermittlung vorgenommen wurde. Für alle 4 Gebläse zusammen werden die el. Arbeit mittels eines Strommessers im Leitsystem aufgezeichnet. Im Zeitraum vom 18.03.2022 bis zum 25.03.2022 wurden insgesamt 1.976 kWh verbraucht. Hochgerechnet ergibt dies eine el. Arbeit von insgesamt 103.651 kWh/a. Im Mittel werden durch die Gebläse somit rund 11,83 kW dauerhaft benötigt.

Im Rahmen der Strommessungen vor Ort wurde eine el. Energieaufnahme für die Gebläse von 135.108 kWh/a ermittelt. Für die weitere Berechnung soll der Mittelwert mit rund 120.000 kWh/a aus beiden Werten verwendet werden.

Bei einer Belastung von rund 11.000 EW ergibt sich ein spez. el. Energiebedarf für die Gebläse von 10,85 kWh/(EWxa). Bei einem Zielwert von 10 kWh/(EWxa) ergibt sich somit ein Einsparpotenzial von 0,85 kWh/(EWxa) und eine absolute Einsparung von **9.380 kWh/a**.

### **Schlammwässerung - Zentrifuge**

In Abbildung 4-9 sind die Ergebnisse der kontinuierlichen Leistungsmessung aller Aggregate der Schlammwässerung in Form einer Zentrifuge dargestellt. Die Abbildung zeigt den untersuchten Zeitraum vom 24.11.2021 bis zum 04.12.2021. In diesem Zeitraum wurden 5 Peaks aufgezeichnet, die den Betrieb der Zentrifuge darstellen. Die mittlere Leistungsaufnahme lag im untersuchten Zeitraum dabei bei 1,657 kW. Hochgerechnet ergibt sich somit für die Schlammwässerung ein jährlicher Energiebedarf von 14.515 kWh/a.

Die komplette Schlammwässerung wurde vollständig erneuert und gegen eine neue Zentrifuge ersetzt. Üblicherweise ist aus wirtschaftlicher Sicht die Schlammwässerung im Bereich der Stromkosten von eher untergeordneter Bedeutung. Aus diesem Grund

sollen keine weiteren Überlegungen zur Energieeffizienz der Schlammwässerung ausgeführt werden.

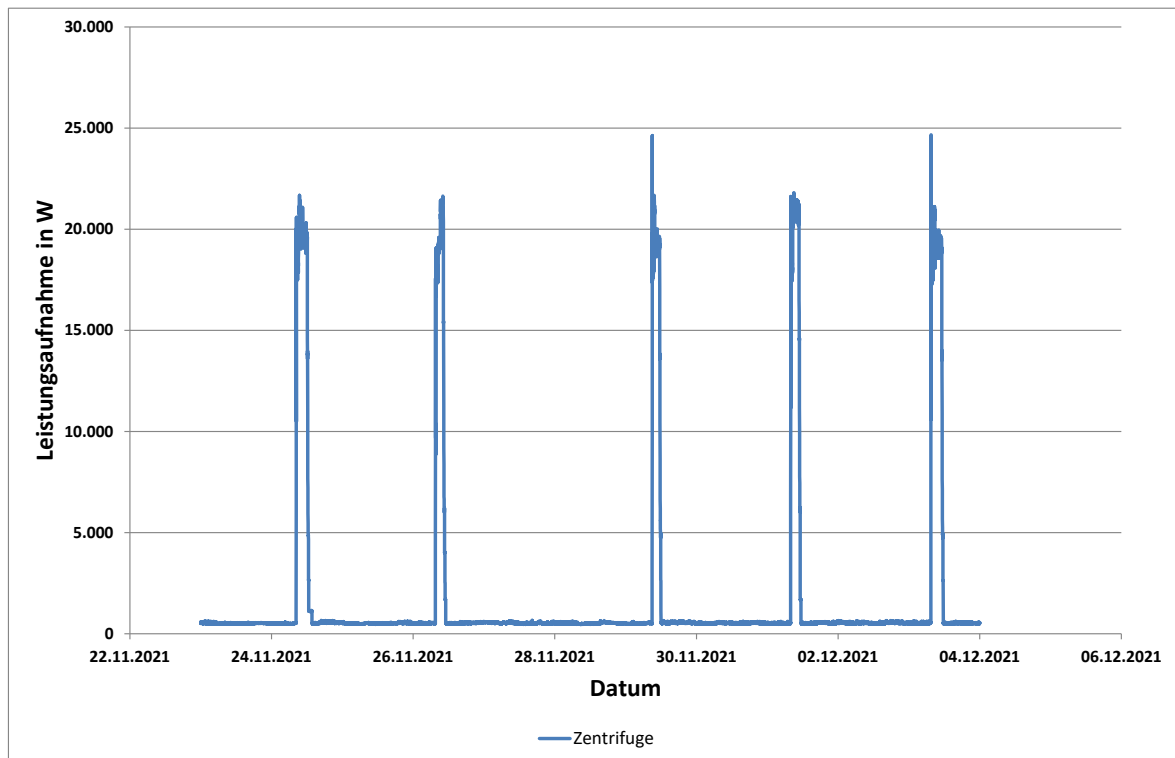


Abbildung 4-9: Darstellung der kontinuierlichen Leistungsmessung der Schlammwässerung

### Scheibenfilter – RO-Disk

In Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. sind die Ergebnisse der kontinuierlichen Leistungsmessung der Scheibenfilteranlage – RO-Disk dargestellt. Im betrachteten Zeitraum herrschte überwiegend Trockenwetter. Tatsächlich wurden nach der Leistungsmessung im Mittel im untersuchten Zeitraum 3,252 kW dauerhaft bezogen, was im Zeitraum von 8.760 Stunden insgesamt einer Arbeit von 28,496 kWh für den Betrieb des Scheibenfilters entspricht.

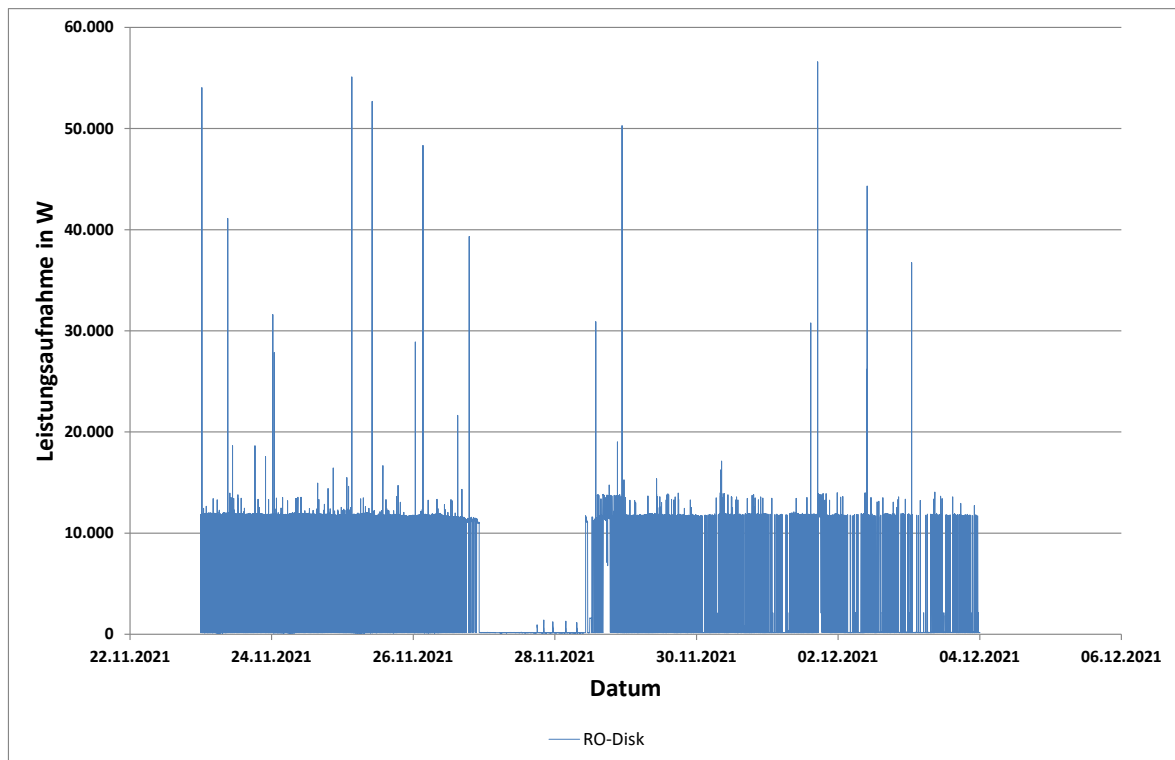


Abbildung 4-10: Leistungsaufnahme der RO-Disk

### 4.3.3 Auswertung der Leistungsmessung mittels Zangenamperemeter

Um auf der Kläranlage die Ansatzpunkte zur Senkung des elektrischen Energiebedarfs zu eruieren, wurden im Rahmen der Energieeffizienzanalyse Strommessungen im laufenden Betrieb durchgeführt. Gemessen wurde an einzelnen Aggregaten oder Aggregatgruppen, um so auch die Verbraucher mit hohem jährlichem Energiebedarf zu identifizieren. In Tabelle 4-3 sind die Ergebnisse der Strommessungen für die Kläranlage Wöllstadt zusammengestellt. Insgesamt wurde auf diese Weise ein elektrischer Energiebedarf von 437.569 kWh/a ermittelt. Zum tatsächlich abgerechneten el. Energiebedarf des Jahres 2020 in Höhe von 438.471 kWh/a laut Energierechnung, besteht somit eine Differenz von rund 1.000 kWh bzw. eine Abweichung von kleiner als 1 %.

Hauptenergieverbraucher auf der Kläranlage Wöllstadt ist die biologische Stufe. In diesen Verfahrensschritten ergibt sich ein elektrischer Energiebedarf von 313.682 kWh/a. Am Gesamtenergiebedarf fällt dieser Verfahrensschritt demnach mit etwa 72 % ins Gewicht, was auch Abbildung 4-11 entnommen werden kann.

