Inhaltsverzeichnis

1.	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2.	Verwendete Unterlagen	1
3.	Abwassertechnische Ist-Situation	1
4.	Belastungskenndaten	6
5.	Nachweisberechnung des vorhandenen Belebungsbeckens	8
6.	Energetische Einstufung	
7.	Allgemeine Grundlagen der Klärschlammstabilisierung	
8.	Energiepotenziale auf Kläranlagen	
9.	Verfahrensumstellung auf Schlammfaulung	17
9.1	Nachweis der biologischen Anlagenstufe	17
9.2	Vorklärbecken/Feinstsiebanlage	18
9.3	Schlammfaulung	20
9.3.	1 Dimensionierungsgrundlagen	24
9.3.	2 Faulraumvolumen und Ausführungsart	24
9.3.	3 Gasproduktion und Energieinhalt	27
9.4	BHKW	28
9.5	Gasspeicher	28
10.	Anordnungsvorschlag	29
11.	Zukünftiger Verfahrensablauf	31
13.	Investitionskostenschätzung	34
14.	Betriebskostenschätzung	34
15.	Kostenvergleichsberechnung	39
15.1	Vorbemerkungen	39
15.2	P. Berechnungsgrundlagen	40
15.3	Projektkostenreihe	41
15.4	Projektkostenbarwert (ohne Betriebskostensteigerungen)	42
15.5	5 Empfindlichkeitsprüfung	42
16	7usammenfassung	43

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Das Abwasserwerk der Verbandsgemeinde Zell/Mosel betreibt zur Reinigung der anfallenden Abwässer aus dem Einzugsbiet der Ortslagen Zell, Alf und Bullay eine mechanischbiologische Kläranlage mit einer nominalen Ausbaugröße von 25.000 EW. Die Anlage wurde 1987 in Betrieb genommen und wird derzeit im Jahresmittel mit rd. 27.500 EW belastet, während der 85%-Wert bei rd. 34.800 EW liegt.

Ein hoher Belastungsanteil resultiert aus dem Weinbau bzw. den ansässigen, ganzjährig produzierenden Großkellereien. Diesbezüglich ist davon auszugehen, dass sich die Zulaufbelastung durch die vorgesehene Verlagerung des Produktionsstandortes Kinheim der Weinkellerei ZGM nach Zell nochmals spürbar erhöhen dürfte.

Die Kläranlage wurde nach dem Verfahrensziel der simultanen Klärschlammstabilisierung konzipiert, welches jedoch aufgrund der hohen Zulaufbelastung nicht mehr eingehalten werden kann. Um zukünftige Geruchsbelästigungen durch nicht ausreichend stabilisierten Klärschlamm zu vermeiden sowie zur energetisch, wirtschaftlichen Optimierung des Kläranlagenbetriebs soll im Rahmen einer Studie die Umstellung der Verfahrensführung auf Schlammfaulung untersucht werden. Auf Grundlage eines Beschlusses des Werksausschuss des Abwasserwerks vom Juni 2015 wurde die Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner mbH, Thür mit der Erstellung der entsprechenden Studie beauftragt.

2. Verwendete Unterlagen

Zur Bearbeitung standen im Wesentlichen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- Angaben zum Stromverbrauch und den Stromkosten aus dem Sondervertrag der KA Zell-Bullay-Alf aus den Jahren 2002 bis Februar 2015
- Lageplan, Katasterplan, Luftbild und technische Angaben der Kläranlage
- Jahresberichte der Betriebstagebuchaufzeichnungen für die Betriebsjahre 2007 bis 2014
- DWA-Merkblatt M 368 "Biologische Stabilisierung von Klärschlamm"
- Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198 "Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen"
- KVR-Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsberechnungen

3. Abwassertechnische Ist-Situation

Die Abwasserreinigung und Klärschlammbehandlung auf der KA Zell-Bullay-Alf erfolgt im Wesentlichen nach folgendem Ablauf:

Das anfallende Abwasser wird zunächst über ein Abwasserpumpwerk, bestehend aus 3 St. Kreiselpumpen mit einer Förderleistung von je 64 l/s auf Kläranlagenniveau gehoben und durchläuft anschließend die mechanische Vorreinigungsstufe.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Zur Grobstoffabscheidung ist eine automatische Siebrechenanlage vom Fabrikat Huber, Typ rotamat mit integrierter Rechengutpresse vorhanden. Die mineralischen Inhaltsstoffe (Sand, Straßenkehricht usw.) sowie die flotierbaren Fette werden über einen belüfteter Langsandfang abgeschieden.





Abb. 1 und 2: Rechenanlage und belüfteter Langsand- und Fettfang

Über einen Quellschacht wird das mechanisch vorgereinigte Abwasser zur biologischen Reinigung in zwei parallel betriebene Belebungsbecken mit einem Nutzvolumen von jeweils 3.940 m³ eingeleitet.





Abb. 4: Belebungsbecken

Abb. 3: Verteilerbauwerk

Die Sauerstoffversorgung der Belebungsbecken erfolgt über eine feinblasige Druckbelüftungseinrichtung.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Zur Abtrennung des belebten Schlammes vom gereinigten Abwasser ist ein rundes Nachklärbecken (D = 33 m) vorhanden, welches mit einem umlaufenden Schildräumer ausgerüstet ist.



Abb. 5: Nachklärbecken



Abb. 6: Rücklaufschlammpumpwerk und Aufstellungsgebäude für die Fällmitteldosieranlage

Der Rücklaufschlamm wird über 2 St. Förderschnecken (Q = je 75 l/s) in die Belebungsbecken rückgeführt. Für die Entnahme des Überschussschlammes ist eine Tauchmotorpumpe mit einer Förderleistung von 12 l/s vorhanden.

Der anfallende Überschussschlamm wird mit einer Tauchmotorpumpe in das neu gebaute Schlammsilo 2 (V = 1.670 m) gepumpt und zwischengelagert. Die weitergehende statische Eindickung des Schlammes erfolgt über ein höhenverstellbares Trübwasserabzugssystem vom Fabrikat Kleine ¹. Bei Bedarf kann der Schlamm aus dem neuen Schlammsilo über eine Exzenterschneckenpumpe in das alte Schlammsilo gefördert werden.

Der nicht ausreichend stabilisierte, statisch eingedickte Nassschlamm wird derzeit vollständig landwirtschaftlich verwertet. ²

¹ Durch die kurzfristig vorgesehene Installation einer Eindickmaschine soll die Zwischenstapelkapazität im Schlammsilo erhöht werden.

² Der vorliegende Referentenentwurf zur Novellierung der Klärschlammverordnung sieht ab dem Jahr 2025 ein Verbot der bodenbezogenen Klärschlammverwertung für Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5 vor.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Die vorhandene Entwässerungsmaschine (Kammerfilterpressesse) ist als abgängig zu betrachten und wurde bereits vor einigen Jahren stillgelegt.

Zur Regenwasserbehandlung ist auf der Kläranlage ein netzabschließendes, rechteckiges Regenüberlaufbecken (L x B = 25×5 m) mit einem Nutzvolumen von 315 m³ angeordnet. Weiterhin ist ein Fäkalschlammannahmesilo mit einem Nutzvolumen von 76 m³ vorhanden.

Der derzeitige Verfahrensablauf auf der KA Zell-Bullay-Alf ist dem nachfolgenden Schema zu entnehmen:

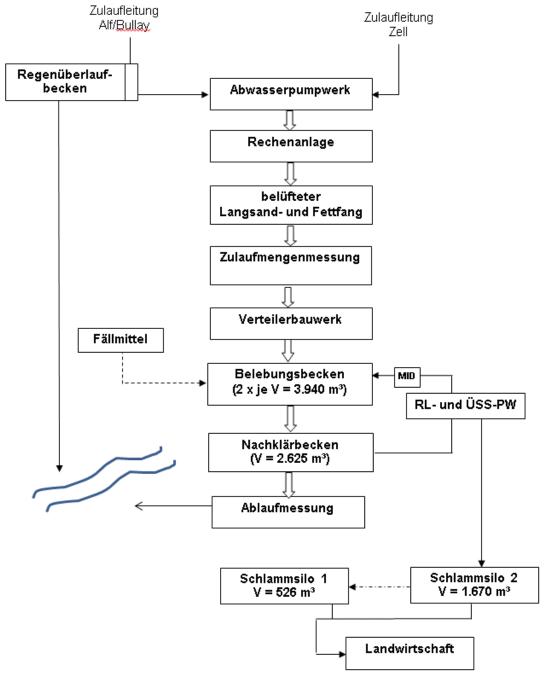


Abb. 7: Verfahrensablauf auf der KA Zell-Bullay-Alf

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Der nachfolgende Bestandslageplan zeigt die lagemäßige Anordnung der einzelnen Anlagenstufen auf dem Kläranlagengelände.

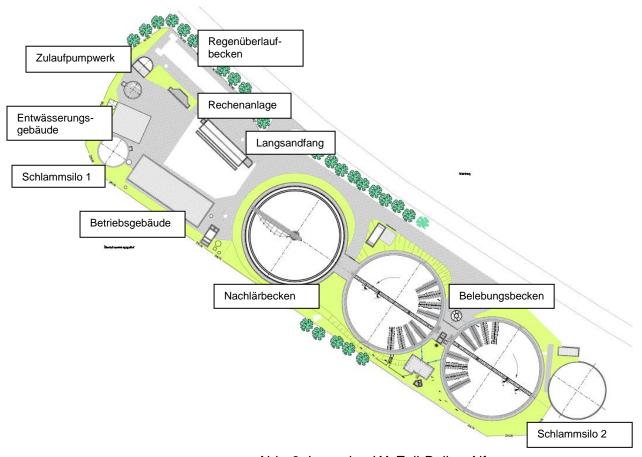


Abb. 8: Lageplan KA Zell-Bullay-Alf

Der Energieverbrauch der Kläranlage lag bis zum Betriebsjahr 2005 noch bei ca. 1.000.000 kWh/a. Im Jahr 2005 wurde die bis dahin zur Sauerstoffversorgung der Biologie betriebenen Ejektorbelüfter demontiert und durch eine feinblasige Druckbelüftungseinrichtung in Kombination mit Tauchmotorrührwerken ersetzt. Hierdurch konnte der Stromverbrauch sukzessive reduziert auf derzeit nur noch ca. 385.000 kWh/a reduziert werden.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

4. Belastungskenndaten

Die Ermittlung der Belastungskenndaten erfolgte auf Basis einer Auswertung der Betriebstagebücher. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Zulaufbelastung der KA Zell-Bullay-Alf in den Betriebsjahren von 2012 bis 2014:

Betriebs-	Mittlerer Trocken-		Frach	ten		
jahr	wetterzufluss	BSB ₅	CSB	N _{ges}	TN _b	P _{ges}
	[m³/d]	[kg/d]	[kg/d]	[kg/d]	[kg/d]	[kg/d]
	1	T		T	T	1
2012	2.578	1.768,60	2.632,63	71,69	123,00	23,44
2013	3.281	1.553,97	2.521,83	70,63	136,67	23,45
2014	2.799	1.624,94	2.629,96	69,37	130,92	24,26
		•				
Mittelwerte	2.886	1.649,17	2.594,80	70,56	130,20	23,72
EW-		27 400	04 600	0.000	11 010	40.000
Mittelwerte		27.490	21.620	8.820	11.840	12.820
EW		34.790	27.080	10.770	15.170	16.350
85%-Werte		34.730	21.000	10.770	13.170	10.550

Tab. 1: Zulaufbelastung in den Betriebsjahren 2012 bis 2014

Die Kläranlage wird demnach im langfristigen Jahresmittel mit rd. 27.500 EW₆₀ belastet während der zur Dimensionierung maßgebende 85%-Wert bei rd. 34.800 EW₆₀ liegt.

Die nachstehende Abbildung zeigt den saisonal bedingten Einfluss der Weinbauabwässer. Trotz der hohen Grundbelastung durch die Großkellereibetriebe liegt die Belastung während der Weinbausaison um ca. ein Drittel höher.

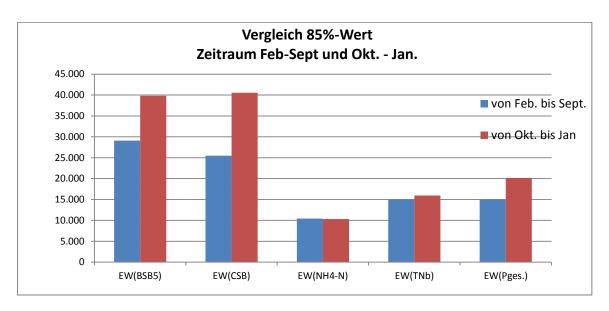


Abb. 9: Darstellung der saisonalen Belastungsunterschiede

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Auffällig ist die vergleichsweise niedrige Nährstoffbelastung des Abwassers mit rd. 11.850 EW für den Parameter TN_b und rd. 13.180 EW für den Parameter P_{ges} , was auf den Einfluss der lediglich organisch hoch belasteten Weinbauabwässer zurückzuführen ist.

