



UMSTELLUNG VON KLÄRANLAGEN AUF SCHLAMMFAULUNG

Energetisches und ökonomisches Optimierungspotenzial



IMPRESSUM

Herausgeber: Ministerium für Umwelt,
Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau
und Forsten Rheinland-Pfalz
Kaiser-Friedrich-Str. 1 • 55116 Mainz
www.mulewf.rlp.de

Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz,
Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz
Stiftsstraße 9 • 55116 Mainz
www.mwkel.rlp.de

Bearbeitung: tectraa-Zentrum für innovative Abwassertechnologien
an der TU Kaiserslautern
Prof. Dr.-Ing. Theo G. Schmitt, Dipl.-Ing. Oliver Gretzschel
Paul-Ehrlich-Straße Gebäude 13-251, 67663 Kaiserslautern



Universität Luxemburg – Campus Kirchberg
Siedlungswasserwirtschaft und Wasserbau
Prof. Dr.-Ing. Joachim Hansen
6, rue R. Coudenhove-Kalergi, L-1359 Luxembourg

Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner GmbH
Dr.-Ing. Klaus Siekmann, Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Jakob
Segbachstraße 9, 56743 Thür



Redaktion: Dipl.-Ing. Oliver Gretzschel
Dipl.-Ing. (FH) Frank Angerbauer (LUWG)
Dipl.-Ing. Thomas Jung (MULEWF)

Gestaltung: WiW – Wupperverbandsgesellschaft für integrale
Wasserwirtschaft mbH
Untere Lichtenplatzer Str. 100, 42289 Wuppertal



Fotos: Titelbild: Kläranlage Westerburg: Ing.ges. Dr. Siekmann + Partner GmbH
S. 1, 10, 15, 16, 25, 26, 28, 36, 54, 60: Ing.ges. Dr. Siekmann + Partner GmbH
S. 8: Stadtwerke Bitburg, S. 18, 58: tectraa, TU Kaiserslautern,
S. 23, 24: Fa. Lipp, Tannhausen, S. 25, Bild 15: Fraunhofer IGB, Stuttgart,
S. 29, 33: Wirtschaftsbetrieb Mainz, S. 30, 44, 62: Verbandsgemeindewerke Selters

März 2014

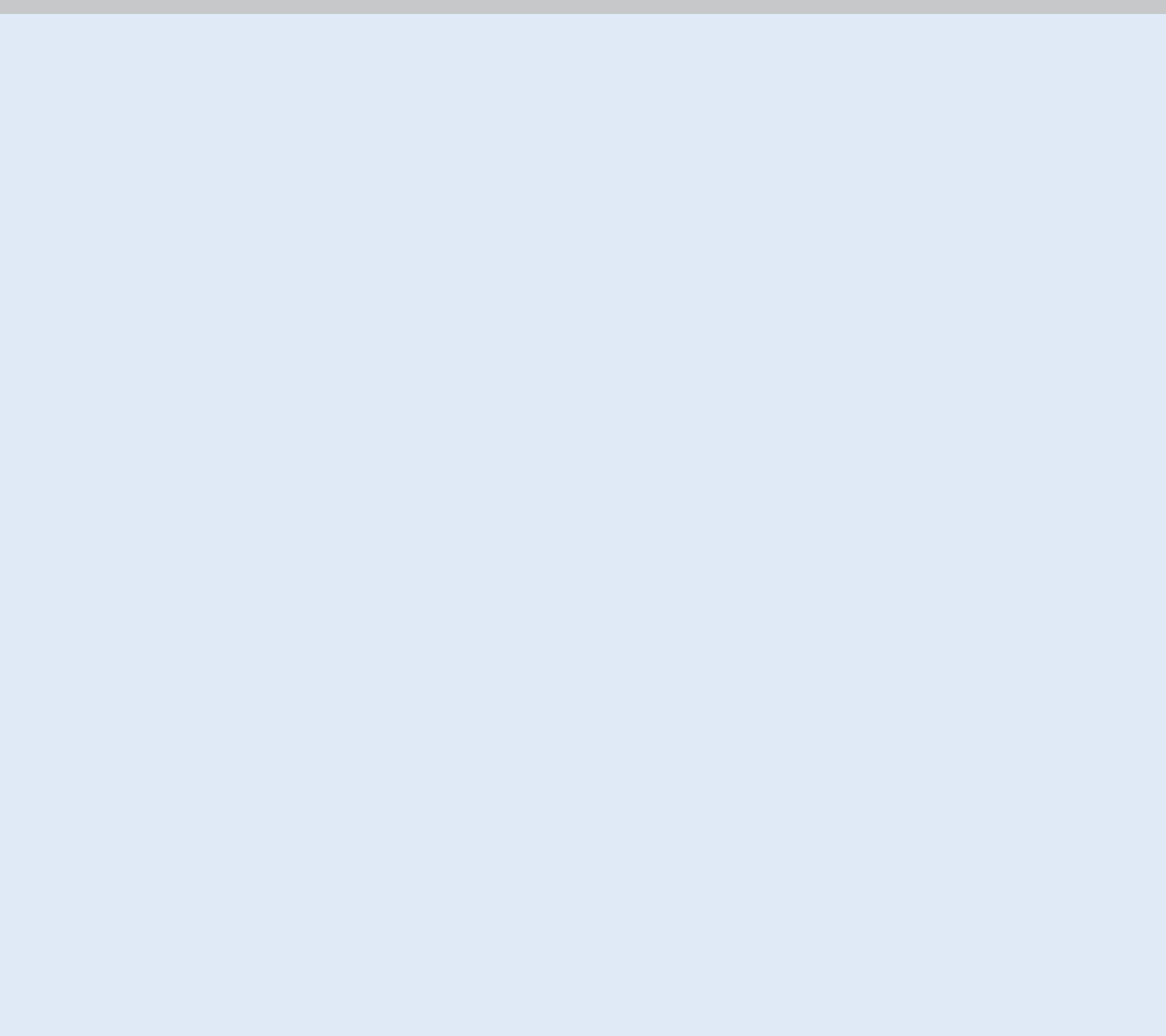
Nachdruck und Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers



UMSTELLUNG VON KLÄRANLAGEN AUF SCHLAMMFAULUNG

Energetisches und ökonomisches Optimierungspotenzial

Ökoeffizienz in der Wasserwirtschaft



INHALT

Vorwort	6
1 Hintergrund und Zielsetzung	8
2 Unterschiede zwischen aerober und anaerober Stabilisierung	10
3 Wirtschaftliche und technologische Entwicklungen	16
4 Rahmenbedingungen für eine Umstellung auf Faulung	30
5 Wirtschaftliche Aspekte einer Umstellung	36
6 Checkliste zur Prüfung einer möglichen Umstellung	44
7 Fallbeispiele einer Umstellung auf Faulung	54
8 Energetisches Optimierungspotenzial	62
9 Anhang: Downloadhinweise, Literaturverzeichnis	65

VORWORT



Ulrike Höfken, Ministerin für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten



Eveline Lemke, Ministerin für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung

Die Energieeffizienz sowie die Neuausrichtung der Energieversorgung sind zentrale Zukunftsthemen. Kläranlagen gehören häufig zu den größten Energieverbrauchern der Kommunen. Die Steigerung der Energieeffizienz abwassertechnischer Anlagen durch Energieeinsparmaßnahmen und Energiegewinnung ist daher einer der wichtigsten Schwerpunkte.

Die Landesregierung Rheinland-Pfalz hat bei diesem wichtigen Thema frühzeitig die Initiative ergriffen. Durch die im Juli 2013 veröffentlichten Förderrichtlinien der Wasserwirtschaftsverwaltung intensiviert die Landesregierung ihre bisherigen Initiativen in diesem Bereich. So können die für die Abwasserentsorgung zuständigen kommunalen Gebietskörperschaften für Energieanalysen, die erforderlichen Maßnahmen und den Einsatz effizienterer, innovativer Techniken nun noch besser als zuvor vom Land finanziell unterstützt werden. Es geht darum, für alle 670 Kläranlagen in Rheinland-Pfalz eine hohe Energieeffizienz zu erreichen.

Neben der Energieeinsparung ist die Nutzung des auf Kläranlagen vorhandenen Klärschlammes zur Stromerzeugung das zweite wichtige Standbein der Effizienzsteigerung. Dieser wird bei vielen mittelgroßen und allen großen Kläranlagen mit-

tels Faulgaserzeugung und -verwertung schon zur Strom- und Wärmeproduktion genutzt. So wird bereits heute so viel Klärgas produziert wie noch nie. Nach dem Lagebericht zum Stand der Abwasserbeseitigung in Rheinland-Pfalz würde die aus der anfallenden Klärgasmenge von ca. 30 Mio. m³ erzeugte Strommenge schon heute ausreichen, 11.000 Haushalte mit Strom zu versorgen. Er wird allerdings aufgrund des hohen Strombedarfs der Kläranlagen zumeist direkt dezentral vor Ort verbraucht.

Bei den Kläranlagen unter 30.000 Einwohnerwerten gibt es hingegen noch viele Anlagen mit energieintensiver aerober Schlammstabilisierung ohne Faulgaserzeugung. Die Untersuchungen innerhalb des Landesprojektes „Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen mit anaerober Schlammbehandlung vor dem Hintergrund der energetischen Rahmenbedingungen und der abwassertechnischen Situation in Rheinland-Pfalz – NAWaS“ haben aufgezeigt, dass aufgrund der gestiegenen Energiepreise und mit innovativen Techniken und Ansätzen die Umstellung von Kläranlagen auf Schlammfäulung ab einer Anschlussgröße von 10.000 Einwohnern wirtschaftlich sein kann.

Für Rheinland-Pfalz wurde in dem Projekt NAWaS ein umfangreiches Gesamt-Potenzial für eine wirtschaftliche Umstellung von Kläranlagen

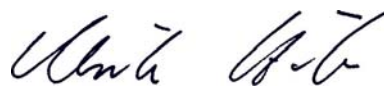
auf Faulungstechnik ermittelt. In Abhängigkeit von der Preissteigerungsrate und dem Zinssatz beträgt dieses bis zu 50 % des derzeit erzeugten Stroms aus Faulgas. Zusätzlich kann auf den umgestellten Anlagen der Wärmebedarf fast komplett abgedeckt sowie eine Energieeinsparung von 5 kWh/(E·a) erwartet werden.

Bezieht man die Möglichkeiten, die sich durch eine Annahme von Fremdschlämmen oder von geeigneten Co-Substraten, durch eine Nachrüstung von Kläranlagen mit Blockheizkraftwerken bzw. Mikrogasturbinen sowie durch eine verfahrenstechnische Optimierung bei bestehenden Faulungsanlagen ergeben, mit in die Überlegungen ein, so kann die Energieerzeugung und somit die Wirtschaftlichkeit insgesamt weiter deutlich gesteigert werden. Einige der Kläranlagen werden sich durch die Maßnahmen der Energieeinsparung und Energieerzeugung sogar zu energieautarken Kläranlagen entwickeln können.

Neben dem energetischen Optimierungspotenzial ergeben sich durch den geringeren Klärschlamm-anfall bei Faulungsanlagen mit den geringeren

Entsorgungskosten weitere Vorteile. Aus diesen Gründen besteht ein großes Landesinteresse an der Umstellung von Kläranlagen auf die Faulungstechnik. Die wichtigsten Ergebnisse des Projektes NAwaS sind in der vorliegenden Broschüre dargestellt. Die ausführlichen Projektberichte sind im Internet in zwei Modulen unter www.wasser.rlp.de in der Rubrik Gewässerschutz/kommunales Abwasser/Kläranlage abrufbar. Insbesondere werden in diesen Berichten die für die Vorprüfung wichtigen Informationen zu den wirtschaftlichen und technischen Randbedingungen gegeben. Als Erstprüfung kann eine innerhalb des Projektes entwickelte Checkliste herangezogen werden. Weiterhin werden als Hilfestellung umgesetzte Maßnahmen dargestellt sowie umfangreiche Kostenfunktionen und Kostenbarwerte in Tabellen zum Download bereitgestellt.

Das Projekt NAwaS ist somit ein wichtiger Beitrag zur Ermittlung und Nutzung der vorhandenen Optimierungspotenziale. Bei alledem ist es selbstverständlich, dass die Hauptaufgabe der Kläranlagen – die Abwasserreinigung auf hohem Niveau – bestehen bleibt.



Ulrike Höfken



Eveline Lemke



1 HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG

In der Ingenieurpraxis gab es in der Vergangenheit relativ klare Grenzen, wann das Verfahren der aeroben Schlammstabilisierung und wann eine Schlammfäulung zu realisieren ist. Diese Grenzen ergaben sich aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten, wobei hierbei aufgrund der in der Vergangenheit niedrigeren Energiekosten vorwiegend die Investitionskosten sowie verfahrenstechnische Aspekte betrachtet wurden. Der bisher in der Regel übliche Einsatzbereich der anaeroben Schlammstabilisierung kann in Abhängigkeit von der Anlagengröße entnommen werden. Daraus geht hervor, dass bei Anlagengrößen von < 20.000 E in der Vergangenheit fast ausschließlich Anlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung konzipiert wurden, während der Einsatzbereich für Faulungsanlagen überwiegend erst bei Ausbaugrößen von mehr als 30.000 E begann.

In Rheinland-Pfalz gibt es 74 Belebungsanlagen in der Größenklasse 4 mit insgesamt einer Ausbaugröße von ca. 1,5 Mio. E, die ihren Klärschlamm derzeit noch simultan aerob stabilisieren. Die Studie „Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen mit anaerober Schlammbehandlung vor dem Hintergrund der energetischen Rahmenbedingungen und der abwassertechnischen Situation in Rheinland-Pfalz – NAWaS“ (Gretzschel et al. 2011) sowie die Broschüre

„Energiesituation der kommunalen Kläranlagen in Rheinland-Pfalz“ (MULEWF 2012) haben das Potenzial für eine mögliche Umstellung auf einen Faulungsbetrieb mit anschließender Faulgasverstromung dieser Anlagen aufgezeigt.

Für die Realisierung dieses Umstellungspotenzials sind die Rahmenbedingungen günstig. So stehen inzwischen auch für Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe – dazu gehören insbesondere Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von 10.000 bis 50.000 E, in Einzelfällen auch darunter – entsprechende Technologien zur Verfügung. Aufgrund der aktuellen Entwicklung der Energiekosten gewinnt die Schlammfäulung zunehmend an Bedeutung. Eine Stagnation oder gar Umkehr der Energiepreisentwicklung ist in näherer Zukunft nicht zu erwarten.

