

Abschlussbericht

zum Vorhaben

„Energieautarke Gruppenkläranlage Weilerbach“

KfW-Az MBc3 - 001917

Zuwendungsempfänger/-in

Verbandsgemeinde Weilerbach

Umweltbereich

Kommunale Abwasserentsorgung

Laufzeit des Vorhabens

01.10.2011 – 15.09.2016

Autor/-en

Ludwig Groß (VG Weilerbach),

Stefan Krieger, Dr. Andreas Blank (Hydro-Ingenieure Energie & Wasser GmbH)

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

Datum der Erstellung

15.11.2016

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA:	Projekt-Nr.:
Titel des Vorhabens: Energieautarke Gruppenkläranlage Weilerbach	
Autor/-en: Ludwig Groß (VG Weilerbach), Stefan Krieger, Dr. Andreas Blank (Hydro-Ingenieure Energie & Wasser GmbH)	Vorhabenbeginn: 01.10.2011
	Vorhabenende: 15.09.2016
Zuwendungsempfänger/-in: Verbandsgemeinde Weilerbach Rummelstr. 15 67685 Weilerbach	Veröffentlichungsdatum: November 2016
	Seitenzahl: 41
Gefördert im BMUB-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.	
<p>Kurzfassung:</p> <p>Auf der Gruppenkläranlage (GKA) Weilerbach wurde das bestehende Belebtschlammverfahren mit simultaner aerober Schlammstabilisierung auf anaerobe Schlammstabilisierung mittels Hochlastfaulung und Nachvergärung umgestellt. Gleichzeitig wurde das Belebungsvolumens um 50 % reduziert. Eine Hochlastfaulung mit Nachvergärung erreicht im Vergleich zu einer konventionellen Schlammstabilisierung eine erhöhte spezifische Gasproduktion ($l/(kg\ oTS_{zu})$). In Kombination mit einer effizienten energetischen Nutzung des anfallenden Klärgases kann somit das im Abwasser einer kommunalen Kläranlage enthaltene stoffliche Energiepotential weitgehend nutzbar gemacht werden. Dadurch soll aufgrund des günstigen Voraussetzungen auf der GKA Weilerbach, die vor der Verfahrensumstellung einen spezifischen Energieverbrauch ca. $20\ kWh_{el}/(EW*a)$ hatte, ein energieautarker Betrieb nach der Verfahrensumstellung erreicht werden.</p> <p>Durch die Verfahrensumstellung der GKA Weilerbach konnte der Fremdbezug an elektrischer Energie um ca. 312 MWh/a reduziert werden bzw. ein Eigenversorgungsgrad von bis zu 80 % erreicht werden. Dadurch konnte seit der Inbetriebnahme im Jahr 2015 die CO_2-Emmision im Mittel um ca. 181,4 t CO_2/a reduziert werden. Gleichzeitig konnte die anfallende Schlammmenge um ca. 44 % und der Verbrauch an Chemikalien für die Schlammkonditionierung um ca. 36,8 % gesenkt und somit die Kosten für die Schlammentsorgung reduziert werden.</p>	
Schlagwörter: Kläranlage, Hochlastfaulung, Nachvergärung, Energieautarker Betrieb	

Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: Elektronischer Datenträger:	Sonstige Medien: Veröffentlichung im Internet geplant auf der Webseite:
---	---

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency:	Project–No.:
Report Title: Energy self-sufficient wastewater treatment plant Weilerbach	
Author/Authors: Ludwig Groß (VG Weilerbach), Stefan Krieger, Dr. Andreas Blank (Hydro-Ingenieure Energie & Wasser GmbH	Start of project: 01.10.2011
	End of project: 15.09.2016
Performing Organisation: Verbandsgemeinde Weilerbach Rummelstr. 15 67685 Weilerbach	Publication Date: November 2016
	No. of Pages: 41
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety.	
Summary: <p>The activated sludge process using simultaneous aerobic sludge stabilisation practised at the Wastewater Treatment Plant (WWTP) Weilerbach was converted to anaerobic sludge stabilisation by means of high-load digestion and post-digestion with a 50 % reduction in the activated volume. In comparison to conventional sludge stabilisation, high-load digestion with post-digestion achieves a higher specific gas production output ($l/(kg\ oDS_{input})$). Combined with the efficient utilisation of the sewage gas energy produced, this allows most of the material energy potential contained in the wastewater of a municipal WWTP to be used. Given the favourable conditions of a specific energy consumption of approximately $20\ kWh_{el}/(PE*a)$ at the Weilerbach WWTP prior to the process change, the new process is aimed at achieving complete energy self-sufficient operation of the plant.</p> <p>The process change at the Weilerbach WWTP has reduced the external supply of electrical power by approximately $312\ MWh_{el}/a$ and achieved a level of self-sufficiency of up to 80 %. As a result, the CO_2 emissions have been reduced by approximately $181.4\ tonnes\ CO_2/a$ since the new system went into operation in 2015. At the same time, sludge production has been lowered by approximately 44 % and the volume of chemicals required for sludge conditioning by approximately 36.8 %, so that the costs for sludge disposal have also been reduced.</p>	
Keywords: High-load digestion, Post-digestion, Energy self-sufficient operation	

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	5
1.1	Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner.....	5
1.2	Ausgangssituation	5
2	Vorhabenumsetzung.....	8
2.1	Ziel des Vorhabens.....	8
2.2	Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)	9
2.3	Umsetzung des Vorhabens	13
2.4	Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	14
2.5	Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	14
2.6	Konzeption und Durchführung des Messprogramms.....	14
3	Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung.....	19
3.1	Bewertung der Vorhabendurchführung	19
3.2	Stoff- und Energiebilanz.....	19
3.3	Energieanalyse	27
3.4	Umweltbilanz	28
3.5	Wirtschaftlichkeitsanalyse	30
3.6	Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren.....	30
4	Übertragbarkeit	31
4.1	Erfahrungen aus der Praxiseinführung	31
4.2	Modellcharakter/Übertragbarkeit.....	31
5	Zusammenfassung	32
6	Summary	35
7	Literatur	38
8	Abkürzungsverzeichnis.....	39
9	Anhang	41

1 Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner

Das Projekt wurde durch die Verbandsgemeinde Weilerbach als Körperschaft des öffentlichen Rechts, vertreten durch Bürgermeisterin Pfeiffer, und den Verbandsgemeindewerken Weilerbach, vertreten durch Herrn Groß, in Zusammenarbeit mit den HYDRO-Ingenieuren Energie & Wasser GmbH Kaiserslautern, einem Fachbüro für Siedlungswasserwirtschaft, vertreten durch den Geschäftsführer Herrn Krieger, durchgeführt.

1.2 Ausgangssituation

Die Verbandsgemeinde Weilerbach betreibt seit mehr als 25 Jahren die Gruppenkläranlage (GKA) Weilerbach mit einer ursprünglichen Ausbaugröße von 16.500 Einwohnerwerten (EW).

Die Abwasserreinigung und Schlammbehandlung erfolgte vor der Verfahrensumstellung nach dem Verfahren der simultanen aeroben Schlammstabilisierung. Dieses Verfahren ist geprägt von einer kompakten Bauweise bei hohem Energiebedarf für die Belüftung. Die gesamte Energie (Strom und Gas) zur Aufbereitung wurde von außen zugeführt.

Die Gruppenkläranlage Weilerbach besteht aus einer mechanischen und einer biologischen Reinigungsstufe mit simultaner Phosphatfällung mittels Natriumaluminat. Das zulaufende Abwasser gelangt über eine Hebestation (ΔH ca. 6,8 m) in die mechanische Reinigungsstufe, bestehend aus einer Rechenanlage und einem Sand- und Fettfang. Die anschließende 2-straßige Belebung besteht aus zwei Rundbecken mit einem Gesamtvolumen von 5.500 m³ und wird als intermittierende Denitrifikation betrieben. Nach Passage des Nachklärbeckens und eines Schönungsteiches gelangt das gereinigte Abwasser in die Moorlauter (Abbildung 1).

Der Überschussschlamm (ÜS) wird in einer Kammerfilterpresse unter Zugabe von Eisenchlorid und Kalk entwässert und danach einer landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt. Das Filtrat der Kammerfilterpresse wird vor dem Rechen dem Zulauf zugeführt.

In den zurückliegenden Jahren wurden vom Betriebspersonal auf der GKA Weilerbach bereits Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz durchgeführt. Eine wesentliche Verringerung des Strombedarfes ist auf den Einbau von Plattenbelüftern (mit feinblasiger Belüftung) und optimierten Rührwerken in den beiden Belebungsbecken sowie der Erneuerung der Gebläse zurückzuführen.

Der Strombezug betrug in den Jahren 2008 bis 2012 im Mittel 480.000 kWh/a. Dies entspricht bei der gegebenen damaligen mittleren Anlagenbelastung von ca. 24.000 EW einem spezifischen Stromverbrauch von unter 20 kWh/(EW_{BSB}*a) bzw. ca. 21 kWh/(EW_{CSB}*a). Der Bedarf an Flüssiggas zur Beheizung der Gebäude betrug i. M. rd. 3.800 l/a.

Das Verfahren der aeroben Schlammstabilisierung ist in Deutschland für Kläranlagen dieser Größenordnung üblich. Vergleicht man den spezifischen Gesamtstrombedarf mit dem empirisch ermittelten Medianwert von 35 kWh/(EW*a) vergleichbarer Anlagen der

Größenklasse 4, z. B. gem. den Angaben im DWA-Arbeitsblatt A 216, so zeigt sich, dass der Energiebedarf der GKA Weilerbach mit 20 kWh/(EW*a) bereits sehr günstige Werte erreicht hat.

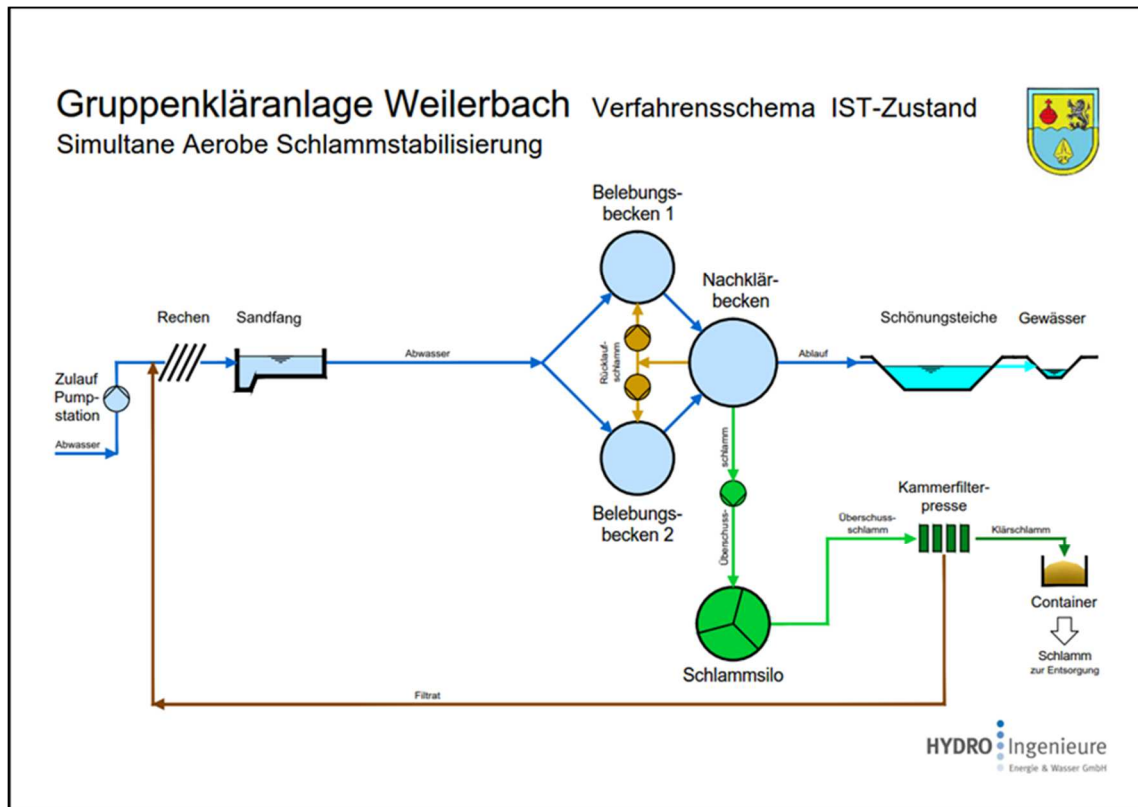


Abbildung 1: Verfahrensschema der GKA Weilerbach vor der Verfahrensumstellung

Die Konzeption und Planung der Verfahrensumstellung der GKA Weilerbach von einer aerob stabilisierenden Anlage zu einer Anlage mit anaerober Schlammstabilisierung mittels Hochlastfaulung und Nachvergärung wurde durch die HYDRO-Ingenieure Energie & Wasser GmbH in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB, Stuttgart, durchgeführt. Im Vorfeld der Planung erfolgten am IGB, Stuttgart, Untersuchungen hinsichtlich der Vergärbarkeit und des Klärgasanfalls des Rohschlammes der GKA Weilerbach [1].

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigten, dass in der Hochlastfaulung mit einer Gasproduktion von 442 l/(kg oTR_{zu}) bei einer hydraulischen Aufenthaltszeit von 7 d und in der Nachvergärung von 64 l/(kg oTR_{zu}) sowie mit einem einwohnerspezifischen Gasertrag von > 24 l/(EW_{BSB}*d) zu rechnen ist.

Laut Angaben in der Literatur ist der spezifische Klärgasanfall (l/(EW*d)) je nach Kläranlage stark schwankend. So werden Werte zwischen 13 – 32 l/(EW*d) genannt ([4] [5] [6]). Keicher et al. [7] leiteten aufgrund einer Umfrage auf 75 Kläranlagen in Baden-Württemberg einen

mittleren spezifischen Klärgasanfall von $25,7 \text{ l}/(\text{EW} \cdot \text{d})$ für Kläranlagen der Größenklasse 4 und $21,3 \text{ l}/(\text{EW} \cdot \text{d})$ für die Größenklasse 5 ab.