Die Fa. ZGM leitet derzeit ca. 45.000 bis 50.000 m³/a Produktionsabwässer zur KA Zell. Bis zum Jahr 2018 wird die Betriebsstätte in Kinheim geschlossen und nach Zell verlagert. Hierdurch erhöhen sich die Abwassermengen um voraussichtlich 35.000 m³/a. Das Produktionsabwasser weist gegenüber kommunalem Abwasser eine um den Faktor 10 höhere Verschmutzung auf, wodurch die zukünftige Höherbelastung der Kläranlage wie folgt abgeschätzt werden kann:

 BSB_5 : (35.000 m³/a x 300 mg/l x10) / 1000 = 105.000 kg BSB_5 /a bzw. 2.020 kg BSB_5 /Wo

Bezogen auf 5 Arbeitstage pro Woche ergibt sich eine zusätzliche Tagesfracht von:

400 kg BSB₅ /d bzw. 6.670 EW

CSB : $(35.000 \text{ m}^3/\text{a} \times 600 \text{ mg/l} \times 10) / 1000 = 210.000 \text{ kg CSB/a bzw. } 4.040 \text{ kg CSB/Wo}$

Bezogen auf 5 Arbeitstage pro Woche ergibt sich eine zusätzliche Tagesfracht von:

800 kg CSB /d bzw. 6.670 EW

Die zusätzliche Stickstoff- und Phosphorbelastung ist eher gering und wird mit einem prozentualen Aufschlag berücksichtigt, so dass für die Dimensionierung der Anlage bzw. die Nachberechnung der biologischen Anlagenstufe folgende Belastungskenndaten zugrunde gelegt werden:

BSB ₅	EW
CSB	EW
NH ₄ -N	EW
TN _b	EW
P _{qes}	EW

im Mittel		85%-Wert		
aus Addition	gewählt	aus Addition	gewählt	
34.160	35.000	41.460	42.000	
28.290	30.000	33.750	35.000	
9.900	10.000	11.850	12.000	
13.360	14.000	16.690	17.000	
14.460	15.000	17.990	19.000	

Tab. 2: Zusammenstellung der Dimensionierungsgrundlagen (inkl. Entwicklungspotenzial)

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

5. Nachweisberechnung des vorhandenen Belebungsbeckens

Die vorhandenen Belebungsbecken verfügen über ein Behandlungsvolumen von insgesamt 7.880 m³. Mit einem mittleren TS-Gehalt von 4,0 kg/m³ berechnet sich die verfügbare Schlammmasse in den Becken zu

$$m_{TS} = 4.0 \text{ kg/m}^3 \text{ x } 7.880 \text{ m}^3 = 31.520 \text{ kg TS}.$$

Ausgehend von einer mittleren Jahresbelastung von zukünftig rd. 35.000 EW $_{60}$ bzw. rd. 2.100 kg BSB $_{5}$ /d berechnet sich die Schlammbelastung der Anlage demnach zu

$$B_{TS} = B_d : m_{TS} = 2.100 \text{ kg } BSB_5/d : 31.520 \text{ kg} = 0.067 \text{ kg } TS/kg BSB_5/d.$$

Mit einer angenommenen spez. Überschussschlammproduktion von 1,0 kg TS/kg BSB5 entspricht dies einem Schlammalter von

$$t_{TS} = 1/(B_{TS} \times \ddot{U}S_C) = 1/(0,067 \times 1) = 15 d.$$

Die Vorgabe eines Gesamtschlammalters nach DWA-Arbeitsblatt A 131 von > 25 d für eine Anlage mit aerober Schlammstabilisierung wird demnach deutlich unterschritten.

Die nachfolgende Tabelle zeigt den erforderlichen Stabilisierungsgrad des Klärschlammes in Abhängigkeit des Entsorgungsweges:

Verwertung oder Beseitigung	Erforderlicher Stabilisierungsgrad
Verwertung in flüssigem Zustand in der Landwirtschaft	bedingt***) bis hinreichend** ⁾ stabilisiert
Verwertung in entwässertem Zustand in der Landwirtschaft, im Landschaftsbau oder zur Rekultivierung	bedingt***) bis hinreichend** ⁾ stabilisiert
Zwischenspeicherung in Schlammteichen	hinreichend** ⁾ stabilisiert
Ablagerung in entwässertem Zustand*)	hinreichend**) stabilisiert
Verwertung/Ablagerung*) in getrocknetem Zustand	bedingt***) bis hinreichend**) stabilisiert
Beseitigung nach thermischer Behandlung (z. B. Verbrennung oder Vergasung)	vorhergehende biologische Stabilisierung nicht zwingend erforderlich, aber dringend empfohlen

ANMERKUNGEN

*) In Deutschland seit 2005 nicht mehr zulässig.

**) Abbaugrad bezogen auf die leicht abbaubare organische Trockenmasse $\eta_{abb} \ge 80 \%$.

***) gemeinsame aerobe Stabilisierung gemäß Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131; Abbaugrad $\eta_{\rm abb}$ < 80 %.

Tab. 3: Erforderlicher Stabilisierungsgrad in Abhängigkeit von der Entsorgung³

_

³ Quelle: DWA-Merkblatt M 368

Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner mbH

Projekt: Verfahrensumstellung der KA Zell-Alf-Bullay auf Schlammfaulung

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Seite 9

Der erforderliche Grad der Stabilisierung ist abhängig von der Art der Entsorgung, d. h. der Verwertung oder Beseitigung des Schlammes. Im vorliegenden Fall wird der Schlamm in die Landwirtschaft verbracht. Hierfür ist eine "bedingte bis hinreichende" Stabilisierung erforderlich. Bei einer aeroben Stabilisierung des Schlammes bedeutet das die Einhaltung der Vorgaben des DWA-Arbeitsblattes A 131 oder aber das Erreichen eines technischen Stabilisierungsgrades von mindestens 80 %. Diese Vorgaben werden auf der KA Zell-Bullay-Alf **nicht** erfüllt!

Hieraus begründet sich der vergleichsweise hohe Glühverlust des Schlammes, der ganzjährig in der Regel über 60 bis 65 % beträgt.

Anmerkung:

Für die Einhaltung eines Schlammalters von 25 d müsste das vorhandene Belebungsbeckenvolumen erheblich vergrößert werden. Auf Grundlage einer für die Dimensionierung anzunehmenden zukünftigen Belastung mit 42.000 EW (85%-Wert) sowie einem max. Feststoffgehalt in der Biologie von 3,8 g/l (bei einem ISV von 100 ml/g) berechnet sich das erforderliche Gesamtvolumen zu rd. 15.670 m³ (s. Anlage), was quasi einer Verdopplung des bisherigen Volumens entspricht. Da auf dem Standort keine Flächen für den Bau weiterer Belebungsbecken mehr zur Verfügung stehen, kommt für die Kapazitätserweiterung der Kläranlage nur die Umstellung der Verfahrensführung auf Schlammfaulung in Betracht.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

6. Energetische Einstufung

Der mittlere Jahresenergieverbrauch der Kläranlage in den betrachteten Betriebsjahren von 2012 bis 2014 kann mit rd. 432.000 kWh/a angegeben werden. Dies entspricht bei einer mittleren Jahresbelastung von 27.500 EW₆₀ einem spez. Energieverbrauch von

432.000 kWh/a : 27.500 EW = rd. 15,7 kWh/EW/a.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Häufigkeitsverteilung des spez. Energieverbrauchs von mehr als 3.400 Kläranlagen verschiedener Ausbaugrößen.

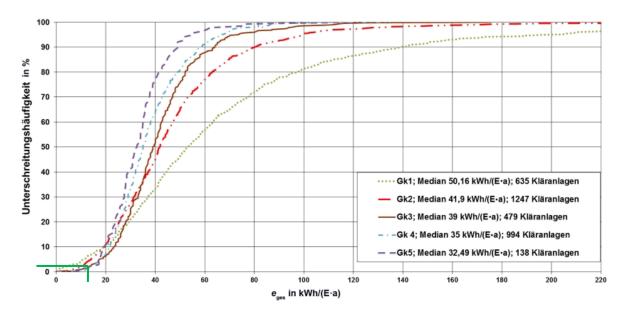


Abb. 10: Spez. Gesamtstromverbrauch e_{Ges} [kWh/EW/a] differenziert nach Größenklassen

Die in die Größenklasse 4 (> 10.000 EW) einzuordnende Kläranlage Zell-Bullay-Alf liegt mit einem spezifischen Stromverbrauch von 15,7 kWh/EW/a weit unter dem Medianwert von 35 kWh/EW/a. Unter 5% aller Kläranlagen dieser Größenklasse verbrauchen noch weniger Energie, so dass die Anlage vordergründig einem energetisch optimalen bzw. kaum mehr zu verbessernden Bereich zuzuordnen wäre. Diese Aussage ist jedoch dahingehend zu relativieren, dass die Anlage das Verfahrensziel der simultanen aeroben Schlammstabilisierung nicht einhält. Der direkte Vergleich ist somit nicht statthaft.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

7. Allgemeine Grundlagen der Klärschlammstabilisierung

Neben der eigentlichen Abwasserreinigung bzw. der ganzjährigen betriebssicheren Einhaltung der Überwachungswerte als primärem Verfahrensziel, ist an den ordnungsgemäßen Betrieb einer Kläranlage weiterhin die Anforderung einer weitest gehenden Stabilisierung des anfallenden Klärschlammes zu stellen. Dabei sollen die organischen, geruchsbildenden Inhaltsstoffe reduziert werden. Vereinfachend heißt das, dass der Schlamm in einen Zustand zu überführen ist, in dem er nach der Ausschleusung aus dem Klärprozess nicht mehr zu weitergehenden Abbaureaktionen neigt und keine unangenehmen Gerüche verbreitet.

Die wichtigsten Ziele der Klärschlammstabilisierung sind (siehe DWA-Merkblatt M 368):

- Hauptziel:
 - a) Weitgehender Abbau der organischen Inhaltsstoffe
- Nebenziele:
 - b) Verminderte Feststoffmasse,
 - c) Verbesserte Entwässerbarkeit,
 - d) Verminderte Infektionsrisiken durch Inaktivierung von Krankheitserregern,
 - e) Erzeugung von Faulgas (nur bei anaerober Stabilisierung),

Um diese Ziele zu erreichen haben sich aus verfahrenstechnischer Sicht in der Praxis im Wesentlichen 2 verschiedene Möglichkeiten durchgesetzt:

- a) die simultane aerobe Stabilisierung im Verlauf der biologischen Abwasserreinigung⁴
- b) die getrennte anaerobe Stabilisierung in einer Faulbehälteranlage

Anmerkung:

Aerobe Milieubedingungen werden unter Zuführung von Luftsauerstoff realisiert, während anaerobe Verhältnisse den Sauerstoffausschluss erfordern.

Bei der aeroben Schlammstabilisierung wird ein Teil der abbaubaren organischen Substanz von den aeroben Mikroorganismen zu den anorganischen Endprodukten CO₂, H₂O, NO₃, u.a. oxidiert. Bei diesem Energiestoffwechsel wird Sauerstoff verbraucht. Mit dem anderen Teil der abbaubaren organischen Substanz wird neue Zellmasse aufgebaut, und es werden Reservestoffe gebildet. Dieser Baustoffwechsel benötigt Energie in Form von Luftsauerstoff, der über Gebläseaggregate in das Abwasser eingetragen wird.

Die von den Mikroorganismen benötigte Grundenergiemenge wird durch das Nährstoffangebot im Schlamm bereitgestellt. Ist dieses erschöpft, so verwenden die Mikroorganismen zuerst ihre gespeicherten Reserven, und dann schließlich ihre körpereigenen (endogenen) Substrate.

⁴ Die getrennte aerobe Stabilisierung wird aufgrund der hohen Betriebskosten bei gleichzeitig nicht gewährleistetem Verfahrenserfolg nicht weiter betrachtet.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

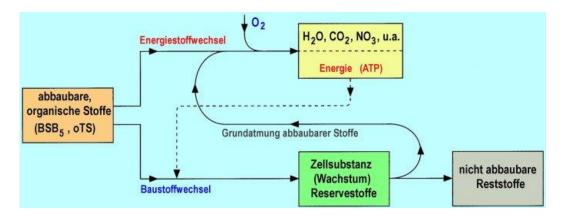


Abb. 11: Stoffwechselprozesse bei der aeroben Schlammstabilisierung

Bei der gemeinsamen bzw. simultanen aeroben Schlammstabilisierung erfolgt die Stabilisierung gemeinsam mit der biologischen Abwasserreinigung in einem Verfahrensschritt und im selben Becken. Dabei wird das Nährstoffangebot durch die Einstellung einer sehr niedrigen BSB₅-Schlammbelastung von ca. 0,04 kg BSB₅/kg TS/d für die Mikroorganismen so gering gehalten, dass diese die abbaubaren organischen Stoffe hauptsächlich im Energiestoffwechsel oxidieren. Die Mikroorganismen enthalten keine gespeicherten Reservestoffe mehr, wodurch eine anschließende Lagerung unter anaeroben Bedingungen ohne störende Geruchsemissionen ermöglicht wird.

Die anaerobe Schlammstabilisierung ist unter dem Begriff der Faulung bekannt und findet in sog. Faulbehältern statt. Der in Form von Kohlehydraten, Proteinen und Fetten vorliegende Energiegehalt des Rohschlamms soll dabei weitgehend abgebaut werden. Dieser Abbau von hochmolekularen reduzierten Verbindungen zu niedermolekularen oxidierten Verbindungen erfolgt in vier Schritten. Bei einem vollständigen anaeroben Abbau entsteht als Endprodukt das gasförmige Methan.