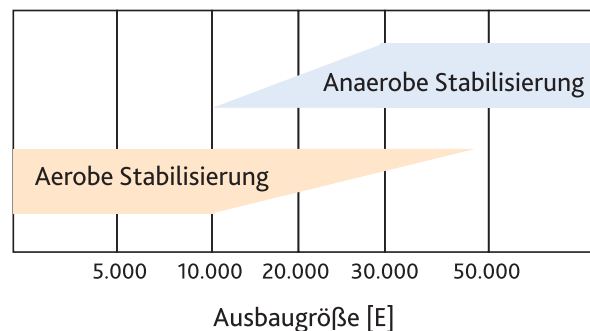


Bild 1: Bisheriger Einsatzbereich der aeroben und anaeroben Stabilisierung (Schlammfäulung)



2 UNTERSCHIEDE ZWISCHEN AEROBER UND ANAEROBER STABILISIERUNG

2.1 Verfahrensunterschiede

Die offensichtlichen Unterschiede der beiden Verfahrensvarianten ergeben sich aus den ergänzenden Verfahrensstufen bei der Faulung (Vorklärung, Faulbehälter, Kraftwärmekopplungseinheit zur Verstromung des Faulgases) und der geänderten Verfahrensführung.

Bei der simultanen aeroben Schlammstabilisierung erfolgt die Stabilisierung gemeinsam mit der biologischen Abwasserreinigung im Belebungsbecken. Dies erfordert ein großes Beckenvolumen.

Bei der anaeroben Stabilisierung kann die biologische Anlagenstufe deutlich höher befachtet

werden, so dass das Belebungsbeckenvolumen erheblich reduziert werden kann. Allerdings ist der Klärschlamm, der aus diesem System entnommen wird, noch äußerst aktiv. Er muss daher in einer weiteren Anlagenstufe, dem Faulbehälter, unter Abschluss von Luftsauerstoff stabilisiert werden. Das hierbei entstehende Faulgas kann dann z. B. mit Hilfe eines Blockheizkraftwerkes verstromt werden. Zur Gewinnung eines energiereichen Primärschlammes sowie zur Entlastung der biologischen Prozessstufe wird ein Vorklärbecken in den Verfahrensablauf der Abwasserreinigung eingebunden.

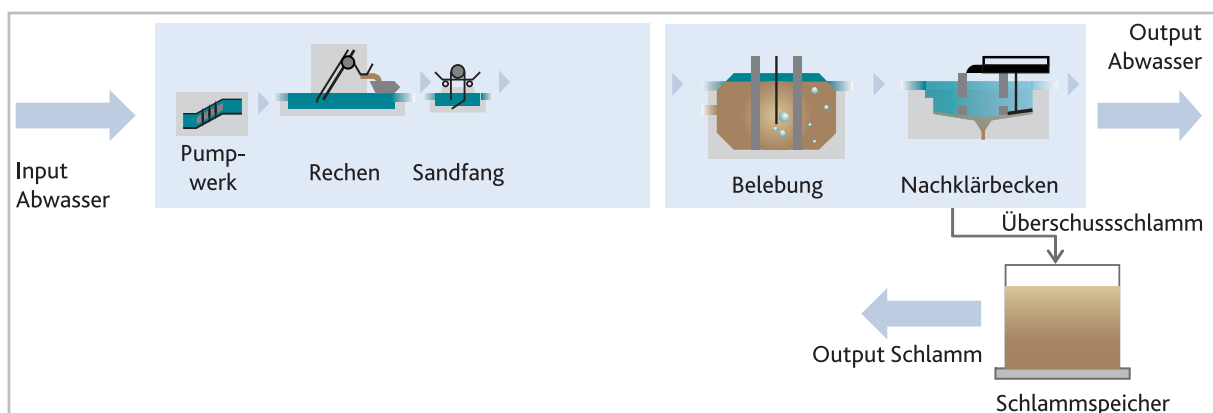


Bild 2a: Verfahrensstufen der aeroben Stabilisierung

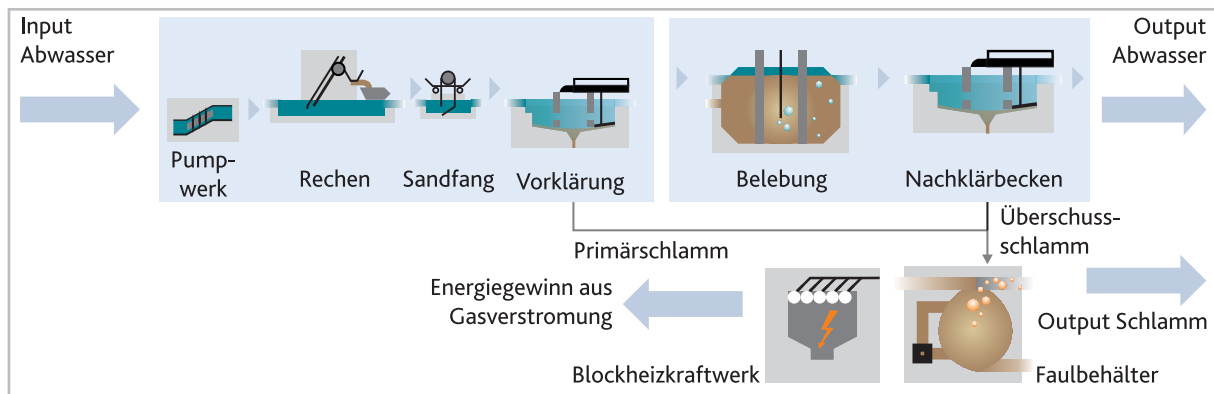


Bild 2b: Verfahrensstufen der anaeroben Stabilisierung

2.2 Nutzbarer Energieinhalt des Abwassers

Unter dem Aspekt der Umstellung auf Faulungsbetrieb ist die in den organischen Frachten gebundene Energie von Interesse. Der tatsächlich nutzbare Anteil der in den organischen Frachten gebundenen Energie kann Bild 3 entnommen werden. Es wird deutlich, dass der in den organischen Frachten gebundene Energiegehalt tatsächlich nur zu ca. 30 % nutzbar ist. Dieser Anteil ist jedoch ausreichend, um ca. 50 % des elektrischen Energiebedarfs und 100 % des thermischen Energiebedarfs der Kläranlage zu decken.

2.3 Energiebilanz

Wie aus der Energiebilanzierung hervorgeht, liegt der Strombedarf bei der aeroben Stabilisierung bei ca. 34 kWh/(E·a) während sich bei einer Kläranlage mit Schlammfäulung der Fremdstrombezug auf 14 kWh/(E·a) reduziert.

Ursächlich hierfür sind

- die Vorentlastung der biologischen Stufe durch den Vorabbau von organischen Kohlenstoffverbindungen (CSB und BSB) in der Vorklärung,
- der aufgrund des geringeren Schlammalters

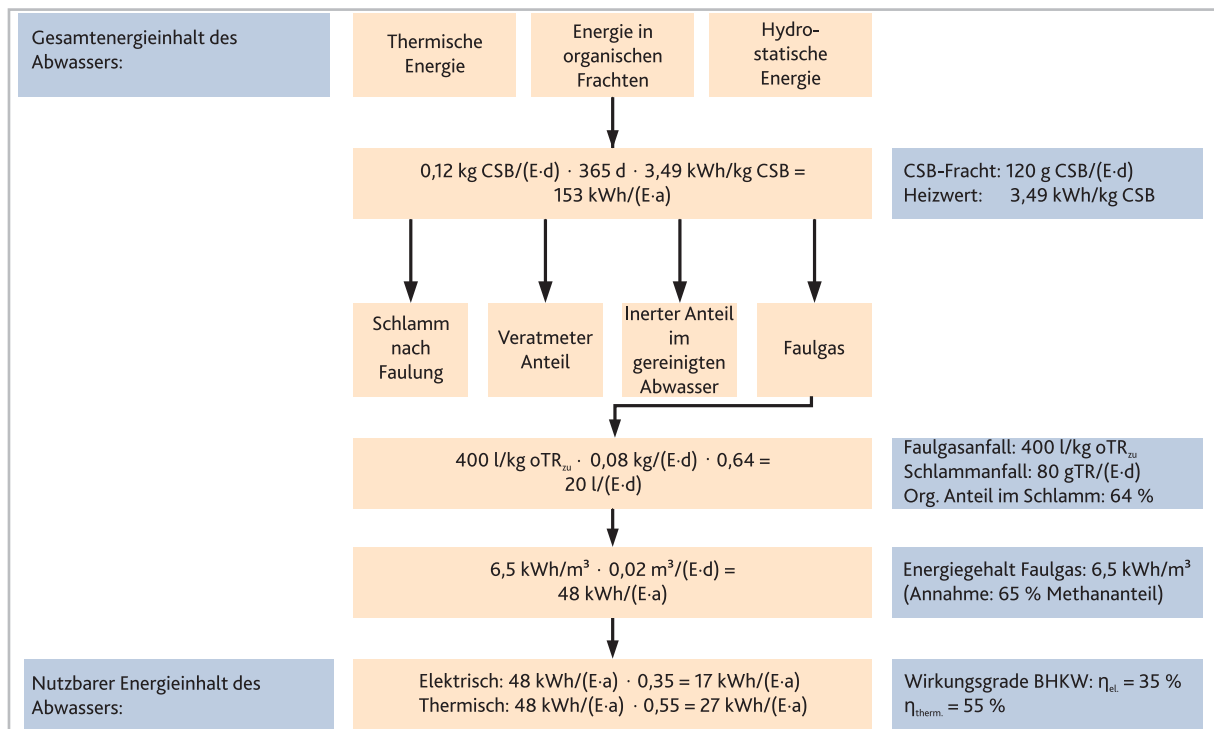


Bild 3: Energie im Abwasser – nutzbarer Energieinhalt (Gretzschel et al. 2011)

- und damit der geringeren Biomasse niedrigere Energiebedarf für die Belüftung,
- der aufgrund der kleineren Becken niedrigere Energiebedarf für die Durchmischung,
- der Energiegewinn durch die Verstromung des Faulgases über ein BHKW.

sich für die Faulung ein um ca. 55 % geringerer Primärenergieverbrauch.

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

Unter Berücksichtigung der Aspekte des Klimaschutzes und der Ressourcenschonung ergibt

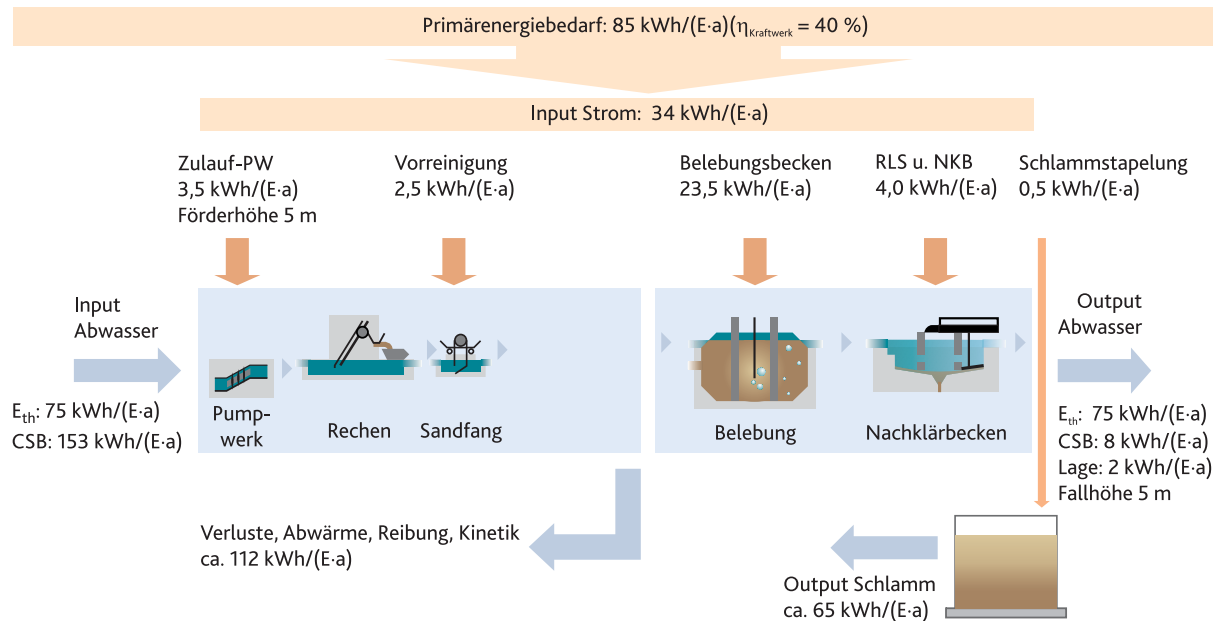


Bild 4: Energiebilanz einer Kläranlage für 20.000 E mit aerober Stabilisierung

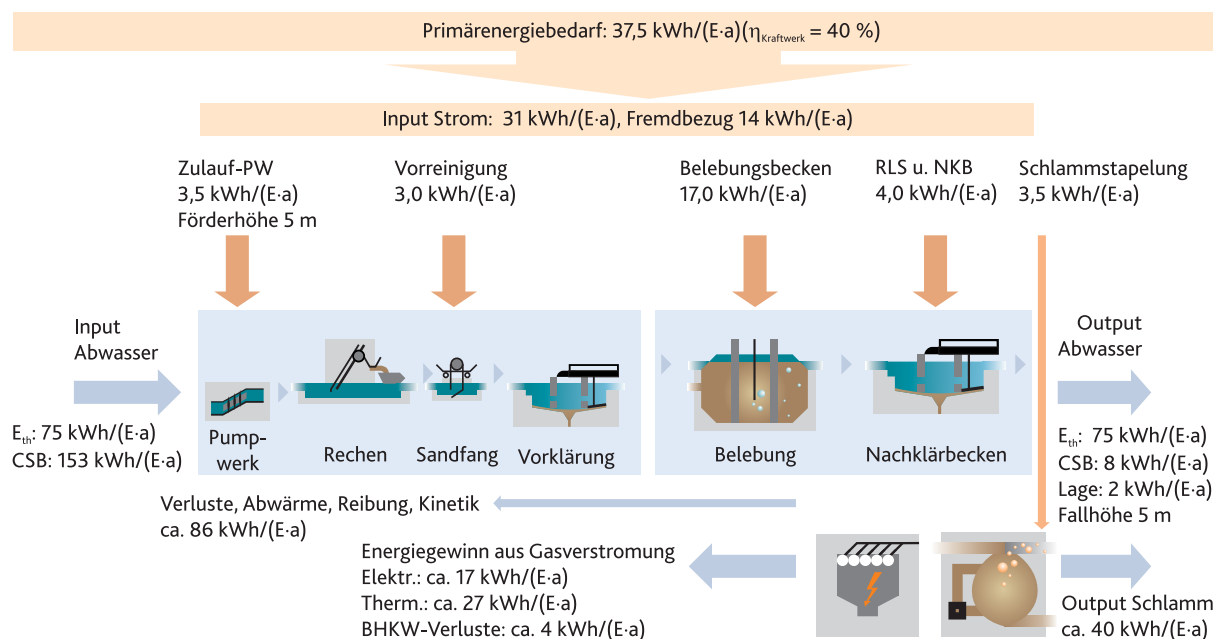


Bild 5: Energiebilanz einer Kläranlage für 20.000 E mit Vorklärung und Schlammfäulung

2.4 Schlammengen

Durch den weitergehenden Abbau der organischen Feststoffe im Verlauf der Faulung reduzieren sich die zu entwässernden bzw. anschließend zu entsorgenden Schlammengen. Entscheidend ist jedoch die im Allgemeinen bessere Entwässerbarkeit der ausgefaulten Schlämme im Vergleich zu den aerob stabilisierten Schlämmen (Denkert 2007). Verantwortlich dafür ist der geringere organische Anteil (niedrigerer GV) nach der Faulung. So beträgt die oTM-Fracht im ausgefaulten Schlamm 25,3 g/(E·d), wohingegen die oTM-Fracht des Überschussschlammes der aeroben Stabilisierung 36,5 g/(E·d) beträgt. Wie in Bild 6 dargestellt, reduziert sich die Schlammmenge somit bei Einsatz einer Faulung um ca. 30 %, was sich insgesamt positiv auf die anfallenden Entsorgungskosten auswirkt.