Um das Behältervolumen der Hochlastfaulung so klein als möglich zu gestalten bzw. um die hydraulische Aufenthaltszeit in der Faulung so kurz als wie möglich zu halten und um einen maximalen Abbaugrad des Klärschlammes zu erreichen, ist es erforderlich, hohe oTR -Gehalte in der Faulung zu gewährleisten [2] [3]. Aus diesem Grund wird der Rohschlamm auf einen Feststoffgehalt (TR) von min. 5 - 6 % eingedickt.

Für die Realisierung der anaeroben Schlammstabilisierung mittels Hochlastfaulung mit anschließender Nachvergärung auf der GKA Weilerbach wurden neben dem Bau der Hochlastfaulung weitere verfahrenstechnische und bauliche Maßnahmen im Bereich der mechanischen Reinigungsstufe, der Schlammeindickung und im Bereich der Aufbereitung, Nutzung und Verwertung des anfallenden Klärgases erforderlich.

2 Vorhabenumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Ziel des Vorhabens war es, das Behandlungsverfahren auf eine anaerobe Stabilisierung mit Hochlastfaulung und Nachvergärung umzustellen. Dadurch soll ein energieautarker Betrieb der GKA Weilerbach erreicht werden, d.h. es werden nach Inbetriebnahme der neuen Anlagenteile keine externen Energieträger benötigt. Modellhaft soll so gezeigt werden, dass unter weitestgehender Ausnutzung der Energieeinsparpotentiale und der Optimierung der Faulgasausbeute mittelgroße Kläranlagen energieautark betrieben werden können.

Durch die Verfahrensumstellung und die Durchführung weiterer Effizienzmaßnahmen, wie z.B. durch Optimierung der Prozesssteuerung und den Einsatz von hocheffizienten Motoren, soll der Strombedarf der Gruppenkläranlage um weitere rd. 55.000 kWh/a auf rd. 425.000 kWh/a reduziert werden. Durch eine optimierte Faulgasausbeute und Nutzung in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) sollen nach Inbetriebnahme der anaeroben Schlammstabilisierung rd. 470.000 kWh/a Strom erzeugt werden bei gleichzeitiger 100%iger Eigenversorgung mit Wärme. Somit soll durch Eigenerzeugung aus regenerativer Energie kein Strombezug aus dem Netz und kein Bezug von Brennstoffen (vorher 3.800 l/a Flüssiggas) zur Beheizung mehr erforderlich werden. Im Gegenzug könnten geringe Mengen Strom in das Netz eingespeist werden.

Des Weiteren soll sich durch die Verfahrensumstellung der Klärschlammanfall um rd. 30 % verringern. Neben den geringeren Kosten für die landwirtschaftliche Verwertung werden sich auch die benötigten Entwässerungshilfsstoffe in gleichem Maße reduzieren. Dies bedeutet, dass künftig rd. 45 t/a Kalk und 26 t/a Eisenchlorid eingespart werden können.

Ein weiteres Ziel der Maßnahme war es, bestehende Bauwerke derart umzunutzen, sodass einerseits Investitionskosten und andererseits Ressourcen (zusätzliche bebaute Fläche, Materialeinsatz, usw.) eingespart werden.

Alle Maßnahmen erfolgen unter der Vorgabe, dass sich die Umstellung der Gruppenkläranlage Weilerbach nicht negativ auf die Ablaufqualität und somit zu Ungunsten des Gewässers auswirkt.

Ziel ist es mit der neuen Anlage folgende Förderkriterien des UIP – Förderschwerpunktes „Energieeffiziente Abwasseranlagen“ zu erfüllen (Tabelle 1).

Gesamter spezifischer Stromverbrauch	kWh/(EW*a)
e_{ges}	18
Korrekturwert K für Förderhöhe Zulaufpumpwerk von 6,5 m	1,5
Zielwert e_{ges}	19,5
Prognose: e_{ges}	17,6
Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung	kWh/(EW*a)
Zielwert e_B	10
Prognose: e_B	9,6

Tabelle 1: Spezifische Stromverbräuche für mittelgroße bis große Abwasseranlagen

2.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Aufgrund der günstigen energetischen Voraussetzungen auf der GKA Weilerbach wurde vorgesehen, das Behandlungsverfahren auf eine anaerobe Stabilisierung mit Hochlastfaulung und Nachvergärung umzustellen.

Neben der eigentlichen anaeroben Schlammstabilisierung waren weitere neue Anlagenteile im Bereich der mechanischen Vorreinigung und eine Optimierung der Belebungsstufe erforderlich. Das Gesamtfließbild nach der Verfahrensumstellung ist in Abbildung 2 dargestellt.

Im Folgenden werden die einzelnen Prozessbereiche beschrieben.

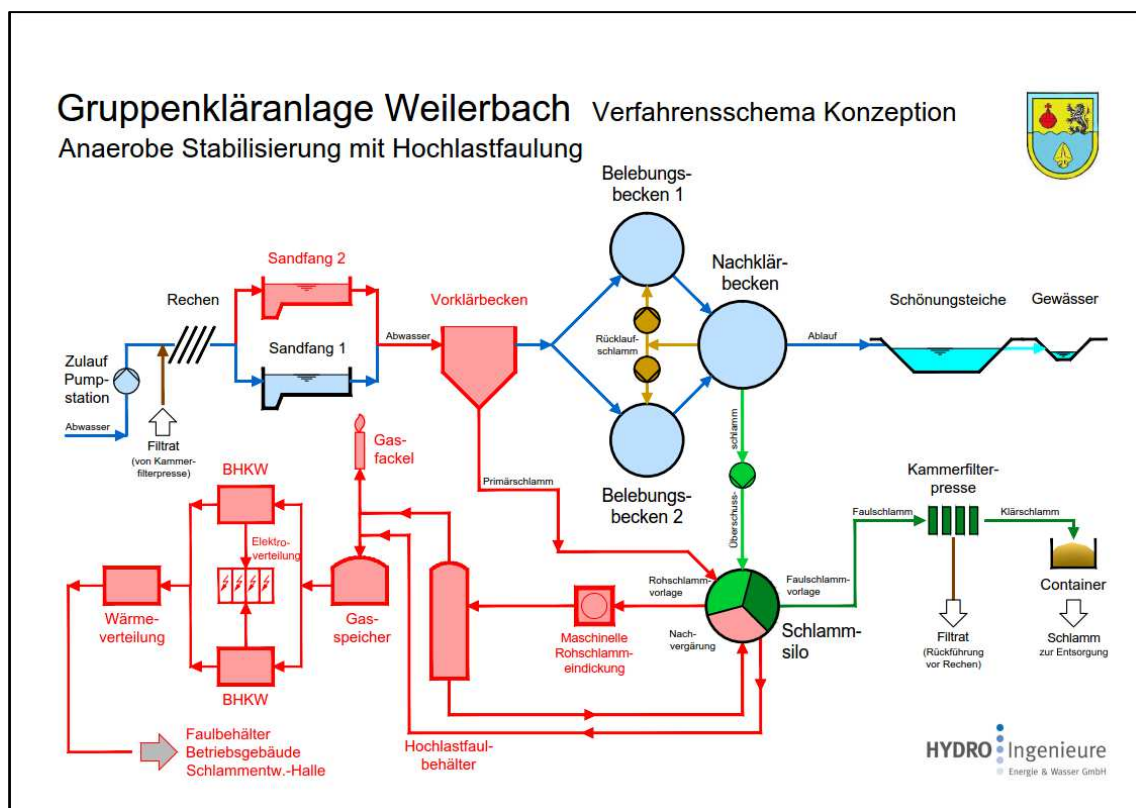


Abbildung 2: Verfahrensschema der GKA Weilerbach nach der Verfahrensumstellung

2.2.1 Neubau eines 2. Sand-/Fettfangs

Aufgrund der zu geringen Aufenthaltszeit von unter 5 min im Regenwetterfall wurde der bestehende Sand-/Fettfang um einen weiteren ergänzt. Damit soll nach der Inbetriebnahme der anaeroben Schlammstabilisierung gewährleistet werden, dass kein unerwünschter Sandeintrag nachfolgende maschinentechnische Einrichtungen in ihrer Funktion beeinträchtigt (Abrasion) und es nicht zu Volumenverlusten durch Sandablagerungen in den Faulreaktoren kommt.

2.2.2 Neubau Vorklärbecken

Zur Gewinnung organischer Substanz und zur Entlastung der Belebungsbecken wurde ein Vorklärbecken (VKB) zur Grobentschlammung errichtet. Das Bauwerk wurde hydraulisch in den vorhandenen Abwasserweg eingebunden, ohne dass das Abwasser angehoben werden muss. Das VKB wurde auf eine hydraulische Aufenthaltszeit von > 1 h ausgelegt, damit ca. 30 – 35 % der CSB bzw. BSB₅-Fracht eliminiert werden und ca. 50 – 60 % der zulaufenden TS-Fracht als Primärschlamm abgetrennt wird. Dieser Schlamm wird in einen Rohschlammspeicher (ein Segment eines bestehenden Schlammsilos) gepumpt und mit dem anfallenden Überschussschlamm gemischt.



Abbildung 3: Vorklärbecken

2.2.3 Optimierung Belebungsverfahren

Die Steuerung der intermittierenden Denitrifikation soll dahingehend optimiert werden, dass die Rührwerke nur noch zur Durchmischung zu Beginn der Denitrifikationsphase eingesetzt werden. In der anschließenden Nitrifikationsphase erfolgt die Umwälzung und Durchmischung nur durch die Belüftung. Auf diese Weise soll der Energiebedarf der Rührwerke um mindestens 50 % verringert werden.

Durch die Anpassung des Trockensubstanzgehaltes in der Biologie an die Abwassertemperatur soll die aktive Biomasse dem tatsächlichen Bedarf angepasst und der Sauerstoffeintrag optimiert werden. Hierzu soll ein Belebungsbecken außer Betrieb genommen werden. Die Belüftung wird in Abhängigkeit von der NH₄-, NO₃- und O₂-Konzentration im verbleibenden Belebungsbecken gesteuert. Hierdurch reduziert sich der Energiebedarf für die Durchmischung um 50 % (Wegfall der Rührwerke im 2. Becken).

Die Verfahrensanpassungen konnten ohne bauliche Maßnahmen im Anschluss des Messprogramms durchgeführt werden. Im August 2016 wurde mit dem genehmigten

Probetrieb begonnen. Da der Probetrieb bis Ende Februar 2017 geplant ist liegen zum jetzigen Zeitpunkt der Erstellung des Abschlussberichtes noch keine belastbaren Ergebnisse bzgl. der energetischen Einsparung vor.

2.2.4 Maschinelle Rohschlammeindickung

Der aus der biologischen Reinigungsstufe abgezogene Überschussschlamm wird in einem vorhandenen Schlammsilo gemeinsam mit dem Primärschlamm homogenisiert und zwischengespeichert, um danach maschinell entwässert zu werden. Installiert wurde hierfür ein Scheibeneindicker mit Flockungsmitteldosierung und mit einer Durchsatzleistung von bis zu 20 m³/h. Der TS-Gehalt des eingedickten Rohschlammes beträgt



zwischen 5 und 7 %. Der eingedickte Rohschlamm wird mittels eines Schlammwärmetauschers erwärmt und anschließend dem Faulbehälter zugeführt.

Abbildung 4: Maschinelle Schlammeindickung

2.2.5 Anaerobe Schlammstabilisierung

A Hochlastfaulung

Die anaerobe Stabilisierung des Klärschlammes wurde auf Basis einer vom Fraunhofer Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB, Stuttgart, durchgeführten Voruntersuchung als Hochlastfaulung dimensioniert [1].

Durch die mit diesem Verfahren gegebene hohe Raumbelastung können hohe Abbauraten der organischen Bestandteile und damit eine optimierte Klärgasausbeute erreicht werden. Untersuchungen an realisierten Anlagen zeigen einen rd. 10 – 20 % höheren Gasertrag gegenüber konventionellen Faulungsanlagen. Der zu erwartende Klärgasertrag wurde auf ca. 440 l/kg oTS_{zu} prognostiziert.



Abbildung 5: Hochlastfaulung

Im Regelfall wird die Hochlastfaulung als zweistufiges System oder als einstufiges System mit

anschließender Mikrofiltration betrieben. Im vorliegenden Fall wird die Hochlastfaulung einstufig betrieben. Die 2. Stufe wird durch eine Nachvergärung ersetzt, um die Komplexität (keine Steuerung/Regelung des Betriebs der Nachvergärung, Wärmeenergie wird nur zugeführt wenn zusätzlich vorhanden usw.) bei dieser Anlagengröße und den Energieaufwand gering zu halten. In der Nachvergärung soll lediglich eine weitgehende Ausgasung des Faulschlammes erfolgen.

Die Auslegung der Hochlastfaulung erfolgte mit dem Ziel, eine Raumbelastung von $> 5 \text{ kg oTS}_{\text{zu}}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ zu erreichen, bei einer hydraulischen Aufenthaltszeit von ca. 7 – 8 d. Hieraus ergab sich ein Netto-Volumen der Hochlastfaulung von ca. 300 m^3 .

B Nachvergärung

Im aus dem Faulbehälter ausgetragenen Schlamm ist immer noch Klärgas in Form kleinster Blasen oder in gelöster Form enthalten. Auch bildet sich während der Zwischenspeicherung vor der Entwässerung weiterhin Klärgas durch dem Abbau von Restsubstanzen. Dieses Gas wird vom IGB auf 5 - 10 % des im Faulbehälter gewonnen Klärgases geschätzt und entweicht üblicherweise in die Atmosphäre. . Der in der Nachvergärung zu erwartende Klärgasertrag wurde in Voruntersuchungen des Fraunhofer Instituts IGB auf ca. $65 \text{ l/kg oTS}_{\text{zu}}$ prognostiziert.

Auf der GKA Weilerbach wird auch der restliche Gasanteil genutzt, indem in einem der Segmente des Schlammsilos eine Nachvergärung eingerichtet wurde. Hierfür wurde das Segment gasdicht abgedeckt, teilsoliert und mit einer Gasentnahmeverrichtung versehen. Der Schlamm wird umgewälzt und beheizt.