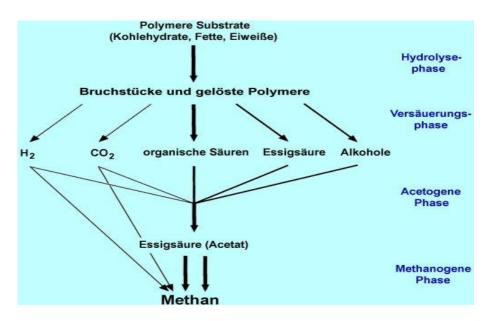


Abb. 12: Stoffwechselprozesse bei der anaeroben Schlammstabilisierung (Faulung)

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Während der Hydrolyse-Phase spalten Enzyme die hochmolekularen, oft ungelösten Verbindungen zu Bruchstücken und gelösten Polymeren auf. Von verschiedenen fakultativ und obligat anaeroben Bakterienarten werden in der Versäuerungsphase kurzkettige organische Säuren (z.B. Buttersäure, Propionsäure und Essigsäure), Alkohole, Wasserstoff (H₂) und CO₂ gebildet. Hiervon können die Methanbakterien nur Essigsäure, H₂ und CO₂ direkt in Methan umwandeln.

Im dritten Verfahrensschritt, der acetogenen Phase, werden die gebildeten organischen Säuren und die Alkohole durch die acetogenen Bakterien in Essigsäure (Acetat) umgewandelt.

Die methanogene Phase ist hauptsächlich für die Bildung von Methan verantwortlich. Die beiden ersten sowie die beiden letzten Phasen stehen jeweils eng miteinander in Verbindung. Deshalb kann man in der Praxis den gesamten anaeroben Abbau im Faulbehälter auch als zweistufiges Abbauschema sehen.



Abb. 13: Vereinfachtes Schema des zweistufigen anaeroben Abbaus

Bei der anaeroben Stabilisierung kann die biologische Abwasserreinigungsstufe **deutlich höher** befrachtet werden, so dass die Beckenvolumina erheblich reduziert werden können. Allerdings ist der Klärschlamm, der aus diesem System entnommen wird, äußerst aktiv. Er muss daher in einer weiteren Anlagenstufe, dem sogenannten Faulbehälter, unter Abschluss von Luftsauerstoff separat stabilisiert werden. Das hierbei entstehende Faulgas kann dann mit Hilfe eines Blockheizkraftwerkes verstromt werden.

Während bei der Variante der aeroben Stabilisierung demnach in erheblichem Maße Energie zugeführt werden muss, zeichnet sich die anaerobe Stabilisierung gemäß der nachstehenden Abbildung dadurch aus, dass sie bei geringerem Energieverbrauch zudem einen **Energiegewinn** durch die mögliche Stromerzeugung aus Faulgas verzeichnet.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

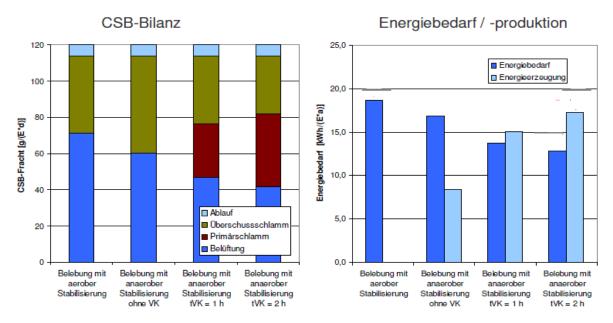


Abb. 14: Energiebilanz bei der Schlammstabilisierung

Die anaerobe Stabilisierung weist gegenüber der Variante der aeroben Stabilisierung deutliche Betriebskostenvorteile auf. Allerdings ist zu beachten, dass die Investitionskosten durch den notwendigen Bau einer Faulbehälteranlage mit Gasspeicherung, Gasverstromung (BHKW) und Maschinenhaus im Vergleich zur aeroben Stabilisierung höher sind.

Die Wirtschaftlichkeitsgrenze für den Bau von Faulbehälteranlagen wurde in der Vergangenheit, je nach Randbedingungen, bei Ausbaugrößen ab etwa 30.000 EW gesehen. Aufgrund der aktuellen Entwicklung der Stromkosten hat sich diese Grenze jedoch schon jetzt deutlich nach unten bewegt. Eine Stagnation oder gar Umkehr der Energiepreisentwicklung ist nicht zu erwarten. Vielmehr dürfte der "Energiehunger" der aufstrebenden Wirtschaftsnationen China und Indien eher zu einer weiteren rasanten Verknappung der Primärenergieträger und somit zu einer Verteuerung von Energie führen. Weiterhin ist es bisher, trotz der Liberalisierung des Strommarktes, nicht gelungen, dem in Deutschland engen Stromoligopol, bei dem nur wenige große Anbieter vielen, meist kaum organisierten Abnehmern, ihre Ware bei möglichst geringer gegenseitiger Konkurrenz verkaufen, entgegenzuwirken.

Die vorstehenden Überlegungen führen zwangsläufig dazu, dass die Betreiber größerer Kläranlagen im Rahmen eines verantwortungsvollen, wirtschaftlichen und zukunftssicheren Anlagenbetriebes die Verfahrensvariante der "Schlammfaulung" in ihre Überlegungen einzubeziehen haben. Auf Basis verschiedener neuerer Fachveröffentlichungen ist davon auszugehen, dass der Einsatz einer Schlammfaulung zwischenzeitlich bereits bei Ausbaugrößen ab etwa 10.000 EW wirtschaftlich sinnvoll erscheinen kann.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

8. Energiepotenziale auf Kläranlagen

Im Abwasser ist Energie in verschiedenen Formen gespeichert:

- als thermische Energie aus Haushalten und Industrie
- als hydrostatische Energie (insbesondere in bergigen Regionen)
- als Energie in den organischen Frachten.

Die Entscheidung über eine Umwandlung dieser Energieformen in nutzbare Energie ist auf Kläranlagen bisher im Wesentlichen bestimmt von der Wirtschaftlichkeit. Dabei hat die Umwandlung in **elektrische Energie** Vorrang, da diese aufgrund der Marktbedingungen und wegen spezieller politischer Rahmenbedingungen (Beispiel: Erneuerbare-Energien-Gesetz EEG) die höchsten Erlöse erzielt bzw. die höchsten Bezugskosten (Strompreise) verursacht.

Die erzeugte, hauptsächlich zum Eigenverbrauch eingesetzte **Wärmeenergie** wird demgegenüber deutlich geringer bewertet und steht daher (bisher) nicht im Fokus des Energiemanagements.

Durch das wachsende Bewusstsein, insbesondere für die Verknappung der fossilen Energieträger sowie die Probleme des Klimawandels, spielen zwischenzeitlich neben reinen Wirtschaftlichkeitsüberlegungen auch die Aspekte des Klimaschutzes und der Ressourcenschonung bzw. -verfügbarkeit eine immer größere Rolle bei Investitionsentscheidungen. Dabei steht die Wandlung und Nutzung der in den organischen Frachten gebundenen Energie beim Energiemanagement auf Kläranlagen im Vordergrund.

Bei der biologischen Abwasserreinigung werden die im Abwasser in reduzierter Form vorliegenden Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen unter Zufuhr von Luftsauerstoff biochemisch oxidiert. Endprodukte des Prozesses sind im Wesentlichen Kohlenstoffdioxid und Wasser. Der Energieinhalt dieser Abbauprodukte ist deutlich niedriger als der Energieinhalt der Ausgangssubstrate. Die Energiedifferenz geht praktisch als nicht nutzbare Energie in Form von Abwärme verloren.

Bei der Schlammfaulung wird das ursprünglich im Abwasser in Form der reduzierten Kohlenstoffverbindungen enthaltene Energiepotenzial zum Teil in Methangas gebunden, welches zur Stromerzeugung über eine Kraft-Wärme-Maschine genutzt werden kann. Der anaerobe Prozess verbraucht selbst nur eine unbedeutende Energiemenge, d. h. die Abwärmemenge ist im Verhältnis zu jener beim aeroben Abbau praktisch vernachlässigbar. Damit ergibt sich die Möglichkeit, einen Anteil des, vor allem für die aeroben Abbauprozesse, erforderlichen Energieaufwands durch die Verwertung des bei der Schlammfaulung gewonnenen Methangases abzudecken.

Ein ungefähres, aber hinreichendes Maß für das aerob und anaerob relevante Energiepotenzial im Abwasser ist der CSB. Weil der Sauerstoffbedarf für die vollständige Oxidation der organischen Verunreinigungen etwa dem Brennwert entspricht, lässt sich der spezifische Energiegehalt des Abwassers über den (unter anaeroben Bedingungen theoretisch vollständig) zu Methan umgesetzten CSB-Gehalt stöchiometrisch wie folgt rückrechnen:

$$CH_4 + O_2 \leftrightarrow CO_2 + 2 H_2O$$

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Zur Oxidation von einem Mol Methan zu Kohlendioxid und Wasser werden demnach 64 g Sauerstoff benötigt. Methan nimmt unter Normalbedingungen (T = 0 °C; P = 1.013,25 hPa) ein Molvolumen von 22,36 l/mol ein. Hieraus berechnet sich das CH₄-Äquivalent des CSB zu

22,36 | $CH_4/mol CH_4$: 64 g CSB/mol CH_4 = rd. 0,35 | CH_4/g CSB bzw. 0,35 m³ CH_4/kg CSB.

Der Heizwert des Methans als Maß für die spezifisch nutzbare Energie beträgt 35,89 MJ/m³, so dass sich der chemisch gebundene Energieinhalt von 1 kg CSB wie folgt ergibt:

```
0.35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg} \text{ CSB } \times 35.89 \text{ MJ/m}^3 = 12.56 \text{ MJ/kg} \text{ CSB bzw. } 3.49 \text{ kWh/kg} \text{ CSB}
```

Ausgehend von einer spez. CSB-Fracht von 120 g/EW/d berechnet sich der einwohnerwertbezogene Energieinhalt des Abwassers demnach zu:

```
0,12 \text{ kg CSB/EW/d } \times 365 \text{ d/a} \times 3,49 \text{ kWh/kg CSB} = \text{rd. } 153 \text{ kWh/EW/a.}
```

Diese, in der organischen Masse gebundene Energie, die, wie nachstehend dargestellt, aber nur einem verwertbaren Potenzial von ca. 48 kWh/(E x a) entspricht, wird unter anderem mit dem Klärschlamm aus dem Abwasserbehandlungssystem ausgeschleust.

Die spez. Faulgasproduktion kann bei einer gut funktionierenden Faulung mit rd. 20 l/EW/d angenommen werden. Bei einem Energiegehalt im Faulgas von 6,5 kWh/m³ (Annahme: ca. 65 Prozent Methangehalt) ergibt sich eine spezifische Jahresenergiemenge von

```
6.5 \text{ kWh/m}^3 \times 0.02 \text{ m}^3/(\text{E x d}) \times 365 \text{ d/a} = \text{rund } 48 \text{ kWh/(E x a)}.
```

Zur Verwertung des Faulgases stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung:

- rein thermische Verwertung über Heizkesselanlagen
- Verwertung über Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, wie z. B.
 - Blockheizkraftwerke (BHKW's)
 - Mikrogasturbinen
 - Stirling-Motoren
 - Brennstoffzellen

Anmerkung:

Während Brennstoffzellen aufgrund der hohen Investitionskosten dem Einsatz auf sehr großen Kläranlagen vorbehalten sind und Stirling-Motoren keine Verbreitung gefunden haben, sind vor allem Blockheizkraftwerke weit verbreitet und technologisch ausgereift. Die in den letzten Jahren auf den Markt gekommenen Mikrogasturbinen sind aufgrund der bisher noch relativ geringen Verbreitung ebenfalls von eher untergeordneter Bedeutung.

Mit einem elektrischen Gesamt-Wirkungsgrad eines gut ausgelasteten BHKW's von etwa 35 % und einem thermischen Wirkungsgrad von etwa 55 % lassen sich aus der verfügbaren Energiemenge

```
48 kWh/(E x a) x 0.35 = ca. 17 kWh/(E x a) an elektrischer Energie und 48 kWh/(E x a) x 0.55 = ca. 27 kWh/(E x a) an thermischer Energie erzeugen.
```

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Für die anschließenden Entsorgungswege ist die Stabilisierung des Klärschlammes oftmals zwingend erforderlich (landwirtschaftliche Verwertung) oder zumindest die Regel (thermische Verwertung). Wird die Stabilisierung auf aerobem Wege erreicht, ergibt sich für den Betreiber aus energetischer Sicht eine Doppelbelastung:

- erhöhter Energieverbrauch für die Belüftung und Umwälzung sowie
- · keine Eigenenergieerzeugung

Aus dieser Überlegung heraus müssten alle Kläranlagen (zumindest ab einer bestimmten Ausbaugröße) mit einer getrennten, anaeroben Schlammstabilisierung zur Erzeugung wertvollen Biogases ausgerüstet werden. Bei kleinen und mittleren Kläranlagen scheitert diese Verfahrenswahl oftmals an den hohen Investitionskosten für die Errichtung baulich aufwändig gestalteter Faulbehälteranlagen mit den zugehörigen Peripherieanlagenteilen für Gasspeicherung und -verwertung. Zur Verbesserung dieser Situation sind **innovative Lösungsansätze** gefordert, die eine deutliche Reduzierung der Investitionskosten bei gleichbleibender Betriebssicherheit gewährleisten.