Die Beschaffenheit der Klärschlämme hat einen erheblichen Einfluss auf die nachfolgende Ver-

wertungs- bzw. Entsorgungsschiene. Vor dem Hintergrund möglichst niedriger Entsorgungsmengen haben Schlämme mit guten Eindick- und Entwässerungseigenschaften prinzipielle Vorteile gegenüber schlechter entwässerbaren Schlämmen. Dies gilt sowohl für den Bereich der landwirtschaftlichen Verwertung als auch für eine nachfolgende thermische Behandlung (Verbrennung). Aufgrund der restmengenbezogenen Vorteile sowie der besseren Entwässerungseigenschaften verspricht die Schlammfäulung demnach gegenüber der aeroben Schlammstabilisierung weitere wirtschaftliche Vorteile.

Zu beachten ist jedoch der im Hinblick auf eine evtl. thermische Behandlung etwas niedrigere Heizwert aufgrund der geringeren organischen Feststoffanteile der ausgefaulten Klärschlämme. Dies wird durch die energetische Nutzung des gewonnenen Faulgases mehr als ausgeglichen.

	Aerobe Stabilisierung	Anaerobe Stabilisierung	
Primärschlamm PS TM-Fracht [g/(E·d)]		35,0	$t_{AVK} = 1,0 \text{ h}$
Überschussschlamm $\dot{U}S_s$ TM-Fracht [g/(E·d)]	+ 56,2	+ 34,8	Aerobe Stabi.: $t_{15} = 20 \text{ d}$ Anaerober Stabi.: $t_{15} = 15 \text{ d}$
Fällschlamm $\dot{U}S_f$ TM-Fracht [g/(E·d)]	+ 2,5	+ 2,5	
Gesamt-TM-Fracht [g/(E·d)]	= 58,7	= 72,3	
Behandlung im Faulbehälter			
oTM-Fracht PS [g/(E·d)]		23,5	PS: oTM/TM = GV = 0,67
oTM-Fracht $\dot{U}S$ [g/(E·d)]	36,5	24,4	$\dot{U}S$ anaerobe Stabi.: GV = 0,70 $\dot{U}S$ aerobe Stabi.: GV = 0,65
oTM-Abbau PS [g/(E·d)]		- 14,1	Abbau im Faulbehälter bei $t_x = 20 \text{ d}$, PS: $\eta_{oTM} = 60 \%$
oTM-Abbau $\dot{U}S$ [g/(E·d)]		- 8,5	Abbau im Faulbehälter bei $t_x = 20 \text{ d}$, $\dot{U}S$: $\eta_{oTM} = 35 \%$
Reststofffracht [g/(E·d)]	= 58,7	= 49,7	
Entwässerung mit Hochleistungszentrifuge			
Schlammmenge [l/(E·d)]	= 0,267	= 0,184	Entwässerung auf: Aerob: 18 – 24 % TR, im Mittel 22 % Anaerob: 22 – 30 % TR, im Mittel 27 % gemäß Betriebsergebnissen von Schneckenpressen nach DWA M-366 als Entwurf (Gelbdruck)
Schlammengenvorteil der Faulung rd. 30 %			

Bild 6: Schlammengen (DWA 2003, Denkert 2007)

2.5 Rückbelastung aus der Schlammbehandlung

Anlagen mit simultan aerober Schlammstabilisierung weisen in der Regel keine nennenswerten Rückbelastungen aus der Schlammbehandlung auf. Nur das Schlammwasser aus den Schlamm speichern und aus der Schlamm entwässerung führen hier zu einer geringen Belastung des rückgeführten Wassers.

Beim Betrieb einer Anlage mit Faulung sind hingegen die Rückbelastungen aus der Schlammbehandlung z.T. erheblich und darum beim Betrieb der biologischen Stufe in Betracht zu ziehen. Im Falle einer Co-Fermentation nimmt die Rückbelastung weiter zu und ist entsprechend zu berücksichtigen. Infolge der Prozesse beim anaeroben Abbau werden Stoffe, die im Belebtschlamm inkorporiert wurden, wieder freigesetzt und gehen in Lösung. Die entscheidende Stofffraktion bei der Rückbelastung aus der Eindickung und Entwässerung von Faulschlamm ist die Stickstofffracht. Sie liegt bei ca. 20 % des $\text{NH}_4\text{-N}_{\text{zu}}$. Der Rückbelastung durch Kohlenstoff kommt nur eine geringe Bedeutung zu. Der CSB aus der Schlammfaulung ist größtenteils inert und entspricht ca. 10 % der Zulauffracht. Ebenfalls von nur geringer Bedeutung ist die Phosphor-

Rückbelastung. Bei der chemisch-physikalischen Phosphorelimination ist sie i. d. R. vernachlässigbar gering. Im Falle einer Bio-P-Elimination erfolgt im Rahmen der Faulung im Faulbehälter eine P-Rücklösung. Jedoch erfolgt parallel eine erneute Fixierung durch chemisch-physikalische Prozesse wie Adsorption und Fällung. Die P-Rückbelastung beträgt selten mehr als 5 % bezogen auf die Rohabwasserfracht.

Basierend auf den oben beschriebenen Frachtverhältnissen ist bei der Konzeption diese zusätzliche Fracht zu berücksichtigen. In Abhängigkeit der Verhältnisse muss dann entschieden werden, ob eine Zwischenspeicherung, z. B. Dosierung in den Nachtstunden, oder möglicherweise sogar eine gesonderte (Vor-)Behandlung der Prozesswässer erforderlich ist. Ggf. wird auch der Einsatz einer externen Kohlenstoffquelle erforderlich sein, um die rückgeführten Stickstofffrachten vollständig eliminieren zu können. Eine Alternative bietet das Verfahren der Deammonifikation, das mit einem geringen Energieeinsatz und ohne zusätzlichen Kohlenstoff auskommt und ggf. zur Vorbehandlung des Prozesswassers eingesetzt werden kann.

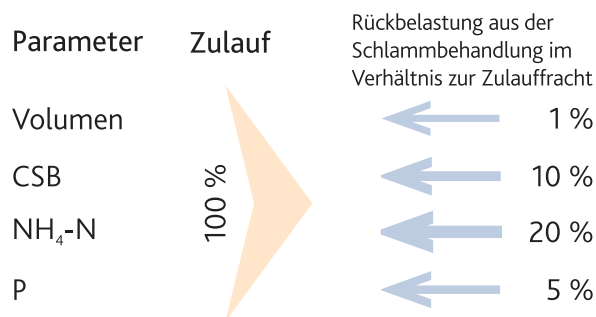


Bild 7: Rückbelastung aus der Schlammbehandlung (Cornel 1998)



Kompaktfaulbehälter im Klärwerk Linz Unkel



3 WIRTSCHAFTLICHE UND TECHNOLOGISCHE ENTWICKLUNGEN

3.1 Energie

3.1.1 Energierecht

Kläranlagen zählen zu den größten Energieverbrauchern einer Kommune. Für Kläranlagenbetreiber bedeutet dies, dass eine Auseinandersetzung mit den geltenden Vorschriften des Energierechts unerlässlich ist. Vor allem die Rechte und Pflichten beim Bezug und der Einspeisung von Strom und Gas sowie bei der Wärmeerzeugung spielen für die Abwasserbranche eine wichtige Rolle. Eine erste Hilfestellung dazu kann das DWA Themenheft „Abwasserentsorgung und Energierecht“ (DWA 2010) bieten.

Der aus Faulgas erzeugte Strom kann sowohl direkt selbst genutzt als auch in das Stromnetz der allgemeinen Versorgung eingespeist werden. Als gesetzliche Rahmenbedingungen sind hier das Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG 2012) und das Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWKG 2012) zu nennen. Darüber hinaus ergeben sich aber auch noch weitere Optionen wie z. B. die Gaseinspeisung.

Im Rahmen der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit spielt das KWKG-Gesetz eine wichtige Rolle. Das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz fördert Anlagen zur gleichzeitigen Strom- und Wärmeerzeugung. Es gilt nur für Strom, der nicht nach dem

Erneuerbare-Energien-Gesetz vergütet wird (vgl. § 2 S. 2 KWKG 2012). Die Förderung für KWK-Anlagen wird durch einen Zuschlag je erzeugte kWh Strom gewährt. Die nachfolgenden Regelungen gelten für Anlagen, die ab dem Inkrafttreten dieses Gesetzes und bis zum 31.12.2020 in Dauerbetrieb genommen worden sind (ASUE 2012).

Zu Glättung der Förderstufen wird bei Anlagen größer 50 kW anteilig für die ersten 50 kW ein Zuschlag von 5,41 Ct/kWh gewährt. Ebenso erhalten Anlagen größer 2 MW die anteilig höheren Vergütungssätze für den Leistungsbereich bis 2 MW, für den Leistungsbereich oberhalb von 2 MW erfolgt eine weitere Abstufung der Förderung, vgl. (ASUE 2012).

Es steht dem Anlagenbetreiber frei, ob er den Strom verkauft oder selbst nutzt. Wird der Strom ins Netz eingespeist, so erhält der Betreiber neben dem KWK-Zuschlag den "üblichen Preis" (der im vorangegangenen Quartal an der Leipziger Strombörse EEX erzielte durchschnittliche Baseload-Preis) oder den mit einem Dritten vereinbarten Kaufpreis sowie die durch die dezentrale Einspeisung vermiedenen Netznutzungsentgelte.

	KWK-Zuschlag [Ct/kWh]	Maximal geförderte Betriebsjahre [a]	Maximal geförderte Vollbenutzungs- stundenzahl [VBNS]
KWK-Anlagen bis 50 kW_{el} und Brennstoffzellen			
Brennstoffzelle	5,41	10	oder 30.000
KWK-Anlagen bis 50 kW _{el}	5,41	10	oder 30.000
KWK-Anlagen über 50 kW_{el} bis 2 MW_{el}			
für den Leistungsanteil bis 50 kW _{el}	5,41	-	30.000
für den Leistungsanteil über 50 kW _{el} – 250 kW _{el}	4,00	-	30.000
für den Leistungsanteil über 250 kW _{el} – 2 MW _{el}	2,40	-	

Tabelle 1: Übersicht der KWK-Zuschläge Kategorie A – kleine Anlagen bis 2 MW und Brennstoffzellen entsprechend KWK-Gesetz 2012 (ASUE 2012)



Blockheizkraftwerk im Klärwerk Landstuhl

Bei intern genutztem KWK-Strom wird ebenfalls der KWK-Zuschlag gewährt. Des Weiteren spart man sich für die intern genutzte Strommenge den mit dem EVU vereinbarten Strompreis, die EEG- und KWK-Umlage sowie die Stromsteuer. In der Regel stellt sich im Rahmen des KWK-Gesetzes die interne Nutzung des erzeugten Stroms im Vergleich zur Einspeisung als die wirtschaftlichere Variante dar.

Wird neben Klärgas auch Erdgas eingesetzt, so kann beim zuständigen Hauptzollamt ein Antrag auf Mineralölsteuerrückerstattung in Höhe von 0,55 Ct/kWh Erdgas gestellt werden.

Die finanziellen Auswirkungen des Einsatzes eines BHKW auf einer Kläranlage mit einer Belastung von 20.000 E und der Vergütung des selbst erzeugten Stroms durch das KWK-Gesetz sind in Bild 8 vereinfacht dargestellt.

Für kleinere Anlagen bis 50 KW gilt es folgendes zu beachten: Der Anlagenbetreiber hat die Möglichkeit zwischen 10 geförderten Betriebsjahren oder 30.000 Vollbenutzungsstunden (VBNS) zu wählen. Da das BHKW auf der Kläranlage in der Regel nahezu im Dauerbetrieb läuft, wird die Förderung von 10 Betriebsjahren empfohlen.

	Ausbaugröße & Belastung	20.000 E
	Strompreis (Bezug)	17 Ct/kWh
	Klärgasertrag	20 l/(E·d) oder 400 m ³ /d
	Energiegehalt Klärgas	6,5 kWh/m ³
Faulungsanlage ohne BHKW	Stromverbrauch	31 kWh/(E·a) 620.000 kWh/a
	Stromkosten	105.400 €/a
Faulungsanlage mit BHKW	Strombezug EVU	15 kWh/(E·a) 300.000 kWh/a
	Stromerzeugung BHKW	16 kWh/(E·a) 320.000 kWh/a
	KWK-Zuschlag	5,41 Ct/kWh
	Stromkosten neu	51.000 €/a
	Einsparung Stromkosten	54.400 €/a (dauerhaft)
	KWK-Vergütung	17.312 €/a (ca. 4 Jahre lang)

Bild 8: Auswirkungen eines BHKW auf die Stromkosten einer Faulungsanlage

3.1.2 Strompreisentwicklung

Der intensive Wettbewerb auf dem Strommarkt nach der Liberalisierung führte zunächst zu deutlich niedrigeren Strompreisen. Nachdem die Talsohle etwa im Jahr 2000 durchschritten war, stiegen die Strompreise für Kläranlagen – wie Untersuchungen der Autoren ergaben und andere Quellen bestätigen (Seibert-Erling, Etges 2010) – bis heute im Mittel um 5 - 7 % pro Jahr. Die Mehrkosten bei der Stromerzeugung werden in der Regel von den Stromanbietern auf die Kunden umgelegt. Hinzu kommen die schrittweise erhöhten Abgaben für die Stromsteuer (auch Ökosteuern genannt), das Erneuerbare Energieschutzgesetz und die Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung. Der staatliche Anteil am Strompreis liegt heute bei etwa 40 Prozent (regional unterschiedlich, da sich die Konzessionsabgabe unterscheiden kann).

