

# Optimierung der Klärschlammbehandlung und Faulgasverwertung auf der Kläranlage „Untere Selz“

Thomas Siekmann, Christoph Weisrock

Segbachstr. 9, 56743 Thür; Heinrich-Wieland-Str. 11, 55218 Ingelheim am Rhein

**Kurzfassung:** Die im Jahre 1958 errichtete, ursprünglich rein mechanisch arbeitende Kläranlage Untere Selz wurde 1982 in ein mechanisch-biologisches Klärwerk für eine Ausbaugröße von 92.500 EW umgebaut. Im Zeitraum von 1997 bis 1999 erfolgte die Umrüstung und Erweiterung der Anlage auf das Reinigungsziel Nährstoffelimination bei einer Ausbaugröße von 110.000 EW. Neben einer Erweiterung der Belebung war hierbei der Bau einer Mikrosiebung als „Nachreinigungsstufe“ zu den vorhandenen Nachklärbecken die wesentliche Maßnahme. Aufgrund von Betriebsproblemen wurde die Mikrosiebung 2005 durch den Neubau von zwei Nachklärbecken ersetzt. Außerdem wurden ein neues Rücklauf- und Überschussschlammumpwerk sowie ein neuer Faulturm in Stahlbauweise als Ergänzung zu den beiden alten Betonfaultürmen gebaut. Die heutige Verfahrensführung der biologischen Abwasserreinigung entspricht im Wesentlichen noch den damaligen Grundlagen. Aufgrund der Veränderung von verschiedenen Rahmenbedingungen (z. B. Belastungssituation), notwendig gewordener verfahrenstechnischer und baulicher Maßnahmen sowie zur nachhaltigen Optimierung der Klärschlammbehandlung und Faulgasverwertung wurde für die Kläranlage „Untere Selz“ ein Zukunftskonzept erstellt.

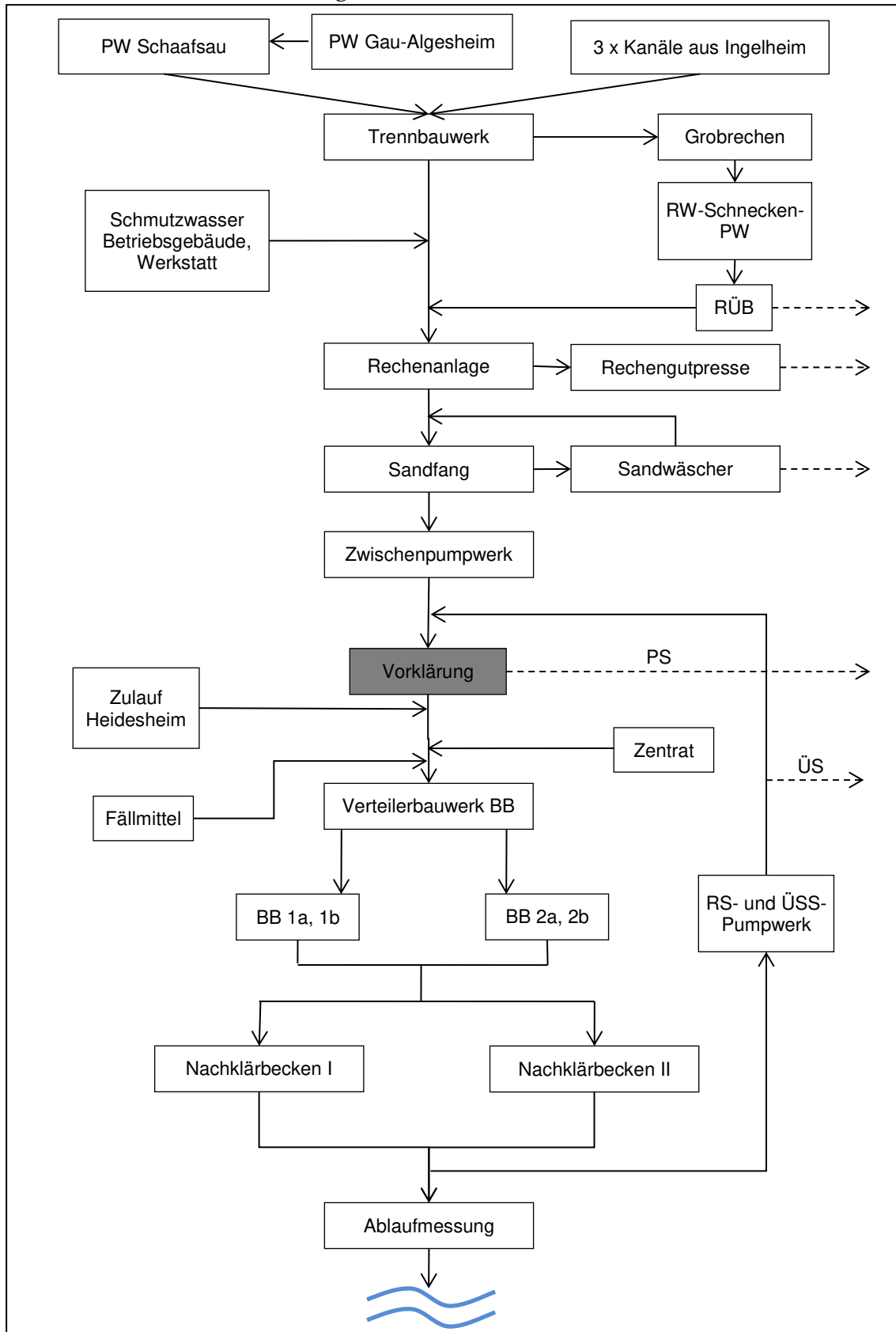
**Key-Words:** Klärschlammbehandlung, Klärschlammfäulung, Energetische Optimierung, Faulgasverwertung