Da das Volumen der Nachvergärung mit ca. 190 m^3 vorgegeben ist (Bestandsbauwerk), stellt sich in der Nachvergärung eine Aufenthaltszeit von ca. 4 – 5 d ein.

Für Hochlastfaulung und Nachvergärung zusammen wurde bei einer Raumbelastung von $> 5 \text{ kg oTS}/(\text{m}^3/\text{d})$ im Zulauf zur Hochlastfaulung ein Gasertrag von ca. $490 \text{ l/kg oTS}_{\text{zu}}$ seitens des Fraunhofer IGB prognostiziert.



Abbildung 6: Nachvergärung

2.2.6 Gasspeicherung / Fackel

Das gewonnene Klärgas wird einem Gasspeicher mit einem Volumen von ca. 400 m^3 zugeführt,

der somit ca. 60 % der mittleren Tagesgasmenge speichern kann, um bei der anschließenden Verwertung auftretende Verbrauchsspitzen (beispielsweise Betrieb beider BHKW) ausgleichen zu können. Für Notfälle z.B. bei maschinellen Störungen in der weiteren Gasverwertung wurde eine Fackel installiert.

2.2.7 Blockheizkraftwerk

Das erzeugte Klärgas wird vollständig in zwei Blockheizkraftwerken mit einer elektrischen Leistung von jeweils 50 kW_{el.} verwertet und in elektrischen Strom und Wärme umgewandelt. Es wird ein jährlicher Stromertrag von 470.000 kWh erwartet, der ausreicht, um den Gesamtstrombedarf der GKA zu decken. Installiert wurden Aggregate mit höchstmöglichem Wirkungsgrad ($\eta_{el.}$). Dieser liegt bei der o. g. Aggregatgröße bei $\eta_{el.} = \text{rd. } 36 \%$.

2.2.8 Wärmeverteilung und -speicherung

Die erzeugte Wärme wird über einen neuen Wärmeverteiler dem Faulbehälter, der Nachvergärung und den vorhandenen Gebäuden zugeführt. Bei Ausfall eines BHKW ist die Wärmeerzeugung über das 2. Aggregat gewährleistet. Die produzierte Wärme wird in einem 4 m³ großen Wärmepuffer gespeichert, wodurch die Wärmeversorgung auch bei reduziertem BHKW-Betrieb (stromorientierte Betriebsweise) sichergestellt werden kann.

2.3 Umsetzung des Vorhabens

Im Frühjahr 2012 wurde mit der Ermittlung der Bemessungsgrundlagen und der Vorplanung begonnen. Parallel zur anschließenden Entwurfsplanung erfolgten Laboruntersuchungen hinsichtlich des zu erwartenden Klärgasertrags auf der GKA Weilerbach durch die Installation einer Hochlastfaulung mit Nachvergärung durch das Fraunhofer Institut IGB [1].

Auf Basis dieser Untersuchungen wurde die Entwurfsplanung fertiggestellt. Die Einreichung der erforderlichen Genehmigungsunterlagen erfolgte im Dezember 2012.

Im März 2013 erfolgte die Ausschreibung der Hochlastfaulung, der Ingenieurbauwerke und der BHKW. Im August 2013 erfolgte die Ausschreibung der klärtechnischen Ausrüstung und der EMSR-Technik. Im Januar 2014 wurde die Heizungstechnik ausgeschrieben.

Der Baubeginn fand am 20.07.2013 mit der Ausführung der Ingenieurbauwerke statt. Im Dezember 2014 bis März 2015 lief der Probetrieb der anaeroben Schlammstabilisierung. Am 31.03.2015 erfolgte die Abnahme der Hochlastfaulung mit Nachvergärung und der offizielle Betrieb begann.

Im August 2015 wurde das Monitoring zur Verifizierung der Zielvorgaben gestartet und im September 2016 beendet.

Im August 2016 erfolgte die Anpassung des Belebungsbeckenvolumens an die neuen

Bedingungen (Installation der Vorklärung). Hierzu wurde nach der Genehmigung seitens der Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd (siehe 2.4) das Belebungsbeckenvolumen durch Außerbetriebnahme einer Straße halbiert.

2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Für die Umsetzung der Maßnahme war eine Änderung der gehobenen Erlaubnis gemäß §8 ff, § 15 WHG zur Einleitung von gereinigtem Abwasser sowie zum Umbau gemäß § 54 LWG erforderlich. Die Genehmigung erfolgte am 23.08.2013 durch die Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd, Regionalstelle Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Bodenschutz, Kaiserslautern, Rheinland-Pfalz.

Für die Außerbetriebnahme einer Belebungsbeckenstraße wurde ein Antrag auf vorübergehende Änderung der Betriebsweise (Probetrieb) für die Kläranlage Weilerbach gestellt. Diesem wurde am 10.08.2016 durch die Struktur und Genehmigungsdirektion Süd zugestimmt.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Siehe Kapitel 2.6 insbesondere die Tabellen 1 und 2.

2.6 Konzeption und Durchführung des Messprogramms

Der Nachweis, dass die Zielwerte erreicht wurden, erfolgte anhand der folgenden Untersuchungen und Analysen vor und nach der verfahrenstechnischen Umstellung. Diese wurden im Rahmen eines Monitorings zwischen August 2015 und September 2016 von der TU Kaiserslautern (tectraa) durchgeführt. Im Anhang A „Wissenschaftliche Begleitung“ wird das Messprogramm ausführlich dargestellt.

2.6.1 Bestandsaufnahme vor Baubeginn

- Ermittlung des Gesamtstrombedarfs (E_{ges}) bzw. des einwohnerspezifischen Gesamtstrombedarfs (e_{ges}) anhand des gemessenen Strombedarfs aller Verbrauchergruppen und der Zulauffrachten zur GKA Weilerbach für einen Zeitraum von einem Jahr vor Baubeginn.
- Ermittlung des Energiebezugs zur Deckung des Wärmebedarfs der GKA Weilerbach für einen Zeitraum von 3 Jahren vor Baubeginn.
- Ermittlung des Schlammmanfalls auf der GKA Weilerbach für einen Zeitraum von einem Jahr vor Baubeginn.

2.6.2 Monitoring der Hochlastfäulung mit Nachvergärung, Optimierung des Anlagenbetriebs und Erfolgskontrolle der Projektziele

2.6.2.1 Energetisch-verfahrenstechnische Optimierung

Im Zuge des Monitorings wurden verfahrenstechnische Optimierungspotenziale im Betrieb der einzelnen Anlagenteile aufgezeigt und entsprechende Maßnahmen eingeleitet. Hierbei stand an erster Linie die verfahrenstechnische und auch energetische Anpassung der Belebungsstufe an die neuen Randbedingungen (geringeres erforderliches Belebungsbeckenvolumen durch die Vorklärung, Außerbetriebnahme eines Beckens), aber auch die Prüfung sonstiger energetischer Einsparungspotenziale bspw. in der Rücklaufschlammführung und der mechanischen Reinigungsstufe (z.B. Belüftung des Sandfang usw.).

2.6.2.2 Strombedarf und aktuelle Belastungswerte der GKA Weilerbach

Zur Ermittlung des Gesamtstrombedarfs wurde nach der Inbetriebnahme der Hochlastfäulung mit Nachvergärung und der verfahrenstechnischen Optimierung eine Gesamtenergiebilanz der GKA Weilerbach erstellt, in der sämtliche neue Verbraucher (anaerobe Schlammstabilisierung, Vorklärung und neue Sandfangstraße), bestehende Verbraucher und die Stromproduktion aus der Klärgasnutzung berücksichtigt wurden. Der Strombedarf der Belüftung wird separat gemessen.

Um den einwohnerspezifischen Gesamtstrombedarf e_{ges} bzw. den einwohnerspezifischen Strombedarf für die Belüftung e_{Bel} zu ermitteln, wurden während des Monitorings die aktuellen Belastungswerte der Gruppenkläranlage Weilerbach ermittelt. Hierfür wurden dem Zulauf und Ablauf der GKA Weilerbach im Zuge der Eigenüberwachung 24-h Mischproben hinsichtlich der Parameter CSB und BSB entnommen und analysiert. Zusätzlich wurden qualifizierte Stichproben zur Überwachung des Anlagenbetriebs entnommen und hinsichtlich der in Tabelle 2 aufgelisteten Parameter untersucht. Aufgrund der Vergleichbarkeit der Datensätze wurde die Häufigkeit der Probenahme während des Monitorings entsprechend der Häufigkeit der Probenahme vor Baubeginn im Zuge der Eigenüberwachung gewählt (ca. 1 – 2 mal monatlich).

Da für den Parameter TOC keine historischen Daten vorlagen und somit ein Vergleich mit den TOC-Werten nach Inbetriebnahme der anaeroben Stabilisierung nicht möglich war, wurde auf eine vergleichbare Häufigkeit, wie sie für die Parameter der Eigenüberwachung vorgesehen ist, verzichtet und lediglich einmal pro Quartal der Parameter TOC bestimmt.

Zusätzlich wurden an zwei bis drei Tagen im Jahr (jeweils im Sommer und Winter) 12 zuflussproportionale 2h-Mischproben im Ablauf der Kläranlage entnommen und auf die 4 Stickstoffparameter (TN_b , N_{ges} , NH_4-N , NO_3-N) analysiert.

Da diese Analysen nicht im Zuge der EÜVOA erbracht werden, wurden diese Analysen durch tectraa/TU Kaiserslautern durchgeführt.

Tabelle 2: Analyseparameter Monitoring

Parameter	Eigenüberwachung	Zusätzliche Messung	Probenart und Häufigkeit
Zulauf			
CSB	X		Qualifizierte Stichprobe 1-2mal monatlich
BSB ₅	X		
TN _b	X		
N _{ges.,anorg.}	-	x	
NH ₄ -N	X		
NO ₃ -N	-	x	
P _{ges.} (mit ICP)	-	x	
PO ₄ -P	-	x	
TOC	-	x	Qualifizierte Stichprobe 1mal pro Quartal
Ablauf			
CSB	x		Qualifizierte Stichprobe 1-2mal monatlich
BSB ₅	x		
TN _b	x		
N _{ges.,anorg.}	x		
NH ₄ -N	x		
NO ₃ -N	x		
P _{ges.} (mit ICP)	-	x	
PO ₄ -P	-	x	
TOC	-	x	Qualifizierte Stichprobe 1mal pro Quartal

2.6.2.3 Hochlastfaulung und Nachvergärung (anaerobe Stabilisierung)

Der Betrieb der anaeroben Schlammstabilisierung (Hochlastfaulung und Nachvergärung) auf der GKA Weilerbach wurde anhand der in Tabelle 3 aufgelisteten Parameter überwacht. Die entsprechenden Probenahme-/Messstellen sind in Abbildung 7 dargestellt.

Das Messprogramm umfasste die online-Messung der Volumenströme des Primärschlammes, des Überschussschlammes und des Rohschlammes sowie des eingedickten Rohschlammes. Die entsprechenden TR- und oTR-Gehalte wurden 2 – 3 mal wöchentlich erfasst.

Als weitere Prozessparameter wurden die Temperatur und der pH-Wert in der Hochlastfaulung und der Nachvergärung aufgezeichnet.

Organische Säuren wurden nach Bedarf, jedoch mindestens einmal wöchentlich im Zulauf und Ablauf der Hochlastfaulung und der Nachvergärung bestimmt.

Die tägliche Klärgasmenge und der CH₄-Gehalt des Klärgases wurden sowohl für die Hochlastfaulung als auch für die Nachvergärung getrennt online gemessen.

Der Klärgasverbrauch für den Betrieb der BHKW bzw. der Stromproduktion wurde ebenfalls

online aufgezeichnet.

Tabelle 3: Messparameter und Messhäufigkeit der relevanten Parameter bzgl. der anaeroben Schlammstabilisierung (Messstellen siehe Abbildung 7)

Messparameter		Häufigkeit
Q_{PS}	[m ³ /d]	online
$Q_{\dot{U}S}$	[m ³ /d]	online
Q_{RS}	[m ³ /d]	online
$Q_{RS,eingedickt}$	[m ³ /d]	online
$Q_{Umwälzung,HLF}$	[m ³ /d]	online
$Q_{Umwälzung,NV}$	[m ³ /d]	online
$Q_{Gas/CH_4;NV}$	[m ³ /d]	online
$Q_{Gas/CH_4;HLF}$	[m ³ /d]	online
$Q_{Gas/CH_4;BHKW}$	[m ³ /d]	online
TR_{PS}	[%]	2-3mal wöchentlich
$TR_{\dot{U}S}$	[%]	2-3mal wöchentlich
TR_{RS}	[%]	2-3mal wöchentlich
$TR_{RS,eingedickt}$	[%]	2-3mal wöchentlich
oTR_{RS}	[%]	2-3mal wöchentlich
TR_{FS}	[%]	2-3mal wöchentlich
oTR_{FS}	[%]	2-3mal wöchentlich
$T_{Faulung,HLF}$	[°C]	täglich
$T_{Faulung,NV}$	[°C]	täglich
$pH_{Faulung,HLF}$	[-]	online
$pH_{Faulung,NV}$	[-]	online
Organische Säuren	[mg/l]	1mal wöchentlich bzw. nach Bedarf

Parallel zum Messprogramm wurden die betrieblichen Einstellungen wie bspw. Art der Beschickung, Häufigkeit der Beschickung usw. dokumentiert und anhand der Ergebnisse angepasst und optimiert.

Während des Monitorings wurde eine quasi-kontinuierliche Beschickung angestrebt, d.h. ca. 1 mal stündlich über 24 h wird Rohschlamm in die Hochlastfaulung gefördert. Der aus der Hochlastfaulung verdrängte Faulschlamm gelangt in die Nachvergärung.

Aus den erhobenen Daten wurden die Faulgasproduktion der Hochlastfaulung und der Nachvergärung sowie der Gasverbrauch der BHKW separat ermittelt. Aus der Differenz zwischen Faulgasproduktion und dem Verbrauch der BHKW wurden mögliche Faulgasverluste über die Notfackel errechnet und der Grad der Faulgasnutzung bestimmt.