Eine Stagnation oder gar Umkehr der Energiepreisentwicklung ist in näherer Zukunft nicht zu erwarten. Durch das wachsende Bewusstsein der Bevölkerung, 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.

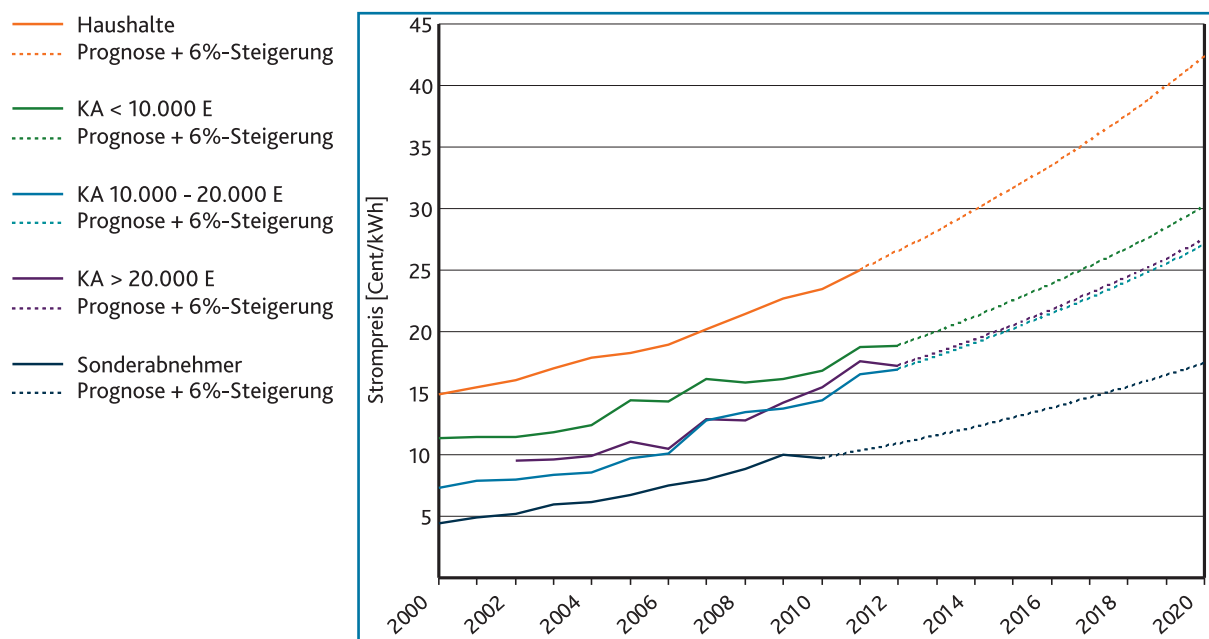


Bild 9: Strompreisentwicklung ab dem Jahr 2000 mit Prognose bis 2020, Quelle: Kläranlagenstrompreise: eigene Erhebung, Haushalte & Sonderabnehmer 2000 bis 2011: www.energieagentur.nrw.de/infografik

3.1.3 Ausblick

BHKWs auf Kläranlagen können durch die Umstellung von der wärme- zur stromgeführten Fahrweise zum flexiblen Stromerzeuger werden und dadurch Zusatzeinnahmen generieren. Die Einbindung in ein virtuelles Kraftwerk kann zum gezielten (kurzfristigen) Abschalten des BHKW und damit zur Bereitstellung von wertvoller Regenergie für das EVU genutzt werden. Aber auch die Einspeisung zu den Spitzenbedarfszeiten und das Handeln dieser Strommengen an der Strombörse können in Zukunft interessante Optionen für den Kläranlagenbetreiber sein.

Heute noch visionär ist jedoch das Power-to-Gas Konzept. Hier wird das vorhandene Erdgasnetz als Speicher für überschüssige Anteile erneuerbaren Stroms genutzt. Phasen des Überangebotes gibt es im Einzelfall, vor allem bei Netzengpässen, bereits heute. Dieser künftige Überschussstrom kann genutzt werden um mittels Elektrolyse Wasserstoff zu erzeugen, der in einem nachgelagerten Prozess zusammen mit CO₂ in Methan umgewandelt wird, das ins Erdgasnetz eingespeist werden kann. Die Verwendung des so erzeugten Methans kann sowohl der Stromerzeugung dienen als auch als Treibstoff für Gasfahrzeuge genutzt werden. Es stellt somit neben der mit EE-Strom betriebenen Elektromobilität eine weitere Option für eine CO₂-freie Mobilität dar.

Kläranlagen bieten dabei den Vorteil, dass im erzeugten Biogas ein großer CO₂-Anteil vorhanden ist, der als Rohstoff für die Methanisierung erforderlich ist. Gleichzeitig könnten Abfallprodukte des Methanisierungsprozesses vor Ort genutzt werden. Dazu zählt sowohl die Abwärme als auch der Sauerstoff, der z. B. in der Belüftung verwendet werden kann. Derzeit wird diese Technik vorrangig für größere Kläranlagen diskutiert.

3.2 Entwicklung der Klärschlammbehandlung und -verwertung

In Rheinland-Pfalz wird ein Großteil des Klärschlammes landwirtschaftlich genutzt. Zukünftig wird die landwirtschaftliche Verwertung des Flüssigschlammes und des entwässerten Schlammes durch die vorgesehene Verschärfung der Grenzwerte und Hygieneauflagen in der novellierten Klärschlammverordnung bzw. beim Düngemittelrecht erschwert.

Weiterhin ist ein besonderes Augenmerk auf die Rückführung des Phosphors als endlicher Rohstoff in den Stoffkreislauf zu legen. Die Nutzung des Klärschlammes als Energieträger schließt eine solche Rückführung nicht aus, sofern keine Mitverbrennung des Klärschlammes inklusive des enthaltenen Phosphors in Zementwerken bzw. Kohlkraftwerken oder Müllverbrennungsanlagen erfolgt.

Gerade bei kleineren Kläranlagen stellt die Alternative der Mitverbrennung auch ein finanzielles Risiko dar. Dies liegt zum einen an den Transportkosten zum Verbrennungsort sowie der Preisabhängigkeit vom Verbrennungsanlagenbetreiber. Eine Alternative, die sich zurzeit in der Pilotphase befindet, ist der Bau von Verbrennungs- bzw. Pyrolyseanlagen mit der Möglichkeit der P-Rückführung auch im Bereich von Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe. Erste Anlagentechniken stehen vor der großtechnischen Umsetzung, wie z. B. die Pyreg-Anlage (Gerber et al. 2010) oder der Reformer von Thermo-Systems.

Um diese Ziele zu erreichen, ist eine verfahrenstechnische Anpassung der Abwasserreinigung und Klärschlammbehandlung an die aktuelle Situation erforderlich. Dabei sollten die einzelnen Verfahrensstufen nicht isoliert, sondern die komplette Kläranlage in ihrer Gesamtheit betrachtet werden, um so ein Optimum an Reinigungsleistung, Betriebssicherheit, Energieeinsatz/-gewinn, Reststoffqualität usw. anzustreben. Die Qualität der Abwasserreinigung steht dabei jedoch als oberste Zielsetzung nicht in Frage.

Das größte energetische Einsparpotenzial besteht zweifellos in der Umrüstung von Kläranlagen mit gemeinsamer aerober Schlammstabilisierung auf Schlammfäulung.

Im Falle einer anschließenden thermischen Behandlung sind kürzere Faulzeiten möglich, um dann einen höheren Restenergiegehalt des Schlammes für die Verbrennung sicherzustellen und so die gesamte Verfahrenskette energetisch zu optimieren. So kann es z.B. sinnvoll sein, bei der Schlammfäulung Abstriche im Faulgasertrag zugunsten der nachfolgenden Verbrennung zu akzeptieren.

3.3 Weiterentwicklungen in der Anlagentechnik

3.3.1 Faulbehälter

Faulbehälter für kleine und mittlere Kläranlagen verlangen angepasste Technologien. Es ist grundsätzlich nicht zielführend, einen strömungstechnisch günstig konzipierten Faulbehälter (Eiform) für eine Ausbaugröße von 100.000 E auf eine Ausbaugröße von z. B. 30.000 E vorzusehen. Bei kleineren Anlagen sind andere Leistungsmerkmale gefordert.

Die bestehenden Schlammfäulungsanlagen wurden in der Vergangenheit häufig sehr großzügig dimensioniert. Bei einem durchschnittlichen Volumen von knapp 50 l/E und mit der Annahme eines spezifischen Schlammanfalls von 1,5 - 2 l/E/d errechnet sich bei Vollaustattung bereits eine Faulzeit von im Mittel 25 bis 35 Tagen. Berücksichtigt man einen Auslastungsgrad von etwa 70 %, so ergeben sich oftmals mittlere Faulzeiten von 35 bis 50 Tagen.

Jedoch sind ab einer Aufenthaltszeit von 10 bis 15 Tagen im Faulbehälter keine signifikanten Veränderungen hinsichtlich oTR-Abbau, Gasproduktion und Gehalt an organischen Säuren und Gasproduktion mehr feststellbar (Roediger et al. 1990).

In Folge der in der Vergangenheit sehr großzügigen Dimensionierung der Fäulungsanlagen wurde die sichere Ausfäulung und Stabilisierung des Schlammes praktisch immer gewährleistet. Ab-

baugrad und Gasentwicklung sind ohne zusätzliche Maßnahmen, wie z. B. Desintegration, im Allgemeinen nicht 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 der vollaufgemischte Reaktor hohe Stoffumsatzraten gewährleistet.

Aufgrund dieser aufwändigen Bauweise wird die Schlammfäulung oftmals als zu teuer erachtet. Umfangreiche Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass selbst bei einer nachgeschalteten thermischen Behandlung die Einbindung einer Fäulung wirtschaftlich sinnvoll ist. Aufgrund bereits dargestellter Vorteile (weniger Stromverbrauch, geringere Schlammengen usw.) müssten ab einer bestimmten Ausbaugröße prinzipiell alle Kläranlagen mit einer Fäulung zur Erzeugung wertvollen Biogases ausgerüstet werden. Zu einem großen Anteil ist das für Kläranlagen > 30.000 EW auch heute bereits der Fall. Bei kleinen und mittleren Anlagen ist diese Verfahrenswahl hingegen bislang oftmals an den hohen Investitionskosten für die Errichtung baulich aufwändig gestalteter Faulturmanlagen mit den dazugehörigen Peripherieanlagenteilen für Gasspeicherung und -verwertung gescheitert.

Hier waren innovative Lösungsansätze gefordert, die eine deutliche Reduzierung der Investitionskosten bei gleichbleibender Betriebssicherheit gewährleisten. Es ist dabei ein Sicherheitsstandard zu wählen, der im DWA-Merkblatt M 212 "Technische Ausrüstung von Faulgasanlagen auf Kläranlagen" beschrieben ist. In besonderem Maße ist der Brand- und Explosionsschutz zu berücksichtigen. Qualifizierte Fachkräfte sind hinzuzuziehen, um bereits im Vorfeld der Planung ein abgestimmtes Brand- und Explosionsschutzkonzept zu erstellen.

Weitere Informationen hierzu enthält der Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe KA-11-4 "Erstellen von Explosionsschutzdokumenten für abwassertechnische Anlagen".

Des Weiteren ist der sichere Zustand der gesamten Faulgasanlage incl. Gasspeicherung vor Inbetriebnahme, nach wesentlicher Änderung sowie wiederkehrend durch befähigte Personen zu prüfen. Ergänzend wird auf das DWA-Merkblatt M 376 "Sicherheitsregeln für Biogasbehälter mit Membrandichtung" verwiesen.

- **Zylindrischer, beheizter Faulbehälter**

Auf die Ausführung mit einfachen zylindrischen, oberirdisch aufgestellten Faulbehältern mit ebener Sohle und ebenem Dach wurde bereits 1995 hingewiesen (Meyer, Biebersdorf 1995).

Das Volumen von $V = 900 \text{ m}^3$ entspricht in etwa einer Ausbaugröße von 30.000 E.

- **Faulbehälter mit integriertem Gasraum in Stahlbauweise**

Bei kleineren Kläranlagenausbaugrößen (ca. 10.000 E) bieten sich im Vergleich zur klassischen Betonbauweise Stahlbehälter in Leichtbauweise als Alternative an.

Die Investitionskosten dieser Anlagen mit einem Faulbehältervolumen $> 300 \text{ m}^3$ und einem Gasspeicher $> 150 \text{ m}^3$ liegen deutlich unter dem Preisniveau der aufgelösten Anlage in herkömmlicher Bauart.

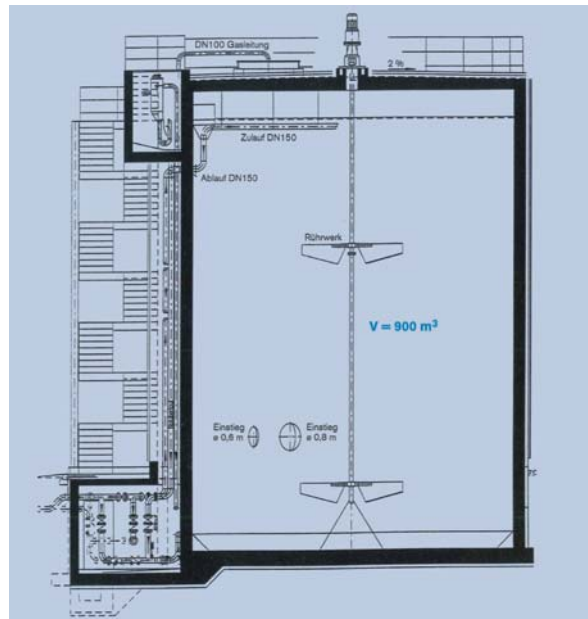


Bild 10: Zylindrischer, beheizter Faulbehälter, (Biebersdorf, Schröder 2008)

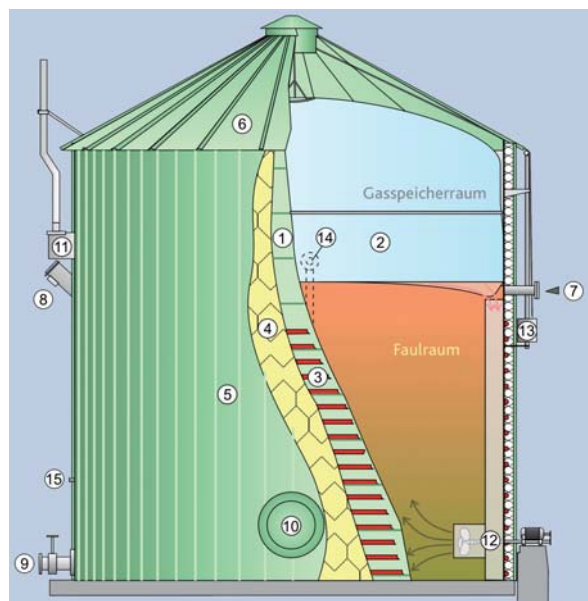


Bild 11: Faulbehälter mit integriertem Gasraum

LIPP-KomBio-Reaktor (pat.)