## 1 Ausgangssituation

### 1.1 Abwasserweg

Die Abwasserreinigung erfolgt gemäß dem im Folgenden dargestellten Schaubild. Nach Hebung der Abwasserteilströme durch entsprechende Pumpwerke durchläuft das Abwasser die mechanische Reinigungsstufe (u. a. 2 St. Vorklärbecken). Ein

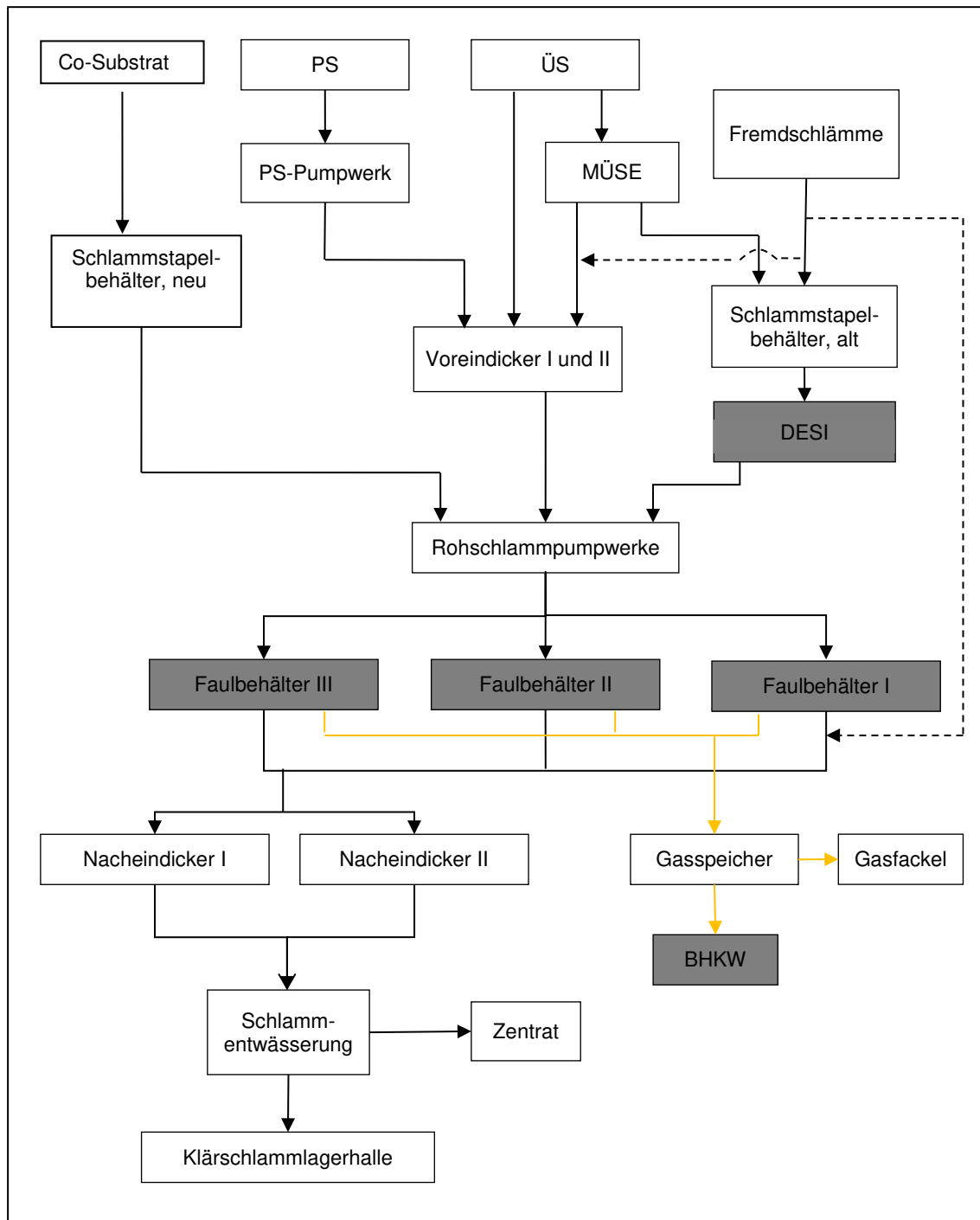
Zwischenpumpwerk fördert das Abwasser zur biologischen Reinigungsstufe, die sich i. W. aus vier Belebungsstraßen und 2 St. Nachklärbecken zusammensetzt.



Die Vorklärung wird in den weiteren Ausführungen nochmal aufgegriffen.

## 1.2 Schlammweg

Im Folgenden soll der Fokus jedoch auf die Schlammschiene gelegt werden. Das Fließschema fasst wesentliche Verfahrensstufen bzw. Elemente zusammen.