Tabelle 4-3: Ergebnisse der Strommessung der KA Wöllstadt

Aggregat	Gruppe	U [V]	gemessene Daten			Laufzeit [h/a]	Ermittl. P	berechnete Daten		Emissionen kgCO2/a	Bemerkungen
			I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]			W [W]	W [kWh/a]		
Regenklärbecken	RÜB	400				0	B	0	0	0	
Zulauf	RÜB	400	1,9	2,3	2,0	1.339	B	1.217	1.630	773	
Sandfanggebläse 1	mechanische Reinigung	400	2,1	2,6	2,5	8.759	B	1.413	12.379	5.868	
Sandfanggebläse 2	mechanische Reinigung	400	1,5	2,0	2,0	0	B	1.080	0	0	
VKB-Räumer	mechanische Reinigung	400	0,2	0,6	0,5	365	A	255	93	44	
Feinrechen	mechanische Reinigung	400	2,0	2,0	2,0	352	B	1.178	415	197	
Rechengutwaschpresse	mechanische Reinigung	400	2,6	2,6	2,6	415	B	1.531	635	301	
Hebergebläse	mechanische Reinigung	400	5,4	5,4	5,6	1.433	B	3.219	4.614	2.187	
Heizlüfter	mechanische Reinigung	400				1.141	B	500	570	270	Stromaufnahme geschätzt
Sandklassierer	mechanische Reinigung	400	1,0	1,0	1,0	1.446	B	589	851	404	
Gebälse 1	Biologie	400						0		0	Gebälse defekt
Gebälse 2	Biologie	400	23,0	24,0	24,0	1.135		13.937		49.131	interner Stromzähler
Gebälse 3	Biologie	400	24,0	25,0	26,0	4.065		14.722	103.651	0	für alle 3 Gebälse
Gebälse 4	Biologie	400	23,0	24,0	25,0	4.136		14.134		0	verwendet und
Rührwerk Deni 1	Biologie	400	2,0	2,0	2,3	8.759	B	1.237	10.832	5.134	
Rührwerk 1 Deni 2	Biologie	400	2,8	2,8	2,9	7.754	B	1.669	12.938	6.133	
Rührwerk 2 Deni 2	Biologie	400	2,2	2,3	2,4	7.889	B	1.354	10.686	5.065	
Zwischenpumpe 1	Biologie	400	7,7	7,7	7,7	6.864		4.535	31.123	14.752	Frequenzumrichter
Zwischenpumpe 2	Biologie	400	7,7	7,7	7,7	6.854		4.535	31.080	14.732	Frequenzumrichter
Zwischenpumpe 3	Biologie	400	7,7	7,7	7,7	6.809		4.535	30.874	14.634	Frequenzumrichter
Zwischenpumpe 4	Biologie	400	7,7	7,7	7,7	6.928		4.535	31.416	14.891	Frequenzumrichter
Ventilator	Biologie	400	0,2	0,3	0,3		B	147	44	21	
Gebälseraum						297					
NK-Räumer 1	Biologie	400	2,0	2,0	2,0	8.760	S	1.178	10.317	4.890	
NK-Räumer 2	Biologie	400	1,0	1,0	1,0	8.760	S	589	5.159	2.445	
Schwimmschlammpumpe	Biologie	400	6,0	6,0	6,0		A	3.533	7.067	3.350	Laufzeit angenommen
RO-Disk Antrieb	Biologie	400	1,1	1,1	1,1	8.760	S	3.253	28.496	13.507	
Spülpumpe 1	Biologie	400	9,8	9,8	9,8	0		5.771		0	Strom in in RO-Disk
Spülpumpe 2	Biologie	400	8,5	8,5	8,5	0		5.006		0	Strom in in RO-Disk
Filtratschachtpumpe	Schlammbehandlung	400	2,8	2,9	2,9		B	1.688	107	51	
Filtratspeicherungspumpe	Schlammbehandlung	400	3,9	3,9	3,9	63	B	2.297	411	195	
Filtratspeicherrührer	Schlammbehandlung	400	3,7	3,7	3,7	1.344	B	2.179	2.928	1.388	
Beschickungspumpe e Faulbehälter	Schlammbehandlung	400	4,4	4,5	4,6	633	B	2.650	1.677	795	
Umwälzpumpe 1	Schlammbehandlung	400	7,0	7,0	7,0	4.332	B	4.122	17.857	8.464	
Umwälzpumpe 2	Schlammbehandlung	400	7,2	7,3	7,3	4.381	B	4.279	18.747	8.886	
Rührwerk Faulbehälter	Schlammbehandlung	400	3,9	3,9	3,9	7.990	B	2.297	18.350	8.698	
Umwälzpumpe Wärmetauscher	Schlammbehandlung	400	2,7	2,7	2,9	8.760	A	1.629	14.273	6.765	
Umwälzpumpe Heizung BG neu	Schlammbehandlung	400	0,2	0,2	0,2	8.760	A	135	1.187	562	
Dosierpumpe 1	Schlammbehandlung	400	2,3	2,3	2,3	2	B	1.354	3	1	
Dosierpumpe 2	Schlammbehandlung	400	0,9	0,9	0,9	639	B	530	339	161	
Spülwasserpumpe	Schlammbehandlung	230	0,1			714	B	25	18	9	
Siebtrommelantrieb	Schlammbehandlung	400	2,0	2,0	2,0	716	B	1.178	843	400	
Schlammbeschickungspumpe ÜSS	Schlammbehandlung	400	5,0	5,0	5,0	621	B	2.944	1.828	867	
Rührwerk Schlamm Speicher	Schlammbehandlung	400	15,0	15,0	15,0	588	B	8.833	5.197	2.463	
Zentrifuge	Schlammbehandlung	400				8.760	K	1.657	14.515	6.880	errechnet über mittlere Stromaufnahme
Gasdruckerhöhungsgebläse	Gasverwertung	400	1,0	1,0	1,0	3.536	B	589	2.082	987	
Pumpe Hausentwässerung	sonstiges	400	2,6	2,7	2,8	339	B	1.590	539	256	
Hochwasserpumpe 1	sonstiges	400	2,5	2,5	2,5	0	B	1.472	0	0	
Hochwasserpumpe 2	sonstiges	400	6,0	6,0	6,0	0	B	3.533	1	1	
Betriebswasserpumpe	sonstiges	400	20,0	20,0	20,0	48	B	11.778	564	267	
Dosierpumpe 1	Fällmitteldosierung	400				0		0	0	0	defekt
Dosierpumpe 2	Fällmitteldosierung	230	0,5			8.760	A	98	856	406	
Umwälzpumpe	Fällmitteldosierung	400	0,8	0,8	0,8	1.000	A	471	471	223	

<sup>1</sup> Ermittlung: A = Annahme; B = Betriebsstundenaufzeichnung; S = Systemvorgabe

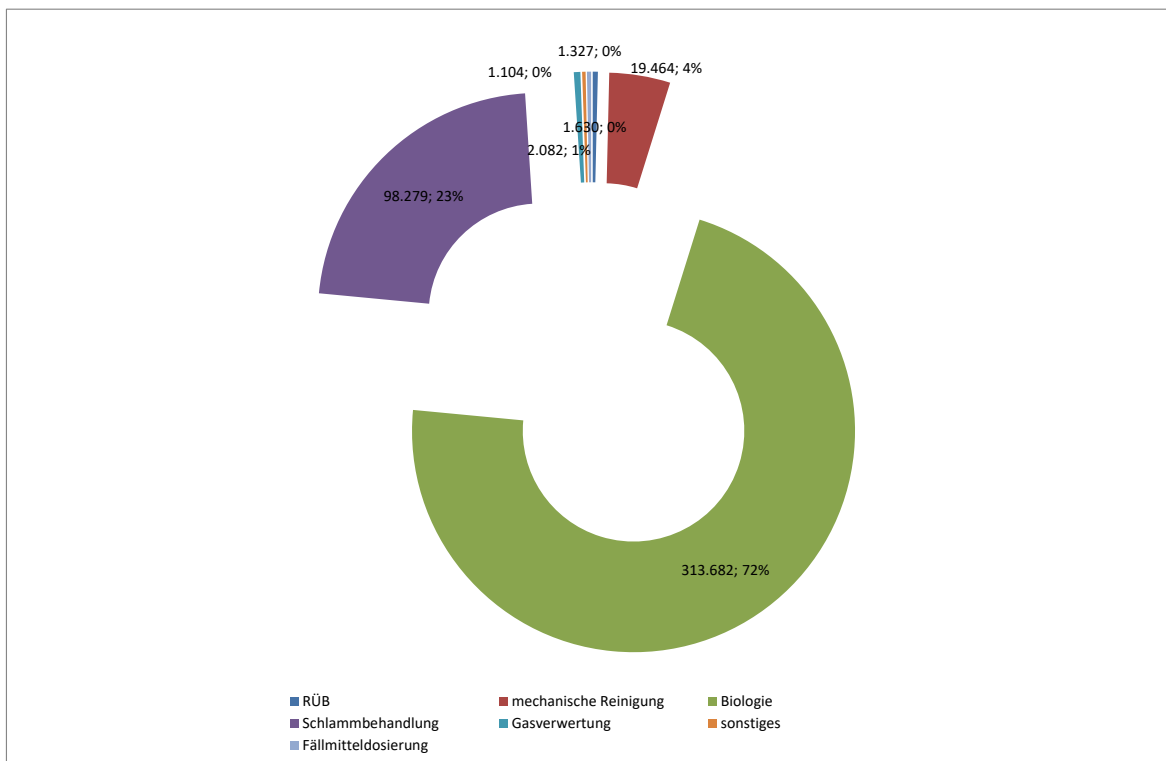


Abbildung 4-11: Verteilung der el. Energieaufnahme

## 5 Maßnahmenkatalog und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

### 5.1 Einführung

Die Durchführung einer Kostenvergleichsrechnung evaluiert die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme und lässt den wirtschaftlichen Vergleich verschiedener Maßnahmen und Maßnahmenalternativen untereinander zu. In der Praxis werden generell nur Maßnahmen realisiert, die sich wirtschaftlich darstellen lassen. Dabei werden die aufzubringenden Investitionskosten sowie die anfallenden Betriebskosten eruiert und anhand finanzmathematischer Hilfsmittel ausgewertet. Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wird mit Hilfe der Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen nach LAWA (2005) durchgeführt. Die Annahmen bezüglich Zinsen und Nutzungsdauern, die in der vorliegenden Studie für alle Berechnungen getroffen wurden, sind in Tabelle 5-1 dargestellt.