Aus der Strom- und Wärmeproduktion der BHKW und dem Strombezug bzw. Bezug externer Brennstoffe wurde der elektrische und thermische Eigenversorgungsgrad bestimmt.

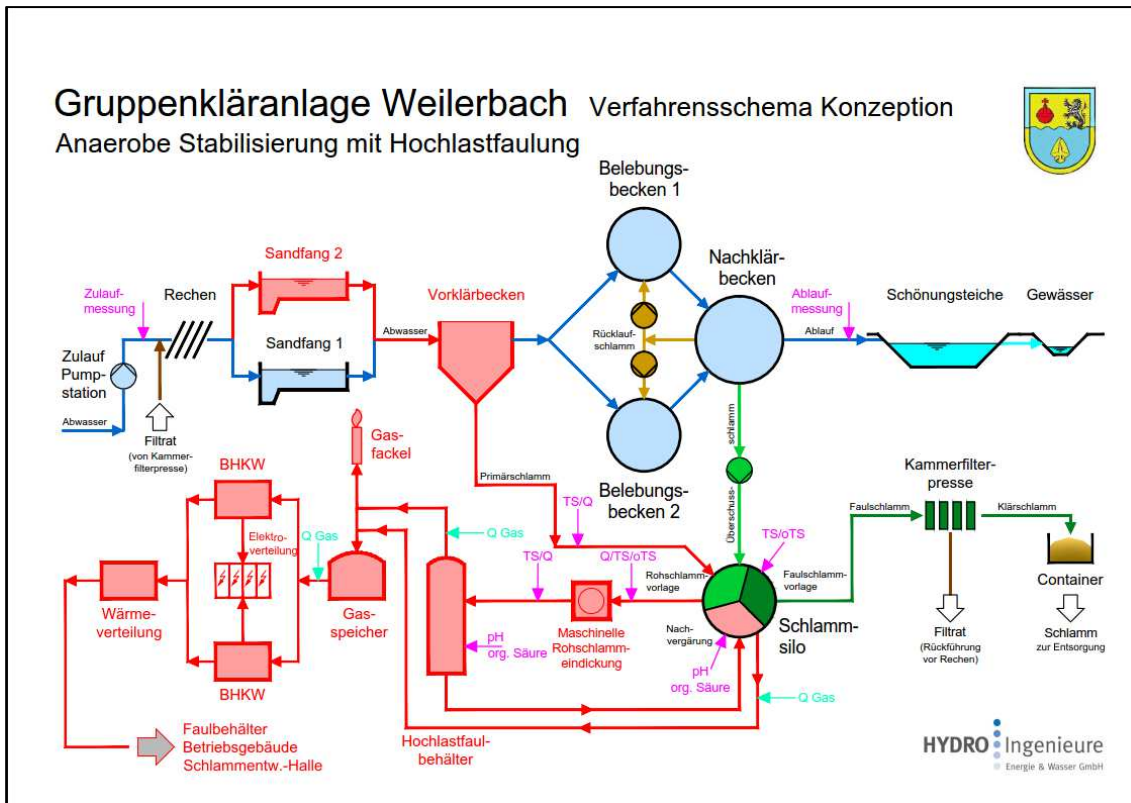


Abbildung 7: Verfahrensschema mit Messstellen

Aus den erhobenen Daten wurden die Faulgasproduktion der Hochlastfaulung und der Nachvergärung sowie der Gasverbrauch der BHKW separat ermittelt. Aus der Differenz zwischen Faulgasproduktion und dem Verbrauch der BHKW wurden mögliche Faulgasverluste über die Notfackel errechnet und der Grad der Faulgasnutzung bestimmt.

Aus der Strom- und Wärmeproduktion der BHKW und dem Strombezug bzw. Bezug externer Brennstoffe wurde der elektrische und thermische Eigenversorgungsgrad bestimmt.

Der stabilisierte Schlamm wird auch nach der verfahrenstechnischen Umstellung landwirtschaftlich verwertet und daher entsprechend der Düngemittelverordnung (DüMV) untersucht und dessen Qualität (z.B. Phosphatgehalt) als Dünger kontrolliert. Aktuell werden diese Untersuchungen 2 mal jährlich durchgeführt.

3 Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1 Bewertung der Vorhabendurchführung

Die Planung, der Bau und die Inbetriebnahme der neuen Anlagenteile konnte erfolgreich durchgeführt werden. Lediglich das angestrebte Ziel hinsichtlich der Eigenenergieversorgung konnte nicht vollumfänglich erreicht werden, da sich die Zulauffrachten nach der Verfahrensumstellung verändert haben (siehe folgende Abschnitte).

3.2 Stoff- und Energiebilanz

3.2.1 Zulauffrachten

In Tabelle 4 ist die Zulaufbelastung der GKA Weilerbach hinsichtlich der Parameter CSB und BSB vor (2014) und nach der Verfahrensumstellung (2015 bzw. Zeitraum des Monitorings) dargestellt. Zu erkennen ist, dass sich die mittlere CSB-Belastung der GKA Weilerbach nur geringfügig verringert, jedoch hat sich die BSB-Belastung um ca. 20 % reduziert. Die Recherche bei den für eine solche Reduzierung in Frage kommenden Industrie-/Gewerbebetrieben ist noch nicht abgeschlossen.

Tabelle 4: Zulaufbelastung der GKA Weilerbach

	Zulaufbelastung 2014		Zulaufbelastung 2015		Zulaufbelastung 09/2015-08/2016	
	EW _{CSB}	EW _{BSB}	EW _{CSB}	EW _{BSB}	EW _{CSB}	EW _{BSB}
Mittelwert	22.244	29.976	19.061	23.033	21.568	24.466
Median	20.187	30.179	18.238	21.839	19.634	24.434
85%-Wert	26.884	33.928	22.524	26.922	25.398	31.787

Die mittlere Kläranlagenbelastung betrug im Betrachtungszeitraum ca. 24.500 EW_{BSB} bzw. 21.600 EW_{CSB} (2014: ca.30.000 EW_{BSB} und 22.200 EW_{CSB}).

3.2.2 Stickstoff und TOC-Ablaufkonzentrationen

Aufgrund der Rückbelastung der biologischen Reinigungsstufe durch die anfallenden Filtratwässer wurden zur Kontrolle der Einhaltung der Grenzwerte zusätzlich zur Eigenüberwachung 3 Messkampagnen hinsichtlich der Stickstoffparameter über 24 h durchgeführt. Die Grenzwerte aller Stickstoffparameter, die entsprechend der wasserrechtlichen Genehmigung bei Temperaturen > 12°C eingehalten müssen, wurden lediglich bei der Messkampagne im Februar 2016 überschritten, jedoch lagen in diesem Zeitraum die Temperaturen unter 12 °C, wodurch dies entsprechend der Genehmigung keiner Grenzwertüberschreitung entspricht.

Die Messkampagne im September 2016 erfolgte nach der Reduzierung des Belebungsbeckenvolumens um 50 %. Die durchgeführte Reduzierung hat keinen negativen Einfluss auf die Reinigungsleistung bezüglich der N-Parameter.