9. Verfahrensumstellung auf Schlammfaulung

Bei Umstellung der Verfahrensführung auf Klärschlammfaulung erfolgt die Stabilisierung des Klärschlammes unter anaeroben Bedingungen in einem sogenannten Faulbehälter. Dabei ergeben sich folgende maßgebenden Veränderungen für den Betrieb der biologischen Anlagenstufe:

- Reduzierung der organischen Schmutzfrachten um ca. 25 % durch Integration eines Vorklärbeckens oder einer Feinsiebanlage in den Verfahrensablauf
- Erhöhung der Stickstofffrachten um ca. 15 bis 20 % aufgrund der höheren Belastung des Schlammwassers des ausgefaulten Schlammes
- Einzuhaltendes Schlammalter im Belebungsbecken 12 14 d (nur noch N\u00e4hrstoffelimination; keine Anforderungen f\u00fcr simultane Stabilisierung)

9.1 Nachweis der biologischen Anlagenstufe

Gemäß der durchgeführten Nachweisberechnung (s. Anlage) ist bei Umstellung der Verfahrensführung auf Schlammfaulung sowie bei Integration einer Vorklärung in den Abwasserweg nur noch ein Belebungsbeckenvolumen von rd. 5.000 m³ erforderlich. Die beiden vorhandenen Becken haben ein Volumen von insgesamt 7.880 m³. Hierdurch stehen zukünftig erhebliche Sicherheitsreserven zur Verfügung. Zur Anpassung der Schlammbelastung an die neue Verfahrensführung kann zudem der Feststoffgehalt in den Becken von derzeit rd. 4 g/l auf zukünftig nur noch ca. 3 g/l reduziert werden. Neben einer Reduzierung des Sauerstoffverbrauchs ergibt sich hierdurch auch eine Entlastung des Nachklärbeckens.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

9.2 Vorklärbecken/Feinstsiebanlage

Das Vorklärbecken dient zur Abscheidung der ungelösten organischen Abwasserinhaltsstoffe, die sich am Beckenboden absetzen und den sogenannten Primärschlamm bilden. Dieser sammelt sich nach der Räumung im Pumpensumpf an und wird üblicherweise in den Faulturm gefördert. Durch die Integration einer Vorklärung in den Verfahrensablauf der Abwasserreinigung ergibt sich zum einen eine erhebliche Entlastung der nachfolgenden biologischen Anlagenstufe (ca. 25 %). Zum anderen trägt der energiereiche Vorklärbeckenschlamm maßgebend zur Gasproduktion und zur Verbesserung der Gasqualität in der Schlammfaulungsanlage bei.

Im Allgemeinen wird zur Vorklärung ein rechteckiges oder rundes, maschinell geräumtes Absetzbecken vorgesehen, welches zwischen Sandfang und Belebungsbecken angeordnet wird. Zur Vermeidung einer zu hohen BSB₅-Elimination und damit einer Verschlechterung des C:N-Verhältnisses werden die Becken in der Regel auf eine Aufenthaltszeit von ca. 1,0 h bei Trockenwetterzufluss bemessen. ⁵

Bei einem Trockenwetterzufluss von ca. 200 m³/h berechnet sich demnach ein erforderliches Nutzvolumen von

$$V_{VKB} = Q_{TW} x t_A = 200 \text{ m}^3/\text{h} x 1,0 \text{ h} = 200 \text{ m}^3.$$

Bei Wahl eines Rundbeckens ergibt sich daraus ein erf. Beckendurchmesser von 11,0 m.

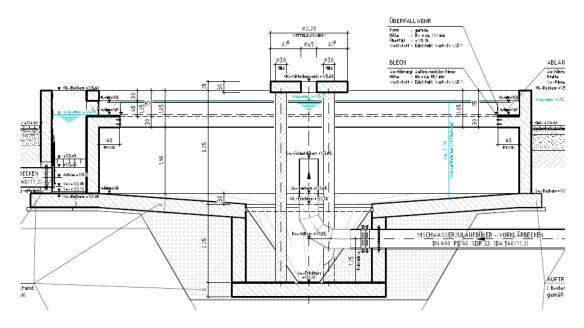


Abb. 12: Vorklärbecken, Schnitt

⁵ Aufgrund der niedrigen Stickstofffrachten könnten im vorliegenden Fall durchaus höhere Aufenthaltszeiten gewählt werden, was sich dann positiv auf den Primärschlammanfall und damit auch auf die Gasproduktion auswirken würde.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Aufgrund der beengten Platzverhältnisse auf der Kläranlage ist die Anordnung eines Vorklärbeckens mit den zusätzlich erforderlichen Primärschlammpumpwerk voraussichtlich nicht, bzw. nur unter äußerst beengten Bedingungen möglich. Hinzuweisen ist weiterhin darauf, dass die für das Durchströmen des Vorklärbeckens erforderliche hydraulische Höhe voraussichtlich durch ein Zwischenpumpwerk ausgeglichen werden muss. ⁶

Eine platzsparende Alternative zum Vorklärbecken bietet der Einsatz einer Feinstsiebanlage mit Quadratmaschengeweben, wie sie z. B. von der Fa. Huber angeboten werden. Diese Anlagentechnik mit kleinen Öffnungsweiten von bis zu 0,2 mm bietet die Möglichkeit, gleiche Entnahmeleistungen wie bei einem Vorklärbecken, jedoch bei erheblich geringerem Platzbedarf zu realisieren.

Im Falle der Fa. Huber handelt sich um eine Maschine, die auf dem bewährten Prinzip der ROTAMAT-Siebanlagen basiert. Aufgrund der Trommelform weist die Maschine eine große Siebfläche auf, wodurch Strömungswiderstand und Druckverlust auch bei großen Durchflüssen gering bleiben.

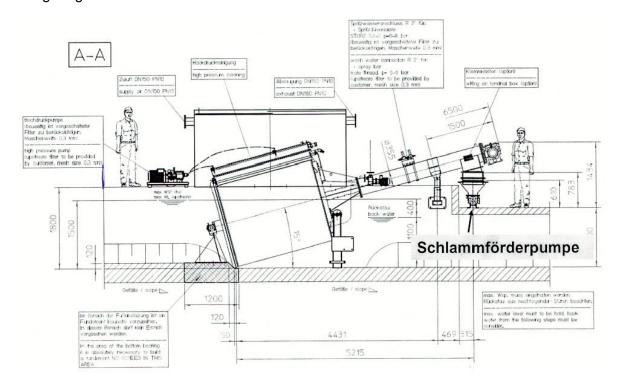


Abb. 14: Feinstsiebanlage, Schnitt

Das anfallende Siebgut (Primärschlamm) wird direkt in die Ansaugöffnung einer Exzenterschneckenpumpe abgeworfen und zur weiteren Behandlung in den Faulturm gefördert.

Der nachfolgende Lageplanausschnitt zeigt eine mögliche Anordnung der Feinstsiebmaschine in einem Aufstellungsgebäude (z. B. Fertiggarage) auf der vorhandenen Freifläche im Anschluss an das bestehende Regenüberlaufbecken. Auch hier ist zu berücksichtigen, dass die Beschickung der Anlage voraussichtlich über ein Zwischenpumpwerk zu erfolgen hat.

⁶ Notwendigkeit muss im Rahmen einer hydraulischen Überrechnung geprüft werden

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

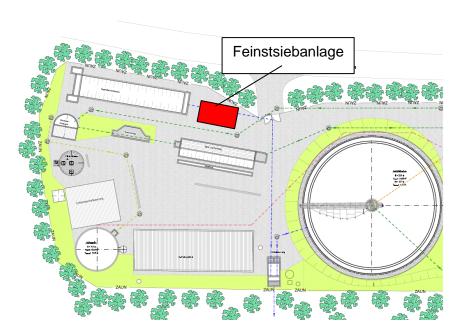


Abb. 15: Lageplanausschnitt mit möglicher Anordnung einer Feinstsiebanlage

9.3 Schlammfaulung

Die heute bestehenden Schlammfaulungsanlagen wurden in der Vergangenheit häufig sehr großzügig dimensioniert. Bei einem durchschnittlichen Volumen von knapp 50 l/EW und mit der Annahme eines spezifischen Schlammanfalls von 1,5 - 2 l/EW/d errechnet sich bei Vollauslastung bereits eine Faulzeit von im Mittel 20 bis 35 Tagen. Berücksichtigt man einen Auslastungsgrad von etwa 70 %, so ergeben sich oftmals mittlere Faulzeiten von 35 bis 45 Tagen.

Wie die nachfolgenden Abbildungen verdeutlichen, sind jedoch ab einer Aufenthaltszeit von 10 bis 15 Tagen im Faulbehälter keine signifikanten Veränderungen hinsichtlich oTR-Abbau, Gehalt an organischen Säuren und Gasproduktion mehr feststellbar.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

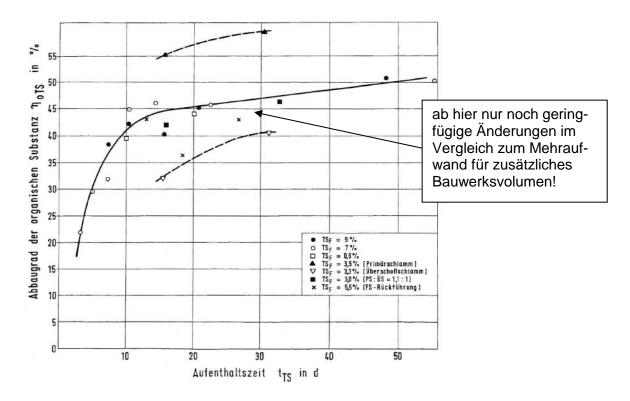


Abb. 16: Abbaugrad der org. Substanz in Abhängigkeit von der Aufenthaltszeit (Quelle: Kapp)

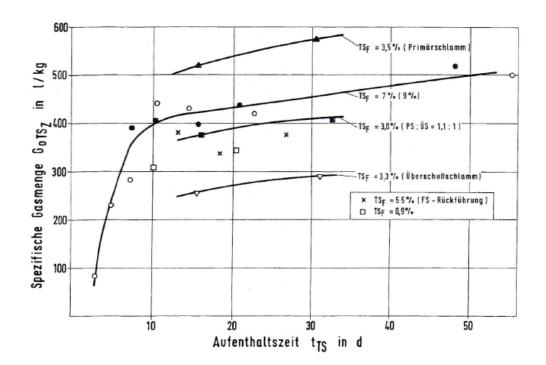


Abb. 17a: Gasproduktion in Abhängigkeit von der Aufenthaltszeit (Quelle: Kapp)

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

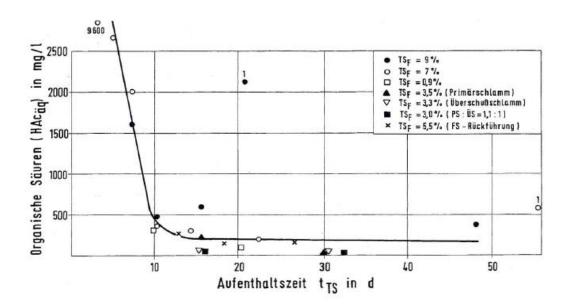


Abb. 17b: Gehalt an org. Säuren im Schlammwasser in Abhängigkeit der Aufenthaltszeit (Quelle: Kapp)

Der Gehalt an niederen organischen Fettsäuren (Essigsäure, Propionsäure, Buttersäure, Valeriansäure) ist ein Maß für den Fortschritt des anaeroben Abbaus, weil sie die wichtigsten Zwischenprodukte darstellen (siehe Abb. 5). Ein niedriger Säuregehalt deutet darauf hin, dass der Abbau der Säuren durch die Methanbakterien einen stabilen Faulprozess gewährleistet.

Als Schwellenwert kann eine Konzentration der Säuren im Faulwasser von kleiner 500 mg HAc_{āq}/I (gemessen als Essigsäureäquivalent) angesehen werden, der bei einem optimierten Prozess normalerweise bereits bei Aufenthaltszeiten von 10 Tagen unterschritten wird. Bei höheren Feststoffgehalten im Schlamm können auch etwas höhere Säuregehalte vorkommen, ohne dass dies eine schlechtere Ausfaulung bedeutet.

In Folge der in der Vergangenheit sehr großzügigen Dimensionierung der Faulungsanlagen wurde die sichere Ausfaulung und Stabilisierung des Schlammes praktisch immer gewährleistet. Abbaugrad und Gasentwicklung sind ohne zusätzliche Maßnahmen, wie z. B. Desintegration, im Allgemeinen nicht signifikant zu steigern. Das große Bauvolumen, die konventionelle Bauweise (Eiform; Zylinder-Kegel-Form) und die aufwändige Installation (Schwimmschlammtüre, Entnahmeeinrichtungen, Trübwasserrohre usw.) bilden in sich ein schlüssiges Konzept mit zusätzlichen Zielsetzungen, die heute nicht mehr relevant sind:

Der konisch zulaufende Behälterkopf diente zur Minimierung der Schlammoberfläche im Hinblick auf ein einfacheres Entfernen von Schwimmschlamm. Aufgrund der heutigen Feinrechenanlagen im Kläranlagenzulauf ist die Gefahr der Schwimmdeckenbildung jedoch deutlich reduziert.