Tabelle 5-1: Verwendeter Zinssatz und Nutzungsdauer diverser Bauteile

Parameter	Einheit	Wert
Zinssatz	%	3
<u>Nutzungsdauer</u>		
Gebälse, Drehkolbengebläse	a	10
Rührwerke	a	15
Druckbelüftung	a	16
Schneckenpumpen		
MSR-Technik	a	10
PV-Anlage	a	20
Motoren	a	10
Wärmepumpen	a	12
Sonstige Pumpen	a	10
Heizung	a	8
Bauwerke	a	25

Die Investitionskosten werden in der vorliegenden Studie über den Kapitalwiedergewinnungsfaktors (auch Annuitätenfaktor) KFAKR als Jahreskapitalkosten berechnet. Formel 5-1 gibt dazu Hinweise.

$$KFAKR(i;n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Formel 5-1

mit: i = Zinssatz

$n$  = Nutzungsdauer

Neben den abzuschreibenden Investitionskosten müssen auch die Betriebskosten ermittelt werden. Diese setzen sich aus möglichen elektrischen Energiekosten, Betriebsmittelkosten oder auch Wartungskosten der Aggregate zusammen.

Die jährlich umgerechneten Investitionskosten und die anfallenden Betriebskosten werden im Anschluss mit dem monetären Nutzen ins Verhältnis gesetzt, um die Wirtschaftlichkeit übersichtlich darstellen zu können. Sofern das Kosten-Nutzen-Verhältnis einer Maßnahme kleiner als 1 ist, kann von einer wirtschaftlichen Maßnahme gesprochen werden. Bei Verhältnissen von größer als 1 wird die Maßnahme als unwirtschaftlich deklariert und ist nur bei besonderem Interesse zu realisieren.

Ferner wird in dieser Studie die folgende Deklaration der Maßnahmen und die entsprechende Farbgebung verwendet:

Verhältnis $< 0,3$	Sofortmaßnahmen (S)
Verhältnis $0,3 < x < 0,7$	Kurzfristige Maßnahmen (K)
Verhältnis $0,7 < x < 1$	Langfristige Maßnahmen (L)
Verhältnis $> 1$	Abhängige Maßnahmen (A)

## 5.2 Optimierung des Zwischenhebewerkes

Derzeit sind auf der Kläranlage Wöllstadt 4 Tauchmotorpumpen verbaut, die das Abwasser um rund 3,10 m in den Zulauf der Biologie fördern, damit dieses im Anschluss im freien Gefälle die Kläranlage durchfließen kann. Die Pumpen haben eine Förderleistung von 70 l/s und fördern somit den Trockenwetterzufluss inklusive der internen Ströme in die Kläranlage. Alle weiteren drei Pumpen sind identisch, fördern jedoch etwas weniger, sobald die anderen Pumpen mit dazu geschaltet werden.

Nach Kapitel 4.3.2 liegt im gesamten Bereich des Zwischenhebewerkes ein Einsparpotenzial von 87.600 kWh/a vor. Dies kann zunächst durch den Einsatz einer angepassten Steuerung der internen Rezirkulation und der RLS-Förderung erfolgen. Damit wäre gewährleistet, dass die Pumpen bedarfsgerecht und in Abhängigkeit vom Zulauf betrieben werden würden. Hierzu muss folgendes umgesetzt werden:

- RLS-Förderung mit nur 75 % vom Zulauf betreiben
- Interne Rezirkulation in Abhängigkeit der Nitratkonzentration in der Biologie betreiben

Allein durch diese steuerungstechnische Maßnahme sind schätzungsweise 70 % des Einsparpotenzials zu erreichen, was rund 61.320 kWh/a ergibt.

Durch den Tausch der alten Pumpen wäre das restliche Potenzial zu heben. Die vorstehend genannten Zahlen sind jedoch Schätzungen, weshalb folgendermaßen vorgegangen werden sollte:

1. Anpassung der RLS-Menge und internen Rezirkulationsmenge
2. Beobachten der Hz-Zahl der FU's
3. Auswertung der Daten nach einem Zeitraum von rund 0,5 a

Tabelle 5-2: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Optimierung der Zwischenpumpen

Position	Menge	Einheit	Spez. Kosten	Kosten
<u>Kosten der Maßnahme</u>				
Anpassung der Steuerung	1	Stück	5.000 €/Stück	5.000 €
			<b>Summe</b>	<b>5.000 €</b>
<u>Nutzen der Maßnahme</u>				
Energieeinsparung	61.320	kWh/a	0,22 €/kWh	13.490 €/a
<u>Berechnung Kosten/Nutzen</u>				
$KFAKR(i;n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{10}}{(1+0,03)^{10} - 1}$				0,11723
Jährliche Kapitalkosten (KFAKR*Gesamtkosten)				996 €/a
<b>Kosten/Nutzen</b>				<b>0,04</b>

### 5.3 Optimierung des Sandfanggebläses

Das installierte Sandfanggebläse hat eine Leistungsaufnahme von 1.413 W. Bei einem Zielwert nach DWA (2013) zwischen 8 – 12 W/m<sup>3</sup> (10 W/m<sup>3</sup> zur weiteren Berechnung) könnte insgesamt ein Sandfangvolumen von 140 m<sup>3</sup> belüftet werden. Tatsächlich hat der Sandfang ein Volumen von 39 m<sup>3</sup>. Somit wird der Sandfang aktuell um mehr als das dreifache belüftet. Bei 10 W/m<sup>3</sup> und einem Volumen von 39 m<sup>3</sup> ergibt sich eine neue Leistungsaufnahme von 390 W, was bei 8.760 h/a Laufzeit eine elektr. Energieaufnahme von etwa 3.416 kWh/a ergibt. Somit könnten bei Einbau eines neu dimensionierten Sandfanggebläses theoretisch und überschlägig etwa 8.963 kWh/a eingespart werden.

Die technische Auslegung eines neuen Sandfanggebläses wird wie folgt durchgeführt:

Volumen Sandfang: 39 m<sup>3</sup>

Spezifischer Lufteintrag (Bemessung): 0,5 – 1,3 m<sup>3</sup>Luft/(m<sup>3</sup>Beckenvolumen\*h) (Quelle: Sandfänge – Anforderungen, Systeme und Bemessung, Arbeitsbericht des DWA-Fachausschusses KA-5 Absetzverfahren, KA, 2008 (55), Nr. 5, 2008)

--> gewählt: 1 m<sup>3</sup>Luft/(m<sup>3</sup>Beckenvolumen\*h)

Luftmenge: 1 m<sup>3</sup>Luft/(m<sup>3</sup>Beckenvolumen\*h) \* 39 m<sup>3</sup> Beckenvolumen = 39 m<sup>3</sup>/h

Aktuell wird das Sandfanggebläse mit rund 100 Nm<sup>3</sup>/h im Dauerbetrieb gefahren. Somit ist eine Halbierung der Luftmenge sowie der damit verbundenen el. Energieaufnahme verbunden.



Bei Anschaffung eines neuen Gebläses, würde dieses eine tatsächliche elektr. Energieaufnahme von etwa 700 W besitzen. Somit kann von einer realistischen Energieersparnis von etwa **6.246 kWh/a** (1,413 – 0,7 kW) ausgegangen werden.

Tabelle 5-3: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Optimierung des Sandfanggebläses

Position	Menge	Einheit	Spez. Kosten	Kosten
<u>Kosten der Maßnahme</u>				
Neues Sandfanggebläse	1	Stück	5.000	5.000 €
			<b>Summe</b>	<b>5.000 €</b>
<u>Nutzen der Maßnahme</u>				
Energieeinsparung	6.246	kWh/a	0,22 €/kWh	1.374 €/a
<u>Berechnung Kosten/Nutzen</u>				
$KFAKR(i;n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{10}}{(1+0,03)^{10} - 1}$				0,11723
Jährliche Kapitalkosten (KFAKR*Gesamtkosten)				586 €/a
<b>Kosten/Nutzen</b>				<b>0,43</b>

#### 5.4 Einsatz einer bedarfsgerechten Rücklaufschlammförderung

Die Rücklaufschlammförderung kann durch den Einbau von TS-Sonden in der Rücklaufleitung so optimiert werden, dass nur gefördert wird, wenn der TS-Gehalt entsprechend hoch ist. Alternativ könnte auch die Schlammspiegelhöhe in den beiden Nachklärbecken verwendet werden, um die Rücklaufschlammförderung zu regeln. Dies führt zu einer Verringerung der Pumpdauer und somit auch zu Energieeinsparungen im Bereich des Zwischenpumpwerkes. Zudem werden die biologische Stufe und die Nachklärung hydraulisch entlastet.

Die Regelung erfolgt aktuell über ein mit Motor angetriebenes Wehr, welches je nach Durchfluss entsprechend mehr oder weniger Schlamm aus der Nachklärung in den Zulauf der Biologie durchlässt.

Die Kosten für die Installation der Regelung wird mit 15.000 € angenommen, die Energieeinsparung wird mit weiteren 10 % (nach der Optimierung des Zwischenpumpwerkes) angenommen. Für die RLS-Pumpen entfällt ein Energiebedarf von 10.200 kWh/a (637.500 m<sup>3</sup>/a, 4 m, 4 Wh/(m<sup>3</sup>xm)). Dies entspricht 1.020 kWh/a bzw. 224 €/a. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist nachfolgend dargestellt.

Position	Menge	Einheit	Spez. Kosten	Kosten
<u>Kosten der Maßnahme</u>				
Installation einer Regelung mittels TS-Sonde oder Schlammspiegelmessung in den Nachklärbecken	1	€	pschl.	20.000 €
<u>Nutzen der Maßnahme</u>				
Energieeinsparung durch geringere RLS-Förderung		1.020 kWh/a	0,22 €/kWh	224 €/a
<u>Berechnung Kosten/ Nutzen</u>				
$KFAKR(i;n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{10}}{(1+0,03)^{10} - 1}$				0,1172
Jährliche Kapitalkosten (KFAKR*Gesamtkosten)				2.345 €/a
Kosten/Nutzen				7,85

## 5.5 Einsatz eines Sandwäschers zur Reduktion der Verwertungskosten

Durch den Einsatz eines Sandwäschers werden organische Bestandteile ausgewaschen und dem Klärprozess wieder zugefügt. Hierdurch wird insgesamt die zu verwertende Menge reduziert, was in einer Reduktion der Verwertungskosten resultiert. Weiterhin wird der organische Anteil des Sandes auf unter 3 % gesenkt, sodass dieser Sand wieder verwertet werden darf, z.B. im Wegebau. Es sinken dadurch ebenfalls die Entsorgungskosten. Derzeit ist nur ein Sandklassierer eingebaut. Der organische Anteil liegt über 3 %. Der Einsatz eines Sandwäschers kann die zu verwertende Menge um rund 25 % reduzieren. In 2020 wurden 12,7 t zu einem Preis von rund 165 €/t netto verwertet. Eine Wirtschaftlichkeitsanalyse ist nachfolgend aufgestellt.