- 1 LIPP-Behälter
- 2 integrierte Gasspeicherhaube
- 3 Wandheizung
- 4 Isolierung
- 5 Verkleidung
- 6 Dach
- 7 Zulauf
- 8 Ablauf
- 9 Entleerung
- 10 Mannloch
- 11 Drucksicherung
- 12 Homogenisierungseinrichtung
- 13 Gasinhaltsanzeige
- 14 Gasentnahme
- 15 Temperaturmessung



Bild 12: Faulbehälter mit integriertem Gasraum in Stahlbauweise mit BHKW in Containeraufstellung

- 2-straßige Faulbehälteranlage in Kompaktbauweise

In Rheinland-Pfalz wurde eine 2-straßige Ausführung einer Faulbehälteranlage in Kompaktbauweise mit quadratischem Grundriss entwickelt. Durch den zweistufigen Betrieb der Schlammfäulung ist es möglich, einen hohen Abbaugrad in einem relativ kleinen Gesamtvolumen zu erreichen. Ein technischer Abbaugrad von 85 % kann bereits bei einem Schlammalter bzw. einer Faulzeit von ca. 12 Tagen erreicht werden.

Die 2-stufige Betriebsweise führt im Vergleich zur einstufigen bei demselben Gesamtschlammalter zu einem etwa 10 % besseren oTR-Abbau oder derselbe Abbaugrad wird in einem um ca. 40 % kleineren Gesamtvolumen erreicht. Bei kleinen und mittelgroßen Kläranlagen (z.B. bis 30.000 E) macht es wenig Sinn, Volumen einzusparen – wichtiger ist die Erhöhung des Abbaugrades. Ein um ca. 10 % höherer Abbaugrad führt nicht nur zu einer Verminderung der Feststoffe um ca. 7 %, sondern auch zu einer Verbesserung der Entwässerbarkeit des Faulschlammes wegen seines geringeren Glühverlustes (d. h. seines organischen Anteils). Eine zusätzliche Verminderung der zu entsorgenden Schlammmenge von ca. 10 % kann deshalb erreicht werden. Ein besserer Abbaugrad führt auch zu einem entsprechend höheren Gasertrag.

Bei nachgeschalteter thermischer Behandlung ist über eine reduzierte Faulzeit nachzudenken. Die

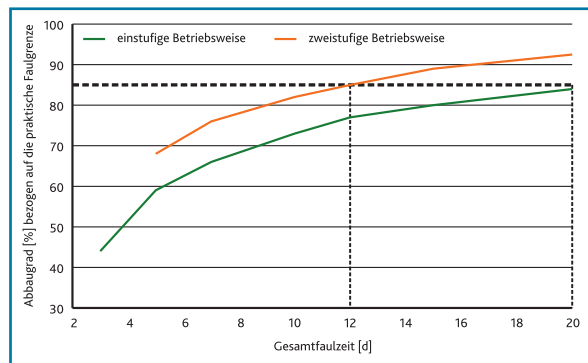


Bild 13: Abbaugrad bei 1-stufiger und 2-stufiger Verfahrensführung, nach (Roediger et al. 1990)

Restorganik kann bei der späteren thermischen Behandlung energetisch genutzt werden.

Die Anlage kann auf Grund der gewählten Verrohrung sowohl 2-straßig als auch 2-stufig betrieben werden, wobei die 2-stufige Betriebsweise einen höheren oTR-Abbau und somit einen höheren Gasertrag ermöglicht.

Durch die zwei vorhandenen Faulbehälter kann auch gewährleistet werden, dass bei vorübergehender Außerbetriebnahme (z.B. für Wartung und Revision) eines Behälters eine zumindest weitgehende Schlammstabilisierung realisierbar ist. Folgende Optimierungsansätze wurden weiterhin berücksichtigt:

- einfache Bauwerkskubatur
- kompakte Anordnung
- kostengünstige Zentralrührwerke
- Aufteilung des Volumens auf mehrere Reaktoren zur Nutzung der verfahrenstechnischen Vorteile der mehrstufigen Abbaukinetik

Auf Grund dieser einfachen Bauweise mit lediglich leicht zentrisch geneigter Sohle (durch Einbringen von Füllbeton) und ebenem Dach ergeben sich kompakte Bauwerkseinheiten, deren wirtschaftlicher Vorteil durch den direkten Anbau eines mit einem Pultdach versehenen Maschinenhauses zur Aufstellung der Peripherieaggregate (Heizschlammumwälzpumpen, Wärmetauscher, BHKW usw.) optimiert wird.

Die Durchmischung der Behälter erfolgt mit kostengünstigen Vertikalrührwerken, deren Funktion über umfangreiche Simulationsberechnungen nachgewiesen werden konnte.

- Hochlastfaulung

Bei diesem vom Fraunhofer IGB (vgl. Trösch et al. 2010) entwickelten und patentierten Verfahren handelt es sich nicht um eine Neuentwicklung, da das Patent bereits auf das Jahr 1979 zurückgeht, jedoch um ein Verfahren, das in jüngster Zeit an Bedeutung gewinnt.

Aus Bild 15 kann das Verfahrensschema entnommen werden. Die Stabilisierung erfolgt in zwei Reaktoren, die beide mesophil bei 37 °C betrieben werden. Die Durchmischung erfolgt mittels Phasenmischsystem mit Impulspumpe. In Kombination einer zweistufigen Faulung mit anschließender Mikrofiltration kann eine Aufkonzentration von Biomasse erreicht werden, die den Umsatz an Klärschlamm und die Produktion von Biogas nochmals steigert.

Das Hochlast-Verfahren hat gegenüber dem konventionellen anaeroben Schlammbehandlungsverfahren die Eigenschaft, dass durch die hohe organische Raumbelastung von ca. 8-10 kg oTR/m³/d die Verweilzeit im System bei lediglich ca. 5-7 Tagen liegt und der Bedarf an Reaktorvolumen deutlich geringer ist. Die spezifische Klärgasproduktion bei der Hochlastfaulung beträgt zwischen 23-27 l/(E·d) bei einem Abbaugrad der organischen Trockenmasse von > 50% (Kempfer et al. 2000; Kempfer-Regel et al. 2003).

Bild 14: Kompaktfaulbehälteranlage auf der Kläranlage Westerbург für eine Anschlussgröße von ca. 30.000 E



Bild 15: Schema der Hochlastfaulung (Trösch et al. 2010)

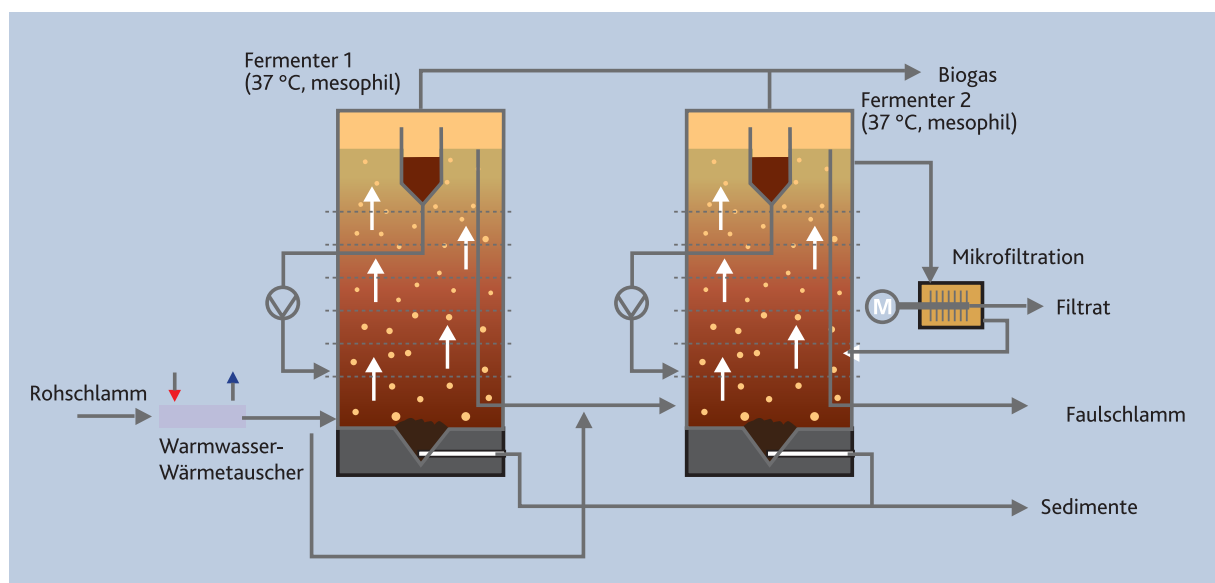




Bild 16: Externer Doppelmembrangasspeicher auf der Kläranlage Linz-Unkel (Jakob, Siekmann 2010)

In der Vergangenheit wurde die Hochlastfaulung auch als einstufiges System mit anschließender Mikrofiltration realisiert (KA Schwerzen). Dort wurde eine spezifische Klärgasproduktion von 23 l/EW-d erreicht (Kempter-Regel und Trösch, 2009). In der Praxis konnten diese hohen Biogasmengen jedoch nicht durchweg bestätigt werden; so wurde auf der Kläranlage Schochzachtal eine Klärgasproduktion zwischen 15 und 18 l/E/d erzielt, vgl. (Nachtigall 2012).

Das Verfahren der Hochlastfaulung wurde für die Kläranlage Weilerbach für aktuelle Planungen modifiziert (Krieger et al. 2012). Hierbei wurde die Mikrofiltration durch eine Nachvergärung ersetzt. Diese Nachvergärung wird ebenfalls beheizt und volldurchmischt, ähnlich wie in Bild 15. Für die Nachvergärung können bestehende Bauwerke verwendet bzw. umgenutzt werden. Aktuelle Vorversuche im Technikummaßstab lassen eine vergleichbar hohe Faulgasausbeute erwarten, wie sie bereits bei anderen 2-stufigen Verfahren erzielt werden konnten.

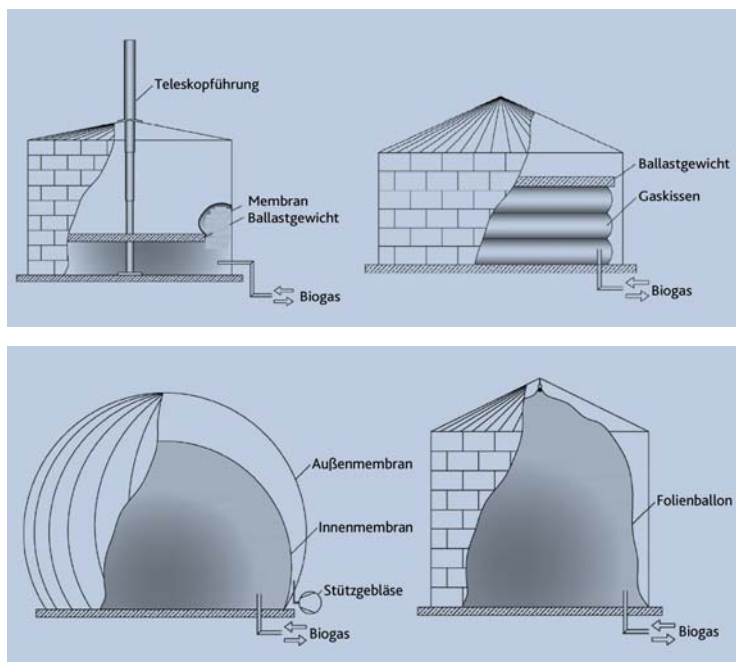


Bild 17: Übersicht zu Bauweisen von Gasspeichern (DWA 2012a), oben links: Biogasspeicher mit gewichtsbelasteter Membran, oben rechts: Biogasspeicher mit Folienkissen (mit Ballastgewicht), unten links: Biogasbehälter mit Druckluft beaufschlagter Doppelmembran (Gegendruckbehälter), unten rechts: Druckloser Biogasspeicher

3.3.2 Gasspeicher

Zur Speicherung des anfallenden Faulgases werden u. a. kostengünstige Doppelmembrangasspeicher empfohlen. Diese drucklosen Systeme haben sich in den letzten Jahren, u. a. auf verschiedenen Kläranlagen des Ruhrverbands, bestens bewährt. Entsprechende Speicher werden in Rheinland-Pfalz auf den Kläranlagen Linz-Unkel, Westerbург und Selters betrieben.

Zu diesen drucklosen Gasbehältern zählen neben Folienballonen auch Folienkissen ohne Ballast. Der erforderliche Gasdruck der Verbraucher wird durch Gebläse erzeugt.

Neben drucklosen Gasbehältern kommen auf Kläranlagen auch Niederdruck-Gasbehälter zum Einsatz, wobei der Niederdruck durch ein entsprechendes Gewicht erzeugt werden muss. Diese Gasbehälter sind teurer.

3.3.3 Desintegration

Die Desintegration hat die Verbesserung des anaeroben Abbaus zum Ziel und soll somit zu einer höheren Gasproduktion und Energiegewinnung beitragen. Weitere Einsatzbereiche der Desintegration liegen im Bereich der Reduktion von Schaumproblemen sowie der Verminderung des Überschussschlammanfalls. Mit diesen beiden Zielstellungen geht jedoch zwangsläufig eine Erhöhung des Energieverbrauchs einher. Die Wirtschaftlichkeit ist insbesondere bei kleineren Kläranlagen zu prüfen. Eine ausführliche Betrachtung der Energiebilanz der Desintegration liegt in (DWA 2009) vor.

In Rheinland-Pfalz wird das Verfahren u.a. auf der Kläranlage Oppenheim (25.000 E) erfolgreich angewendet. Dort konnte eine Verbesserung des biologischen Abbaus der organischen Feststoffe in der Faulung um ca. 13 % und damit eine Erhöhung des Faulgasanfalls um ca. 20 % erreicht werden. Der Schlammanfall konnte um ca. 14 % reduziert, die Eindickfähigkeit von ca. 6 % auf ca. 8 % TR erhöht werden.

Eine Wirtschaftlichkeitsberechnung ergab bei Aufwendungen von ca. 29.000 €/a und Ersparnissen von ca. 40.000 €/a einen wirtschaftlichen Vorteil von ca. 11.000 €/a, die Amortisationszeit liegt bei 10 Jahren. Die Wirtschaftlichkeit liegt dabei primär in der reduzierten Menge des zu entsorgenden Klärschlammes begründet. Neben den monetär berechenbaren Vorteilen hat der Betrieb

der Desintegration weitere positive Effekte: So haben Störungen durch Verzopfungen im Schlammkreislauf durch die homogenere Schlammstruktur abgenommen. Durch den erhöhten Abbau der organischen Masse ergeben sich geringere Geruchsbelästigungen beim Lagern und Ausbringen des Klärschlammes (MULEWF 2012).