Zur Abtrennung des belebten Schlammes vom gereinigten Abwasser sind 2 St. Nachklärbecken als horizontal durchflossene Rundbecken vorhanden. Der anfallende

Überschussschlamm wird aus dem System entnommen, teilweise in die Vorklärung gefördert und teilweise maschinell eingedickt. Von hier aus wird der eingedickte Schlamm in den Schlammstapelbehälter (alt) gefördert. Über eine Ultraschalldesintegration wird der Schlamm in den Heizkreislauf der Faulbehälteranlage abgegeben.

Der aus den Vorklärbeckentrichtern abgezogene Primär- und Überschussschlamm wird zur weiteren statischen Eindickung in 2 St. Voreindicker gefördert, von wo aus er ebenfalls dem Heizkreislauf der Faulbehälter zugegeben wird.

Weiterhin wird Fremdschlamm einer nahegelegenen Industrie angenommen, der in die beiden Voreindicker oder in den Stapelbehälter (alt) gefördert wird. Ferner werden Co-Substrate angenommen, wobei es sich i. W. um Destillate aus Weinbaubetrieben und Fette handelt.

Zur Schlammentwässerung stehen 2 St. Zentrifugen zur Verfügung. Der entwässerte Schlamm wird anschließend zur Zwischenlagerung in eine Schlammhalle verbracht. Von hier aus wird der Schlamm zur weitergehenden thermischen Verwertung mittels LKW zu einer Verbrennungsanlage transportiert.

### 1.3 Aufgabenstellung

Durch das erstellte Zukunftskonzept wird für den Abwasserverband Untere Selz eine Grundlage geschaffen, um die Kläranlage – unter Berücksichtigung veränderter Randbedingungen, des baulichen Zustands einzelner Verfahrensstufen und Anlagenteile, technischer Neuerungen sowie energetischer Optimierungsstrategien – zukunftsorientiert anzupassen. Neben einer energetischen Optimierung der Gesamtanlage wurde der Anpassung der Schlammstapel- sowie der Gasverwertung besondere Bedeutung beigemessen. Dies ist auch durch die zu erneuernden BHKW zu begründen.

### 1.4 Einbindung in „ZEBRAS“

Als eine von fünf Beispielanlagen des Projektes „ZEBRAS“ sind die folgenden Besonderheiten der Kläranlage „Untere Selz“ anzuführen:

- 2 St. groß dimensionierte Vorklärbecken
- Ultraschalldesintegration
- Annahme von Fremdschlämmen und Co-Substraten
- 3 St. parallel betriebene Faulbehälter
- abgängiges BHKW → *Repowering*

Gemäß den Ausführungen von Knerr (2017) zeigte eine Potenzialanalyse, die im Rahmen des Vorhabens „ZEBRAS“ durchgeführt wurde, dass die o. g. Verfahrensschritte bzw. Themen ein hohes Potenzial zur Optimierung der Verfahrensführung aufweisen.

## 2 Zukunftskonzept für die Kläranlage „Untere Selz“

Es handelt sich – ausgenommen der Erneuerung der BHKW, die in Umsetzung befindlich ist – mit Stand zum Oktober 2017 um theoretische Ansätze, die in den folgenden Jahren sukzessive auf Umsetzung geprüft werden.

Es wird an geeigneten Stellen auf die im Rahmen des Projektes ZEBRAS entwickelten Prüfroutinen verwiesen.

### 2.1 Energieanalyse nach DWA-A 216

In einem ersten Schritt wurde für die Gesamtanlage sowohl ein Energiecheck als auch eine Energieanalyse gemäß DWA-A 216 (2015) durchgeführt. Die Erfassung wesentlicher Verbraucher und die Bestimmung deren Stromverbrauchs erfolgte durch die Rhein Hessische Energie- und Wasserversorgungs-GmbH. Neben einer Auswertung von Bestandsdaten wurde auch ein Messprogramm für Strom und Wärme absolviert.

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Energiechecks dargestellt.

Das DWA-A 216 (2015) empfiehlt die regelmäßige Durchführung eines Energiechecks anhand einfacher Kennwerte. Hierdurch wird dem Anlagenbetreiber ermöglicht, den Einfluss ergriffener Maßnahmen zur energetischen Optimierung der Anlage nachzuvollziehen.

In einem ersten Schritt werden der Gesamtstromverbrauch und der Verbrauch für den Betrieb der Belüftung (biologische Stufe) bewertet.

Der Gesamtverbrauch der Anlage lag im Betriebsjahr 2015 bei rd. 3,2 Mio. kWh/a; hiervon wurden rd. 2,15 Mio. kWh eigenproduziert, der Rest fremdbezogen.

Tabelle 1: Ergebnisse des Energiechecks für Gesamtstromverbrauch und Belüftung

| Bezeichnung Kennwert                     | Formel                       | Ergebnis<br>[kWh/(EW x a)] |
|--|------------------------------|----------------------------|
| spez.<br>Gesamtstromverbrauch $e_{ges}$  | $e_{ges} = E_{ges}/EW_{CSB}$ | 39,7                       |
| spez. Stromverbrauch Belüftung $e_{Bel}$ | $e_{Bel} = E_{Bel}/EW_{CSB}$ | 14,0                       |

Mit Verweis auf Abb. 1 wird deutlich, dass rd. 70 % der Kläranlagen der Größenklassen 3, 4 und 5 einen geringeren spezifischen Strombedarf aufweisen als die Kläranlage Untere Selz.

Folglich ist ein hohes Optimierungspotenzial für die Kläranlage Untere Selz feststellbar.