Position	Menge	Einheit	Spez. Kosten	Kosten
<u>Kosten der Maßnahme</u>				
Sandwäscher	1	Stk.	30.000 €	30.000 €
Betriebskosten	1	psch.	1.000 €/a	1.000 €/a
<u>Nutzen der Maßnahme</u>				
Verringerung der Sandentsorgungskosten	3,175	t/a	165 €/t	524 €/a
<u>Berechnung Kosten/ Nutzen</u>				
$KFAKR(i;n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{10}}{(1+0,03)^{10} - 1}$				0,1172
Jährliche Kapitalkosten (KFAKR*Gesamtkosten)			3.517 € + 1.000 €/a	4.517 €/a
Kosten/Nutzen				8,62

**Fazit: Wirtschaftlich ist der Tausch des Sandklassierers nicht. Sollte der alte Klassierer jedoch ersetzt werden müssen, sollte ein Sandwäscher zum Einsatz kommen.**

## 5.6 Verringerung des Schlammalters

Der TS-Gehalt in der biologischen Reinigung ist vergleichsweise hoch. Ein höherer TS-Gehalt erfordert einen höheren Lufteinsatz zum Betrieb der Abwasserreinigung. Durch ein geringeres Schlammalter sinkt der Sauerstoffbedarf in der Belebung. Dadurch kann Belüftungsenergie eingespart werden.

Weiterhin kann die Klärgasmenge erhöht werden, da der Belebtschlamm weniger aerob stabilisiert wird und der Glühverlust im Eingang der Faulungsanlage steigt. Untersuchungen auf der Kläranlage Freigericht haben gezeigt, dass die Klärgasproduktion gesteigert werden kann. Eine detaillierte Berechnung des gesteigerten Klärgasanfalls liegt nicht vor. Nach Angaben des Betriebsleiters konnten 12 % mehr Gas produziert werden. Dies erscheint recht hoch, weshalb auf das Klärwerk Wöllstadt bezogen nur 7 % angesetzt werden soll. Somit können zusätzlich rund 31.500 kWh Gasenergie produziert werden (bei 450.000 kWh aktueller Gasproduktion im Rohbiogas), woraus bei einem Einsatz eines BHKW's potenziell 9.450 kWh Strom erzeugt werden können. Da das BHKW aktuell noch nicht installiert ist, kann zunächst nur die Vermeidung des Ölbezuges angesetzt werden. 31.500 kWh ergeben rund 3.000 l Öl zu Einsparung.

Grundlegend zeigt nachfolgende Abbildung, dass Kläranlagen mit Faulungsanlagen überwiegend den Wärmebedarf selbst produzieren können und nicht mit externen Energieträgern zufeuern müssen.

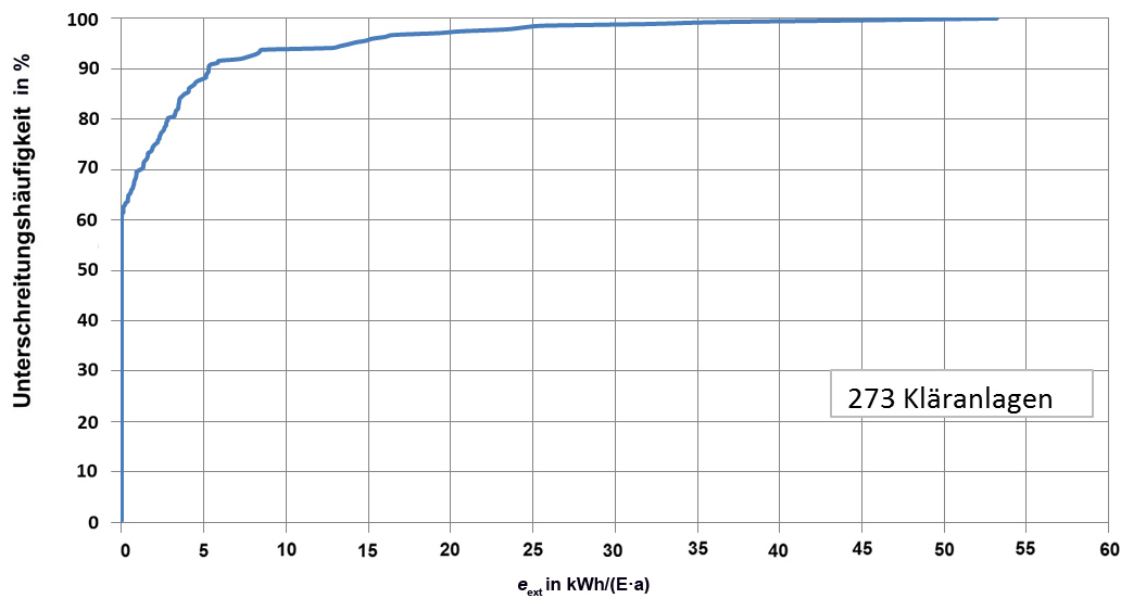


Abbildung 5-1: Spez. externer Wärmebezug (entnommen aus DWA-A 216)

Die Absenkung des Schlammalters erfolgt über einen höheren Überschussschlammabzug.

Tabelle 5-4: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Erhöhung der Klärgasmenge durch die Verringerung des Schlammalters

Position	Menge	Einheit	Spez. Kosten (netto)	Kosten
<u>Kosten der Maßnahme</u>				
Verringerung des Schlammalters			0 €	0 €
			<b>Summe</b>	<b>0 €</b>
<u>Nutzen der Maßnahme</u>				
Kosteneinsparung durch Öleinsparung	3.000	L	0,8 €/l	2.400 €/a
Umstellung von Aluminium- auf Eisensalze	40	t	20 €/t	8.000 €/a
			<b>Summe</b>	<b>8.000 €/a</b>
<u>Berechnung Kosten/Nutzen</u>				
$KFAKR(i; n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{10}}{(1+0,03)^{10} - 1}$				0
Jährliche Kapitalkosten (KFAKR*Gesamtkosten)				0 €/a
<b>Kosten/Nutzen</b>				<b>0</b>

Neben den monetären Einsparungen ist ebenfalls von einer verbesserten Schlammflockenstruktur bei Einsatz eines geringeren Schlammalters auszugehen, so dass die Dosierung von rund 40 t Aluminiumsalzen, zumindest reduziert, werden kann oder auf ein kostengünstigeres Eisenprodukt umgestellt werden kann.

Bei einer Einsparung von rund 20 €/t bei einer Umstellung auf ein Eisenprodukt, könnten somit rund 8.000 €/a eingespart werden. Die Umstellung auf ein Eisenprodukt muss jedoch langsam und über einen längeren Zeitraum erfolgen. Weiterhin ist die Säurekapazität zu überprüfen.

## 5.7 Nutzung der RO-Disk als Nachfällung

Aktuell findet eine Simultanfällung zur P-Elimination statt. Insgesamt werden jährlich rund 40 t Aluminiumsalze und rund 40 t Eisensalze eingesetzt. Wäre es möglich eine Simultan- und Nachfällung zu realisieren, könnte der Fällmittelbedarf reduziert werden.

	Vorfällung	Simultanfällung	Nachfällung	Flockungsfiltration
einhaltbarer Überwachungswert <sup>1)</sup> (mg/l P)	2	1	1	0,5
Anhaltswerte zu $\beta_{\text{Fall}}$	1,2	1,2	1,2/2,5 <sup>2)</sup>	2,5 <sup>2)</sup>
Dosierstelle(n)	vor Vorklärbecken (z. B. Venturi, belüfteter Sandfang)	vor/in/nach Belebungsbecken, nach Tropf- oder Tauchkörper	nach Nachklärbecken	vor Filter oder zweistufig: vor Filter und wie bei Simultan- oder Vorfällung
Einmischung	Stellen hoher Turbulenz	Stellen hoher Turbulenz	Mischer	vor/nach Pumpe bzw. im Mischreaktor
Ort der Flockenabtrennung	Vorklärbecken	Nachklärbecken	zusätzliches Sedimentations- oder Flotationsbecken	im Filterbett
ANMERKUNGEN				
1) Unter günstigen Umständen und optimalen Betriebsbedingungen können auch niedrigere Werte eingehalten werden.				
2) Bei Nachfällung als zweite Stufe.				

Abbildung 5-2: Charakterisierung der Verfahren zur Fällung (aus DWA-A 202)

Bei einer Nachfällung ist der Bedarf zur Elimination des Phosphates gemäß Abbildung 5-2 nur halb so groß, da das eingesetzte Fällmittel deutlich effizienter genutzt wird. Es soll hier nur eine Abschätzung zur Einsparung bei der Umsetzung der Maßnahme erfolgen. Nach einer betrieblichen Einschätzung können rund 20 t Eisensalz eingespart werden. Bei einem marktüblichen Preis von rund 200 €/t können somit jährlich rund 4.000 € eingespart werden.

Position	Menge	Einheit	Spez. Kosten (netto)	Kosten
<u>Kosten der Maßnahme</u>				
Einsatz einer Nachfällung (Umrüstung Fallmitteldosierung)	1	psch	25.000 €	25.000 €
			<b>Summe</b>	<b>25.000 €</b>
<u>Nutzen der Maßnahme</u>				
Einsparung Fällmittel	20	t	200 €/t	4.000 €/a
			<b>Summe</b>	<b>4.000 €/a</b>
<u>Berechnung Kosten/Nutzen</u>				
$KFAKR(i; n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{10}}{(1+0,03)^{10} - 1}$				0,1172
Jährliche Kapitalkosten (KFAKR*Gesamtkosten)				2.931 €/a
<b>Kosten/Nutzen</b>				<b>0,73</b>

**Vor Umstellung auf eine Nachfällung sollten Versuche an der Anlage gefahren werden.**

### 5.8 Schieber zur Umfahrung der Vorklärung automatisieren

Die Vorklärung wird aktuell über einen Handschieber umfahren, um Kohlenstoff in die vorgeschaltete Denitrifikation weiter zu führen. Der Schieber ist auf ein festes Verhältnis eingestellt und wird nur sporadisch angepasst. Bei einer zu hohen Durchsatzmenge wird zu viel Kohlenstoff in die Biologie weiter geführt, was zu erhöhten Lufteinträgen aufgrund der erforderlichen Oxidation führt. Bei zu geringen Mengen würde der Kohlenstoff in der Biologie fehlen und die Denitrifikationsleistung gestört werden.

Die Einsparungen belaufen sich aktuell auf die Einsparungen im Bereich der Belüftungsenergie und sind nur schwer zu fassen, da aktuell keine Bilanzen erstellt werden können. Somit wird die Einsparung auf pauschal 5 % der Gebläseleistung abgeschätzt.