3.3.4 Faulgasverwertung und -aufbereitung

• Blockheizkraftwerke

Zu den konventionellen Blockheizkraftwerken (BHKW) zählen in erster Linie gewöhnliche Diesel- und Ottomotoren, die mittels einer Kurbelwelle einen Generator antreiben. Ein BHKW besteht im Allgemeinen aus folgenden Elementen:

- Motorblock
- Generator
- Kühlwassersystem, Schmiersystem
- Brennstoffzufuhr
- Wärmekopplung
- Transformator

Die elektrischen Wirkungsgrade der Gas-Ottomotoren liegen im normalen Leistungsbereich bei $\eta_{el} = 27 - 36 \%$ für die hier relevante Größenordnungen. Die Gesamtwirkungsgrade liegen durch die hohen Abgastemperaturen zwischen $\eta_{ges} = 74 - 92 \%$ (ASUE 2011).

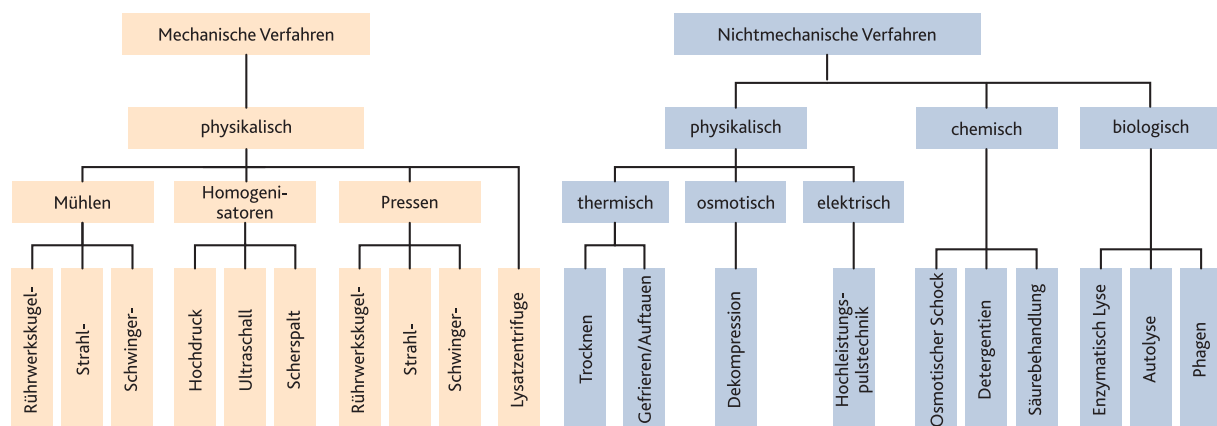


Bild 18: Verfahren der Desintegration nach (Schmid-Schmieder 2009)



Bild 19: BHKW-Anlage mit einer elektrischen Leistung von 50 kW



Bild 20: Mikrogasturbine mit einer elektrischen Leistung von 65 kW

Vorteile von BHKW's sind:

- gute Regelbarkeit der Leistung
- gute Betriebserfahrungen
- ausgereifte Technik
- unkomplizierte Wartung

Dass der Betrieb von Blockheizkraftwerken auch auf kleineren Kläranlagen wirtschaftlich sinnvoll erfolgen kann, zeigt u. a. das Beispiel der Kläranlage Fischingen (Ausbaugröße 8.100 E). Dort wird das Faulgas seit 2008 in einem drehzahlmodulierenden BHKW verstromt. Durch die Trennung von Stromerzeugung und Rückspeisung ins Stromnetz kann der Motor bei gleich bleibendem elektrischen Wirkungsgrad entsprechend der anfallenden Klärgasmenge modulierend von 920-2.300 Umdrehungen ($5-20 \text{ kW}_{\text{el.}}/10-43 \text{ kW}_{\text{therm.}}$) im 24h-Dauerbetrieb gefahren werden.

Im Betriebsjahr 2009 wurden mit der Anlage 115.000 kWh Strom erzeugt, was etwa 60 % des Gesamtstrombedarfs der Kläranlage entspricht. Die Investitionskosten für das BHKW-Modul, den Abgas-Brennwert-Wärmetauscher, die Heizungs- und Elektroanbindung betragen rd. 80.000 €. Dem stehen Einsparungen von ca. 19.000 €/a aus dem Stromminderverbrauch entgegen.

• Mikrogasturbinen

Mikrogasturbinen dienen zur Kraft-Wärme-Kopplung in der dezentralen Strom- und Wärmeversorgung. Der Leistungsbereich liegt zwischen etwa 30 und 200 $\text{kW}_{\text{el.}}$. Die Technologie der Mikrogasturbinen wurde in den USA seit 1990 für die verschiedensten Anwendungsgebiete weiterentwickelt. Es handelt sich dabei um kleine Gasturbinenaggregate, die, vergleichbar mit Abgas-turbinoladern für KFZ-Motoren, aus einstufigen Radialverdichtern und -turbinen bestehen. Als mögliche Brennstoffe kommen sowohl Gase (Erd-, Bio- oder Grubengas) als auch Heiz- oder Dieselöle in Frage. Betriebserfahrungen liegen zwischenzeitlich für den Klärgas- und Erdgasbetrieb vor.

Mikrogasturbinen sind kleine Hochgeschwindigkeitssysteme zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung, die derzeit im Leistungsbereich ab

30 kW_{el} verfügbar sind. Sie bestehen im Wesentlichen aus den Hauptkomponenten:

- Permanentmagnet-Generator
- Brennstoffsystem
- Brennkammer mit Turbine
- Abgaswärmetauscher (Rekuperator)
- Steuerungselektronik
- Transformator

Mikrogasturbinen haben in Abhängigkeit der Baugröße einen elektrischen Wirkungsgrad zwischen 26 % und 29 %.

Vorteile von Mikrogasturbinen sind:

- geringer Wartungsaufwand
 - bessere Regelung im Teillastbetrieb
 - geringere Emissionen
- **Gasaufbereitung**
- Eine vorgeschaltete Gasreinigung beinhaltet Schaumbekämpfung, Partikelentfernung, Grobgastrocknung und eine Entschwefelung. In der Regel reicht diese Aufbereitung des Rohgases aus, um es zu speichern oder in Heizkesseln und BHKWs zu nutzen. Auch die Verwendung in Hochtemperaturbrennstoffzellen ist in der Regel hiernach möglich.

Die Entfernung organischer Siliziumverbindungen ist bei erhöhten Konzentrationen im Faulgas erforderlich, da die Siloxane bei der Verbrennung von Biogas zu Ablagerungen z.B. in Heizkesseln und Motoren führen. Dies führt zu einem erhöhten Wartungsaufwand und kann z.B. bei Gasmotoren zu Schäden führen. Beim Betrieb von Gasmotoren mit Biogas wird z.B. ab einer Siliziumkonzentration von ca. 5 mg/m³ bis 10 mg/m³ eine Gasreinigung zur Siliziumentfernung empfohlen, da ansonsten der Wartungsaufwand zu hoch wird und dies die Wirtschaftlichkeit von Motoren beeinträchtigt (DWA 2008).

Zur Einspeisung von Biogas in öffentliche Erdgasnetze ist eine weitergehende Biogasaufbereitung, die über die vorgeschaltete Gasreinigung hinausgeht, notwendig. Diese Aufbereitung erfolgt in der Regel in drei Schritten: Entschwefelung, Trocknung und Abtrennung von CO₂. Im Fall von hohen Konzentrationen an organischen

Siliziumverbindungen oder Halogenkohlenwasserstoffen müssen auch diese entfernt werden.

- **Wärmenutzung**

Die ganzjährige Verwertung der Überschusswärme stellt eine Voraussetzung für eine durchgängige Zahlung der KWK-Zulage für den erzeugten Strom dar. Wird im Sommer die Wärme nicht verwertet, so entfällt auch die Zahlung der KWK-Zulage für diesen Zeitraum. Dieser Aspekt ist in den nachfolgenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen berücksichtigt.

Möglichkeiten der Nutzung der Wärme bestehen aber z. B. durch die Etablierung eines Wärmeverbunds oder die weitergehende Nutzung der Überschusswärme über mobile Latentwärmespeicher, die einen Transport der Wärme „auf der Straße“ ermöglichen (Schnatmann 22.03.2012). Für den Fall von Wärmedefiziten im Winter kommt der Einsatz eines Schlamm-Schlamm-Wärmetauschers (Schnatmann 22.03.2012), wie er vom Ruhrverband entwickelt wurde, oder eines Rohrbündelwärmetauschers in der Gebläseleitung in Frage.





4 RAHMENBEDINGUNGEN FÜR EINE UMSTELLUNG AUF FAULUNG

Vor einer Umstellung auf Faulung sind auf der Kläranlage die Rahmenbedingungen zu prüfen und näher zu betrachten. Die Bedingungen, die für eine Umstellung von Bedeutung sind, werden hier – entlang des Abwasserweges durch die Kläranlage – näher ausgeführt.

4.1 Mechanische Stufe

4.1.1 Rechen

Zur Vermeidung von Schwimmdecken auf der Oberfläche von Faulbehältern ist es erforderlich, dass Kläranlagen mit einem Feinrechen (Durchgangsweite ca. 3 mm) ausgestattet sind. Dies ist bei den meisten Anlagen bereits der Fall. Sollte eine solche Einrichtung fehlen, so ist diese im Falle einer Umstellung auf Faulungsbetrieb nachzurüsten.

4.1.2 Sandfang

Der Sandfang ist von einer Umstellung auf den Faulungsbetrieb in der Regel nicht betroffen. Für diese Verfahrensstufe ist im Allgemeinen keine Anpassung erforderlich. Hierbei wird vorausgesetzt, dass bei funktionierendem Sandfangbetrieb keine Verlagerung des Sandes über den Klärschlamm in den Faulbehälter erfolgt. Die Funktionsfähigkeit des Öl-/Fettfangs ist ebenfalls sicherzustellen.

4.1.3 Vorklärung

Eine Vorklärung ist bei aeroben Stabilisierungsanlagen in der Regel nicht vorhanden. Sie bildet jedoch bei anaeroben Stabilisierungsanlagen einen wesentlichen Bestandteil der Verfahrenstechnik. Damit stellt sie im Rahmen der Umstellung von aerober auf anaerobe Stabilisierung eine wichtige, meist neu zu errichtende Verfahrensstufe dar. Die Größe der bzw. die Aufenthaltsdauer in der Vorklärung ist entscheidend für die Menge an Primärschlamm, der als wichtiger Energieträger in die Faulung eingeht.

Die Auslegung der Vorklärung ist auf die Erfordernisse der Stickstoffelimination abzustimmen. Die Auswirkungen der Vorklärung sind für alle nachfolgenden Prozessschritte relevant. Nachfolgende Tabelle 2 gibt einen Überblick über den Einfluss unterschiedlicher Verweilzeiten auf verschiedene Parameter in der Vorklärung im Vergleich zu einer aeroben Stabilisierungsanlage ohne Vorklärung bei 15°C Abwassertemperatur.

	Aufenthaltszeit Vorklärung	[h]	ohne VK	0,5	1	2
Zulauf Belebung	BSB ₅ -Fracht	[g/(E·d)]	60	50	45	40
	CSB-Fracht	[g/(E·d)]	120	100	90	80
	TS-Fracht	[g/(E·d)]	70	40	35	25
	TKN-Fracht	[g/(E·d)]	11	10	10	10
	P-Fracht	[g/(E·d)]	1,8	1,6	1,6	1,6
	C/N-Verhältnis	[-]	5,5	5	4,5	4
	O ₂ -Verbrauch Abbau C-Verbindung	[g/(E·d)]	76	54	49	43
Vorklärung - Primärschlamm	TM-Gehalt	[% TM]		2-8	2-8	2-8
	TM-Fracht	[g/(E·d)]		30	35	40
	oTM/TM	[-]		0,67	0,67	0,67
	Volumen	[l/(E·d)]		1	1,2	1,4
	Eliminationsraten AFS	[%]		43	50	57
	Eliminationsraten BSB ₅	[%]		16,7	25	33,3
	Abnahme BSB ₅ -Fracht	[g/(E·d)]		10	15	20
	Faulgasanfall	[l/(E·d)]		10,5	12,3	14,0
Energieertrag aus PS	[kWh/(E·a)]		24,9	29,1	33,2	
elektr. Energie mittels BHKW	[kWh/(E·a)]		9,5	11,0	12,6	
Überschuss- schlamm	Schlammalter (bei 15°C)	[d]	25	15	15	15
	TM-Gehalt	[% TM]	0,7	0,7	0,7	0,7
	TM-Fracht	[g/(E·d)]	56,2	39,3	34,8	30,2
	oTM/TM	[-]	< 0,55	0,7	0,7	0,7
	Volumen	[l/(E·d)]	8	5,6	5	4,3
	Faulgasanfall	[l/(E·d)]	< 9,1	8,1	7,2	6,2
	Energieertrag aus ÜSS	[kWh/(E·a)]	< 21,6	19,2	17,0	14,7
elektr. Energie mittels BHKW	[kWh/(E·a)]	< 8,2	7,3	6,5	5,6	
Summe Energie	Faulgasanfall gesamt	[l/(E·d)]	< 9,1	18,6	19,4	20,2
	Faulgasanfall gesamt	[m³/(E·a)]	< 3,3	6,8	7,1	7,4
	Energieertrag aus ÜS	[kWh/(E·a)]	< 21,6	44,1	46,1	48,0
	elektr. Energie mittels BHKW	[kWh/(E·a)]	< 8,2	16,8	17,5	18,2

Tabelle 2: Vergleich der Auswirkungen unterschiedlicher Vorklärzeiten auf unterschiedliche Parameter des Behandlungsprozesses sowie den Energieertrag

Änderung des C/N-Verhältnisses

Die Vorklärung führt zu einer Verschiebung der Nährstoffverhältnisse im Rohabwasser. Dabei findet eine Reduktion aller Nährstoffe in Abhängigkeit von der Aufenthaltszeit im Vorklärbecken statt. Die Kohlenstoff-Reduktion ist dabei jedoch am größten (vgl. BSB₅- und CSB-Abnahme bis zu 30 %). Die Reduktion der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor liegt hingegen nur in einer Größenordnung von 10 %. Diese Änderung der Nährstoffverhältnisse kann Auswirkungen auf die nachfolgende biologische Stufe der Abwasserreinigung haben. Dabei geht es im Wesentlichen

um eine mögliche „Kohlenstoff-Mangel-Situation“ aufgrund (zu) weitgehender Vorklärung des Abwassers. Ein solcher Mangel kann auch andere Gründe haben, z. B. lange Aufenthaltszeiten im Kanalnetz, auf die aber an dieser Stelle nicht näher eingegangen wird. Folgen eines Kohlenstoffmangels in der biologischen Stufe können sein:

- starke Entwicklung von fadenförmigen Bakterien mit Blähschlamm- und Schaumentwicklung
- unzureichende Denitrifikation und somit erhöhte Nitrat-Ablaufwerte

Folglich sind solche Mangelsituationen zu vermeiden bzw. entsprechende Gegenmaßnahmen zu ergreifen.