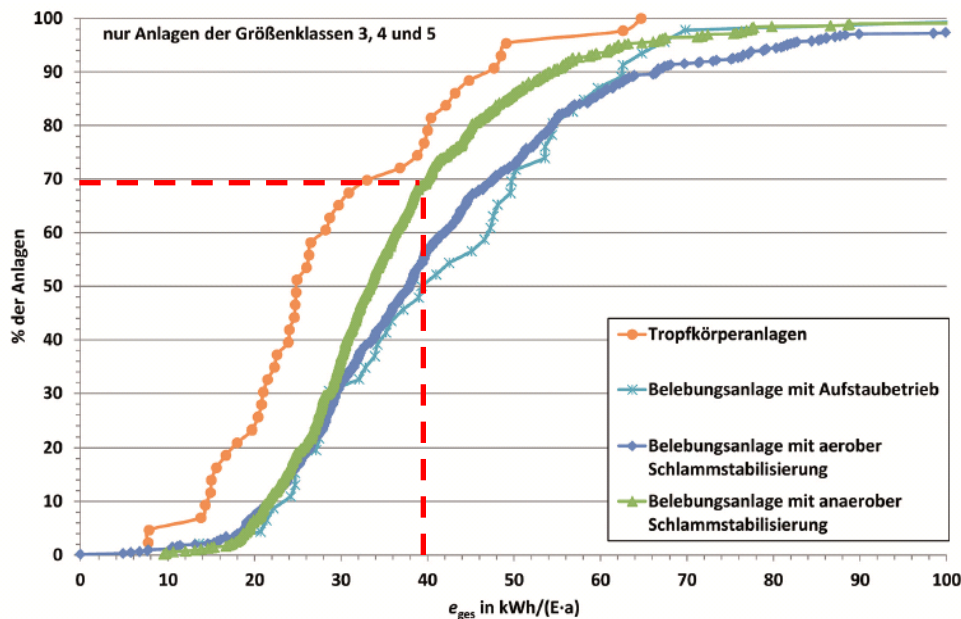


Abb. 1: Spezifischer Gesamtstromverbrauch in Abhängigkeit vom Reinigungsverfahren (Bildquelle: DWA-A 216, 2015)

Anhand des spezifischen Verbrauchswerts für die Belüftung des Belebungsbeckens wird ersichtlich, dass der Belüftung mit rd. 14 kWh/(EW × a) ein Anteil von rd. 35 % am Gesamtverbrauch zuzuordnen ist. Der spezifische Verbrauch vergleichbarer Kläranlagen liegt mit i. M. 16 kWh/(EW × a) etwas höher.

In der folgenden Tabelle sind die Kennwerte der Faulung bzw. der Faulgaserzeugung zusammengestellt.

Tabelle 2: Auszug der Ergebnisse des Energiechecks – Faulung

| Bezeichnung Kennwert                       | Formel  | Ergebnis          |
|--|---|-------------------|
| spez. Faulgasproduktion                    | $Y_{FG} = Q_{FG, d, aM} / B_{d, oTM, aM}$                                   | 555<br>l/(kg oTM) |
| Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität | $N_{FG} = (E_{KWK, el} \times 100) / (Q_{FG, a} \times g_{CH_4} \times 10)$ | 33,3 %            |
| Eigenversorgungsgrad Elektrizität          | $EV_{el} = E_{KWK, el} / E_{ges} \times 100$                                | 63,2 %            |

Bei der Interpretation der Werte ist zu berücksichtigen, dass auf der Anlage Co-Substrate angenommen werden, die mit einem Anteil von rd. 40-50 % wesentlich zum Faulgasanfall beitragen<sup>3</sup>.

Im Betriebsjahr '16 wurden rd. 1.065.000 Nm<sup>3</sup> Faulgas über das BHKW verstromt; rd. 90.000 Nm<sup>3</sup>/a wurden über die Gasfackel entsorgt.

Am Beispiel der spezifischen Faulgasproduktion wird der Einfluss der Co-Substrate deutlich. Mit 555 l/kg oTM liegt dieser Kennwert deutlich über dem Erwartungswert von rd. 440 l/(kg oTM) nach DWA-M 368.

Auch der Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität liegt in einer guten Größenordnung. Hierbei wurde der über Erdgas erzeugte Stromanteil in Abzug gebracht.

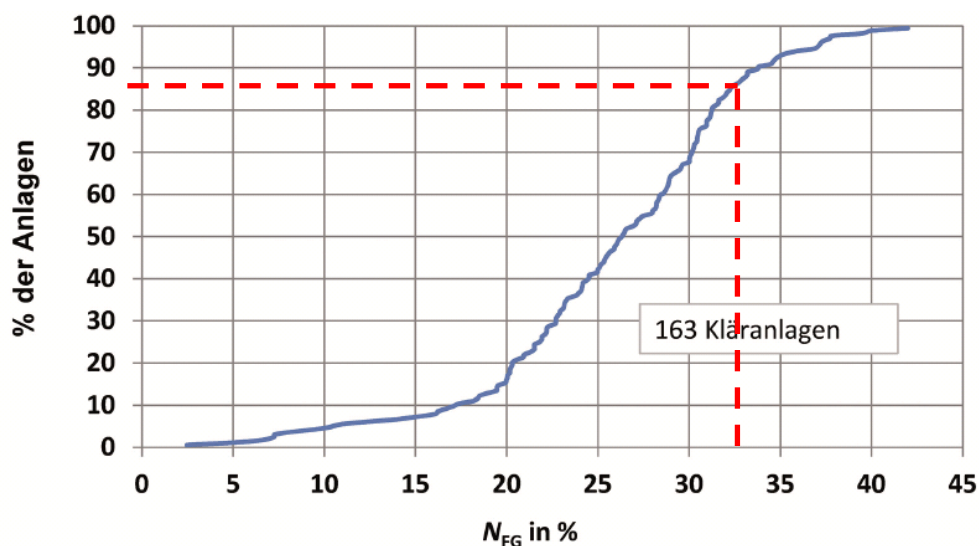


Abb. 2: Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität (Bildquelle: DWA-A 216, 2015)