Bei dem Einsatz eines BHKW's (vgl. Kapitel 5.9) könnte ebenso im Rahmen der anaeroben Schlammstabilisierung eine erhöhte Gasproduktion erzielt werden. Dies ist jedoch aktuell noch nicht greifbar und aus zuvor genannten Gründen auch noch nicht errechenbar.

Aktuell wird der Nitratwert in der Biologie kontinuierlich gemessen. Somit könnte bei einer Automatisierung der Umfahrung immer bedarfsgerecht der Kohlenstoff dosiert werden.

Position	Menge	Einheit	Spez. Kosten (netto)	Kosten
<u>Kosten der Maßnahme</u>				
Einsatz eines Automatikschieber	1	pschl.		7.000 €
Anpassung der Steuerung	1	pschl.		3.000 €
<u>Nutzen der Maßnahme</u>				
Einsparung an el. Energie (5 % der Gebläseleistung)	6.000	kWh/a	0,22 €/kWh	1.320 €/a
<u>Berechnung Kosten/Nutzen</u>				
$KFAKR(i;n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{10}}{(1+0,03)^{10} - 1}$				0,1172
Jährliche Kapitalkosten (KFAKR*Gesamtkosten)				1.172 €
<b>Kosten/Nutzen</b>				<b>0,89</b>

## 5.9 Installation eines Blockheizkraftwerkes zur Nutzung des anfallenden Klärgases

### Einführung

Die Kläranlage hatte in den letzten Jahren einen tendenziell erhöhten Fremdstrombedarf. Ebenfalls mussten jährlich rund 9.000 l Öl zur Wärmeversorgung der Kläranlage zugekauft werden. Gemäß Kapitel 3.7 steht der Kläranlage aufgrund der Faulungsanlage eine Energiemenge in Höhe von rund 450.000 kWh/a zur Verfügung. Diese Energie wird aktuell nur zur Beheizung der Prozesse verwendet.

Das Potenzial von rund 1.233 kWh/d im Rohbiogas wird zunächst als grundsätzlich zur Verfügung stehende Energiemenge als Dimensionierungsgröße des BHKW's herangezogen. Bei einem angenommenen el. Wirkungsgrad des BHKW's von 30 % könnten somit jährlich etwa 135.000 kWh/a el. Energie produziert werden. Wird nun die potenzielle elektrische Energiemenge in Höhe von 370 kWh/d auf einen Leistungswert je Stunde gerechnet, ergibt sich eine **elektrische Leistung von rund 15 kW<sub>el</sub>**, unter den zuvor genannten Annahmen und bei einem 24-Stunden-Betrieb des BHKW's. Wird nun davon ausgegangen, dass eine 24-Stunden-Betriebszeit technisch gesehen aufgrund von Ausfällen und Wartungen nicht möglich ist, muss eine weiterführende Rechnung in Abhängigkeit der möglichen Betriebszeit dargestellt werden, die von einer Laufzeit von 8.000 h/a ausgeht. Somit werden bei einer mittleren Leistung von 17 kW<sub>el</sub> (Summe aus vorstehenden Leistungszahlen) bei einer Laufzeit von 8.000 h/a jährlich rund 135.000 kWh<sub>el</sub>/a erzeugt.



Allerdings gilt es hierbei die gesetzlichen Randbedingungen zu beachten. Für Bestands-BHKW's, die nach dem 31.12.2017 gebaut wurden, müssen in der Leistungsklasse bis 1 MW 40 % der EEG-Umlage an den Stromnetzbetreiber entrichten. Diese gesetzlichen Bestimmungen müssen im Bereich der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung untersucht werden. Allerdings gilt es hierbei zu beachten, dass sich die gesetzlichen Randbedingungen zum EEG kurzfristig ändern werden und somit hier nicht einbezogen wird.

### Alternative Berechnung zur Herleitung der BHKW-Größe

Die nachfolgende Betrachtung stützt die Berechnung der Wirtschaftlichkeit auf der CSB-Bilanz. Der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) dient als Maß für die im Abwasser enthaltenen oxidierbaren Stoffe. Aufgrund der enthaltenen energiereichen Kohlenstoffverbindungen weisen Primär- und Überschussschlamm, welche bei der Abwasserreinigung anfallen können (Vorklärbecken vorausgesetzt), ein enormes Energiepotential auf. Aus diesem Grund können sie zur Deckung der auf einer Kläranlage anfallenden Energie genutzt werden und somit zu einer Eigenstromversorgung während des Betriebs einer Kläranlage beitragen. Durch die Aufstellung einer CSB-Bilanz kann die potentiell nutzbare Energie des Primär- und Überschussschlamm geschätzt werden. Die für die Energiegewinnung zur Verfügung stehende CSB-Fracht ergibt sich aus der Differenz der CSB-Fracht im Zulauf und im Ablauf. Der Abbaugrad der Schlämme wird pauschal mit 50 % angenommen. Der CH<sub>4</sub>-Ertrag aus 1 kg CSB wird mit 320 l kalkuliert und der Energiegehalt von 1 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> mit 10 kWh berechnet. Die Verstromung des CH<sub>4</sub>-Gases wird unter Annahme eines elektrischen Wirkungsgrads von 30 % ermittelt. (HARTWIG & ROSENWINKEL, 2011).

### Energiepotenzial der Kläranlage

Eine Möglichkeit zur Bilanzierung kann durch die einwohnerspezifischen Energiemengen erfolgen. Nach Hartwig und Rosenwinkel (2011) besitzt der Primär- und Überschussschlamm eine spezifische Energie von 47 und 38 kWh/(EW\*a). Während des Faulprozesses werden von den insgesamt 85 kWh/(EW\*a) etwa 50 % der Energie verfügbar gemacht, so dass etwa 42,5 kWh/(EW\*a) nutzbar sind. Bei einem el. Wirkungsgrad von 30 % können somit etwa 15,3 kWh/(EW\*a) elektrisch verfügbar gemacht werden. Der angenommene thermische Wirkungsgrad von etwa 50 % erzeugt eine daraus resultierende spezifische Wärmemenge von etwa 21,25 kWh/(EW\*a). Somit kann eine el. Energie von etwa 140.250 kWh/a und eine thermische Energiemenge von 233.750 kWh/a erzeugt werden.

Tabelle 5-5: Energieerzeugung durch Klärgasverstromung

	Fracht	Energie PS	Energie ÜS	Energie vor Faulturm	Energie nach Faulturm	th. Energie (50 % Wirkungsgrad)	el. Energie (36 % Wirkungsgrad)
	EW	47 kWh/(EW*a)	38 kWh/(EW*a)	85 kWh/(EW*a)	42,5 kWh/(EW*a)	21,25 kWh/(EW*a)	12,75 kWh/(EW*a)
Anlage	-						
	11.000	517.000	418.000	935.000	467.500	233.750	140.250
Summe							140.250

### Investitionskosten

Die Kosten eines neuen BHKW's liegen bei rund 200.000 € brutto (vgl. Tabelle 5-6).

Tabelle 5-6: Geschätzte Investitionskosten des BHKW's inklusive Zusatzaggregate

<b>Investitionskosten</b>	<b>Kosten</b>
<b>Blockheizkraftwerk</b>	
Grundmodul mit	75.000 €
4 Takt-Gasmotor	
Generator	
Gemischbildung	
integrierte Wärmeauskopplung	
Abgassystem	
Belüftung	
Betriebsstoffe	
Elektronik und Software	
Heizkreispumpe	2.500 €
Abgaswärmetauscher	5.000 €
Oxy-Katalysator	2.000 €
Schmierölnachfüllautomatik	730 €
Schallkapsel	5.000 €
Elektroschaltschrank	4.500 €
Anschluss Mittelspannung	1.500 €
Gemischkühler	2.000 €
Raumlüftung Schallkapsel	2.800 €
Erstbefüllung Motor	1.100 €
Abgasschalldämpfer	2.500 €
Gasschnellschlussklappe	1.450 €
Gaszähler	2.100 €
Profibus und Anpassung des Leitsystems	8.000 €
Fernauslesung	1.500 €
Schnittstellenklärung	3.000 €
Installation	10.000 €
Inbetriebnahme BHKW	2.900 €
Schmierölvolumenerweiterung inklusive 2x1000 l Tanks	4.500 €
Zwischensumme (netto)	138.080 €
Ingenieur- und Planungshonorar (22 %)	30.378 €
Gesamtkosten Projekt (netto)	168.458 €
Umsatzsteuer (19%)	32.007 €
<b>Gesamtkosten Projekt (brutto)</b>	<b>200.465 €</b>

Der Investitionskostenanteil beläuft sich somit auf 200.000 €.

## Betriebskosten

Zur Berechnung der anfallenden jährlichen Betriebskosten werden die folgenden Punkte untersucht:

*Personalkosten:* Der zusätzliche Arbeitszeitbedarf für das BHKW ist von eher untergeordneter Bedeutung, da von einem Vollwartungsvertrag ausgegangen wird.

*Wartung und Instandhaltung:* Zur Berechnung der Wartungs- und Instandhaltungskosten wurde ein Pauschalansatz von 2,5 cent/kWh unterstellt. Bei einer Produktion von 135.000 kWh/a ergibt dies einen Ansatz von 3.375 €/a.

**Die laufenden und somit erhöhten Betriebskosten betragen somit 3.375 €/a.**

Tabelle 5-7: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Vorklärung mit einer anaeroben Schlammstabilisierung

Position	Menge	Einheit	Spez. Kosten (netto)	Kosten
<u>Kosten der Maßnahme</u>				
Investitionskosten	1	pschl.		200.000 €
Jährliche Betriebskosten	1	pschl.		3.375 €/a
<u>Nutzen der Maßnahme</u>				
Einsparung an el. Energie	135.000	kWh/a	0,22 €/kWh	29.700 €/a
Betriebskosteneinsparungen Öl	1	pschl.		5.000 €/a
<u>Berechnung Kosten/Nutzen</u>				
$KFAKR(i;n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{10}}{(1+0,03)^{10} - 1}$				0,1172
Jährliche Kapitalkosten (KFAKR*Gesamtkosten)				23.446 €
<b>Kosten/Nutzen</b>				<b>0,77</b>

## 5.10 Optimierung der Rührwerke in den Belebungsbecken

Die drei Rührwerke in den Belebungsbecken haben einen elektr. Gesamtenergiebedarf von 34.455 kWh/a. Dabei verbraucht das Rührwerk im vorgeschalteten Denitrifikationsbecken 1 insgesamt rund 10.832 sowie die Rührwerke im Nitrifikationsbecken zusammen rund 23.624 kWh/a. Ein Vergleich mit den Zielwerten der spezifischen Leistung ist in der nachfolgenden Tabelle 5-8 dargestellt.