Im Faulbehälter wurde gleichzeitig auch das Verfahrensziel der Schlammeindickung verfolgt, was durch die trichterförmige Ausbildung des Bodens begünstigt wird. Diese Zielsetzung ist jedoch aus verfahrenstechnischen Gründen überholt, da nur ein volldurchmischter Reaktor hohe Stoffumsatzraten gewährleistet.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Aufgrund dieser aufwändigen Bauweise wird die Schlammfaulung oftmals als zu teuer erachtet. Aus einer Vielzahl von Untersuchungen und praktischen Erfahrungen in den letzten zwei Jahrzehnten weiß man, dass eine völlig ausreichende Stabilisierung des Schlammes mit deutlich geringerem baulichen, verfahrenstechnischen und somit finanziellen Aufwand erreicht werden kann. Dabei wird die immer wieder zitierte Betriebssicherheit nicht in Frage gestellt. Im Gegenteil, konstruktive Änderungen am Behälter sind beispielsweise geeignet, Betriebsprobleme, wie z. B. Schaumbildung, besser zu beherrschen, oder sie erst gar nicht entstehen zu lassen. Zielsetzung muss daher eine Optimierung der Schlammfaulung im konstruktiven und darauf abgestimmten ausrüstungstechnischen Bereich zur deutlichen Reduzierung der Investitionskosten sein.

Von der Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner mbH wurde hierzu eine Kompaktfaulungsanlage entwickelt, die den vorgenannten Aspekten vollumfänglich Rechnung trägt. Dabei wurden die folgenden wesentlichen Optimierungsansätze berücksichtigt:

- einfache Bauwerkskubatur
- kompakte Anordnung
- Durchmischung mit kostengünstigen Zentralrührwerken
- Aufteilung des Gesamtvolumens auf mehrere Reaktoren zur Nutzung der verfahrenstechnischen Vorteile der mehrstufigen Abbaukinetik

Der Gedanke, den Faulprozess durch Aufteilen des Behältervolumens auf mehrere hintereinandergeschaltete Behälter zu intensivieren ist eigentlich naheliegend, da der positive Effekt der Kaskadenschaltung auf die Reaktionskinetik schon lange bekannt ist (Monod-Kinetik bzw. Michaelis-Menten-Gleichung). Für die Schlammfaulung wurde er bereits in den 30er-Jahren des vorigen Jahrhunderts genutzt. Allerdings beheizte und durchmischte man hier die zweite Stufe nicht. Noch heute werden die nachgeschalteten Faulbehälter, die nur etwa 10 - 20 % des Faulgases liefern, überwiegend als Nacheindicker und Schlammspeicher betrieben.

Wechs (1985) und Pfeiffer (1989) untersuchten die Intensivierung des Abbaus durch Hintereinanderschalten zweier Stufen, wobei in beiden Stufen Methan gebildet werden sollte. Bei einer Verweilzeit in der ersten Stufe von nur 2 - 4 Tagen erreichten sie die höchste volumenspezifische Faulgasproduktion von ca. 4 Nm³/(m³ x d).

Die nachfolgende Abbildung zeigt den möglichen Abbaugrad (bezogen auf die praktische Faulgrenze) in Abhängigkeit der Gesamtfaulzeit für die ein- und zweistufige Verfahrensführung.

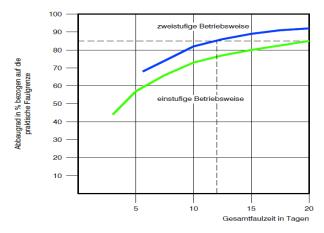


Abb. 18: Abbaugrad bei einstufiger und zweistufiger Verfahrensführung (Quelle: Roediger/Kapp)

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Die Abbildung verdeutlicht, dass bei zweistufiger Verfahrensführung und einer Aufenthaltszeit von 2 x 6 Tagen die gleichen Abbaugrade zu erreichen sind, wie bei einstufiger Verfahrensführung und einer Aufenthaltszeit von 20 Tagen.

9.3.1 Dimensionierungsgrundlagen

Für die Dimensionierung der Faulungsanlage wird von einer mittleren Anlagenauslastung der KA Zell-Bullay-Alf von 33.000 EW ausgegangen.

Zur Dimensionierung der Schlammfaulungsanlage werden gemäß der Schlammliste nach ATV-DVWK-Merkblatt M 368 "Biologische Stabilisierung von Klärschlamm" folgende spez. Schlammmengen berücksichtigt:

Primärschlamm : 35 g/EW/d $(t_{A,VKB} = 1,0 h)$

Zuschlag bei Entwässerung im Mischsystem: 20 %

Überschussschlamm : $39,7 \text{ g/EW/d} \text{ (}t_{TS} = 15 \text{ d)}$

Hieraus berechnen sich die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Dimensionierungskenndaten (s. hierzu beigefügte Berechnungen):

Parameter	Einheit	PS	ÜS	Gesamt
TR-Menge	kgTR/d	1.386	1.310	2.696
TR-Konzentration	%	3,5	6,0	4,4
Schlammmenge	m ³ /d	46,2	23,8	50
Anteil oTR	% oTR von TR	75	69	72
oTR-Menge	kg oTR/d	1040	930	1.970

Tab. 5: Zusammenstellung der Dimensionierungskenndaten

9.3.2 Faulraumvolumen und Ausführungsart

Als Faulung wird die zweistufige Kompaktfaulungsanlage nach dem Anlagensystem der Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner mbH vorgesehen. Unter Berücksichtigung der vorstehenden Ausführungen und einer Faulzeit von 17 Tagen wird ein zu realisierendes Faulraumvolumen von 1.200 m³ vorgeschlagen (s. hierzu den beigefügten Dimensionierungsnachweis). Bei Aufteilung auf eine 2-stufige Anlage erhält jede Anlagenstufe demnach folgende Hauptabmessungen:

Faulbehälter 1: L x B : 9,0 x 9,0 m

Füllhöhe : 7,83 m Nutzvolumen : 610 m³

Faulbehälter 2: L x B : 9,0 x 9,0 m

Füllhöhe : 7,60 m Nutzvolumen : 590 m³

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Hiermit sind hohe Sicherheiten gegenüber Belastungsschwankungen sowie eine ausreichende Reservekapazität für zukünftige Entwicklungen gewährleistet. Auch bei Außerbetriebnahme einer Behälterstufe zu Wartungszwecken bzw. zur Revision wird mit einer verbleibenden Aufenthaltszeit von > 8 d eine weitgehende Stabilisierung sichergestellt.

Die nachfolgenden Skizzen zeigen einen Grundriss sowie einen Schnitt des vorgeschlagenen Anlagenkonzepts:

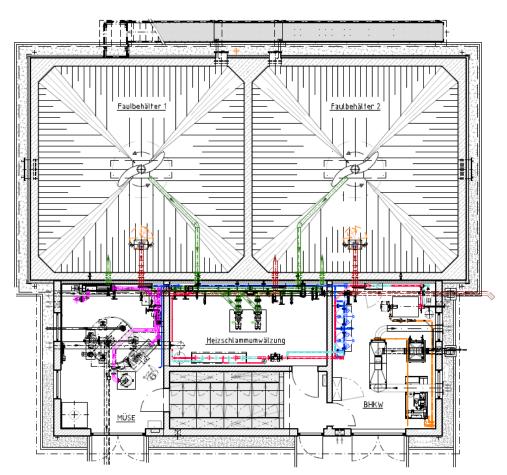


Abb. 19: Grundriss 2-stufiger Kompaktfaulbehälter

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

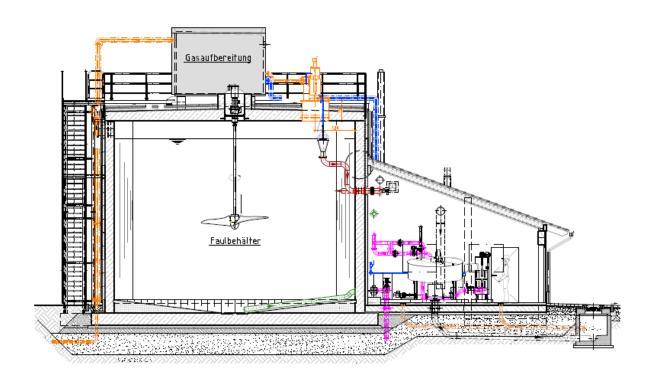


Abb. 20: Schnitt durch den Faulbehälter 1

Der Verfahrensablauf der mehrstufigen Faulung gestaltet sich im Wesentlichen wie folgt:

Der statisch voreingedickte Primärschlamm aus dem Vorklärbecken oder der Feinstsiebung wird mit dem maschinell eingedickten Überschussschlamm in den Rohschlammvorlagebehälter gefördert und mittels eines Tauchmotorrührwerks homogenisiert. Mit einer Exzenterschneckenpumpe wird der Rohschlamm aus dem Vorlagebehälter entnommen und über den Doppelmantelwärmetauscher in den Heizschlammkreislauf eingemischt und in den Faulbehälter 1 gefördert. Die Beschickung erfolgt mehrmals am Tag. Durch die Rohschlammzugabe erhöht sich der Flüssigkeitsspiegel im Behälter, so dass eine entsprechende Schlammmenge über den installierten Ablauftrichter in den nächsten Behälter verdrängt wird.

Zur Aufheizung des Schlammes auf die vorgesehene Betriebstemperatur von ca. 35 bis 38 °C sowie zur Abdeckung der Abstrahlverluste wird ein Heizschlammumwälzkreislauf betrieben. Hierzu wird der Schlamm über eine Saugleitung bodennah aus der Behältermitte abgezogen und mit einer Umwälzpumpe über den nachfolgenden Doppelmantelwärmetauscher wieder in den Behälter zurückgeführt. Jeder Behälter erhält eine separate Umwälzpumpe. Die Ansteuerung der Pumpen erfolgt über die Messung der Schlammtemperatur im Behälter.

Für die Wärmeübertragung vom Heizwasser auf den Schlamm wird ein Doppelmantelwärmetauscher mit der entsprechend erforderlichen Heizleistung installiert.

Die Durchmischung der Behälter erfolgt über Rührwerke. Hierzu ist je Behälter der Einbau eines Vertikalrührwerkes vorgesehen.

Der ablaufende Schlamm aus dem Behälter 1 wird über eine Überlaufleitung in den Behälter 2 abgeleitet. Auch dieser Behälter wird mit einem Rührwerk durchmischt und erhält einen baugleichen Ablauftrichter zum Abzug des ausgefaulten Schlamms.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Über Sichtfenster in den Gasentnahmedomen kann eine optische Inspektion der Behälter durchgeführt werden.

Die Ausführung der Faulbehälter erfolgt in Stahlbetonbauweise. Die Wärmeschutzisolierung der Wand- und Dachfläche erfolgt mit 10 cm starken Hartschaumplatten. Die Wandflächen werden anschließend mit einer Trapezblechverkleidung geschützt, während die Dachflächen mit einer 3-lagigen Bitumenschweißbahn, einer 3 cm starken Kiesschüttung und einem Betonplattenbelag ausgestattet werden. Zur Bodenisolierung werden die Behälter auf einer ca. 25 cm starken Schicht aus Schaumglasschotter gegründet.

Zum Aufstieg auf die Behälter wird eine einläufige Treppe mit Zwischenpodest in Stahlprofileisenkonstruktion vorgesehen. Weiterhin erhalten die Behälter ein umlaufendes Sicherheitsgeländer.

Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft die ausgeführte Anlagentechnik auf der KA Linz-Unkel (Ausbaugröße 28.000 EW).



Abb. 21: Kompaktfaulbehälter mit vorgelagertem Maschinenhaus auf der KA Linz-Unkel

9.3.3 Gasproduktion und Energieinhalt

Die Gasproduktion wurde gemäß separater Berechnung (s. Anlage) mit rd. 800 m³/d ermittelt. Der Energieinhalt des erzeugten Faulgases beträgt bei einem angenommenen Methananteil von 63 Vol-% CH₄ etwa 6,3 kWh/m³, so dass sich ein theoretischer Energiegewinn von

 $E_{Gas} = rd. 800 \text{ m}^3/d \text{ x } 6,3 \text{ kWh/m}^3 = 5.040 \text{ kWh/d}$

ergibt.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

9.4 BHKW

Bei Verstromung des anfallenden Faulgases über ein BHKW kann folgende Energieausbeute erzielt werden:

Wirkungsgrad Stromerzeugung : ca. 35 % Wirkungsgrad Wärmeerzeugung : ca. 49 %

Theoretische Stromproduktion : $5.040 \text{ kWh/d} \times 0.35 \times 0.95^7 = 1.675 \text{ kWh/d}$ Theoretische Wärmeproduktion : $5.040 \text{ kWh/d} \times 0.49 \times 0.95 = 2.345 \text{ kWh/d}$

Zur energetischen Verwertung des anfallenden Faulgases wird der Einsatz eines Blockheizkraftwerkes mit einer elektrischen Leistung von 75 kW vorgeschlagen.