Der Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie liegt bei rd. 63 %. Lediglich rd. 20 % vergleichbarer Kläranlagen weisen einen höheren Eigenversorgungsgrad auf. Wie skizziert, ist die hohe Gasausbeute wesentlich auf die Mitbehandlung von Co-Substraten zurückzuführen.

<sup>3</sup> BJ 2016: jährlich rd. 500.000 Nm<sup>3</sup> Faulgas durch Co-Substrate

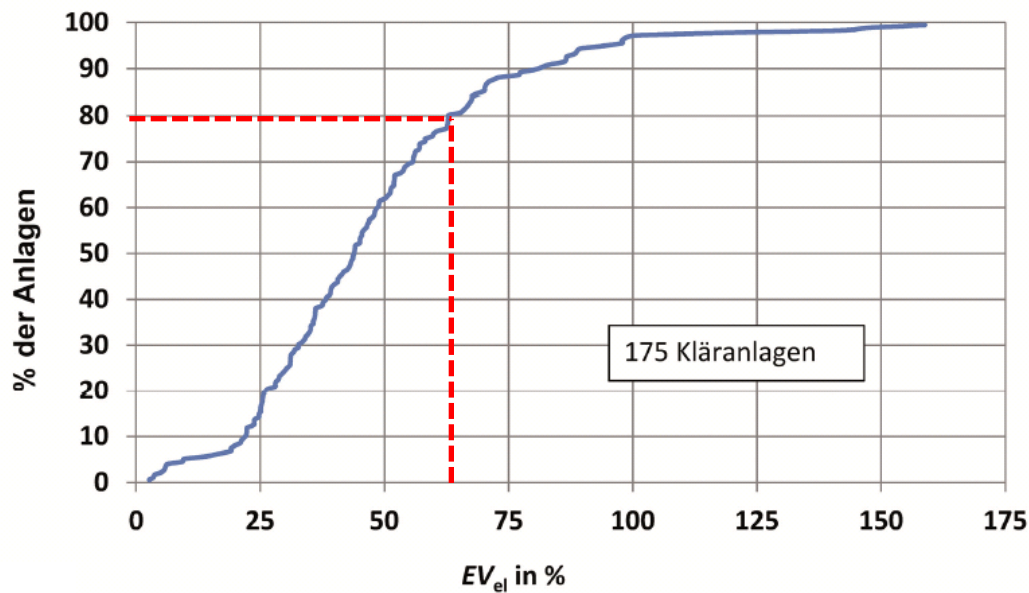


Abb. 3: Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie (Bildquelle: DWA-A 216, 2015)

## 2.2 Energiecheck und Energieanalyse – Zwischenfazit

Hinsichtlich der Untersuchungen im Rahmen des Projektes „ZEBRAS“ zeigt sich an den Ergebnissen des Energiechecks für die KA Untere Selz vor allem der hohe Einfluss von Co-Substraten auf den Gasanfall. Wohlwissend, dass hier mittlerweile ein Markt geschaffen wurde bzw. Abnahmekonkurrenzen festzustellen sind, kann bei freiem Faulraumvolumen eine Annahme sinnvoll sein.

Auch die Annahme von Fremdschlämmen gewinnt aufgrund aktueller, die Klärschlammbehandlung und -verwertung betreffender rechtlicher Entwicklungen – mit novelliertem Abfall- und Düngerecht – an Bedeutung, da zum einen der Gasanfall erhöht und die zu entsorgende Klärschlammmenge reduziert werden kann.

## 2.3 Optimierungsansätze

### 2.3.1 Desintegration

Auf der Kläranlage Untere Selz wird seit dem Jahr 2002 eine Ultraschalldesintegration (Fa. Biogest) für den Aufschluss des Überschussschlammes eingesetzt. Das Betriebspersonal ist mit dem Einsatz des Aggregats zufrieden. Die Erfahrungswerte stützten sich auf Vergleiche des Gasanfalls vor und nach Umsetzung der Maßnahme. Mangels dem Teilvolumenstrom (mit/ohne Desintegration) konkret zuzuordnenden Messwerten ist eine Quantifizierung der Auswirkung der Verfahrensstufe jedoch nicht möglich.



### 2.3.2 Optimierung der Vorklärung

Hinsichtlich der Optimierung der Faulgasverwertung ist ein möglichst hoher Anfall an hoch kalorischen Primärschlamm wünschenswert. Dies hat wiederum – durch Beeinflussung des C:N-Verhältnisses – direkten Einfluss auf die biologische Behandlungsstufe.