Tabelle 5-8: Einsparungspotenzial der Rührwerke durch Leistungsoptimierung

Aggregat	Leistungs- aufnahme [W]	Becken- volumen [m <sup>3</sup> ]	Spez. Leistung [W/m <sup>3</sup> ]	Zielwert spez. Leistung [W/m <sup>3</sup> ]	Ein- sparung [%]	Ein- sparung [kWh/a]
Rührwerk Deni 1	1.237	470	2,63	2,5 – 2 (2,25)	15	<b>1.565</b>
Rührwerk 1 Deni 2	1.669	630	4,8	2,5 – 2 (2,25)	55	<b>14.072</b>
Rührwerk 2 Deni 2	1.354					

Durch den Einsatz neuer, effizienter Rührwerke im Denibecken 2 kann eine Einsparung von 14.072 kWh/a erzielt werden. Rührwerk 1 im Denibecken 1 soll nicht weiter betrachtet werden, da die Einsparung zu gering ist.

Tabelle 5-9: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer Optimierung der Rührwerke im Belebungsbecken

Position	Menge	Einheit	Spez. Kosten	Kosten
<u>Kosten der Maßnahme</u>				
neue Rührwerke für Denibecken 2	2	Stück	12.500 €/Stück	25.000 €
			<b>Summe</b>	<b>25.000 €</b>
<u>Nutzen der Maßnahme</u>				
Energieeinsparung	14.072	kWh/a	0,22 €/kWh	3.096 €/a
<u>Berechnung Kosten/Nutzen</u>				
				0,0838
$KFAKR(i;n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{15}}{(1+0,03)^{15} - 1}$				
Jährliche Kapitalkosten (KFAKR*Gesamtkosten)				2.094 €/a
<b>Kosten/Nutzen</b>				<b>0,68</b>

Alternativ kann aufgrund der hohen Kosten und der Neuanschaffungen der Rührwerke in den Denitrifikationsbecken auch über den Einsatz von Frequenzumrichtern nachgedacht werden. Die Kosten für einen Frequenzumrichter können mit rund 2.500 € veranschlagt werden. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung zur Maßnahme ist in Tabelle 5-10 dargestellt.

Tabelle 5-10: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Optimierung der Rührwerke im Belebungsbecken durch den Einsatz von Frequenzumrichtern

Position	Menge	Einheit	Spez. Kosten	Kosten
<u>Kosten der Maßnahme</u>				
Einbau von Frequenzumrichter	2	Stück	2.500 €/Stück	5.000 €
			<b>Summe</b>	<b>5.000 €</b>
<u>Nutzen der Maßnahme</u>				
Energieeinsparung	14.072	kWh/a	0,22 €/kWh	3.096 €/a
<u>Berechnung Kosten/Nutzen</u>				
$KFAKR(i; n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{10}}{(1+0,03)^{10} - 1}$				0,1172
Jährliche Kapitalkosten (KFAKR*Gesamtkosten)				586 €/a
<b>Kosten/Nutzen</b>				<b>0,19</b>

### 5.11 Optimierung der Sauerstoffversorgung in den Belebungsbecken

Die Kläranlage Wöllstadt ist mit einer stofflichen Belastung von rund 11.000 EW belastet. Für die Sauerstoffversorgung der Belebungsbecken durch den Betrieb der Gebläse 1 – 4 werden jährlich etwa 120.000 kWh benötigt. Bei einer stofflichen Belastung von 11.000 EW ergibt dies einen spezifischen el. Energiebedarf für das Belebungsbecken von 10,9 kWh/(EW\*a).

Im Zuge einer möglichen Optimierung der Sauerstoffversorgung in der Belebungsstufe wird der großflächige Einsatz von Plattenbelüftern empfohlen. Neben den Plattenbelüftern selbst sind keine großen Umbaumaßnahmen notwendig, da bereits eine Druckbelüftung installiert ist. Ggf. ist der Austausch der Gebläse im Anschluss ebenfalls sinnvoll, nachdem ausreichende Betriebserfahrungen mit den neuen Belüfterplatten gesammelt wurden. Unabhängig davon könnte die Anlage ggf. auf eine Impulsbelüftung umgestellt werden, so dass die Rührwerke in der biologischen Stufe entfallen können.

Überschlägig wird die vollständige Erneuerung der Sauerstoffversorgung der Kläranlage Wöllstadt zu 150.000 € abgeschätzt.

Tabelle 5-11: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Optimierung der Sauerstoffversorgung in den Belebungsbecken

Position	Menge	Einheit	Spez. Kosten	Kosten
<u>Kosten der Maßnahme</u>				
Druckbelüftung mit Plattenbelüftern	Pschl.	€	150.000 €	150.000 €
			<b>Summe</b>	<b>150.000 €</b>
<u>Nutzen der Maßnahme</u>				
Energieeinsparung durch optimale Belüftung	9.380	kWh/a	0,22 €/kWh	2.064 €/a
Entfall der Rührwerke	23.624	kWh/a	0,22 €/kWh	5.197 €/a
<u>Berechnung Kosten/Nutzen</u>				
$KFAKR(i; n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{10}}{(1+0,03)^{10} - 1}$				0,1172
Jährliche Kapitalkosten (KFAKR*Gesamtkosten)				17.585 €/a
<b>Kosten/Nutzen</b>				<b>2,42</b>

## 5.12 Isolation der Gebläsedruckrohrleitungen

Die Luft hat nach der Kompression durch das Gebläse eine höhere Temperatur im Druckrohr als in der Umgebung. Je höher die Temperatur der angesaugten Luft ist, umso mehr Leistung müssen die Gebläse erbringen, um die Sauerstoffzufuhr in der Belebung konstant zu halten, da wärmere Luft ausgedehnt ist und spezifisch weniger Sauerstoff enthält. Daher sollten die Druckrohre im Bereich des Gebläseraumes isoliert werden, um den Wärmeaustausch zwischen Druckrohr und Umgebungsluft zu verringern/minimieren. Durch die Isolierung wird von einer Einsparung der Gebläseleistung von 2 % ausgegangen, was einer jährlichen Arbeit von **2.400 kWh/a** entspricht. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Maßnahme ist in Tabelle 5-12 dargestellt.

Tabelle 5-12: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Isolation der Druckleitung der Gebläse

Position	Menge	Einheit	Spez. Kosten	Kosten
<u>Kosten der Maßnahme</u>				
Kosten für das Isoliermaterial	1	pschl.	4.000 €	4.000 €
			<b>Summe</b>	<b>4.000 €</b>
<u>Nutzen der Maßnahme</u>				
Energieeinsparung etwa 2 % der Gebläseleistung	2.400	kWh/a	0,22 €/kWh	528 €/a
<u>Berechnung Kosten/Nutzen</u>				
				0,838
$KFAKR(i;n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{15}}{(1+0,03)^{15} - 1}$				
Jährliche Kapitalkosten (KFAKR*Gesamtkosten)				335 €/a
<b>Kosten/Nutzen</b>				<b>0,63</b>

### 5.13 Annahme von energiereichem Substrat

Eine Annahme von energiereichem Co-Substrat zur Steigerung der Energieausbeute in der Faulung ist nicht möglich, da keine Annahmemöglichkeit besteht.

### 5.14 Umwälzung Faulbehälter

Die Umwälzung des Faulbehälters erfolgt durch zwei Umwälzpumpen und ein Rührwerk. Alle drei Aggregate erfordern einen el. Energiebedarf von 54.954 kWh/a. Bei einem Volumen von 700 m<sup>3</sup> entspricht dies einer spez. Energieaufnahme von 9 W/m<sup>3</sup>.

Für Faultürme mit außenliegenden Pumpen wird ein Wert zwischen 2-5 W/m<sup>3</sup> angesetzt (vgl. Abbildung 5-3). Ein Einsparpotenzial ist gegeben und spiegelt die vorstehend genannten Daten wieder. Beide Umwälzpumpen zusammen haben eine Leistung von rund 4,18 kW. Es wäre eine Einsparung von rund 1,2 kW bzw. 10.512 kWh/a möglich.

### Durchmischungssysteme für Faulbehälter

**Durchmischungs- Systeme:**

- a = Schraubenschaufler
- b = außenliegende Pumpen
- c = Gaseinpressung über Düsen
- d = Gaseinpressung über flexible Einhängelangen

**Anschlußleistung:** a ~ 4 - 6 W/Kubikmeter Reaktor  
 b ~ 2 - 5 W/Kubikmeter Reaktor  
 c/d ~ 8 - 10 W/Kubikmeter Reaktor

Das Durchmischungssystem ist von der Faulbehälterform abhängig

Bilder: ATV Handbuch Klärschlamm, bearbeitet durch BUW - Weiterbildendes Studium 3-68

**iswa** Schlammbehandlung in Kläranlagen  
Ziele der Klärschlammbehandlung

Abbildung 5-3: Spezifische Anschlussleistungen von Durchmischungssystemen von Faultürmen [Quelle: Vorlesungsunterlagen Schlammbehandlung, Universität Stuttgart]

Das verbaute Rührwerk hat eine Leistungsaufnahme von 2,3 kW als Dauerläufer. Bei einer möglichen Anschlussleistung von 5 W/m<sup>3</sup> ergibt dies eine erforderliche Leistung von 3,5 kW. Somit ist in diesem Bereich keine Einsparung möglich.

Position	Menge	Einheit	Spez. Kosten	Kosten
<u>Kosten der Maßnahme</u>				
Neue Umwälzpumpe	2	pschl.	8.000 €	16.000 €
			<b>Summe</b>	<b>16.000 €</b>
<u>Nutzen der Maßnahme</u>				
Energieeinsparung durch geringere Pumpleistung	10.512	kWh/a	0,22 €/kWh	2.313 €/a
<u>Berechnung Kosten/Nutzen</u>				
$KFAKR(i;n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{15}}{(1+0,03)^{15} - 1}$				0,838
Jährliche Kapitalkosten (KFAKR*Gesamtkosten)				1.340 €/a
<b>Kosten/Nutzen</b>				<b>0,58</b>



## 5.15 Einsatz weiterer PV-Module für den Eigenbedarf

Photovoltaikanlagen wandeln Sonnenlicht in elektrische Energie um, mit einem derzeitigen Wirkungsgrad von ca. 17 %. Nachfolgend soll der Einsatz einer PV-Anlage bei vollständiger Eigennutzung geprüft werden. Die Kosten für die PV-Komponenten wurden in den letzten Jahren günstiger und halten sich aktuell auf einem konstanten Niveau weshalb diese Maßnahme immer geprüft werden sollte. Nach Abbildung 4-1 hat die Kläranlage einen dauerhaften Leistungsbezug aus dem Netz von rund 40 kW (10 %-Perzentilwert).