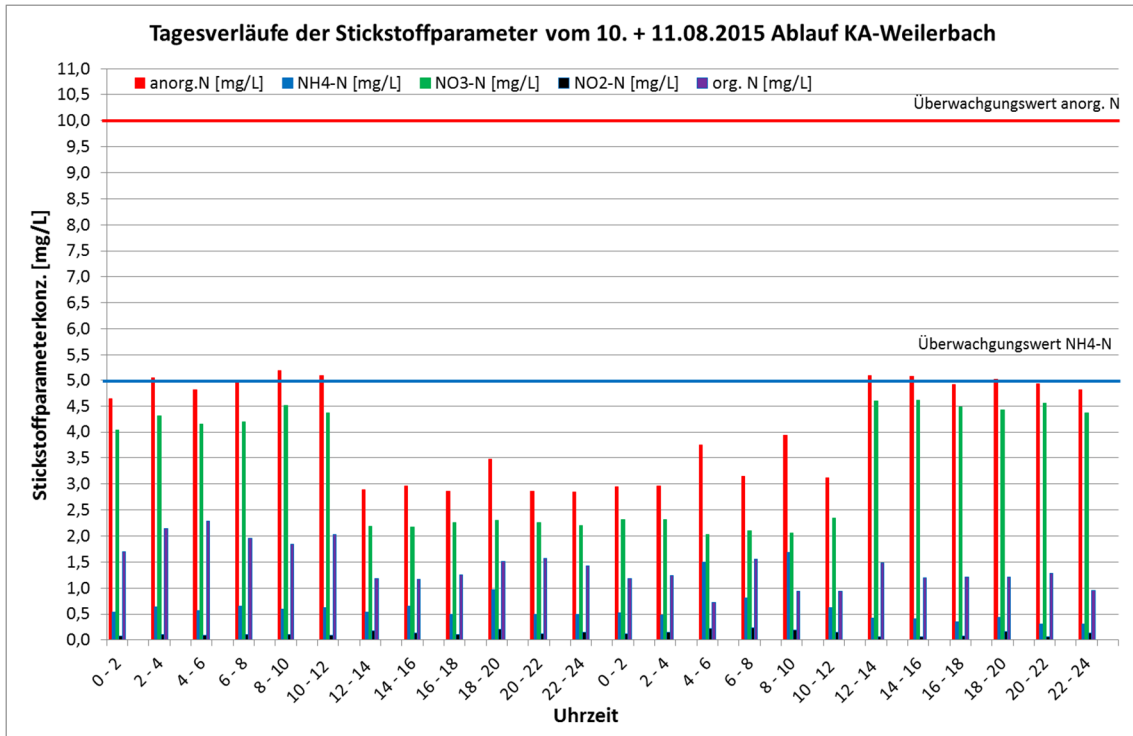


Abbildung 8: N-Messkampagne August 2015

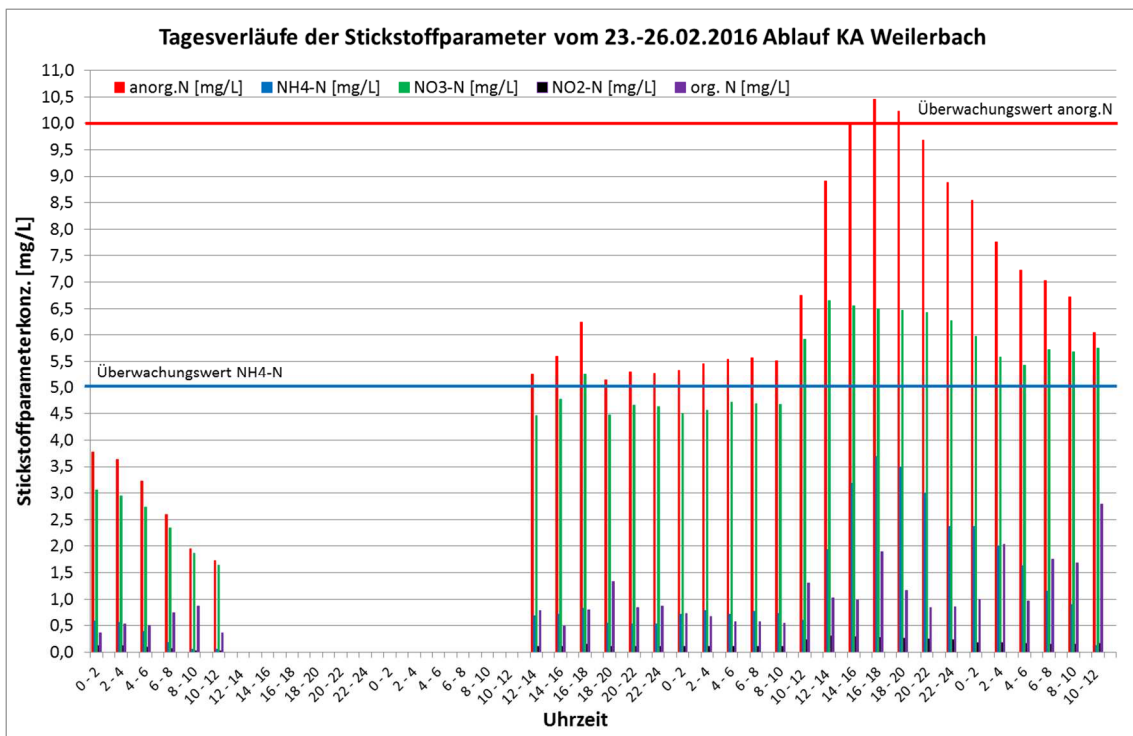


Abbildung 9: N-Messkampagne Februar 2016

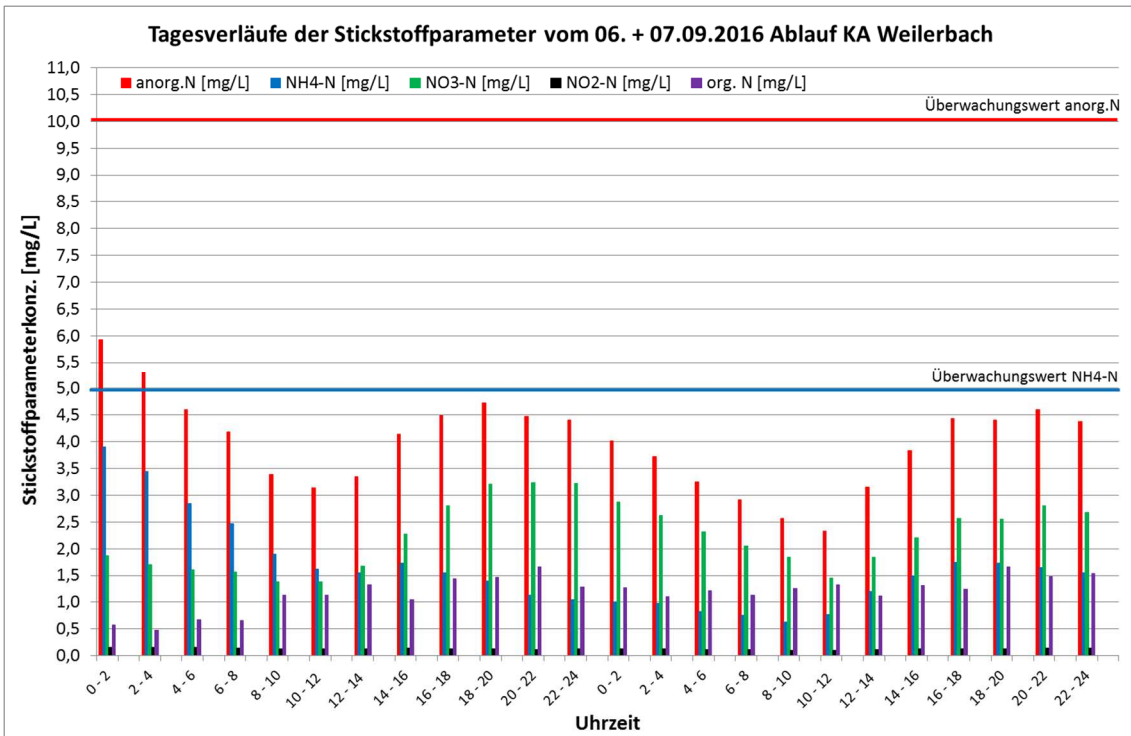


Abbildung 10: N-Messkampagne August 2016

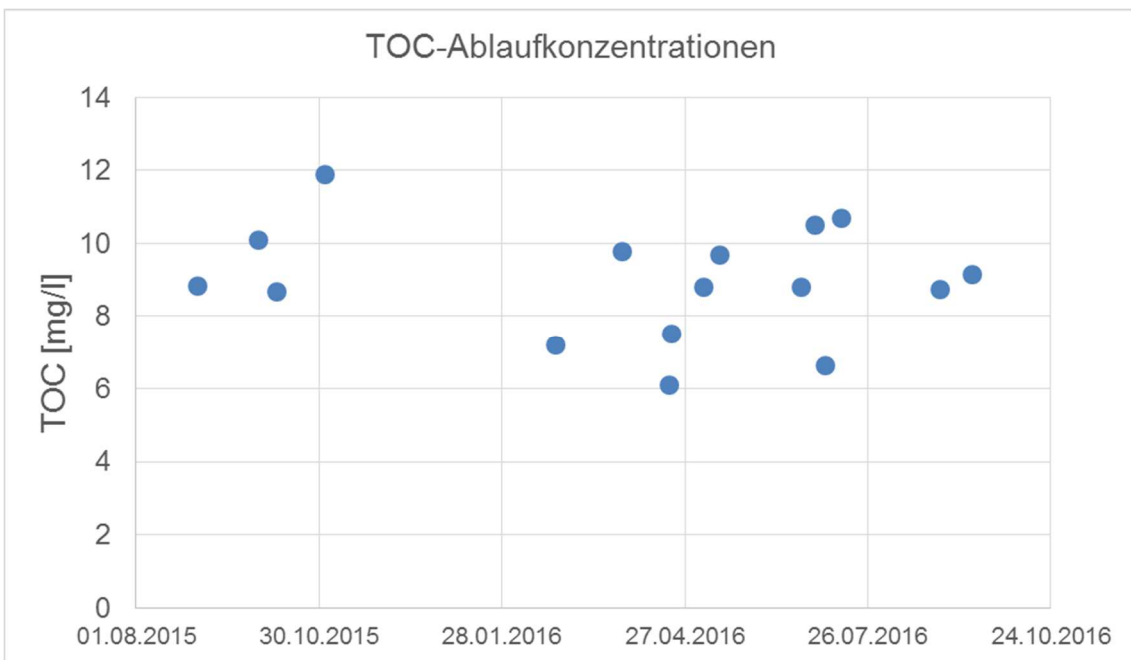


Abbildung 11: TOC-Ablaufkonzentrationen

Die Ablaufkonzentration hinsichtlich TOC während des Betrachtungszeitraums schwankte zwischen ca. 6 und 12 mg/l. Im Mittel ergab sich die TOC-Ablaufkonzentration von 8,95 mg/l.

3.2.3 Schlammfall

Rohschlammfall

In Abbildung 12 ist der tägliche Überschuss-, Primär- und der daraus resultierende Rohschlammfall während des Betrachtungszeitraumes dargestellt, zusätzlich die täglich angefallene Menge an eingedicktem Rohschlamm. Deutlich zu erkennen ist, dass während der Monate Januar und Februar kein Primärschlamm angefallen ist. In diesem Zeitraum wurde die Vorklärung außer Betrieb genommen, da es im Vorfeld zu Betriebsproblemen (siehe Kapitel 3.2.4) in der Hochlastfaulung gekommen war. Daher wurde lediglich ein geringer Teil des Überschussschlammes in die Faulung gefördert und ein großer Teil direkt entwässert.

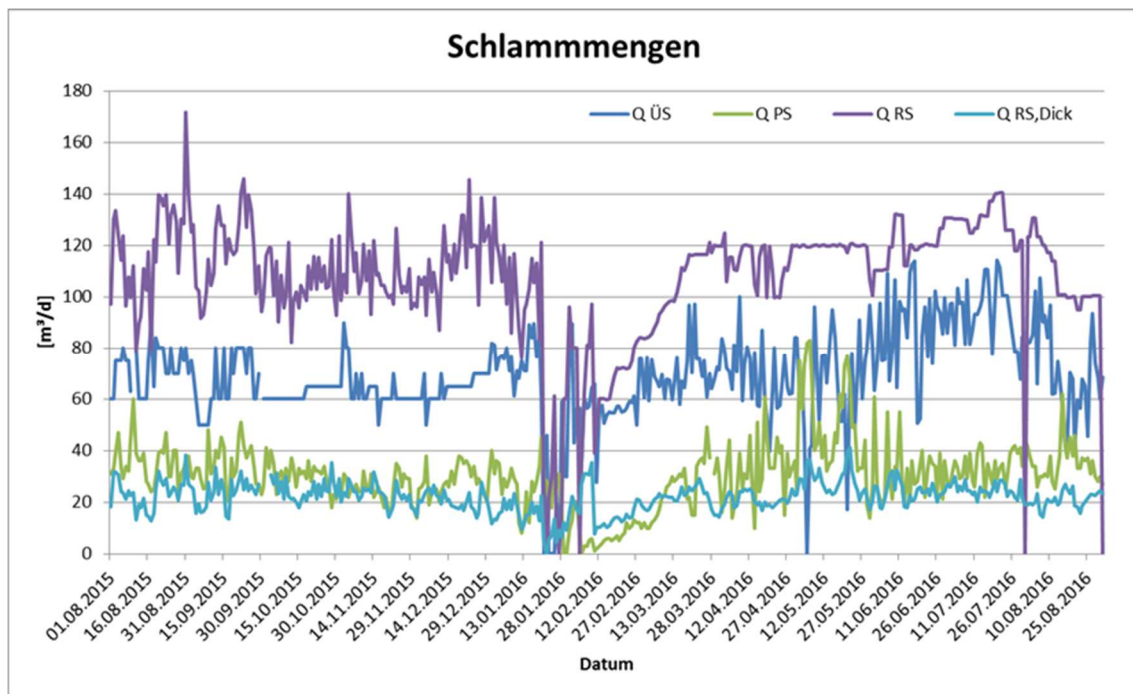


Abbildung 12: Rohschlammfall

Tabelle 5: Rohschlammfall

	Q_{PS}	$Q_{ÜS}$	$Q_{PS} + Q_{ÜS}$	Q_{RS}	$Q_{RS,dick}$
	m^3/d	m^3/d	m^3/d	m^3/d	m^3/d
Minimum	0,0	0,0	18,0	0,0	0,0
Maximum	83,0	114,2	164,3	146,1	41,3
Mittelwert	29,9	69,2	98,8	107,0	21,9
Median	30,0	66,2	97,7	113,3	22,5
85%-Wert	39,4	85,9	122,0	125,4	27,1
Summe	10.899	25.254	36.153	39.171	7.940
Anzahl	365	365	366	366	363

Im Jahresmittel sind täglich ca. 21,9 m³/d eingedickter Rohschlamm angefallen. Der mittlere TS-Gehalt des eingedickten Rohschlammes betrug 64 g/l bei einem Glühverlust (GV) von ca. 76 %. Hieraus ergab sich eine Zulauffracht zur Hochlastfaulung von etwa 510 t TS/a bzw. 390 t oTS/a.

Im Jahr 2014 (Jahr vor der Verfahrensumstellung) ergab sich eine Überschussschlammmenge von ca. 81 m³/d bei einem TS-Gehalt von 9,4 g TS/l bzw. ca. 280 t TS/a bzw. 200 t oTS/a (GV = 71,5 %).

Aufgrund der Dosierung von ca. 220 t Kalk/a und ca. 150 t FeCl₃ für die Schlammkonditionierung und ca. 60 – 80 t/a Natriumaluminat für die P-Fällung ergab sich – vor der Verfahrensumstellung – eine zu entsorgende Schlammmenge nach der Kammerfilterpresse von 2.020 t/a (TS-Gehalt Filterkuchen 28,4 %) bzw. 574 t TS/a.

Faulschlammanfall

Nach der Hochlastfaulung und der Nachvergärung wurde jeweils die Faulschlammmenge sowie deren TS-Gehalt und Glühverlust erfasst.

Der mittlere TS-Gehalt in der Hochlastfaulung betrug 35,3 g/l bei einem Glühverlust von 59 %. Der mittlere TS-Gehalt in der Nachvergärung betrug 33,5 g/l bei einem Glühverlust von 56,3 %. Bei einer Jahresmenge von 7.082 m³/a ergab sich eine TS-Menge von 237 t TS/a bzw. 134 t oTS/a.

Tabelle 6: Faulschlammanfall während des Monitorings

Monat	Zulauf KFP [m ³]	Filterkuchen [t]	Kalk [kg]	FeCl ₃ [kg]
Sep 15	556	72,0	19.680	24.960
Okt 15	652	90,0		24.380
Nov 15	636	85,5	19.940	
Dez 15	542	76,5		24.940
Jan 16	446	81,0	19.800	
Feb 16	439	76,5		24.980
Mrz 16	670	126,0	19.600	25.000
Apr 16	537	85,5		
Mai 16	666	108,0	19.880	24.920
Jun 16	665	112,5		
Jul 16	660	117,0	20.000	24.860
Aug 16	613	94,5	19.620	25.020
Gesamt	7.082	1.125,0	138.520	199.060

Aufgrund der Dosierung von ca. 138,5 t Kalk/a und ca. 199,1 t FeCl₃/a für die Schlammkonditionierung und P-Fällung ergab sich eine zu entsorgende Faulschlammmenge nach der Kammerfilterpresse von 1.125 t/a (TS-Gehalt Filterkuchen 32,7 %) bzw. 368 t TS/a.

Schlamm Bilanz

Nach der Verfahrensumstellung reduzierte sich die zu entsorgende Schlammmenge um 44,3 %. Gleichzeitig konnten ca. 36,6 % der für die Konditionierung eingesetzten Kalkmenge eingespart werden. Da für die P-Dosierung eine Umstellung von Natriumaluminat auf FeCl₃ erfolgte, hat sich die FeCl₃-Menge um ca. 50 t/a erhöht, jedoch werden dadurch in Zukunft ca. 45,5 t/a Natriumaluminat eingespart.

Die Reduzierung der Schlammmenge um über 44 % im Vergleich zum Vorjahr ist deutlich höher als die zu erwartende Reduzierung von ca. 1/3.

Dies ist zum einen auf die Umstellung des Stabilisierungsverfahrens und zum anderen auf die ca. 20 % geringere BSB-Zulaufbelastung der Kläranlage im Vergleich zum Referenzjahr 2014 zurückzuführen. Erhöht man die Schlammengen und den TS-Anfall während des Monitoring um 20 %, ergibt sich eine Differenz zum Referenzjahr von ca. 33 %, bezogen auf die Schlammmenge und ca. 25 % bezogen auf die TS-Menge.

Tabelle 7: Schlamm Bilanz: Vergleich der Schlammengen und Chemikalienverbräuche vor und nach der Verfahrensumstellung

	Schlamm- menge	TS-Anfall nach Entwässerung	oTS-Anfall	Kalkbedarf	FeCl ₃ - Verbrauch	Natrium- aluminat
	t/a	t TS/a	t oTS/a	t/a	t/a	t/a
2014	2.020,5	573,8	199,1	219,1	146,6	45,5
Monitoring	1.125,0	367,9	133,6	138,5	199,1	0
Diff.	-44,3%	-35,8%	-32,9%	-36,8%	+35,6%	-100%

Aufgrund der während des Monitorings durchgeführten Untersuchungen hinsichtlich der Eignung des entwässerten Faulschlammes als Düngemittel (gemäß DüMV) und der hierbei attestierten und genehmigten Eignung als Düngemittel wird der Faulschlamm landwirtschaftlich verwertet.

3.2.4 Gasanfall

Im Betrachtungszeitraum ergab sich ein Gasanfall als Summe aus der Gasproduktion der Hochlastfaulung und der Nachvergärung von ca. 184.993 m³/a bzw. ca. 505,4 m³/d. Der

Methangehalt lag hierbei bei ca. 58 – 64 % (Mittelwert ca. 61 %). Die in der Nachvergärung angefallene Gasmenge betrug ca. 43,5 m³/d (ca. 8,6 % der Gesamtmenge). Der spezifische Gasanfall ergab sich zu ca. 475 l/kg oTS_{zu} und lag damit ca. 5 % unter der durch das Fraunhofer IGB [1] prognostizierten spezifischen Gasmenge von ca. 500 l/kg oTS_{zu}, jedoch um ca. 8 % über der in der Literatur [8] genannten spezifischen Gasproduktion für Rohschlamm. Die spezifische Gasproduktion ergab 23,4 l (EW_{CSB}*d) und lag somit ca. 22 % unter dem Zielwert (30 l/(EW_{CSB}*d)).