9.5 Gasspeicher

Der Gasspeicher hat die Aufgabe, Produktionsschwankungen, Verbrauchsschwankungen und Volumenänderungen auf Grund von Temperaturschwankungen auszugleichen bzw. produziertes Gas zur späteren Nutzung zu speichern.

Zur Gewährleistung eines möglichst flexiblen Betriebs des BHKW's sowie zur Überbrückung von Zeiten mit geringerer Gasproduktion sollte das Nutzvolumen des Gasspeichers ca. 50 % der voraussichtlichen Tagesproduktion betragen, im vorliegenden Fall ca. 400 m³. Hierfür werden in der Regel oberirdisch aufgestellte Gasspeicher mit einer zylindrischen Blechverkleidung vorgesehen, die auf einer Stahlprofileisenkonstruktion befestigt wird. An dieser Konstruktion wird ebenfalls die eigentliche Speichermembran befestigt. Die Anlagen werden entweder drucklos (mit anschließendem Gasdruckerhöhungsgebläse) oder als gewichtsbelasteter Niederdruckgasspeicher ausgeführt (s. nachfolgende Abbildungen).

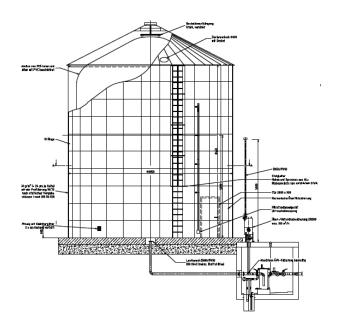




Abb. 22: druckloser Gasspeicher

_

⁷ Verfügbarkeit BHKW

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Auf der KA Zell-Bullay-Alf steht nach bisherigem Erkenntnisstand keine geeignet Fläche zur Verfügung, so dass im vorliegenden Fall nur ein geringeres Speichervolumen realisiert werden kann. Im Rahmen der Studie wird daher ein liegender Niederdruckgasspeicher mit einem Volumen von ca. 125 m³. Durch die liegende Anordnung des Behälters ergeben sich gegenüber den vorbeschriebenen großen Gasspeichern allerdings deutliche optische Vorteile, was aufgrund der exponierten Lage an der touristisch stark frequentierten Mittelmosel sicherlich auch erhebliche Vorteile haben dürfte.



Abb. 23: liegend angeordneter Niederdruckgasspeicher

10. Anordnungsvorschlag

Wie bereits beschrieben, kann das in der biologischen Anlagenstufe einzustellende Schlammalter bei Umstellung der Verfahrensführung auf Schlammfaulung beträchtlich reduziert werden. In Verbindung mit dem BSB₅-Vorabbau im Vorklärbecken ergibt sich hieraus in der Regel etwa eine Halbierung des erforderlichen Beckenvolumens. Bei einer zweistraßigen Ausführung der Belebungsanlage kann hierdurch in der Regel ein Becken außer Betrieb genommen werden.

In einem ersten Konzept wurde dies auch für die KA Zell-Alf-Bullay angenommen. Durch die Außerbetriebnahme bzw. den Teilrückbau und die Verfüllung des Beckens sollte die frei werdende Fläche für die Anordnung der neuen Anlagenstufen genutzt werden.

Im Rahmen der weiteren Bearbeitung der Studie hat sich jedoch herausgestellt, dass dies im vorliegenden Fall aufgrund der Belastung der Kläranlage nicht möglich ist.

Das Alternativkonzept sieht daher vor, durch den Rückbau der nicht mehr genutzten Entwässerungshalle, des alten Schlammsilos, der Fäkalschlammannahmestation sowie des Garagenanbaus am Betriebsgebäude ein geeignetes Baufeld zu schaffen. Gleichzeitig müssen die angrenzenden Hangbereiche durch Anordnung von L-Stein oder Gabionenwänden so aufgebaut werden, dass sich eine zusätzliche Flächenvergrößerung ergibt.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Das Aufstellungsgebäude für die Feinstsiebung mit dem erforderlichen Beschickungspumpwerk würde zwischen dem Regenüberlaufbecken und der Zufahrt angeordnet. Auch hier müsste voraussichtlich noch zusätzliche Fläche durch die Anordnung von Stützwänden realisiert werden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Anordnungsvorschlag für die 2-stufige Kompaktfaulung mit den erforderlichen Peripherieanlagenstufen auf dem Kläranlagenstandort:



Abb. 24: Anordnungsvorschlag Schlammfaulung mit Peripherieanlagentechnik

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Für die Umsetzung der Verfahrensumstellung sind im Wesentlichen folgende Leistungen erforderlich:

- Rückbau verschiedener Altanlagenteile, im Wesentlichen
 Schlammsilo 1, Entwässerungshalle, Fäkalschlammpumpwerk und Garagenanbau am Betriebsgebäude
- Vergrößerung der Betriebsfläche bzw. des Baufeldes durch den Bau von ca.
 100 lfdm. L-Stein- oder Gabionenstützwand in Verbindung mit den notwendigen Geländeregulierungen
- Bau eines Aufstellungsgebäudes für die Feinstsiebung incl. vorgelagertem Beschickungspumpwerk (Tauchmotorpumpen)
- Bau einer 2-stufigen Kompaktfaulung (V = 2 x 600 m³) incl. zugehörigem Technikgebäude
- Bau eines Faulschlammsammel- bzw. -ablaufschachtes
- Installation eines Gasspeichers und einer Notgasfackel
- Installation eines Blockheizkraftwerkes
- Installation der messtechnischen Einrichtungen
- Einbindung der EMSR-technik in das vorh. Leitsystem
- Rohrleitungs- und Kabelverlegungen
- Oberflächenbefestigungsarbeiten

Anmerkungen:

Die Entwässerungshalle kann ggfls. verkauft bzw. an anderer Stelle wieder aufgebaut werden.

Die Ablaufleitung aus dem RÜB sollte verlegt werden, so dass sie nicht mehr unter dem Aufstellungsgebäude der Feinstsiebung verläuft.

Die ÜSS-Eindickung ist bereits vorhanden und wird in das Konzept eingebunden. Hierfür ist eine Druckleitung von der Eindickmaschine zum Technikgebäude der Schlammfaulung zu verlegen.

Die Beschickung des Faulbehälters erfolgt direkt, d. h. ohne Rohschlammzwischenlagerbehälter.

11. Zukünftiger Verfahrensablauf

Der zukünftige Verfahrensablauf auf der KA bei Umsetzung der vorstehend aufgezeigten Maßnahmen ergibt sich wie folgt:

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

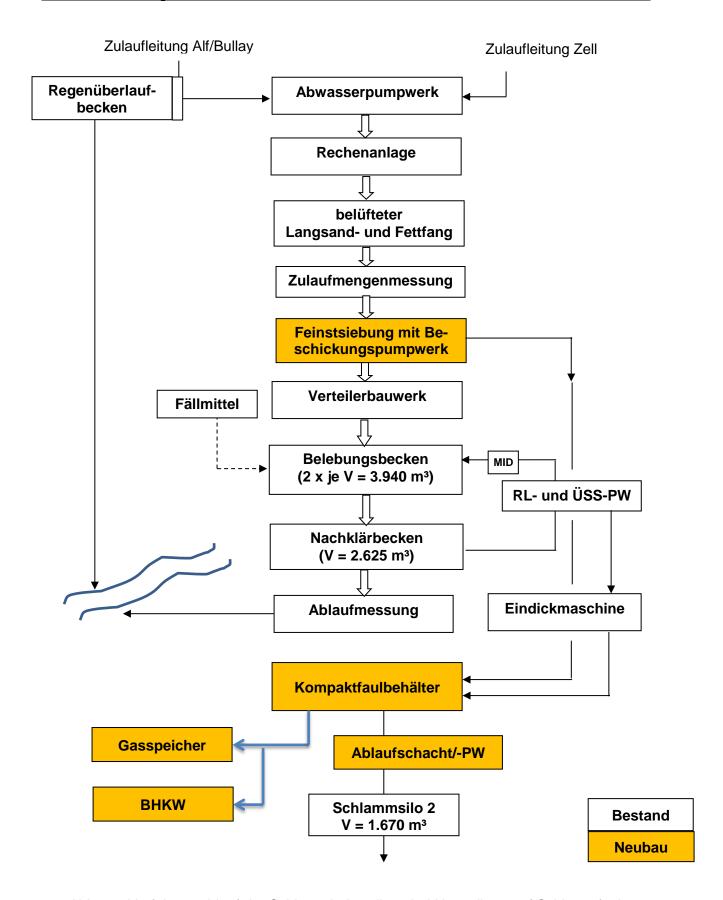


Abb. 25: Verfahrensablauf der Schlammbehandlung bei Umstellung auf Schlammfaulung

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Die Verfahrensführung sieht demnach vor, dass anfallende Abwasser nach der mechanischen Vorreinigung nicht mehr direkt über den Quellschacht in die Belebungsbecken sondern mit Hilfe eines Zwischenpumpwerks über eine Feinstsiebmaschine zur weitergehenden mechanischen Vorklärung abzuleiten. Das Pumpwerk wird dabei so ausgelegt, dass es mit variablen Fördermengen betrieben werden kann. Hierdurch kann im späteren Betrieb entschieden werden, ob im Regenwetterfall der gesamte Mischwasserzufluss oder nur eine Teilwassermenge über die Maschine gefahren werden soll.

Das vorgeklärte Abwasser wird anschließend über ein neu zu bauendes Schachtbauwerk wieder in die vorhandene Verbindungsleitung zwischen Sandfang und Quellschacht eingeleitet.

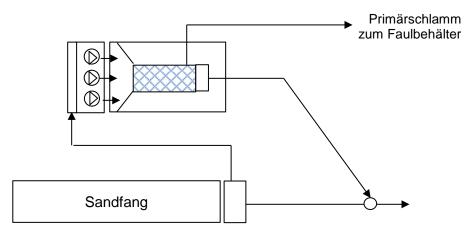


Abb. 26: Einbindungskonzept Feinstsiebung

Der abgeschiedene Primärschlamm wird über eine Exzenterschneckenpumpe zum Technikgebäude der Schlammfaulung gefördert und dort direkt über die Heizschlammumwälzleitung dem Faulbehälter zugegeben.

Zur weitergehenden Eindickung des Überschussschlammes wird derzeit eine Eindickmaschine auf der Kläranlage installiert. Der maschinell voreingedickte Schlamm wird von hier aus zukünftig ebenfalls über eine neu zu verlegende Leitung direkt dem Faulbehälter zugegeben.

Das anfallende Faulgas wird zwischengespeichert und anschließend über ein BHKW (Gasmotor oder Turbine) verstromt.

Der ausgefaulte Schlamm wird in einen Faulschlammschacht abgelassen und mittels einer Exzenterschneckenpumpe über die bestehende Verbindungsleitung in das Schlammsilo gefördert.

Wichtiger Hinweis:

Der vorliegende Referentenentwurf zur Novellierung der Klärschlammverordnung sieht ab dem Jahr 2025 ein Verbot der bodenbezogenen Verwertung von Klärschlamm für die Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5. Da die KA Zell-Alf-Bullay in die GK 4 (>10.000 EW) einzustufen ist, sollte im Hinblick darauf optional vorgesehen werden den ausgefaulten Schlamm maschinell zu entwässern und anschließend bis zur weiteren (thermischen) Verwertung auf einer überdachten Lagerfläche zwischen zu speichern.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

13. Investitionskostenschätzung

Die voraussichtlichen Kosten für die aufgezeigten Maßnahmen wurden auf Basis aktueller Ausschreibungsergebnisse sowie anhand von Erfahrungswerten über die Bauwerkskubatur wie folgt abgeschätzt (s. Anlage):

Baulicher Teil Maschinen- und Anlagentechnik EMSR-Technik	: : :	1.110.000,00 € 790.000,00 € 265.000,00 €
Zwischensumme zzgl. Baunebenkosten (Ansatz 20%)	:	2.165.000,00 € 380.000,00 €
Schätzkosten, netto zzgl. 19 % MwSt.	:	2.545.000,00 € 483.550,00 €
Schätzkosten, brutto, gerundet	:	3.030.000,00 €

14. Betriebskostenschätzung

Die zu betrachtenden Betriebskosten setzen sich im Wesentlichen aus folgenden Kostenstellen zusammen:

- Personal
- Wartung und Instandhaltung
- Strom
- Schlammeindickung und -entwässerung
- Klärschlammentsorgung

Personalkosten:

Gemäß den vorliegenden Erfahrungen bei den bisher umgesetzten Projekten zur Verfahrensumstellung auf den Kläranlagen Linz-Unkel, Selters, Westerburg, Saulheim und Nothbachtal werden die Anlagen nach der Inbetriebnahme bzw. Einarbeitungsphase vom selben Personal und mit gleicher Arbeitszeit betrieben wie vorher.