Auf den Dächern der Lagerhalle sind bereits PV-Module installiert. Eine Möglichkeit weiterer Flächen besteht darin, die Dachflächen des Betriebsgebäudes mit rund 60 m<sup>2</sup> (3 m x 20 m) und die Freifläche nördlich des Gasspeichers mit rund 900 m<sup>2</sup> (30 m x 30 m) mit Modulen zu belegen. Durch den spezifischen Flächenbedarf von rund 7 m<sup>2</sup>/kW<sub>p</sub> für Dachflächen und rund 10 m<sup>2</sup>/kW<sub>p</sub> für Freiflächen könnte bei den angegebenen Flächen eine Leistung von maximal 99 kW<sub>p</sub> abgedeckt werden. Insgesamt können jährlich damit rund **101.000 kWh/a** produziert werden. Hiervon können 93,6 % % direkt selbst verbraucht werden.

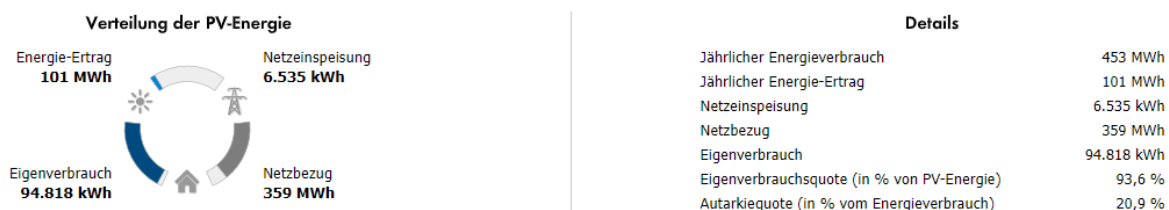


Abbildung 5-4: Ergebnis bei Einsatz von PV-Modulen

Bei einem Energiepreis von 0,22 €/kWh (abzgl. der zu zahlenden EEG-Umlage von 40 % von rund 6,88 cent/kWh = 2,752 cent/kWh) belaufen sich die eingesparten Energiekosten bei Selbstnutzung auf 19,25 cent/kWh. Sofern überschüssige Energie ins Netz eingespeist wird, werden durch den Netzbetreiber Vergütungen in Höhe von 7,54 cent/kWh gezahlt. Somit werden **jährlich rund 18.252 €** an Stromkosten vermieden und eine Einspeisevergütung von 493 € erhalten.

Der jährlichen Einsparung stehen die einmaligen Investitionskosten gegenüber. Die spezifischen Kosten der PV-Anlage liegen bei brutto 1.300 €/kW<sub>p</sub>. Die gesamten Investitionskosten für die PV-Anlage belaufen sich somit auf 128.700 €. Insgesamt stehen somit den jährlichen Einsparungen von **18.745 €/a** einer Investitionssumme von 128.700 € gegenüber.

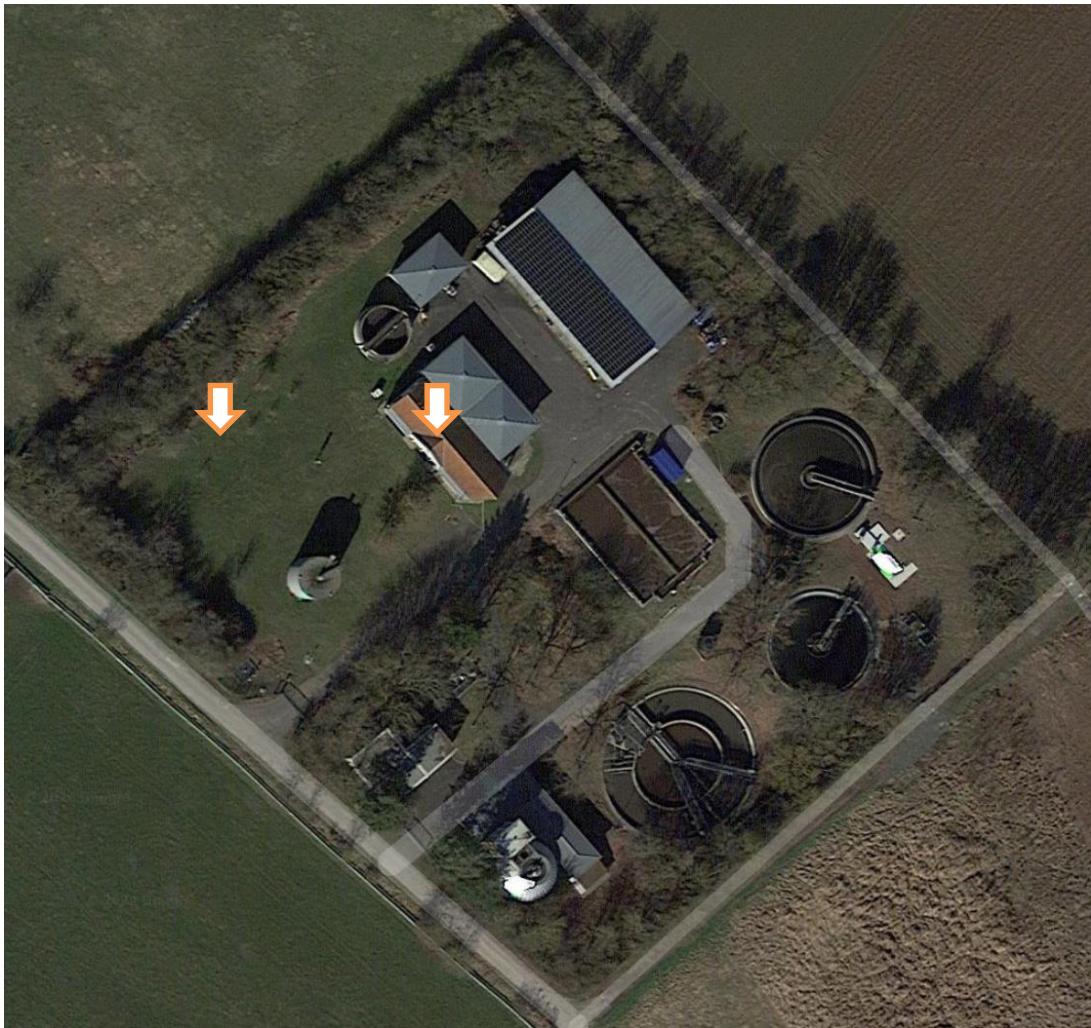


Abbildung 5-5 Standortmöglichkeiten für Photovoltaikanlagen

Tabelle 5-13: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung beim Einsatz einer PV-Anlage auf verfügbaren Freiflächen und Aufständungen in Nordrichtung

Position	Menge	Einheit	Spez. Kosten (brutto)	Kosten
<u>Kosten der Maßnahme</u>				
Installation PV-Anlage	99	kW <sub>p</sub>	1.300 €	128.700 €
			<b>Summe</b>	<b>128.700 €</b>
<u>Nutzen der Maßnahme</u>				
Energieeinsparung	101.000	kWh/a		18.745 €/a
			<b>Summe</b>	<b>18.745 €/a</b>
<u>Berechnung Kosten/Nutzen</u>				
$KFAKR(i;n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{20}}{(1+0,03)^{20} - 1}$				0.0672
Jährliche Kapitalkosten (KFAKR*Gesamtkosten)				8.651 €
<b>Kosten/Nutzen</b>				<b>0,46</b>

### 5.16 Nachklärbeckenräumer 1

Der Nachklärbeckenräumer 1 hat gemäß vorliegender Strommessung eine Leistungsaufnahme von 1,178 kW und liegt damit rund doppelt so hoch, wie der Räumer des Nachklärbeckens 2. Üblicherweise liegt ein Nachklärbeckenräumer bei einer Leistungsaufnahme von rund 400 W. Das Einsparpotenzial liegt somit bei rund 700 W für den Nachklärbeckenräumer 1.

Für den hohen el. Energiebedarf ist die Rinnenreinigung ursächlich, die manuell betrieben wird. Durch eine Reduzierung der Laufzeit, kann Energie eingespart werden.

Position	Menge	Einheit	Spez. Kosten	Kosten
<u>Kosten der Maßnahme</u>				
Reduzierung der Laufzeit	Pschl.	€	0 €	0 €
			<b>Summe</b>	<b>0 €</b>
<u>Nutzen der Maßnahme</u>				
Energieeinsparung	6.132	kWh/a	0,22 €/kWh	1.349 €/a
<u>Berechnung Kosten/Nutzen</u>				
$KFAKR(i; n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{10}}{(1+0,03)^{10} - 1}$				0,1172
Jährliche Kapitalkosten (KFAKR*Gesamtkosten)				0 €/a
<b>Kosten/Nutzen</b>				<b>0</b>

### 5.17 Bedarfsgerechter Betrieb der Schwimmschlammpumpe

Die Schwimmschlammpumpe erfordert jährlich rund 7.000 kWh für den Betrieb. Dies erscheint vergleichsweise viel, da ein bedarfsgerechter Betrieb zielführend und überwiegend in den Übergangszeiten erforderlich ist. Weiterhin ist der Auslauf der Kläranlage durch ein Filter (RO-Disk) geschützt, so dass die Pumpe vermutlich überhaupt nicht mehr benötigt wird.

Durch die Anpassung des Schlammalters ist ebenfalls davon auszugehen, dass der Schwimmschlamm reduziert werden kann.

Somit wird aktuell davon ausgegangen, dass die gesamte Schwimmschlammpumpe eingespart werden kann.

Position	Menge	Einheit	Spez. Kosten	Kosten
<u>Kosten der Maßnahme</u>				
Deaktivierung der Schwimmschlammpumpe	Pschl.	€	0 €	0 €
			<b>Summe</b>	<b>0 €</b>
<u>Nutzen der Maßnahme</u>				
Energieeinsparung	7.067	kWh/a	0,22 €/kWh	1.555 €/a
<u>Berechnung Kosten/Nutzen</u>				
$KFAKR(i; n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{10}}{(1+0,03)^{10} - 1}$				0,1172
Jährliche Kapitalkosten (KFAKR*Gesamtkosten)				0 €/a
<b>Kosten/Nutzen</b>				<b>0</b>

### 5.18 Umwälzpumpe Wärmetauscher

Die Umwälzpumpe des Wärmetauschers benötigt 14.273 kWh/a. Im Rahmen einer Detailstudie sollte geprüft werden, ob eine Hocheffizienzpumpe zum Einsatz kommen kann. Aktuell wird das Einsparpotenzial auf rund 50 % geschätzt.