Wie aus Abbildung 13 zu entnehmen, ist im Januar/Februar 2016 die Gasproduktion eingebrochen. Dies ist damit zu erklären, dass es, bedingt durch einen spontanen Anstieg der organischen Säuren (neben pH-Wert weiterer Kontrollparameter des Reaktorbetriebs) aufgrund einer kurzfristig zu hohen Feststoff-Beschickung, zu Betriebsproblemen in der anaeroben Schlammstabilisierung gekommen ist, wodurch die Beschickung der Faulung reduziert werden musste.

Betrachtet man nur die verbleibenden 10 Monate (September – Dezember 2015 und März – August 2016), ergibt sich eine mittlere tägliche Gasproduktion von ca. 538,4 m³/d. Hieraus ergibt sich ein spezifischer Gasertrag von 24,9 l/(EW*d), welcher ca. 17 % unter dem Zielwert liegt.

Der geringere spezifische Gasertrag und somit auch der Gesamtgasertrag sind auf die geringere BSB-Belastung im Zulauf zur Kläranlage (-20 %) zurückzuführen.

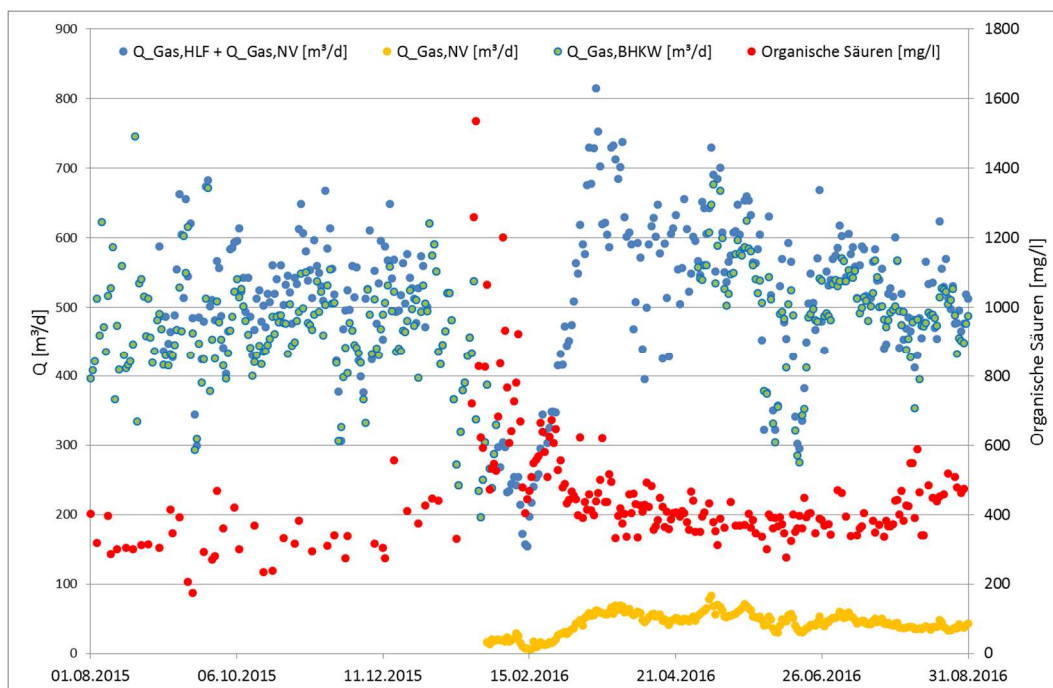


Abbildung 13: Gasanfall und organische Säuren

3.2.5 Stromproduktion und Strombedarf

Der Strombedarf (E_{ges}) vor der Verfahrensumstellung betrug im Referenzjahr 2014 ca. 462.800 kWh/a. Bei einer mittleren Kläranlagenbelastung von 22.200 EW_{CSB} ergibt sich ein spezifischer Energieverbrauch (e_{ges}) von ca. 20,8 kWh/($EW_{CSB} \cdot a$). Bezogen auf den BSB ergibt sich ein einwohnerspezifischer Energiebedarf von ca. 18,9 kWh/($EW_{BSB} \cdot a$).

Nach der Verfahrensumstellung (Betrachtungszeitraum 09/2015 – 08/2016) konnte der Strombedarf trotz zusätzlicher Verbraucher (zusätzlicher Sandfang, Vorklärung und Verbraucher der anaeroben Schlammstabilisierung) auf ca. 448.000 kWh/a reduziert werden. Die Reduktion ist unter anderem auf den reduzierten Energiebedarf der Belüftung durch die Frachtreduzierung aufgrund des Baus der Vorklärung zurückzuführen. Nach der Verfahrensumstellung ergibt sich ein spezifischer Energiebedarf der Belüftung von $e_{Bel} = 7,1$ kWh/($EW \cdot d$).

Bezogen auf die mittlere Kläranlagenbelastung von 21.600 EW_{CSB} im Betrachtungszeitraum ergibt sich trotz zusätzlicher Verbraucher ein unveränderter spezifischer Energiebedarf von ca. 20,8 kWh/($EW_{CSB} \cdot a$) im Vergleich zum Betrieb vor der Verfahrensumstellung. Im Vergleich zu anderen Kläranlagen in Deutschland ist dieser Wert jedoch sehr niedrig. Lediglich 10 % der Kläranlagen der Größenklasse 4 haben einen geringeren spezifischen Gesamtstromverbrauch als die GKA Weilerbach [9].

Während des Monitorings wurden ca. 294.560 kWh/a an Strom mittels Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW) produziert. Hierdurch ergibt sich ein Eigenversorgungsgrad hinsichtlich elektrischer Energie von ca. 66 %. Jedoch ist hierbei zu erwähnen, dass es in den Monaten Januar und Februar 2016 zu Betriebsproblemen in der anaeroben Schlammstabilisierung gekommen ist (Anstieg der organischen Säuren) und dadurch die Beschickung der Faulung reduziert werden musste, wodurch sich der Gasertrag und die Stromproduktion deutlich reduziert haben. Betrachtet man den Eigenversorgungsgrad ohne diese beiden Monate, wird ein elektrischer Eigenversorgungsgrad von ca. 72,2 % während des Monitorings erreicht. Verglichen mit den Angaben des A 216 [9], überschreiten lediglich 15 % der Kläranlagen in Deutschland diesen Wert, jedoch wird im A 216 hierbei nicht nach Größenklassen unterschieden oder ob Co-Substrate verwendet werden. Vor der Betriebsstörung lag der Eigenversorgungsgrad über 10 Monate (März bis Dezember 2015) im Mittel bei über 80 %.

Der geringe Eigenversorgungsgrad wird auf die im Vergleich zum Referenzjahr 2014 um ca. 20 % geringeren Zulaufmengen und dem damit verbundenen geringeren Schlammfall zurückzuführen sein.

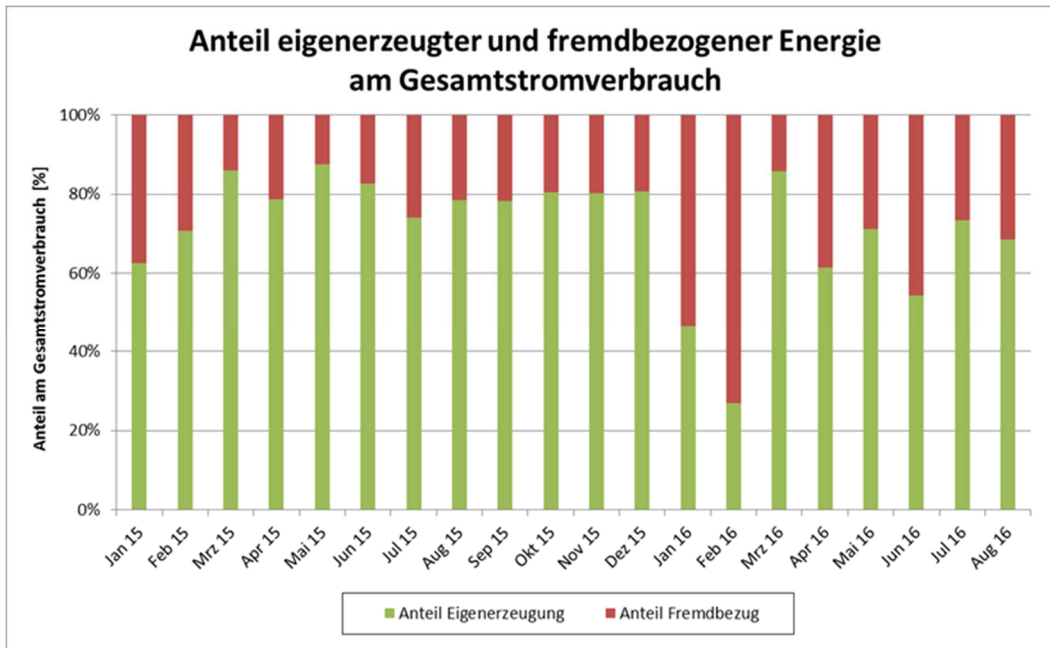


Abbildung 14: Eigenenergieerzeugung (Strom)

Der elektrische Wirkungsgrad der BHKW ergab im Betrachtungszeitraum 28,2 % und lag somit ca. 10 % unter dem Zielwert von 38 % und dem zu erwartenden Wirkungsgrad laut A 216 [9]. Der sehr geringe Wirkungsgrad ergibt sich durch die Modulation der abwechselnd betriebenen BHKW. Die BHKW werden so betrieben, dass der Strombezug weitgehend gering gehalten werden kann. Dadurch läuft mindestens ein BHKW gleichmäßig über 24 h. Stündlich werden, bedingt durch den Gasanfall von unter 500 m³/d, lediglich ca. 38 - 39 kW_{el.} produziert. Folglich wird das betriebene BHKW dauerhaft in einem ungünstigen Modulationsbereich (75 %) betrieben, wodurch sich der Wirkungsgrad deutlich verringert.

Der Eigenversorgungsgrad hinsichtlich Wärme liegt bei 100 %. Seit Inbetriebnahme der BHKW wurde kein externer Energieträger für die Wärmeerzeugung eingesetzt.

3.3 Energieanalyse

Im Zuge des Monitorings wurde eine Energieanalyse laut A 216 durchgeführt (siehe auch Anhang B und C). Der Energieverbrauch der wichtigsten Aggregate wurde mit den anlagenspezifischen Idealwerten verglichen, um einerseits den Erfolg einzelner Maßnahmen zu dokumentieren und andererseits weitere Energieeinsparpotenziale aufzudecken.

Die Energieanalyse hat hierbei gezeigt, dass der aktuelle Energieverbrauch nach der Verfahrensumstellung mit ca.- 448.000 kWh/a ca. 13 % vom Idealwert von 371.800 kWh/a abweicht. Diese Abweichung ist hierbei im Wesentlichen auf drei Verbrauchergruppen zurückzuführen:

- Rücklaufschlammumpen (Bestand vor Umbau)
Die beiden Rücklaufschlammumpen verbrauchen im Vergleich zum berechneten

Idealwert von ca. 2.900 kWh/a aktuell ca. 43.000 kWh/a.

- **RohschlammSpeicherung/-eindickung**
Der Stromverbrauch der RohschlammSpeicherung/-eindickung beläuft sich auf ca. 23.000 kWh/a und weicht damit vom Idealwert um ca. 13.000 kWh/a ab. Dies ist im Wesentlichen auf die Durchmischung (Tauchmotorrührwerk mit Zeit-/Pause-Steuerung) des RohschlammSpeichers (sehr ungünstige Strömungsverhältnisse, da Teilsegment eines runden ehemaligen Eindickers) und den Einsatz eines Mazerators zum Schutz des Scheibeneindickers zurückzuführen.
- **Nachvergärung**
Der Stromverbrauch der Nachvergärung beläuft sich auf ca. 24.000 kWh/a und weicht damit vom Idealwert um ca. 21.000 kWh/a ab. Dies ist im Wesentlichen auf die Durchmischung (Tauchmotorrührwerk im Dauerbetrieb) der Nachvergärung (sehr ungünstige Strömungsverhältnisse, da Teilsegment eines runden ehemaligen Eindickers) zurückzuführen.

3.4 Umweltbilanz

Durch die Verfahrensumstellung ergaben sich keine negativen Veränderungen hinsichtlich der Ablaufqualität der GKA Weilerbach. Auch die Reduzierung des Belebungsbeckenvolumens zeigt keinen Einfluss auf die Ablaufqualität.

Der Zielwert hinsichtlich des spezifischen Gesamtstromverbrauchs (e_{ges}) wurde nicht erreicht, jedoch wurden aufgrund der Reduzierung des Belebungsolumens sowie der Optimierung der Belüftung und der Rücklaufschlammführung weitere Einsparungen im Gesamtstromverbrauch erwartet, die aktuell noch nicht zu beziffern sind. Dies wird sich auch auf den spezifischen Stromverbrauch der Belüftung (e_{bel}) auswirken. Hier wurde der Zielwert von 10 kWh/(EW*a) bereits um 29 % unterschritten (aktuell: 7,1 kWh/(EW*a)). Durch die Optimierung der Belüftung wird eine weitere Reduzierung des spezifischen Strombedarfs der Belüftung erwartet.

Durch die Verfahrensumstellung hat sich der Bezug an elektrischer Fremdenergie von ca. 463 MWh/a auf ca. 151 MWh/a reduziert. Aktuell wird eine Deckung des Eigenenergiebedarfs von ca. 72,2 % (März bis Dez. 2015 ca. 80 %) erreicht, bei einer gleichzeitigen Energieautarkie hinsichtlich der thermischen Energie.

Die Verfahrensumstellung führte somit einerseits durch den reduzierten Gesamtstromverbrauch (E_{ges}) und andererseits durch die energetische Nutzung des anfallenden Klärgases zu einer CO₂-Einsparung gegenüber dem Referenzjahr 2014 um 181,4 t/a bzw. zu einer Reduzierung der CO₂-Emission um ca. 73 %. Der insgesamt verringerte Chemikalieneinsatz (Produktion und Transport), die geringeren Mengen an entwässertem Faulschlamm (Transport und Entsorgung) sowie der Wegfall des Einsatzes von Flüssiggas für die Beheizung des Betriebsgebäudes wurden hierbei nicht berücksichtigt.