Auf der KA Untere Selz existiert eine 2-straßige Vorklärung. Das Nutzvolumen der beiden Vorklärbecken beträgt jeweils 774 m<sup>3</sup>. Die resultierenden rechnerischen Aufenthaltszeiten bei Trocken- und Regenwetterzulauf sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Abwassermengen und Aufenthaltszeiten in der Vorklärung

| 2015         | bei Regenwetterzulauf | bei Trockenwetterzulauf |
|--------------|-----------------------|-------------------------|
| Min          | ca. 0,7 h             | ca. 1,35                |
| Mittel       | ca. 1,75 h            | ca. 2,0 h               |
| 85-Perzentil | ca. 2,2 h             | ca. 2,35 h              |

Im ATV-DVKW-A 198 werden Durchflusszeiten in der Vorklärung bei Trockenwetter ( $Q_{T,2h,max}$ ) zwischen 0,5 und 1,0 h bzw. zwischen 1,5 und 2,0 h angegeben. Die Aufstellung zeigt, dass die Aufenthaltszeiten in der Vorklärung der Kläranlage Untere Selz mit ca. 1,35 h bis 2,35 h sehr hoch sind. Selbst bei max. Mischwasserzufluss liegt die Aufenthaltszeit immer noch bei 0,7 h.

Die vergleichsweise hohe Aufenthaltszeit wirkt sich entsprechend auf den Schlammanfall aus:

Tabelle 4: Spezifischer Schlammanfall auf der KA Untere Selz und Referenz (M 368)

|     | KA Untere Selz   | DWA-M 368 (2014) |
|-----|------------------|------------------|
| PS  | 40 g TM/(EW x d) | 28 g TM/(EW x d) |
| ÜSS | 20 g TM/(EW x d) | 32 g TM/(EW x d) |

Im Vergleich zu den Erwartungswerten des DWA-M 368 (2014) bestätigt sich der hohe spezifische Primärschlammfall. Im Zulauf der biologischen Behandlungsstufe liegt demnach ein geringes C:N-Verhältnis vor, was ebenfalls durch die Filtratrückbelastung beeinflusst wird. Aus Gründen der Abwasserreinigung ist daher eine Stilllegung eines Vorklärbeckens angezeigt.

Bei der Prüfroutine „Abscheideleistung in der Vorklärung“ wird auf die Prüfung des C:N-Verhältnisses verwiesen. Dieser Fall dient als Beispiel dafür, dass trotz lobenswerter energetischer Sanierungsabsichten der Gewässerschutz, als wesentliches Ziel der Abwasserreinigung, stets an erster Stelle stehen muss.

### 2.3.3 Optimierung der Faulraumbewirtschaftung

Die Schlammfäulung wird auf der KA Untere Selz durch 3 Faulbehälter (4.000 m<sup>3</sup>, 2.000 m<sup>3</sup>, 1.000 m<sup>3</sup>), die parallel beschickt werden, realisiert.

Die Durchmischung der Faulbehälter erfolgt jeweils durch Kombination von einer außenliegenden Umwälzung und Gaseinpressung. Gemäß Prüfroutine „Durchmischung Faulbehälter“ werden im DWA-M 368 (2015) Zielwerte einer Durchmischung von Faulräumen für verschiedene Aggregate genannt.

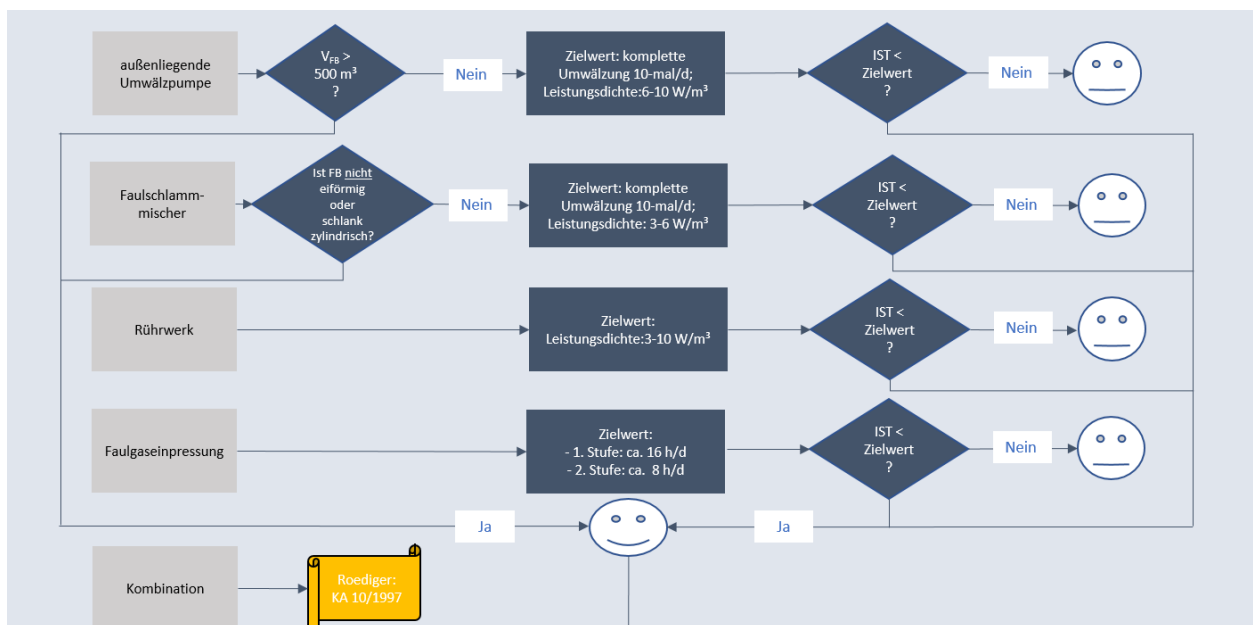


Abb. 4: Auszug aus Prüfroutine „Durchmischung Faulbehälter“

Hinsichtlich einer Kombination zweier Verfahren wird auf Literatur (Roediger, 1997) verwiesen. Die Soll-Werte in Tabelle 5 beziehen sich auf diese Publikation. Auf der KA Untere Selz gestaltet sich die Situation wie in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 5: Umwälzung und Gaseinpressung – IST- und Soll-Werte