Im Rahmen der Kostenvergleichsberechnungen werden jedoch zusätzliche Kosten in Höhe von

8 h/Wo x 52 Wo/a x 30,00 €/h = 12.480,00 €/a

berücksichtigt.

Wartung und Instandhaltung

Die zusätzlichen Kosten für die Wartung der neuen Anlagenstufen werden mit folgenden prozentualen Anteilen an den Investitionskosten (brutto, ohne BNK) ermittelt:

Baulicher Teil : 0,25 %/a Ausrüstung : 0,50 %/a

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Baulicher Teil : 1.320.000,00 € x 0,0025 = 3.300,00 €/a

Ausrüstung : 1.255.000,00 € x 0,005 = 6.275,00 €/a

Summe : 9.575,00 €/a

Die Wartungskosten des BHKW's werden zusätzlich mit 0,02 €/kWh berücksichtigt. Bei einer zu erwartenden Stromproduktion von rd. 1.680 kWh/d berechnen sich Wartungskosten von

1.680 kWh/d x 0,02 €/kWh x 365 d/a = 12.265,00 €/a

Energiekosten:

Durch die Vorentlastung der biologischen Anlagenstufe durch das neue Vorklärbecken wird eine deutliche Reduzierung des Energieverbrauchs für den Betrieb der biologischen Abwasserreinigung erreicht. Die Reduzierung der einzusetzenden Gebläseenergie durch den etwa 25 %igen BSB₅-Vorabbau kann wie folgt abgeschätzt werden:

33.000 EW (im Jahresmittel) x 0,06 kg BSB₅/d x 0,25 = 495 kg BSB₅/d 495 kg BSB₅/d x 1,2 kg O₂/kWh⁸ = 594 kg O₂/d

 $(594 \text{ kg O}_2/\text{d} : 2,3 \text{ kg O}_2/\text{kWh}) \times 365 \text{ d/a} = 94.265 \text{ kWh/a}$

Zu berücksichtigen ist allerdings der zusätzliche Energieaufwand für den Betrieb des voraussichtlich erforderlichen Zwischenpumpwerks, der Feinstsiebung und der Schlammfaulungsanlage:

Zwischenpumpwerk:

Es wird davon ausgegangen, dass die gesamte Trockenwettermenge sowie ein Anteil von 50 % der bei Regenwetter zusätzlich zu behandelnden Mischwassermenge über das Zwischenpumpwerk auf die Feinstsiebanlage gefördert wird. ⁹ Gemäß den Betriebstagebuchaufzeichnungen aus dem Jahr 2014 entspricht dies einer Menge von rd.

$$460.000 \text{ m}^3 + (920.000 - 460.000) \text{ m}^3 \times 0,5 = 690.000 \text{ m}^3/\text{a}$$

Die Förderleistung der Zwischenpumpen wird mit 50 l/s bzw. 180 m³/h angenommen, woraus sich die jährliche Anzahl an Pumpenstunden zu 3.830 h/a berechnet.

Der zu überwindende Gesamthöhenverlust wird mit 1 mWS angenommen, so dass sich der Energiebedarf der Pumpen zu

$$E = Q \times H/(367 \times \eta) = 180 \times 1/(367 \times 0.5) = 1 \text{ KW}$$

und damit der Jahresenergieverbrauch des Zwischenpumpwerks zu

⁸ spez. Sauerstoffverbrauch OV_{C,BSB}

⁹ Der überschüssige Mischwasseranteil wird wie bisher direkt in die Biologie abgeleitet.

Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner mbH

Projekt: Verfahrensumstellung der KA Zell-Alf-Bullay auf Schlammfaulung

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

 $P = 3.830 \text{ h/a} \times 1 \text{ kW} = 3.830 \text{ kWh/a}$

berechnet.

Feinstsiebung:

Der Energiebedarf für die Feinstsiebung mit der anschließenden Primärschlammpumpe wird pauschal mit 0,5 kWh/EW/a angesetzt:

 $33.000 EW \times 0.5 kWh/EW/a = 16.500 kWh/a$

Faulung

Der Energiebedarf für die Faulung wird pauschal mit 2,5 kWh/EW/a angesetzt:

 $33.000 EW \times 2.5 kWh/EW/a = 82.500 kWh/a$

Eigenstromerzeugung:

Wie unter Pkt. 9.4 ermittelt, können aus dem produzierten Faulgas täglich ca. 1.675 kWh Strom erzeugt werden, was einer Jahresproduktion von rd. 610.000 kWh/a entspricht. In der Bilanzierung ergibt sich demnach ein Überschuss von

Eigenstromerzeugung : 610.000 kWh/a zzgl. Minderbedarf Entlastung Biologie : 94.265 kWh/a

704.265 kWh/a

Seite 36

./. Energieverbrauch der neuen Anlagenstufen

Zwischenpumpwerk:3.830 kWh/aFeinstsiebung:16.500 kWh/aFaulung:82.500 kWh/a

Überschuss :rd. 600.000 kWh/a

Der mittlere Jahresenergieverbrauch der Kläranlage liegt derzeit bei ca. 432.000 kWh/a. Aufgrund der Belastungserhöhung durch die zusätzlichen Abwassermengen der Fa. ZGM wird davon ausgegangen, dass sich der Energieverbrauch um ca. 15 % erhöht, so dass sich der Vergleichswert zu rd. 500.000 kWh/a berechnet.

Die Gegenüberstellung zeigt demnach, dass die Kläranlage nach Umstellung der Verfahrensführung nicht nur stromautark betrieben kann, sondern dass theoretisch sogar noch eine Überschussmenge von rd. 100.000 kWh/a in das öffentliche Netz eingespeist werden muss. Mit dem bisherigen Strompreis von rd. 20 ct/kWh berechnet sich die Stromkosteneinsparung wie folgt:

 $500.000 \text{ kWh/a} \times 0.20 \text{ €/kWh} = 100.000.00 \text{ €/a}$

Seite 37

Projekt: Verfahrensumstellung der KA Zell-Alf-Bullay auf Schlammfaulung

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Für den in das öffentliche Netz eingespeisten Strom wird eine Vergütung mit 7 ct/kWh angesetzt:

100.000 kWh/a x 0,07 €/kWh = 7.000,00 €/a

Der Stromkostenvorteil bei Umstellung auf Schlammfaulung berechnet sich demnach zu 107.000,00 €/a.

Zusätzlich zu berücksichtigen ist die Förderung durch den gewährten KWK-Bonus. Hocheffiziente fabrikneue oder modernisierte KWK-Anlagen werden nach dem KWKG gefördert, indem über einen bestimmten Zeitraum der sogenannte KWK-Zuschlag für den in der Anlage erzeugten Strom gezahlt wird. Die Auszahlung erfolgt vom Stromnetzbetreiber, an dessen Netz die Anlage angeschlossen wurde. Voraussetzung für die Auszahlung ist die Zulassung der KWK-Anlage durch das BAFA.

Die Förderung beträgt für den Leistungsanteil bis 50 kW $_{\rm el}$ 5,41 ct/kWh und für den Leistungsanteil über 50 bis 250 kW $_{\rm el}$ 4,0 ct/kWh über 30.000 Vollbenutzungsstunden ab Erstaufnahme des Dauerbetriebs. Im vorliegenden Fall berechnet sich hieraus eine voraussichtliche Gesamtfördersumme von:

für den LA bis 50 kW_{el} : 50 kW x 30.000 h x 0,0541 ct/kWh = 81.150,00 € für den LA > 50 kW_{el} : 25 kW x 30.000 h x 0,04 ct/kWh = 30.000,00 € = rd. 110.000,00 €

Die Bonuszahlung verteilt sich auf einen Zeitraum von etwa 4 Jahren, entsprechend einem Betrag von 27.500,00 €/a.

EEG-Umlage

Auf den eigenerzeugten Strom ist eine Umlage von 40% des EEG-Umlagesatzes zu zahlen:

610.000 kWh/a x 0,0642 €/kWh x 0,4 = 15.665,00 €/a

Flockungsmittel

Zur Optimierung der Zwischenlagerkapazität im anschließenden Klärschlammsilo wird auf der Kläranlage eine Eindickmaschine betrieben. Diese wird in den zukünftigen Verfahrensablauf übernommen, so dass sich hieraus keine wesentlichen Änderungen ergeben.

Klärschlammentsorgung

Die zu entsorgende Klärschlammmenge beträgt It. Angabe der VGWerke rd. 9.000 m³/a. Durch die Belastungserhöhung durch die Fa. ZGM wird davon ausgegangen, dass sich die Schlammmenge zukünftig auf ca. 10.000 m³/a steigert. Die Entsorgungskosten für die Nassschlammverwertung wurden mit 18,96 €/m³, brutto, angegeben, so dass sich die jährlichen Kosten der Klärschlammentsorgung zu

10.000 m³/a x 18,96 €/m³ = rd. 190.000,00 €/a

berechnen.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Bei einer Feststofffracht von ca. 300 Mg TR/a entspricht dies spez. Kosten von

190.000,00 €/a / 300 Mg TR/a = 633,00 €/Mg TR.

Die bisherigen Betriebserfahrungen belegen, dass sich die zu entsorgenden Schlammmengen und damit auch die Entsorgungskosten bei Umstellung der Verfahrensführung auf Schlammfaulung in der Regel um ca. 30 % reduzieren. Dieser Effekt wird durch den höheren Abbau an organischer Substanz im Faulbehälter sowie die hieraus resultierende Verbesserung der Entwässerungseigenschaften aufgrund des höheren Mineralisierungsgrades erreicht. Da eine stationäre Entwässerung zunächst nur als Option vorgeschlagen wird, wird die Schlammmengenreduzierung und damit die Reduzierung der Entsorgungskosten nur mit 20 % angenommen:

 $190.000,00 \in x 0,2 = 38.000,00 \in /a$

Die berechneten Mehr-/Minderkosten können wie folgt zusammengestellt werden:

Mehrkosten

PersonalWartung (Bauwerke und Aurüstung)Wartung BHKWEEG-Umlage	: : :		12.480,00 €/a 9.575,00 €/a 12.265,00 €/a 15.665,00 €/a
Summe Mehrkosten	:	rd.	50.000,00 €/a
<u>Minderkosten</u>			
- Strom - Schlammentsorgung	: :		107.000,00 €/a 38.000,00 €/a
Summe Minderkosten	:		145.000,00 €/a

Demzufolge ergeben sich bei Umstellung der Verfahrensführung zu erwartende Betriebskosteneinsparungen in Höhe von

145.000,00 €/a - 50.000,00 €/a = rd. 95.000,00 €/a.

Weiterhin zu berücksichtigen ist die Förderung nach dem KWK-Gesetz.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

15. Kostenvergleichsberechnung

Die Darstellung der Wirtschaftlichkeit der Investitionsmaßnahmen erfolgt auf Basis der Berechnung der Projektkostenbarwerte gemäß den Vorgaben der "Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)" der DWA vom Juli 2012.

15.1 Vorbemerkungen

Die Motivation des Anlagenbetreibers zur Umstellung der Verfahrensführung auf Schlammfaulung ergibt sich in der Regel aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen. Durch die Möglichkeit der Eigenstromerzeugung sowie durch die Reduzierung der zu entsorgenden Klärschlammmengen ergeben sich dabei erhebliche Kostenvorteile, die zur Gebührenstabilität beitragen.

Eine aufgrund von Belastungssteigerungen notwendige Kapazitätserweiterung der Kläranlage kann natürlich ebenfalls ein maßgebender Beweggrund für die Verfahrensumstellung sein. Durch den Vorabbau in der Vorklärung sowie die Verringerung des Schlammalters für eine nur noch nährstoffeliminierende Anlage (keine simultane Schlammstabilisierung mehr) ergeben sich entsprechende freie Kapazitäten in der biologischen Anlagenstufe.

Im Falle der KA Zell-Alf-Bullay sind beide Aspekte von Bedeutung, wobei der erforderlichen Kapazitätserweiterung besondere Bedeutung beizumessen ist. Obwohl die Überwachungswerte problemlos eingehalten werden können, ist die Anlage im Hinblick auf das einzuhaltende Verfahrensziel der simultanen Schlammstabilisierung bereits heute erheblich überlastet, wodurch es bereits zu temporären Geruchsbelästigungen gekommen ist. Alle belastungssteigernden Infrastrukturmaßnahmen im Einzugsgebiet, wie z. B. die Ausweisung neuer Baugebiete oder die Ansiedlung abwasserintensiver Gewerbebetriebe sind daher in Frage zu stellen, bzw. verschärfen diese Situation entsprechend. Weiterhin ist davon auszugehen, dass solche Vorhaben seitens der Aufsichtsbehörde untersagt, bzw. nur bei einer entsprechenden Kapazitätserweiterung der Kläranlage genehmigt würden.

Die durchgeführten Nachweisberechnungen zeigen, dass die beiden Belebungsbecken bei Umstellung auf Schlammfaulung noch erhebliche Kapazitätsreserven für die zukünftige Entwicklung des Einzugsgebietes aufweisen.

Wenn die Verfahrensführung nicht auf Schlammfaulung umgestellt wird, müsste alternativ hierzu eine erhebliche Erweiterung der biologischen Anlagenstufe erfolgen. Aufgrund der beengten Standortbedingungen zwischen Mosel und L 199 sowie unter Berücksichtigung der frei zu haltenden Überschwemmungsbereiche stehen hierfür jedoch keine ausreichenden Flächen zur Verfügung, so dass diese Alternative kostenmäßig nicht weiter untersucht wurde.