Die zu entsorgende entwässerte Schlammmenge konnte um mehr als 44 % (- 895,6 m³/a) reduziert werden. Vergleichbares gilt für die zu entsorgende oTS-Menge, die sich um ca. 35,8 % (- 65,5 t oTS/a) verringerte.

Tabelle 8: Vorher-Nachher-Vergleich

Anlagenteil	Parameter	Vorher (2014)	Ziel	Nachher (09/15-08/16)
KA gesamt	E _{ges} (MWh/a)	463	470	448
	e _{ges} (kWh/(E*a))	20,8	19,5	20,8(CSB) 18,9 (BSB)
	CO ₂ -Äquivalente (t/a)	248 ¹		66,6 ²
	Einsparung CO ₂ -Äquivalente (t/a)	-	248 ²	181,4 ²
Belüftung	e _{Bel} (kWh/(E*a))	k.A.	10	7,1
Faulung	spez. Faulgas-produktion (l/(E*d))	-	30	23,4 (24,9) ²
	Grad der Faulgasnutzung (%)	-	100	100
	el. Wirkungsgrad der FG-Nutzung η _{elek} (%)	-	38	28,2
	Eigenversorgungsgrad Wärme EV _{th} (%)	-	100	100
	Eigenversorgungsgrad Strom EV _{elek} (%)	-	100	66,2 (72,2 bzw. 80) ³
Klärschlammanfall	Einsparung Schlammmenge (%)	-	30	44,3
	Reduzierung zu entsorgender TS	-	30	35,8
Chemikalienbedarf	Einsparung Kalk	-	30	36,8
	Einsparung FeCl ₃	-	30	-35,6
	Einsparung Natriumaluminat	-	-	100

Durch die geringere Schlammmenge hat sich auch der Verbrauch des für die Schlammkonditionierung verwendeten Kalks um 36,8 % auf 219,1 t/a verringert. Die Menge des ebenfalls für die Konditionierung eingesetzten FeCl₃ hat sich um ca. 35,6 % (52,5 t/a) erhöht, jedoch ist dies auf die Umstellung des Fällungsmittels von Natriumaluminat auf FeCl₃ zurückzuführen. Im Gegenzug konnten somit ca. 45,5 t/a Natriumaluminat eingespart werden. Eine Zusammenstellung bzw. Gegenüberstellung der Ergebnisse vor und nach der Verfahrensumstellung und ein Vergleich gegenüber den gesetzten Zielen ist der nachfolgenden Tabelle 8 zu entnehmen.

Einige Ziele konnten während des Monitorings nicht erreicht werden, dies ist aber im Wesentlichen auf die um ca. 20 % geringere Zulaufbelastung zurückzuführen. Die erreichte

¹ Faktor: 0,535 kg/kWh [10]

² Ohne Berücksichtigung der spezifischen Gasproduktion während der Betriebsprobleme der HLF

³ Je nach Betrachtungszeitraum ergeben sich Werte von ca. 80% für Zeiträume von mehr als 10 Monate

spezifische Gasproduktion von 475 l/kg oTS_{zu} ist für eine nicht optimal ausgelastete Hochlastfaulung (Schlammbelastung deutlich geringer als 8 kg/(m³*d) nur unwesentlich unter der zu erwartenden Gasmenge von 490 l/(kg*d). Dies würde bedeuten, dass bei einer um 20 % höheren Kläranlagenbelastung ebenfalls die Gasproduktion und somit auch der Eigenversorgungsgrad um 20 % höher wären. Zudem würde sich der elektrische Wirkungsgrad der BHKW verbessern, da diese dann in einem besseren Modulationsbereich (annähernd unter Vollast) betrieben werden könnten.

3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Durch die Umstellung der GKA Weilerbach von aerober Schlammstabilisierung auf anaerobe Schlammstabilisierung mittels Hochlastfaulung mit anschließender Nachvergärung reduzieren sich die Betriebskosten (Energie, Betriebsmittel und Schlamm Entsorgung) für den Betrieb der GKA Weilerbach ab der Inbetriebnahme der neuen Anlagenteile um ca. 113.000 €/a (-68 %) und die Jahreskosten (entsprechend LAWA, 2012) um ca. 150.000 €/a. Hierbei wurde von einem Zinssatz von 2,5 % und einer Preissteigerung für Betriebsmittel von 1,5 % und für Energiekosten von 4 % ausgegangen. Auf Basis dieser Jahreskosteneinsparung wird eine Amortisation nach ca. 17 a erreicht.

Aufgrund der Anschlussgröße der GKA Weilerbach und der vorhandenen Personalstärke wurde mit der Hochlastfaulung und der anschließenden Nachvergärung ein einfaches und betriebssicheres Verfahren gewählt. Als mögliche Alternative kommt nur die Realisierung einer konventionellen Faulung in Betracht. Da das erforderliche Faulbehältervolumen dann jedoch mindestens 2-3mal so groß wie bei der betrachteten Maßnahme ist, sind die Baukosten keinesfalls geringer. Auch der Aufwand für die Durchmischung des Faulbehälters beim konventionellen Verfahren, aufgrund der größeren Volumina, würde höher ausfallen. Die sonstigen Kosten für die Chemikaliendosierung und die Kosten für die Entsorgung der anfallenden Schlämme würden gleich bleiben. Vor diesem Hintergrund wurde auf einen expliziten Wirtschaftlichkeitsvergleich dieser beiden Verfahren verzichtet.

3.6 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Durch eine Hochlastfaulung mit Nachvergärung kann im Vergleich zu einer konventionellen Schlammstabilisierung die Gasproduktion und somit die Energieerzeugung maximiert werden. Die Kombination mit einer Nachvergärung wurde in dieser Form großtechnisch noch nicht realisiert. Es wurde somit gezeigt, wie eine erhöhte spezifische Gasproduktion (l/(kg o TS_{zu})) zu einer optimierten Klärgasausbeute führt und somit das im Abwasser einer kommunalen Kläranlage enthaltene stoffliche Energiepotential weitgehend nutzbar gemacht werden kann.

4 Übertragbarkeit

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Die Projektdurchführung hat gezeigt, dass die Implementierung einer Hochlastfaulung bzw. einer anaeroben Schlammfaulung auf einer bestehenden Kläranlage bei einer ausreichenden Schulung des Betriebspersonals problemlos umzusetzen ist. Der Anlagenbetrieb läuft weitgehend stabil, lediglich zu Beginn des Jahres 2016 ergaben sich Betriebsprobleme aufgrund einer kurzfristig zu hohen Feststoff-Beschickung der Faulung und der damit bedingten Versäuerung des Reaktors.

4.2 Modellcharakter/Übertragbarkeit

Die GKA Weilerbach steht modellhaft für ca. 50 % der Kläranlagen der Größenklasse 4 beispielweise in Rheinland-Pfalz [11], die immer noch eine aerobe Stabilisierung praktizieren, obwohl häufig unter energetischer und ökonomischer Sicht eine Verfahrensumstellung hin zu einer anaeroben Stabilisierung empfehlenswert ist. Die meisten dieser Kläranlagen werden eine Co-Vergärung nicht realisieren können. Sobald die Energieeinsparpotentiale ausgeschöpft sind, wird es darauf ankommen, wie viel Energie maximal erzeugt werden kann. Hier kann anhand der GKA Weilerbach gezeigt werden, was technisch und mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand möglich ist.

Es konnte gezeigt werden, dass durch die Kombination einer einstufigen Hochlastfaulung mit einer Nachvergärung der spezifische Klärgasertrag ($475 \text{ l}/(\text{kg oTS}_{\text{zu}})$) im Vergleich zur konventionellen Faulung (ca. $400 - 440 \text{ l}/(\text{kg oTS}_{\text{zu}})$) um ca. 8 - 10 % gesteigert werden kann. Dies ist im Wesentlichen auf den zusätzlichen Gasertrag aus der Nachvergärung (ca. 8,6 %) zurückzuführen.

Für bestehende Anlagen mit anaerober Schlammstabilisierung, deren Reaktorvolumen zu gering dimensioniert ist, kann dies bedeuten, dass man vorhandene Schlamm Speichervolumina zu einer Nachvergärung umbaut. Damit kann zusätzliches Reaktorvolumen bei vergleichsweise niedrigen Investitionskosten geschaffen und so ein zusätzlicher Gasertrag erzielt werden.

Bei einem Neubau besteht die Möglichkeit, mit einer Hochlastfaulung platzsparend eine anaerobe Schlammstabilisierung zu realisieren und durch Nutzung von vorhandenem, freiem Eindickervolumen als Nachvergärung die Investitionskosten zu minimieren.

5 Zusammenfassung

– Einleitung

Die Verbandsgemeinde Weilerbach betreibt seit mehr als 25 Jahren die Gruppenkläranlage Weilerbach mit einer ursprünglichen Ausbaugröße von 16.500 EW.

Die Gruppenkläranlage Weilerbach wurde als aerob stabilisierende Belebtschlammanlage mit einem spezifischen Energieverbrauch von ca. $20 \text{ kWh}_{\text{el}}/(\text{EW} \cdot \text{a})$ betrieben. Aufgrund der günstigen Voraussetzungen auf der GKA Weilerbach wurde das Behandlungsverfahren auf ein aerobes Belebtschlammverfahren mit anaerober Stabilisierung mittels Hochlastfaulung und Nachvergärung umgestellt.

– Vorhabenumsetzung

Ziel des Vorhabens war, das Behandlungsverfahren nach einer Konzeption der HYDRO-Ingenieure Energie & Wasser GmbH Kaiserslautern auf eine anaerobe Stabilisierung mit Hochlastfaulung und Nachvergärung umzustellen. Die Nutzung des anfallenden Methangases soll über Kraft-Wärme-Kopplung erfolgen. Der Strombedarf soll weitergehend durch Optimierung der Prozesssteuerung und den Einsatz von hocheffizienten Motoren minimiert werden.

Durch eine Verfahrensumstellung zur anaeroben Schlammstabilisierung mittels Hochlastfaulung und anschließender Nachvergärung soll ein energieautarker Betrieb der Gruppenkläranlage erreicht werden, d. h. es werden künftig weder Strom noch Brennstoffe von außen zugeführt. Modellhaft soll so gezeigt werden, dass unter weitestgehender Ausnutzung der Energieeinsparpotenziale und der Optimierung der Faulgasausbeute mittelgroße Kläranlagen energieautark betrieben werden können.

Für die Realisierung der anaeroben Schlammstabilisierung mittels Hochlastfaulung mit anschließender Nachvergärung auf der GKA Weilerbach wurden neben dem Bau der Hochlastfaulung weitere verfahrenstechnische und bauliche Maßnahmen realisiert:

- Erweiterung der mechanischen Reinigungsstufe um eine Sand- und Fettfang-Straße sowie einer Vorklärung.
- Schlammeindickung mittels maschineller Schlammeindickung
- Gasspeicherung, -aufbereitung und -verwertung mittels Doppelmembran-gasspeicher, Aktivkohlefilter und BHKW.

Das erzeugte Klärgas wird vollständig in einem BHKW verwertet und in elektrischen Strom und Wärme umgewandelt.

– Ergebnisse

Die Projektdurchführung hat gezeigt, dass die Implementierung einer Hochlastfaulung bzw. einer anaeroben Schlammfaulung auf einer bestehenden Kläranlage bei einer ausreichenden Schulung des Betriebspersonals problemlos umzusetzen ist. Der Anlagenbetrieb lief weitgehend stabil, lediglich zu Beginn des Jahres 2016 ergaben sich Betriebsprobleme aufgrund einer kurzfristig zu hohen Feststoff-Beschickung der Faulung und der damit bedingten Versäuerung des Reaktors.

Durch die Verfahrensumstellung hat sich der Bezug an elektrischer Fremdenergie um ca. 312 MWh/a reduziert. Aktuell wird eine Deckung des Eigenenergiebedarfs von ca. 72,2 % (März bis Dez. 2015 ca. 80 %) erreicht bei einer gleichzeitigen Energieautarkie hinsichtlich der thermischen Energie.

Der spezifische Energiebedarf für die Belüftung konnte auf 7,1 kWh(EW*a) reduziert werden, ohne eine negative Beeinflussung der Ablaufqualität.

Die angestrebten Ziele hinsichtlich des Eigenversorgungsgrades wurden somit nur teilweise erreicht, werden aber weiterhin verfolgt.

Aktuell realisierte Maßnahmen wie die Reduzierung des Belebungsvolumens (Reduzierung Belüftungsenergie und Schlammalter/Erhöhung Energiegehalt des ÜS) und die Optimierung der Rücklaufschlammführung sollen den Eigenversorgungsgrad der GKA Weilerbach weiter erhöhen ohne die Ablaufqualität negativ zu beeinflussen.

Die Verfahrensumstellung führte somit einerseits durch den reduzierten Gesamtstromverbrauch (E_{ges}) und andererseits durch die energetische Nutzung des anfallenden Klärgases zu einer CO₂-Einsparung von 181,4 t/a, bzw. gegenüber dem Referenzjahr 2014 zu einer Reduzierung der CO₂-Emmission um ca. 73%.

Die Reduzierung der CO₂-Emmission durch den verringerten Chemikalieneinsatz (Produktion und Transport) und den geringeren Mengen an entwässertem Faulschlamm (Transport und Entsorgung) sowie den Wegfall des Einsatzes von Flüssiggas für die Beheizung des Betriebsgebäudes wurden hierbei nicht berücksichtigt.

Die zu entsorgende entwässerte Schlammmenge konnte um mehr als 44 % (- 895,6 m³/a) reduziert werden. Vergleichbares gilt für die zu entsorgende oTS-Menge die sich um ca. 65,5 t oTS/a (-35,8 %) verringerte.