|   | Umwälzung d <sup>-1</sup> |         | Gaseinpressung |          |
|---|---------------------------|---------|----------------|----------|
|   | IST                       | SOLL    | IST            | SOLL     |
| Faulbehälter 1<br>(2.000 m <sup>3</sup> ) | ca. 1,5                   | 4 bis 5 | 0,5-1 h/d      | 8 bis 12 |
| Faulbehälter 2<br>(1.000 m <sup>3</sup> ) | ca. 3                     |         | 0,5-1 h/d      |          |
| Faulbehälter 3<br>(4.000 m <sup>3</sup> ) | ca. 1                     |         | 0,5-1 h/d      |          |

Es zeigt sich, dass die Zielwerte deutlich vom Status Quo abweichen und hier folglich ein erhöhter Anpassungsbedarf festgestellt werden kann.

Gemäß Prüfroutine „Durchmischung Faulbehälter“ sollten entsprechend Anpassungsmaßnahmen auf Umsetzung geprüft werden, da hierdurch

- ein erhöhter Abbaugrad der Organik
- ein höhere Faulgasanfall
- und eine geringere, zu entsorgende Klärschlammmenge (nach der Entwässerung)

zu erwarten sind.

Die folgende Abbildung verdeutlicht weiteres Optimierungspotenzial.

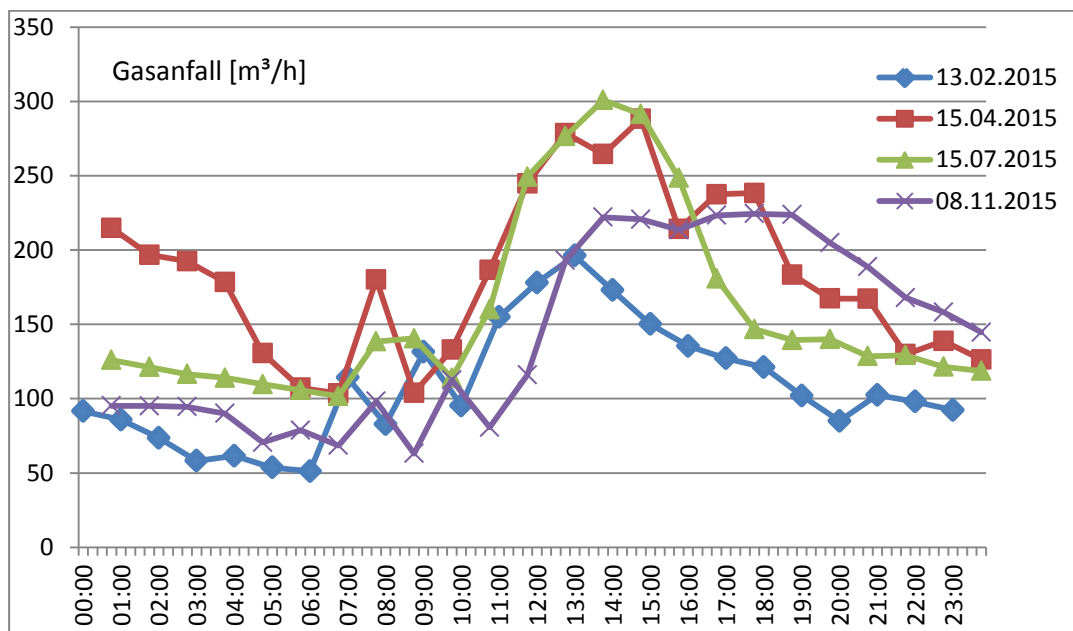


Abb. 5: Tagesgang des Faulgasanfalls für ausgewählte Tage

Dargestellt ist der Tagesgang des Faulgasanfalls. Bei Spitzen zur Mittagszeit mit rd. 300 m<sup>3</sup>/h liegt der Faulgasanfall in den Abend- und Nachstunden nur in einer Größenordnung von rd. 50-150 m<sup>3</sup>/h. Der Verlauf lässt darauf schließen, dass die Beschickung der Faulung nicht kontinuierlich, sondern stoßweise erfolgt. Der Gasanfall bzw. dessen Tagesgang ist wiederum für die Auslegung der BHKW und des Gasspeichers von Bedeutung (s. Kap. 2.3.4).