Als Gegenmaßnahme kann eine Teilumgehung der Vorklärung bzw. eine Zudosierung von externen Kohlenstoffquellen vorgesehen werden. Die Zudosierung externer Kohlenstoffquellen führt jedoch zu einem zusätzlichen Kostenfaktor, die Umgehung der Vorklärung zu einer Minderung des für den Faulgasertrag relevanten Primärschlamm. Eine weitere Möglichkeit ist die Vergrößerung des Denitrifikationsvolumens auf maximal bis zu 50 % des Gesamtvolumens unter Beibehaltung von ausreichendem Volumen für die Nitrifikation (Mindestschlammalter von 9 Tagen).

Aus diesem Grund ist es notwendig, die Größe der Vorklärung in Abhängigkeit vom $C(BSB_5):N$ -Verhältnis mit Augenmaß zu wählen, wobei das Augenmerk auf den leichtabbaubaren Kohlenstoffverbindungen (BSB_5) liegen muss.

Ein Mitbehandlung von Prozesswasser im Belebungsreaktor führt zu einer weiteren Erhöhung des N-Anteils und somit zu einer ungünstigen Verschiebung des Nährstoffverhältnisses. Dieser Faktor ist entsprechend zu berücksichtigen (ggfs. separate Prozesswasserbehandlung, bzw. Prozesswassermanagement).

Für die weiteren Betrachtungen wird basierend auf Tabelle 2 eine Verweilzeit in der Vorklärung von 1 Stunde als Bezugsgröße angesetzt.

4.2 Biologische Reinigungsstufe

Infolge einer Umstellung von aerober auf anaerobe Schlammstabilisierung ergeben sich Konsequenzen und Änderungen für die biologische Reinigungsstufe. Die relevanten Kenngrößen und Bereiche werden nachfolgend näher betrachtet.

4.2.1 Belebungsbeckenvolumen - V_{BB}

Das einwohnerspezifische Belebungsbeckenvolumen, das bei der aeroben Schlammstabilisierung zwischen 300 und 400 l/E liegt, nimmt aufgrund eines deutlich verminderten erforderlichen Schlammalters deutlich ab. Es bewegt sich erfahrungsgemäß in einem Bereich zwischen 100 und 200 l/E. Damit wird deutlich, dass bei einer Um-

stellung bis zu 50 bzw. 75 % des bisherigen Belebungsbeckenvolumens eingespart werden können (vgl. Bild 39).

4.2.2 Schlammalter - t_{TS}

Das erforderliche Schlammalter ist abhängig vom Reinigungsziel und der Temperatur. Das Bemessungsschlammalter bei aeroben Stabilisierungsanlagen mit Stickstoffelimination liegt bei mindestens 25 Tagen (ATV-DVWK 2000). Aufgrund der bei einer Umstellung wegfallenden Funktion der Stabilisierung im Belebungsbecken reduziert sich das Schlammalter deutlich auf ca. 10-15 Tage bei 15 °C Abwassertemperatur (zur Sicherstellung der Nitrifikation).

Das Schlammalter sollte aus energetischen Gründen in einem optimalen Bereich gefahren werden: In der Praxis werden Belebungsanlagen – sowohl mit als auch ohne Faulung – häufig mit einem zu hohen Gesamtschlammalter gefahren (Hansen et al. 2007). Die Absenkung führt zu einem Anstieg des oTR-Gehaltes und damit zu einem potenziell energiereicheren Schlamm.

Somit ist eine Belebungsanlage mit anaerober Schlammstabilisierung mit einem optimalen Schlammalter (je nach Temperaturverhältnissen 10 bis 15 Tage) zu betreiben, um Energieverluste durch verminderten Gasertrag in der Faulung und zu hohen Sauerstoffeintrag in die Belebung zu vermeiden.



Die Auswirkungen auf den Faulgasanfall sowie den erforderlichen Sauerstoffeintrag bei einer 1-stündigen Vorklärdauer (BSB₅-Fracht im Zulauf zum BB = 45 g/(E·d)) und einer Abwassertemperatur von 15 °C sind in Bild 21 exemplarisch dargestellt. Aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht ist ein zu hohes Schlammalter bei anaeroben Stabilisierungsanlagen ungünstig. Aus Bild 22 geht hervor, dass die durch Faulgas erzeugte elektrische Energie den Energiebedarf für die Belüftung im Belebungsbecken mehr als decken kann. Grundlage für diese Berechnung bildet der in (Müller et al. 1999) aufgeführte Energieaufwand von 0,71 kWh/kgO₂ bei flächendeckender Belüftung.

4.2.3 Schlamm Trockensubstanz im Belebungsbecken - TS_{BB}

Die Schlamm Trockensubstanz hat maßgeblichen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Reinigungsverlaufs, sofern ausreichend aktive organische Trockensubstanz vorhanden ist.

Aus betrieblichen Gründen sollte ein TS von 2 g/l nicht unterschritten werden, da sonst auch die Gefahr einer Verschlechterung des Absetzverhaltens des Schlammes in der Nachklärung besteht (Baumann, Roth 2008). Zu wenig Biomasse verhindert eine Ausbildung des Schlammfilters in der Nachklärung. Auch nach der Umstellung auf Faulung ist der TS_{BB} in einem optimalen Bereich zu halten, um u. a. auch den Belüftungsenergiebedarf auf das notwendige Maß zu beschränken.

4.2.4 Belüftung

Die Absenkung des Schlammalters im Belebungsbecken führt zu einer Einsparung an Belüftungsenergie (vgl. Bild 23).

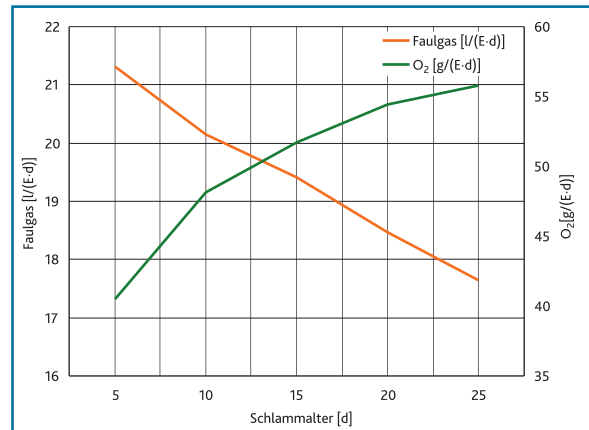


Bild 21: Auswirkungen des Schlammalters auf den Faulgasanfall und Sauerstoffeintrag bei 1 h Vorklärdauer und 15 °C Abwassertemperatur

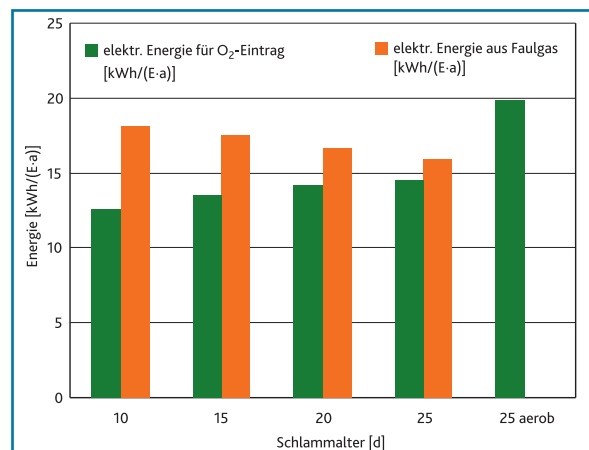


Bild 22: Auswirkungen des Schlammalters auf die energetische Bilanz bei Einsatz einer Faulung und einer Vorklärdauer von 1h

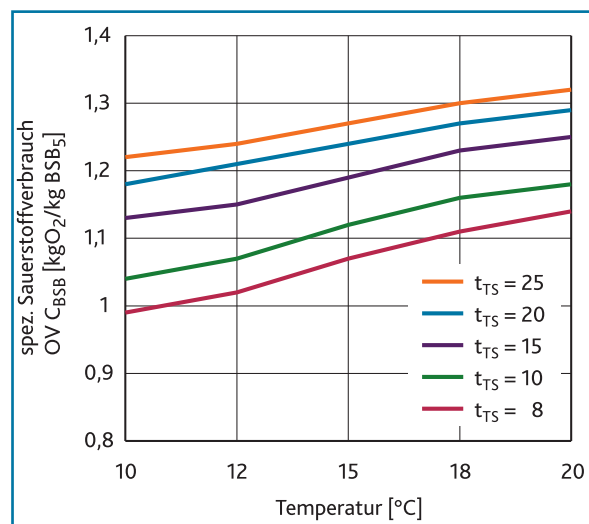


Bild 23: Sauerstoffverbrauch in Abhängigkeit von der Temperatur und des Schlammalters für C_{CSB,ZB}/C_{BSB,ZB}

4.3 Nachklärung

Durch die Umstellung der Verfahrensführung auf Schlammfäulung ergeben sich auch veränderte betriebliche Aspekte für die Nachklärung, die in der Regel jedoch keine nachteiligen Auswirkungen haben:

- Durch die Frachtentlastung aufgrund des Primärschlammabzugs in der Vorklärung reduziert sich die stoffliche Belastung der Nachklärung um die "vermiedene" Überschussschlammmenge.
- Die hydraulische Entlastung durch den Primärschlamm-Abzug kann vernachlässigt werden.
- Bei Schwimmschlammproblemen werden diese i. d. R. geringer, weil die Wachstumsvorteile (geringe Nährstoffkonzentration) von z. B. fadenförmigen Bakterien in der Belebungsstufe „beseitigt“ werden.

Erfahrungen aus dem Projekt Zerberus (Schmitt, Hansen 2003) zeigen zudem, dass Schwimm- und Blähschlammprobleme eng an die Schlammbelastung und somit auch an die Art der Betriebsweise gebunden sind. Niedrige Schlammbelastungswerte bewirken im Vergleich zu höher belasteten Anlagen ein erhöhtes Schwimm- und Blähschlammrisiko.

4.4 Schlammbehandlung (vor der Fäulung)

4.4.1 Primärschlamm - PS

Durch den Einsatz einer Vorklärung entsteht ein neuer Schlammaustragspfad innerhalb der Prozesskette. Der nun regelmäßig anfallende, sehr energiereiche Primärschlamm ist ein elementarer Inputstoff für die neu zu errichtende Schlammfäulung. In ihm sind zwischen 50 und 70 % der Energie gebunden, die in Form von Klärgas nutzbar gemacht werden soll. Es ist, in Abhängigkeit der Vorklärdauer, mit einer Primärschlammfracht von 30 bis 40 g_{TM}/(E·d) zu rechnen. Das o_{TM}/TM-Verhältnis (Glühverlust) des PS liegt bei ca. 0,6 bis 0,7.

Eine Eindickung erfolgt in der Regel im Vorklärbecken selbst. Von dort gelangt der Primärschlamm über einen Rohschlammvorlagebehälter in den Faulbehälter.

4.4.2 Überschussschlamm - ÜSS

Die Überschussschlammproduktion nimmt im Vergleich zur aeroben Stabilisierung deutlich ab. Die Überschussschlammfracht beträgt nach der Umstellung noch ca. 30 bis 40 g_{TM}/(E·d) im Vergleich zu ursprünglich ca. 55 g_{TM}/(E·d). Aufgrund des verkürzten Schlammalters nimmt der organische Anteil im ÜSS jedoch zu (von ca. 0,55 auf 0,7). Nach einer maschinellen Eindickung gelangt der ÜSS über einen Rohschlammvorlagebehälter in den Faulbehälter.

4.4.3 Voreindickung

Zur Erhöhung der Faulbehälterkapazität und somit auch der Wirtschaftlichkeit wird der Überschussschlamm i. d. R. maschinell voreingedickt.

4.5 Interkommunales Klärschlammbehandlungszentrum/ Co-Fermentation

Bei einer anstehenden Umrüstung auf Fäulung sollten mögliche Potenziale zur Steigerung der Klärgaserzeugung durch Annahme von Fremdschlämmen im Rahmen eines interkommunalen Klärschlammbehandlungszentrum (siehe Beispiel Kap. 7) oder durch Annahme von Co-Substraten wie z. B. Weinbauabwässer, Fette etc. mit in die Überlegung und Planung einbezogen werden.

Im DWA-Merkblatt M 380 sind Hinweise für Betreiber und Behörden zur Co-Vergärung aufgeführt. Bei der Genehmigung wird im Einzelfall geprüft, ob das jeweilige Substrat für eine Co-Fermentation im Faulturm geeignet ist.



5 WIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE EINER UMSTELLUNG

Ein entscheidender Faktor bei der Umstellung ist die Wirtschaftlichkeit. Diese wird von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst. Dazu gehören einerseits kostengünstige, effiziente Behandlungstechniken, andererseits aber auch vielfältige weitere Aspekte, die sich insgesamt auf die Investitions- und Betriebskosten auswirken. Darauf basierende Kostenfunktionen erlauben in Abhängigkeit von der Größenklasse sowie unterschiedlicher Sensitivitätsfaktoren eine Aussage hinsichtlich der Gesamtwirtschaftlichkeit einer Umstellung auf Faulung.

In den nachfolgenden Betrachtungen gilt Ausbaugröße = Anschlussgröße, da im Rahmen der theoretischen Berechnungen von einer Vollauslastung der Kläranlage ausgegangen wurde.

5.1 Kostenfunktionen

Ging es vor 30 Jahren noch darum, ob der Neubau einer Kläranlage nach dem Verfahren der aeroben Stabilisierung oder der Faulung erfolgen soll, ist die Frage heute anders zu definieren: Ist es wirtschaftlich, eine nach dem Verfahren der aeroben Stabilisierung gebaute Kläranlage auf Faulung umzurüsten?

Zur überschlägigen Prüfung wurden Kostenfunktionen entwickelt, wonach beurteilt werden kann, ob weitergehende Untersuchungen für den speziellen Anwendungsfall grundsätzlich geboten sind.