Durch die geringere Schlammmenge hat sich auch der Verbrauch des für die Schlammkonditionierung als Entwässerungshilfsstoff verwendeten Kalks um 36,8 % auf 219,1 t/a verringert

Es konnte gezeigt werden, dass durch die Kombination einer einstufigen Hochlastfaulung mit einer Nachvergärung der spezifische Klärgasertrag (475 l/(kg oTS_{zu})) im Vergleich zur konventionellen Faulung (ca. 400 -440 l/(kg oTS_{zu})) um ca. 8 -10 % gesteigert werden kann. Dies ist im Wesentlichen auf den zusätzlichen Gasertrag aus der Nachvergärung (ca. 8,6 %) zurückzuführen.

Durch die Umstellung der GKA Weilerbach von aerober Schlammstabilisierung auf anaerobe Schlammstabilisierung mittel Hochlastfaulung mit anschließender

Nachvergärung reduzieren sich die Jahreskosten ab der Inbetriebnahme um ca. 150.000 €/a.

– **Ausblick**

Die GKA Weilerbach steht modellhaft für ca. 50 % der Kläranlagen der Größenklasse 4, die immer noch eine aerobe Stabilisierung praktizieren, im Hinblick auf die anstehende „energetische Wende“ jedoch gehalten sein werden, das Reinigungsverfahren auf eine anaerobe Stabilisierung umzustellen. Sobald die Energieeinsparpotentiale ausgeschöpft sind, wird es darauf ankommen, wie viel Energie maximal erzeugt werden kann. Hier kann anhand der GKA Weilerbach gezeigt werden, was technisch und mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand möglich ist.

Aus den Ergebnissen kann für bestehende Anlagen mit anaerober Schlammstabilisierung abgeleitet werden, dass man durch die Nutzung vorhandener Schlamm Speicher, die entsprechend umrüstet werden, einen zusätzlichen Gasertrag erzielen kann.

Für bestehende Anlagen mit anaerober Schlammstabilisierung, deren Reaktorvolumen zu gering dimensioniert ist, kann dies bedeuten, dass man vorhandene Schlamm Speichervolumina zu einer Nachvergärung umbaut, um damit zusätzliches Reaktorvolumen bei vergleichsweise niedrigen Investitionskosten zu schaffen.

Bei einem Neubau besteht die Möglichkeit, mit einer Hochlastfaulung platzsparend eine anaerobe Schlammstabilisierung zu realisieren und durch Nutzung von vorhandenem, freiem Eindickervolumen als Nachvergärung die Investitionskosten zu minimieren.

6 Summary

– Introduction

The associations of municipalities Weilerbach has been operating the Weilerbach WWTP⁴ for 25 years. It was originally dimensioned for 16,500 PE⁵.

The Weilerbach WWTP was initially operated as an aerobic activated sludge stabilisation plant with a specific power consumption of approximately 20 kWh_{el}/(PE*a)⁶. The favourable conditions at the Weilerbach WWTP allowed the treatment process to be converted to an aerobic activated sludge process with anaerobic stabilisation by means of high-load digestion and post-digestion.

– Project implementation

The goal of the project was to convert the treatment process to anaerobic stabilisation with high-load digestion and post-digestion based on a concept developed by HYDRO-Ingenuere Energie & Wasser GmbH Kaiserslautern. The biogas produced can be used by means of combined heat and power unit. It is, furthermore, intended to minimise power requirements by optimising process control and using high-efficiency motors.

The conversion of the former treatment process to anaerobic sludge stabilisation by means of high-load digestion and post-digestion is aimed to achieve energy self-sufficient operation of the WWTP, i.e. in the future, no electricity or fuel will be sourced from external suppliers. This project is intended to serve as a model to demonstrate that energy self-sufficient operation of medium-sized sewage treatment plants can be made possible by making the greatest use possible of the energy savings potential and optimising the biogas yield.

For implementation of anaerobic sludge stabilisation by means of high-load digestion with post-digestion at the Weilerbach WWTP, further process engineering and building measures were required, along with the construction of the high-load digester:

- Extension of the mechanical treatment stage by the addition of an aerated grit chamber/grease trap line and a primary clarifier.
- Mechanical sludge thickening.
- Gas storage, gas treatment and gas utilisation by means of a double-membrane gas storage tank, activated carbon filter and CHP⁷ unit.

The biogas generated is fully utilised in a CHP unit and converted into electrical power and heat.

⁴ WWTP: Wastewater treatment plant

⁵ PE: People equivalents

⁶ kWh_{el}/(PE*a): kilowatt hours of electricity per people equivalent and year

⁷ CHP: Combined heat and power

– Project Results

The completion of this project has shown that a high-load digestion or an anaerobic sludge digestion process can be implemented in an existing sewage treatment plant without difficulty, given adequately trained operating staff. Plant operations have largely been stable, with the exception of the beginning of 2016, when operating problems were experienced due to a short-term overload of solids in the digester and the resulting acidification of the reactor.

As a result of process conversion, the external supply of electrical power has been reduced by approximately 312 MWh/a⁸. At present, approximately 72.2% of the energy requirements are being met by the plant itself (March to Dec. 2015 approximately 80%) with a simultaneous self-sufficiency in regard to thermal energy.

The specific energy demand for aeration has been reduced to 7.1 kWh_{el} (PE*a) without negatively influencing effluent quality.

The energy self-sufficiency targets have thus been partially achieved and are still being pursued.

Measures currently implemented, such as the reduction of the activated sludge volume (reduction in aerating energy and sludge age/increase of energy content in the excess sludge) and optimisation of the return sludge flow should further increase the level of self-sufficiency at the Weilerbach WWTP without adversely affecting effluent quality.

Through the reduction in the total electricity consumption (E_{tot} ⁹) and also as a result of the energetic utilisation of the biogas produced, the process conversion has led to a CO₂¹⁰ reduction of 181.4 tonnes/a or, in comparison to the reference year of 2014, to a reduction in CO₂ emissions of approximately 73%.

The decrease in CO₂ emissions achieved by the reduced amounts of chemicals (production and transport) and dewatered digested sludge used (transport and disposal), and by discontinuing the use of liquid gas to heat the plant, was not taken into account.

The amount of dewatered sludge to be disposed of has been reduced by more than 44% (-895.6 m³/a). The same applies to the volume of organic dry matter requiring disposal, which was decreased by about 65.5 tonnes oDS/a¹¹ (-35.8%).

Due to the reduced volume of sludge, the amount of lime used as a dewatering additive for sludge conditioning has also been reduced by 36.8% to 219.1 tonnes/a.

It was shown that combining single-stage high-load digestion with post-digestion can increase the specific biogas yield (475 l/(kg oDS_{input}¹²)) by roughly 8 - 10% in comparison to conventional digestion (approximately 400-440 l/kg oDS_{input}). This is essentially due to the additional gas yield resulting from post-digestion (approximately 8.6%).

⁸ MWh/a: Megawatt hours per year

⁹ E_{tot} : Total electricity consumption

¹⁰ CO₂: Carbon dioxide

¹¹ Tonnes oDS/a: Tonnes organic dry matter per year

¹² l/kg oDS_{input}: litres per kilogram organic dry matter to the digester

Since the conversion of the Weilerbach WWTP treatment process from aerobic sludge stabilisation to anaerobic sludge stabilisation by means of high-load digestion with subsequent post-digestion, the annual costs have been reduced by approximately €150,000/a.

– **Prospects**

The Weilerbach WWTP serves as a model for roughly 50% of Category 4 sewage treatment plants that still practise aerobic stabilisation but which, in view of the upcoming "energy revolution", will be required to convert the treatment process to anaerobic stabilisation. As soon as the energy-saving potentials are exhausted, the maximum amount of energy that can be generated will be decisive. In this respect, the Weilerbach WWTP can be used to show what is technically possible at reasonable costs.

The results indicate that an additional biogas yield can be generated in current anaerobic sludge stabilisation plants by using existing sludge storage tanks that need to be converted accordingly.

For existing anaerobic sludge stabilisation plants in which the reactor volume is too small, this can mean that existing sludge storage volumes need to be converted into post-digestion reservoirs to create additional reactor volume at comparatively low investment costs.

In the case of a newly built plant, anaerobic sludge stabilisation can be implemented by using a space-saving high-load digester, while investment costs can be minimised by using unused existing thickener volumes for post-digestion.

7 Literatur

- [1] Fraunhofer IGB (2012): Abschlussbericht – Voruntersuchungen zur anaeroben Vergärung von Primär- und Sekundärschlamm der GKA Weilerbach
- [2] Kempter, B., Schmid-Staiger, U., Trösch, W. (2000): Verbesserter Abbau von kommunalen Klärschlämmen in einer zweistufigen Hochlast-Vergärungsanlage. KA Wasserwirtschaft Abwasser Abfall, 9/2000.
- [3] Kempter-Regel, B., Oehlke, M., Weber, J., Trösch, W. (2003): Integration einer Hochlastfaulung in die herkömmliche Technik: Erste Bilanzierungsergebnisse der Schlammfaulung in Heidelberg. KA Wasserwirtschaft Abwasser Abfall, 11/2003.
- [4] Haberkern, B. (2008): Energiepotenziale auf Kläranlagen, Vortrag auf der DWA-Fachtagung Energie 18. Juni 2008 in Neuhausen.
- [5] Spatzierer, G. (2012): 19. ÖWAV Kläranlagenleistungsvergleich Ergebnisse 2011, Vortrag bei der 21. Sprechertagung der ÖWAV-Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften, 5./6. September 2012, Pregarten.
- [6] Bischof, F. (2009): Verfahrenstechnische Potenziale für energieeffizientere Kläranlagen und deren Anforderungen in der Zukunft, Vortrag beim 3. Wissenschaftstag der Metropolregion Nürnberg, Amberger Congress Centrum, 26. Mai 2009.
- [7] Keicher, K.; Krampe, J.; Rott, U., Ohl, M.; Blesl, M.; Fahl, U. (2004): Systemintegration von Brennstoffzellen auf Kläranlagen – Potenzialabschätzung für Baden-Württemberg. Schlussbericht - Förderkennzeichen: BWI 22006, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart 2004
- [8] DWA-M 368 (2014): Biologische Stabilisierung von Klärschlämmen, Juli 2014
- [9] DWA A 216 (2015): Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen, Dezember 2015
- [10] UBA (2016): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2015.
- [11] Schmitt, T.; Gretschel, O.; Hansen, J.; Siekmann, K. (2010): Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen mit anaerober Schlammbehandlung vor dem Hintergrund der energetischen Rahmenbedingungen und der Abwassertechnischen Situation in Rheinland-Pfalz – MawaS; Modul 1, Kaiserslautern 2010

8 Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
BSB	Biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen
CH ₄	Methan
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
ΔH	Höhendifferenz
DüMV	Düngemittelverordnung
e _B	spezifischer Strombedarf der Belüftung
e _{bel}	Stromverbrauch der Belüftung
e _{ges}	spezifischer Strombedarf der Gesamtanlage
E _{ges}	Gesamtenergiebedarf
EMSR-Technik	Elektrische Mess-, Steuer- und Regeltechnik
EÜVOA	Landesverordnung über die Eigenüberwachung von Abwasseranlagen
EV _{th}	Eigenversorgungsgrad Wärme
EV _{elek}	Eigenversorgungsgrad Strom
EW	Einwohner
FeCl ₃	Eisen(III)chlorid
GKA	Gruppenkläranlage
GV	Glühverlust
η _{el.}	Elektrischer Wirkungsgrad
HLF	Hochlast-Faulung
ICP	Massenspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma
KFP	Kammerfilterpresse
N _{ges}	Gesamtstickstoff
NH ₄ -N	Ammonium-Stickstoff
NO ₃ -N	Nitrat-Stickstoff
NV	Nachvergärung
oTR	Organischer Trockenrückstand
oTR _{FS}	Organischer Trockenrückstand im Faulschlamm
oTR _{RS}	Organischer Trockenrückstand im Rohschlamm
oTR _{zu}	Organischer Trockenrückstand im Zulauf zu Faulung

oTS	Organischer Trockensubstanzgehalt
oTS _{zu}	Organischer Trockensubstanzgehalt im Zulauf zur Faulung
P _{ges}	Gesamt-Phosphor
pH _{Faulung,HLF}	pH-Wert HLF
pH _{Faulung,NV}	pH-Wert NV
PO ₄ -P	Phosphat-Phosphor
Q _{Gas/CH₄;BHKW}	Klärgas-/Methanverbrauch BHKW
Q _{Gas/CH₄;HLF}	Klärgas-/Methananfall HLF
Q _{Gas/CH₄;NV}	Klärgas-/Methananfall NV
Q _{PS}	Primärschlammanfall
Q _{RS}	Rohschlammanfall
Q _{RS,eingedickt}	Rohschlammanfall, eingedickt
Q _{Umwälzung,HLF}	Umwälzmenge HLF
Q _{Umwälzung,NV}	Umwälzmenge NV
Q _{ÜS}	Überschussschlammanfall
T _{Faulung,HLF}	Temperatur HLF
T _{Faulung,NV}	Temperatur NV
T _{Nb}	gebundener Gesamtstickstoff
TOC	Gesamter organischer Kohlenstoff
TR	Trockenrückstand
TR _{FS}	Trockenrückstand Faulschlamm
TR _{PS}	Trockenrückstand Primärschlamm
TR _{RS}	Trockenrückstand Rohschlamm
TR _{RS,eingedickt}	Trockenrückstand Rohschlamm, eingedickt
TR _{ÜS}	Trockenrückstand Überschussschlamm
TS	Trockensubstanzgehalt
ÜS	Überschussschlamm
VKB	Vorklärbecken

9 Anhang

- Anhang A: „Wissenschaftliche Begleitung der Hochlastfaulung mit Nachvergärung der Kläranlage Weilerbach“, Zentrum für innovative AbWassertechnologie – tectraa, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der TU Kaiserslautern, Februar 2017
- Anhang B: „Energieanalyse der Kläranlage Weilerbach“, Zentrum für innovative AbWassertechnologie – tectraa, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der TU Kaiserslautern, Januar 2017
- Anhang C: „Nachtrag zur Energieanalyse der Kläranlage Weilerbach“, Zentrum für innovative AbWassertechnologie – tectraa, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der TU Kaiserslautern, Mai 2017