Position	Menge	Einheit	Spez. Kosten	Kosten
<u>Kosten der Maßnahme</u>				
Erneuerung der Umwälzpumpe	Pschl.	€	2.500 €	2.500 €
			<b>Summe</b>	<b>2.500 €</b>
<u>Nutzen der Maßnahme</u>				
Energieeinsparung	7.136	kWh/a	0,22 €/kWh	1.570 €/a
<u>Berechnung Kosten/Nutzen</u>				
$KFAKR(i; n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0,03 \cdot (1+0,03)^{10}}{(1+0,03)^{10} - 1}$				0,1172
Jährliche Kapitalkosten (KFAKR*Gesamtkosten)				0 €/a
<b>Kosten/Nutzen</b>				<b>0,19</b>

### 5.19 Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die in den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ermittelten Kosten-Nutzen-Verhältnisse jeder Maßnahme sind in Tabelle 5-14 zusammenfassend dargestellt. Dabei sind Maßnahmen

mit einem Kosten-Nutzen-Verhältnis von kleiner als 0,3 als Sofortmaßnahme deklariert und sollten zeitnah umgesetzt werden. Ergibt sich ein Kosten-Nutzen-Verhältnis von 0,3 bis 0,7, handelt es sich um eine kurzfristig umzusetzende Maßnahme. Für eine langfristige Umsetzung sind Maßnahmen vorgesehen, deren Kosten-Nutzen-Verhältnis zwischen 0,7 und 1 liegt. Besteht ein besonderes Interesse oder ist eine Umsetzung vorgeschrieben, so werden auch Maßnahmen mit einem Kosten-Nutzen-Verhältnis von größer 1 ausgeführt. Hierbei entsteht jedoch eine wirtschaftliche Belastung, da die Kosten den Nutzen übertreffen.

Der überwiegende Teil der identifizierten Optimierungsansätze für die Kläranlage Wöllstadt wurde als kurzfristige Maßnahmen eingestuft. Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind jedoch statisch und unterliegen keinerlei Schwankungen. Wird von einer el. Energiepreissteigerung ausgegangen, wie es in den letzten Jahren der Fall war, können einzelne Maßnahmen unter Umständen ein besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen. Dadurch können auch die als langfristig und als unwirtschaftlich eingestuften Maßnahmen ein besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis erreichen.

Tabelle 5-14: Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Maßnahme	Investitionskosten	KFAKR	jährliche Kapitalkosten	jährliche Betriebskosten	jährliche Energieeinsparung	jährliche Betriebskosteneinsparung	Kosten/Nutzen
Optimierung des Zwischenpumpwerkes	5.000 €	0,1172	586 €		13.490		0,04
Kleineres Sandfanggebläse	5.000 €	0,1172	586 €		1.374		0,43
Bedarfsgerechte RLS-Förderung	20.000 €	0,1172	2.345 €		224		10,47
Einsatz eines Sandwäschers	30.000 €	0,1172	3.517 €	1.000		524	8,62
Anpassung des Schlammalters	0 €	0,0838	0 €			10.400	0,00
Nutzung der RO-Disk als Nachfällung	25.000 €	0,1172	2.931 €			4.000	0,73
Schieber zur Umfahrung der Vorklärung	10.000 €	0,1172	1.172 €		1.320		0,89
BHKW	200.000 €	0,1172	23.446 €	3.375	29.700 €	5.000	0,77
FU's für Rührwerke in Denibecken 2	5.000 €	0,1172	586 €		3.096		0,19
Optimierung der Sauerstoffversorgung der Kläranlage	150.000 €	0,1172	17.585 €		7.261		2,42
Neue Umwälzpumpen	16.000 €	0,0838	1.340 €		2.313		0,58
Isolation der Gebläsedruckrohrleitungen	4.000 €	0,0838	335 €		528		0,63
Einsatz weiterer PV-Module für den Eigenbedarf	128.700 €	0,0672	8.651 €		18.745		0,46
Nachklärbeckenräumer 1	0 €	0,1172	0 €		1.349		0,00
Deaktivierung Schwimmschlammpumpe	0 €	0,1172	0 €		1.555		0,00
Neue Umwälzpumpen für Wärmetauscher	2.500 €	0,1172	293 €		1.570		0,19

Eine grafische Übersicht über die Maßnahmen gibt Abbildung 5-6. Es ist zu erkennen, dass vor allem bei den langfristigen und abhängigen Maßnahmen hohen Investitionskosten, aber auch hohe jährliche Kosten- und Energieeinsparungen gegenüber stehen. Für die Sofortmaßnahmen und die kurzfristigen Maßnahmen ergibt sich eine Investitionssumme von geschätzten 166.200 €, mit der jährliche monetäre Einsparungen von etwa 54.420 €/a erzielt werden können. Damit wird deutlich, dass für diese beiden Maßnahmentypen trotz der Investitionssumme eine Amortisationszeit von nur etwa 3 Jahren gegeben ist. Für Sofort-, kurzfristige und langfristige Maßnahmen ergeben sich anhand der Studie Investitionskosten in Höhe von 401.200 € bei jährlichen Einsparungen von rund 94.440 €/a. Die Amortisationszeit für diese Maßnahmentypen beträgt dadurch etwa 4 Jahre. Würde man alle Maßnahmen umsetzen, muss man 601.200 € investieren, um jährlich etwa 100.000 €/a zu sparen.

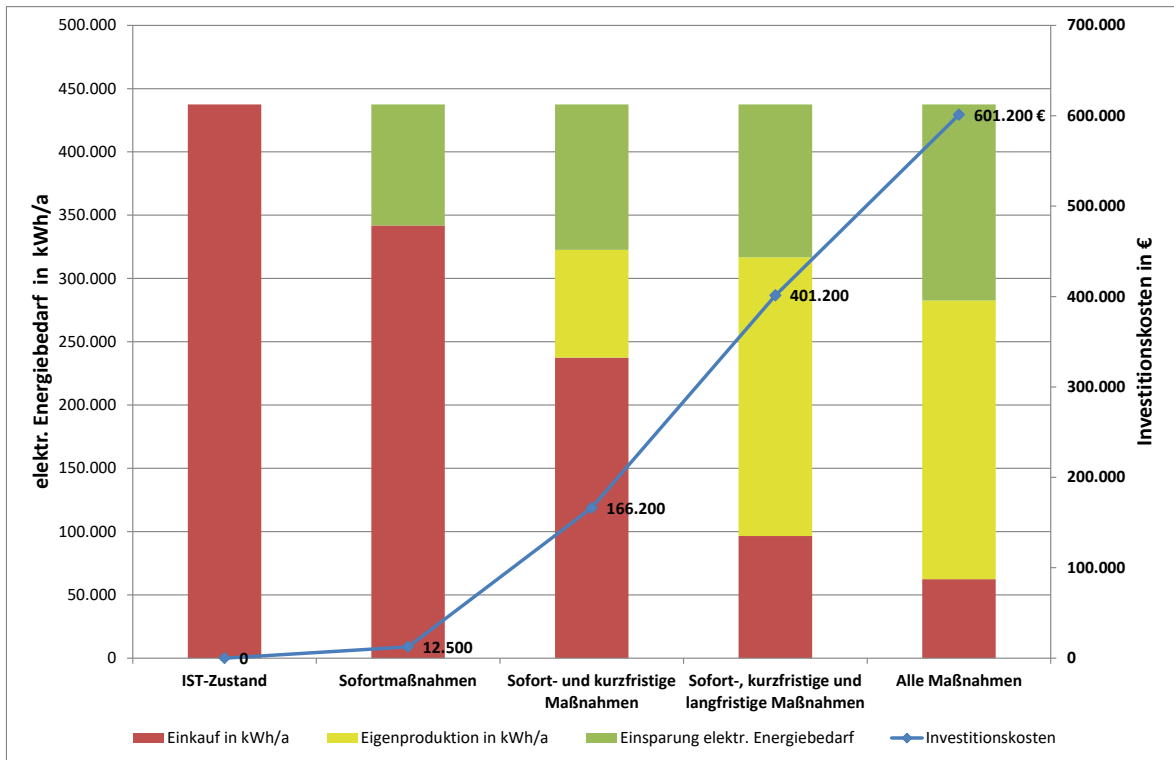


Abbildung 5-6: Übersicht der Investitionskosten und der jährlichen monetären Gesamteinsparung unterteilt in Maßnahmengruppen



## 6 Literaturverzeichnis

- Pehnt, M., Energieeffizienz – Ein Lehr- und Handbuch, Springer Verlag, Heidelberg, 2010
- DIN EN ISO 50001, Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 50001:2011); Deutsche Fassung EN ISO 50001:2011
- Kroiss, H., Perspektiven der Klärschlammverwertung – Ziele und Inhalte einer Novelle der Klärschlammverordnung, Vortrag, Bonn, 2006
- Pinnekamp, J., Wasserwirtschaft und Energie, Vortrag E-World, Essen, 2007
- Mitsdörfer, R., Christ, O.: Möglichkeiten zur Nutzung der Abwärme aus der Abwasserbehandlung, Gewässerschutz Wasser Abwasser, Band 223, Seite 6/1-6/15, Aachen, 2011
- Baumann, P. et al: Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen, Stuttgart, 2008
- Thöle, D., Grünebaum, T., Schmitt, F., Lorenz, G., Energie- und CO2-Bilanz eines Wasserverbandes, Korrespondenz Abwasser, Abfall, 58 Nr. 6, Seite 542, 2011
- Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Arbeitshilfe zur Verbesserung der Energieeffizienz von Abwasserbehandlungsanlagen – Anforderungen an die Planung und Durchführung, 2011
- LAWA, Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen 7. Auflage, (LAWA), Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, Berlin, 2005
- DWA Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 202 Chemisch-physikalische Verfahren zur Elimination von Phosphor aus Abwasser, 2011
- ATV-DVWK-Regelwerk, ATV-DVWK-A 131 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, 2000
- ATV-DVWK-Regelwerk, ATV-DVWK-A 198 Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen, 2003
- ATV-DVWK-Regelwerk, DWA-A 216 Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen, 2013