Es ist daher festzuhalten, dass die wirtschaftlichen Beweggründe für eine Verfahrensumstellung der KA Zell-Alf-Bullay von untergeordneter Bedeutung sind, bzw., dass die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen sich aus technischen Notwendigkeiten ergibt. Da zudem mit der Verfahrensumstellung für die erforderliche Kapazitätserweiterung quasi nur eine Lösung zur Verfügung steht, ist ein Kostenvergleich demnach nicht möglich.

In der nachfolgenden Vergleichsberechnung wird daher nur der Projektkostenbarwert für die Verfahrensumstellung berechnet. Bei den laufenden Kosten werden die Kostenstellen, die zu einer Reduzierung der Betriebskosten führen, mit einem negativen Vorzeichen versehen. Ein niedriger oder ggfls. sogar negativer Barwert kann demnach ersatzweise als "Index" für die Vorteilhaftigkeit der Maßnahmen angesehen werden.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

15.2 Berechnungsgrundlagen

Für die Berechnung des Projektkostenbarwertes werden folgende Berechnungsgrundlagen gewählt:

<u>Investitionskosten</u>

Die Investitionskosten werden als Bruttokosten incl. Mehrwertsteuer und Baunebenkosten wie folgt zugrunde gelegt:

Baulicher Teil : 1.585.000,00 €
Ausrüstung : 1.507.000,00 €

Gesamt : 3.092.000,00 €

Betriebskostenveränderungen

Betriebskostenveränderungen	Betrag
Kostenstellen	[€/a]
Personalkosten	12.480,00
Wartung	
Allgemeinkosten Anlagenstufen	9.579,50
Wartung BHKW	12.200,00
EEG-Umlage	15.664,80
Energiekosten	
- Minderverbrauch Biologie	- 18.853,00
- Mehrverbrauch ZPW, VK und Faulung	20.566,00
- Kostenvorteil Eigenstromerzeugung	- 107.000,00
- KWK Bonus	- 2.750,00
Schlammeindickung/-entwässerung	
- Konditionierungsmittel	
Klärschlammentsorgung	- 38.000,00
Sonstiges (Wegfall Heizung BG)	- 3.000,00
Summe	- 99.112.70

Wichtig ist hier nochmals der Hinweis, dass sich die Betriebskostenveränderung lediglich auf den Vergleich mit den bisherigen Betriebskosten der Kläranlage bezieht. Dieser Vergleich ist jedoch eigentlich nicht statthaft, da aufgrund der derzeit unzureichenden Klärschlammstabilisierung keine Nutzengleichheit besteht.

Zinssatz

Die Berechnungen werden mit einem empfohlenen Realzinssatz von 3 % durchgeführt.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Nutzungszeiträume

Die Abschreibungszeiträume für den baulichen Teil werden mit 40 Jahren und für den ausrüstungstechnischen Teil mit 20 Jahren angenommen.

Reinvestitionen

Für die nach 20 Jahren zu erneuernde Anlagentechnik wird eine Reinvestitionsquote von 90 % der Investitionskosten (ohne Baunebenkosten) angesetzt.

<u>Betriebskostensteigerungen</u>

Im Rahmen einer Empfindlichkeitsprüfung werden die Auswirkungen von Preissteigerungen anhand verschiedener jährlicher Steigerungsraten berechnet.

Kostenstelle	Szenario 1	Szenario 2
Personal	0,5 %/a	0,5 %/a
Wartung	0,5 %/a	0,5 %/a
Energie	1,0 %/a	2,0 %/a
Entsorgung	1,0 %/a	2,0 %/a

15.3 Projektkostenreihe

Die nachfolgende Abbildung zeigt die über die Laufzeit anfallenden Investitionskosten sowie die zu berücksichtigenden Betriebskosteneinsparungen gegenüber der Ist-Situation:



Abb. 27: Projektkostenreihe der Verfahrensumstellung

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

15.4 Projektkostenbarwert (ohne Betriebskostensteigerungen)

Kostenstelle	Kosten		Umrechnungsfaktor		Barwert
	[€ bzw. €/a]				[€]
IK,ge sam t	3.091.000,00				3.091.000,00
Ersatzinvesti	tionen IK _R				
nach 20 a	1.130.000,00		DFAKE(3;20)	0,55368	625.658,40
nach 40 a	00,0		DFAKE(3;40)	0,30656	00,00
Laufende Ko	esten				
Personalkos	ten	12.480,00	DFAKR(3;40)	23,1148	288.472,70
Wartung					
- Allgemeinko	sten Anlagenstufen	9.579,50	DFAKR(3;40)	23,1148	221.428,23
- Wartung BH	KW	12.200,00	DFAKR(3;40)	23,1148	282.000,56
EEG-Umlage		15.664,80	DFAKR(3;40)	23,1148	362.088,72
Energiekoste	en				
- Minderverbra	auch Biologie	-18.853,00	DFAKR(3;40)	23,1148	-435.783,32
- Mehrverbrau	ch ZPW, VKund Faulung	20.566,00	DFAKR(3;40)	23,1148	475.378,98
- Kostenvortei	l Eigenstromerzeugung	-107.000,00	DFAKR(3;40)	23,1148	-2.473.283,60
- KWK Bonus		-2.750,00	DFAKR(3;40)	23,1148	-63.565,70
Hilfsstoffe					
- Konditionier	ungsmittel Entwässer.	00,00	DFAKR(3;40)	23,1148	0,00
Klärschlammentsorgung		-38.000,00	DFAKR(3;40)	23,1148	-878.362,40
Sonstiges (Wegfall Heizung BG)		-3.000,00	DFAKR(3;40)	23,1148	-69.344,40
Kostenbarwe	ert Laufende Kosten	-99.112,70			-2.290.970,24
Projektkoste	nbarwert				1.425.688,16

Tab. 9: Projektkostenbarwert (ohne Betriebskostensteigerung)

Die vorstehende Berechnung zeigt, dass sich durch die Verfahrensumstellung ein Barwertvorteil bei den laufenden Kosten in Höhe von insgesamt rd. 2.291.000,00 € (im Vergleich zur nicht nutzengleichen Ist-Situation) ergibt. Dieser Kostenvorteil reicht jedoch aus, um die notwendigen Investitionen zu decken.

15.5 Empfindlichkeitsprüfung

Im Rahmen einer Empfindlichkeitsprüfung mit unterschiedlichen Steigerungsszenarien wurde untersucht, wie sich der Projektkostenbarwert bei steigenden Betriebskosten verhält (s. hierzu auch die beigefügten Berechnungen der Projektkostenbarwerte mit Berücksichtigung von Kostensteigerungen). Bei Annahme von Kostensteigerungen nach dem Szenario 1 reduziert sich der Projektkostenbarwert demzufolge auf rd. 680.000,00 €, so dass auch hier eine Umstellung der Verfahrensführung aus rein wirtschaftlichen Erwägungen noch nicht zu empfehlen wäre.

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Erst auf Grundlage des Kostensteigerungsszenarios 2 ergäbe sich bei einem berechneten Projektkostenbarwert von rd. - 108.000,00 € eine vollständige Deckung der Investitionskosten bzw. ein leichter Überschuss.

Wichtiger Hinweis:

Die Berechnungen erfolgten auf Basis einer 100 %igen Fremdfinanzierung, also ohne evtl. Fördergelder.

16. Zusammenfassung

Die Kläranlage Zell-Alf-Bullay wurde 1987 in Betrieb genommen und wird derzeit im Jahresmittel mit rd. 27.500 EW belastet, während der 85%-Wert bei rd. 34.800 EW liegt. Ein hoher Belastungsanteil resultiert aus dem Weinbau bzw. den ansässigen, ganzjährig produzierenden Großkellereien.

Bereits kann das Verfahrensziel der simultanen Klärschlammstabilisierung nicht mehr eingehalten werden, so bereits temporäre Geruchsbelästigungen bei der Zwischenspeicherung des nicht ausreichenden stabilisierten Klärschlammes auftreten. Durch die vorgesehene Verlagerung des Produktionsstandortes Kinheim der Weinkellerei ZGM nach Zell wird sich die Zulaufbelastung nochmals spürbar erhöhen, so dass sich die auftretenden Geruchsbelästigungen vermutlich verschärfen werden.

Eine Kapazitätserweiterung nach der jetzigen Verfahrensführung bzw. der hierzu erforderliche Ausbau der biologischen Behandlungsstufe (Bau von zwei weiteren Belebungsbecken) ist aufgrund der sehr begrenzten Platzverhältnisse nicht möglich. Die Motivation für die Umstellung der Verfahrensführung auf Schlammfaulung ergibt sich demnach für die Verbandsgemeindewerke Zell nicht aus wirtschaftlichen Erwägungen, sondern aufgrund technischer Notwendigkeiten.

Ansonsten müssten alle belastungssteigernden Infrastrukturmaßnahmen im Einzugsgebiet, wie z. B. die Ausweisung neuer Baugebiete oder die Ansiedlung abwasserintensiver Gewerbebetriebe in Frage gestellt werden. Weiterhin ist davon auszugehen, dass solche Vorhaben seitens der Aufsichtsbehörde untersagt, bzw. nur bei einer entsprechenden Kapazitätserweiterung der Kläranlage genehmigt würden.

Die Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner mbH, Thür, wurde demzufolge mit der Erstellung Studie zur Umstellung der Verfahrensführung auf Schlammfaulung beauftragt.

In einem ersten Konzept wurde unterstellt, dass durch eine mögliche Außerbetriebnahme und den Teilrückbau/Verfüllung eines der beiden Belebungsbecken die frei werdende Fläche für die Anordnung der neuen Anlagenstufen genutzt werden kann. Aufgrund der durchgeführten Nachweisberechnungen hat sich herausgestellt, dass dies im vorliegenden Fall aufgrund der Belastung der Kläranlage nicht möglich ist bzw. dass beide Belebungsbecken auch zukünftig weiter betrieben werden müssen.

Das Alternativkonzept sieht daher vor, durch den Rückbau der nicht mehr genutzten Entwässerungshalle, des alten Schlammsilos, der Fäkalschlammannahmestation sowie des Garagenanbaus am Betriebsgebäude ein geeignetes Baufeld zu schaffen. Gleichzeitig müssen die angrenzenden Hangbereiche durch Anordnung von L-Stein oder Gabionenwänden so aufgebaut werden, dass sich eine zusätzliche Flächenvergrößerung ergibt.

Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner mbH

Projekt: Verfahrensumstellung der KA Zell-Alf-Bullay auf Schlammfaulung

Hier : Erläuterungsbericht 15 129

Seite 44

Anstelle eines Vorklärbeckens wird eine Feinstsiebung zur Abtrennung des Primärschlamms vorgesehen. Das Aufstellungsgebäude für die Feinstsiebung mit dem erforderlichen Beschickungspumpwerk würde zwischen dem Regenüberlaufbecken und der Zufahrt angeordnet.

Die voraussichtlichen Investitionskosten für die aufgezeigten Maßnahmen zum Bau einer zweistufigen Kompaktfaulung mit der zugehörigen Peripherieanlagen wurden mit rd. 3.090.000,00 €, brutto, abgeschätzt. Hierin ist ein Baunebenkostenanteil von 20 % enthalten.

Nach Inbetriebnahme der neuen Anlagenstufen ist davon auszugehen, dass sich die Betriebskosten der Kläranlage aufgrund der Eigenstromerzeugung aus dem produzierten Faulgas sowie der geringeren Klärschlammmengen um rd. 100.000,00 €/a reduzieren.

Die durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zeigen, dass die entstehenden Kapitalkosten zunächst nicht durch Betriebskostenvorteile gedeckt werden können. Erst bei Annahme einer Stromkostensteigerung von 2%/a und Steigerung der Klärschlammentsorgungskosten von ebenfalls 2%/a ergibt sich eine Kostendeckung bzw. ein leichter Überschuss.

Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die wirtschaftlichen Beweggründe für eine Verfahrensumstellung der KA Zell-Alf-Bullay von untergeordneter Bedeutung sind, bzw., dass die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen sich aus technischen Notwendigkeiten im Sinne einer erforderlichen Kapazitätserweiterung der Kläranlage ergibt.

Abschließend wird nochmals darauf hingewiesen, dass aufgrund des aktuellen Referentenentwurfs der Klärschlammverordnung davon auszugehen ist, dass der anfallende Klärschlamm spätestens ab dem Jahr 2025 nicht mehr bodenbezogen verwertet werden darf. Als Alternative hierzu steht im Wesentlichen nur die thermische Klärschlammverwertung zur Verfügung. Bei den weiteren Planungen sollte daher berücksichtigt werden, dass der anfallende Schlamm zukünftig entwässert werden muss, wofür aufgrund der Ausbaugröße der Kläranlage eine stationäre Einrichtung sicherlich erhebliche wirtschaftliche und auch technische Vorteile (Filtratwasserbehandlung) gegenüber einer mobilen Anlage haben dürfte.

Thür, den 15.09.2015

Jürgen Jakob
Ingenieurgesellschaft
Dr. Siekmann + Partner mbH