### 2.3.4 Erneuerung BHKW (Repowering) samt Peripherie

Das auf der KA Untere Selz anfallende Faulgas wurde bisher über 2 St. BHKW-Module mit einer elektrischen Leistung von jeweils 294 kW verstromt. Die Aggregate wurden im Jahr 1999 installiert. Aufgrund der bisherigen Nutzungsdauer von 18 Jahren sowie der Tatsache, dass mit den vorhandenen Aggregaten die zukünftig verschärften Anforderungen an die Abgasqualität hinsichtlich des Parameters Formaldehyd nicht eingehalten werden können, sind die Aggregate als erneuerungsbedürftig einzustufen. Da der Formaldehyd-Grenzwert ab 2018 eingehalten werden muss, sind die BHKW noch in 2017 zu erneuern (s. KWK-Anlage).

Das anfallende Faulgas sollte auch zukünftig einer wirtschaftlichen Verwertung mittels Gasverstromung über Blockheizkraftwerke zugeführt werden (KWK-Anlage). Neben dem Einsatz von Gasmotoren, wie bisher, besteht hierfür grundsätzlich auch die Möglichkeit des Einsatzes von Mikrogasturbinen. Der erzeugte Strom soll möglichst vollständig in das Netz der Kläranlage eingespeist und zur Reduzierung des Fremdstrombezugs selbst genutzt werden.

Nach Umsetzung der im Zukunftskonzept aufgezeigten energetischen Optimierungsmaßnahmen ist ein Stromgesamtbedarf von < 2,9 Mio. kWh/a realistisch.

Die anfallende Abwärme wird zur Beheizung der Faultürme genutzt. Überschüssige Abwärme kann zukünftig einem von der Rhein Hessischen initiierten Nahwärmever-sorgung zugeführt werden, bei dem zur Kläranlage benachbarte städtische Liegen-schaften versorgt werden sollen (vgl. Einführung eines Wärmemanagements).

Hinsichtlich der Auslegung der neuen BHKW wird für das in der Faulung anfallen-de Klärgas aufgrund des mittleren Methangehalts von 65% ein spez. Energieinhalt von 6,5 kWh/Nm<sup>3</sup> angenommen:

$$1.200.000 \text{ Nm}^3/\text{a} \times 6,5 \text{ kWh/Nm}^3 = \text{rd. } 8.000.000 \text{ kWh/a.}$$

Bei der Verstromung über einen Gasmotor wird von folgenden Wirkungsgraden (bei Vollastbetrieb) ausgegangen:

$$\eta_{\text{elektrisch}} = 37 \%$$

$$\eta_{\text{thermisch}} = 50 \%$$

Mit einer angenommenen Nutzungsdauer von 7.000 Betriebsstunden pro Jahr und einer Aufteilung der Gesamtleistung auf 2 Aggregate berechnet sich die erforderliche elektrische Leistung der BHKW zu

$$((8.000.000 : 2) \text{ kWh/a} : 7.000 \text{ Bh/a}) \times 0,37 = \text{rd. } 210 \text{ kW}$$

Zum Ausgleich nicht vermeidbarer Belastungsschwankungen werden 2 Aggregate mit einer elektrischen Leistung von jeweils 250 kW<sub>el</sub> gewählt.

Eng mit der eigentlichen Faulgasverwertung ist die Faulgasspeicherung verknüpft.

Für den reibungslosen Betrieb und die weitestgehende energetische Nutzung des Faulgases sollte ein ausreichendes Gasspeichervolumen vorhanden sein. Gute Ergebnisse lassen sich dabei erfahrungsgemäß realisieren, wenn das Speichervolumen ca. 50 % des mittleren täglichen Gasanfalls beträgt. Im vorliegenden Fall wären das rd.

$$3.500 \text{ m}^3/\text{d} \times 0,5 = 1.700 \text{ m}^3$$

Auf der Kläranlage ist ein Niederdruckgasspeicher vom Fabrikat Eisenbau Heilbronn mit einem Volumen von 800 m<sup>3</sup> vorhanden. Das entspricht demnach nur rd. 50% des empfohlenen Volumens.

### 3 Fazit

Am Beispiel der Kläranlage Untere Selz wurde die Anwendung der im Rahmen des Vorhabens „ZEBRAS“ entwickelten Prüfroutinen beispielhaft vorgestellt. Es zeigten sich Potenziale und Grenzen in der Nutzung der Routinen, die in Ergänzung bestehender Instrumente (z. B. DWA-A 216; 2015) Anwendung finden sollten.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Ergebnisse des Vorhabens eine gute Grundlage für die Umsetzung einer zukunftsfähigen Schlammbehandlung und Faulgasverwertung darstellen.

### Literatur

DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (2014): Merkblatt DWA-M 368 Biologische Stabilisierung von Klärschlamm. ISBN 978-3-944328-60-7, Hennef.

DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (2015): Arbeitsblatt DWA-A 216 Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen. ISBN 978-3-88721-276-6, Hennef.

Knerr, H.; Dilly, T.; Schäfer, M.; Schmitt, T. G. (2017): Potenziale der Faulung und Klärgasverwertung in Rheinland-Pfalz. In: Schriftenreihe Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft Band 40, TU Kaiserslautern.

Roediger, M. (1997): Bemessungsvorschlag für Schlammfaulungsanlagen (KA 10/1997), Alzen.

### **Korrespondenz an:**

Dr.-Ing. Thomas Siekmann  
Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner mbH  
Segbachstraße 9, 56743 Thür  
Tel.: 02652 – 93 98 22  
Fax: 02652 – 93 98 10  
E-Mail: [t.siekmann@siekmann-ingenieure.de](mailto:t.siekmann@siekmann-ingenieure.de)