Zur Ableitung der Kostenfunktionen wurden für einen Ausbaugrößenbereich von 5.000 bis 50.000 E folgende, für die Umrüstung maßgebende Kostenfaktoren bestimmt:

- Erforderliches Belebungsbeckenvolumen (bei Umstellung auf Schlammfaulung)
- Vorklärbeckenvolumen (bei $t_A = 1,0$ h) und Primärschlammumpwerk
- Zwischenpumpwerk
- Faulbehälter, zweistufig (Schlammalter/Faulzeit = 16 - 20 d) und Maschinengebäude (gewählt: 2-stufige Kompaktfaulung)
- Maschinelle Voreindickung des Überschussschlammes
- Schlammvorlagebehälter
- Gasspeicher und Gasfackel
- Blockheizkraftwerk

Auf Basis von Erfahrungswerten aufgrund neuerer Ausschreibungsergebnisse sowie anhand spezifischer Raumpreise wurden über die Bauwerkskubatur für die verschiedenen Verfahrensstufen Investitionskosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße der Musterkläranlage ermittelt. Die berechneten Kosten wurden jeweils in einer Kostenfunktion zusammengefasst, aus der die voraussichtlichen Kosten für Bau und Ausrüstung der jeweiligen Verfahrensstufe entnommen werden können. Weiterhin wurden alle Kosten zu einer Gesamtkostenfunktion zusammengefasst.

5.1.1 Beeinflussende Faktoren für beispielhafte Modellrechnung

Für die durchgeführten Kostenberechnungen wurden folgende Rahmenbedingungen unterstellt:

- Es wurde prinzipiell davon ausgegangen, dass für die Verfahrensumstellung ein neues Vorklärbecken gebaut werden muss. Die Dimensionierung des Vorklärbeckens erfolgte für eine Aufenthaltszeit von 1,0 h bei Trockenwetterzufluss. Für die Ermittlung der Zuflussmengen wurde von einem spezifischen Schmutzwasseranfall von 120 l/(E·d) und einem Fremdwasserzuschlag von 100 % ausgegangen.
- Für die Kostenermittlungen wird die Ausführung des Vorklärbeckens als Rundbecken mit trichterförmiger Beckensohle vorausgesetzt.
- Es wurde davon ausgegangen, dass für die Integration des VKB in den Verfahrensablauf aus hydraulischen Gründen ein Zwischenpumpwerk erforderlich ist.
- Für die Kostenbetrachtungen wurde exemplarisch eine 2-stufige Kompaktfaulung gewählt. Im Vordergrund stand hierbei insbesondere die hohe Betriebssicherheit durch zweistufige Ausführung bei Anlagen kleiner und mittlerer Größe. Desweiteren ist diese Anlagentechnik wirtschaftlich umsetzbar und führt durch die Zweistufigkeit zu einer hohen Gasausbeute.
- Für die Gasreinigung wurden Kiesfilter und Aktivkohlefilter berücksichtigt.
- Die mögliche Nutzung vorhandener Bausubstanz wurde nicht berücksichtigt, da diese einzelfallabhängig zu prüfen ist.
- Für die kleineren Kläranlagen (bis 10.000 E) wurde von einer einstraßigen und bei den Kläranlagen > 10.000 E von einer zweistraßigen Ausführung der biologischen Anlagenstufe ausgegangen.
- Ab einer Ausbaugröße von 15.000 E wurde die mögliche Außerbetriebnahme eines Belebungsbeckens mit den hieraus resultierenden Betriebs- bzw. Stromkosteneinsparungen unterstellt.
- Das frei werdende Beckenvolumen kann als Havariebecken oder zur Zwischenspeicherung

des Prozesswassers, z. B. aus der Schlamm-entwässerung, genutzt werden.

- Es wird davon ausgegangen, dass keine separate Prozesswasserbehandlung durchgeführt werden muss.
- Es wurden normale Baugrundverhältnisse vorausgesetzt. Für den Bau der tief gegründeten Bauwerke (Vorklärbecken, Zwischenpumpwerk und Rohschlammbehälter) wurde davon ausgegangen, dass diese auf tragfähigem Boden gegründet werden können. Für die flach gegründeten Bauwerke (Faulbehälter, Technikgebäude usw.) wurde ein 1 m starker Bodenaustausch berücksichtigt.
- Die Erdaushubarbeiten für die tief gegründeten Bauwerke erfolgen mit geböschter Baugrube (45° Böschungswinkel). Es wurden normale Grundwasserverhältnisse angenommen.
- Die genannten Kosten verstehen sich brutto inkl. 15 % Baunebenkosten.

5.1.2 Spezifische Investitionskosten von Bauwerken und Anlagenteilen

Auf Basis von Erfahrungswerten, spezifischen Raumpreisen und aktuellen Ausschreibungsergebnissen wurden die Kostenfunktionen für die relevanten Anlagenteile ermittelt.

Bei den Investitionskosten für sonstige Bauwerke und Anlagen wurden berücksichtigt: Zwischenpumpwerk, Primärschlammumpwerk, Rohschlammbehälter, Maschinelle Überschussschlammindickung, Technikgebäude, Gasspeicher und Gasfackel. Die maschinelle Überschussschlammindickung sowie das BHKW werden im Maschinengebäude aufgestellt, so dass für diese Anlagenteile keine separaten baulichen Aufwendungen berücksichtigt wurden.

Die Kosten der Einzelbauwerke und Anlagen wurden in einer Gesamtkostenfunktion zusammengefasst. Hier wurde auch ein Kostenansatz für Rohrleitungsanbindungen, Verkehrsflächen und Sonstiges (z. B. Zaun, Toranlage) berücksichtigt.

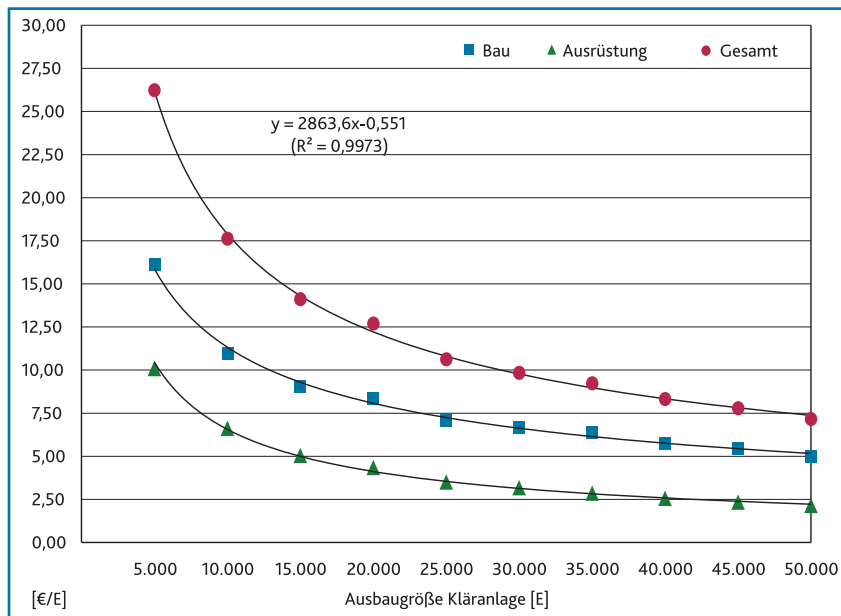


Bild 24: Spezifische Investitionskosten für den Bau eines Vorklärbeckens in Rundbauweise

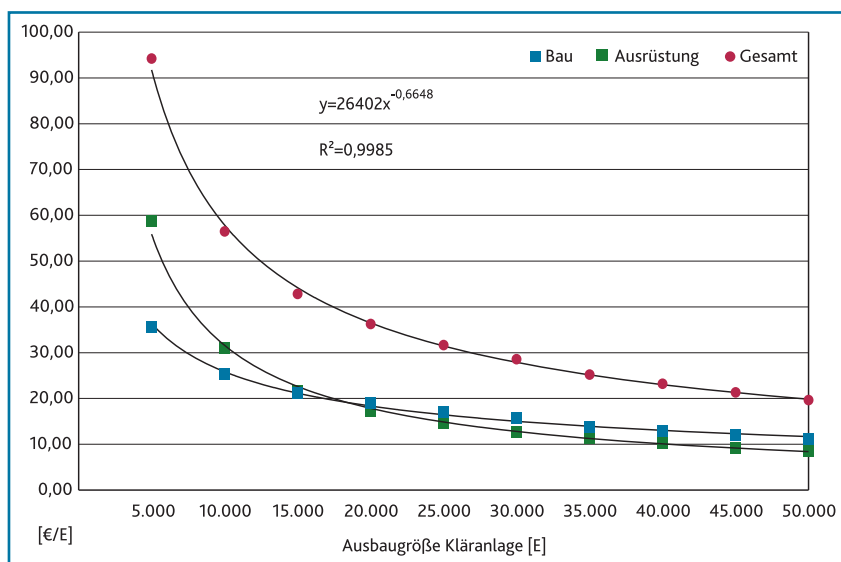


Bild 25: Spezifische Investitionskosten für den Bau eines 2-stufigen Kompaktfaulbehälters

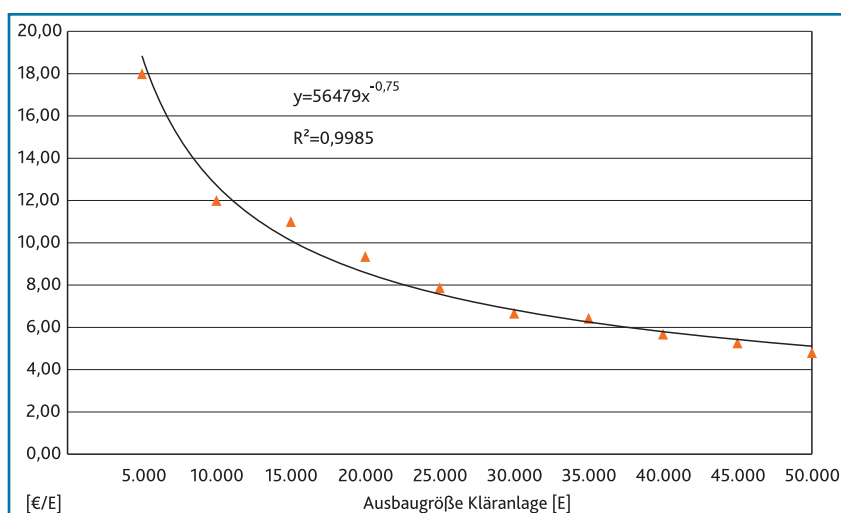


Bild 26: Spezifische Investitionskosten für die Gasaufbereitung und Gasverwertung (BHKW)

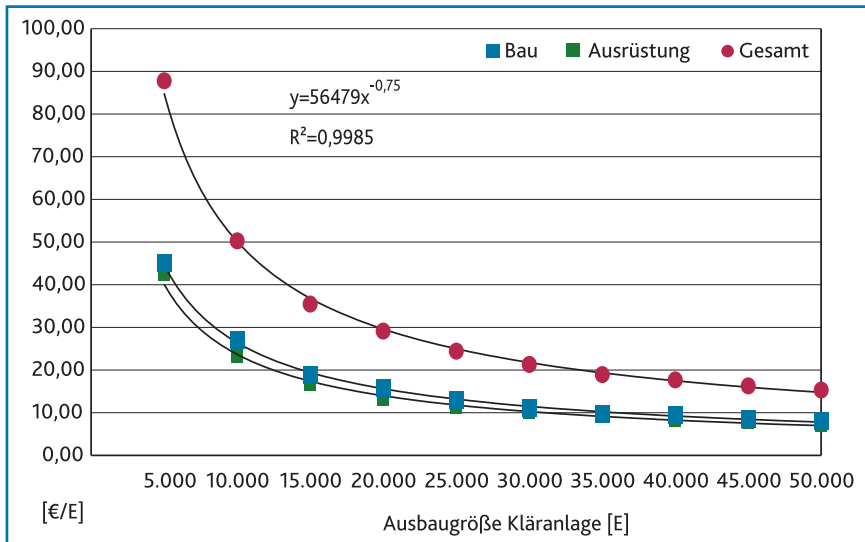


Bild 27: Spezifische Investitionskosten für sonstige Bauwerke und Anlagen

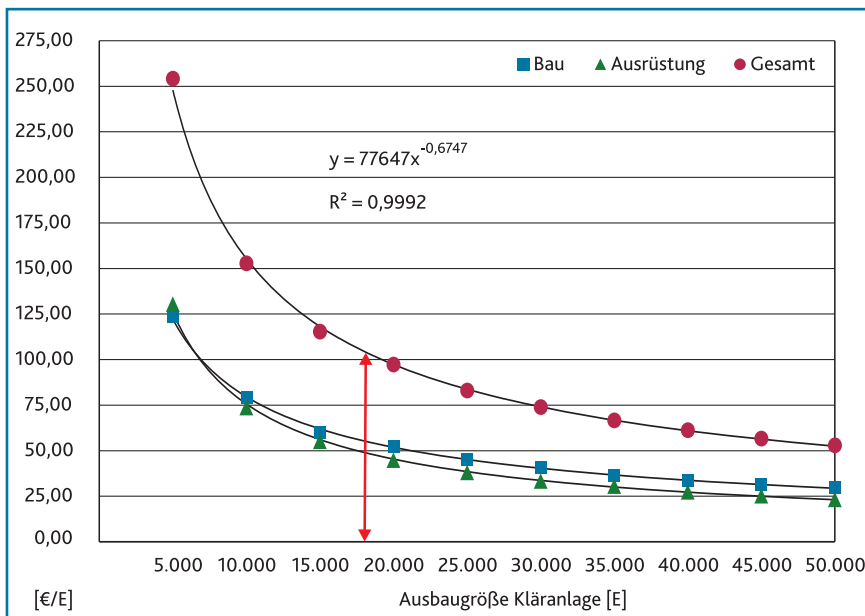


Bild 28: Spezifische Gesamtkosten der Verfahrensumstellung

5.1.3 Resultierende Kapitalkosten

Die Kapitalkosten berechnen sich aus den Investitionskosten multipliziert mit den Kapitalwiedergewinnungsfaktoren (KFAKR). Diese werden in Abhängigkeit der Nutzungsdauer der jeweiligen Anlagenteile sowie des Zinssatzes wie folgt ermittelt:

$$\text{KFAKR}(i; n) = i \cdot (1 + i)^n / [(1 + i)^n - 1]$$

Nutzungsdauer	Zinssatz	KFAKR	
Bauwerke; Verkehrsflächen usw.,	40,0 a	4,0 %	0,050523
Ausrüstung (Pumpen, Rührwerke usw.),	20,0 a	4,0 %	0,073582
BHKW, Maschinelle Voreindickung,	13,3 a	4,0 %	0,098941

Tabelle 3: Kapitalwiedergewinnungsfaktoren

5.2 Mögliche Betriebskosteneinsparungen

Durch die Umstellung der Verfahrensführung auf Schlammfäulung wird eine Reduzierung der Betriebskosten erreicht. Diese ergibt sich aus dem ersparten Energieaufwand in der biologischen Anlagenstufe, der möglichen Eigenstromerzeugung sowie der Reduzierung der zu entsorgenden Schlamm-mengen aufgrund des weitergehenden Abbaus an organischer Substanz sowie der verbesserten Entwässerungseigenschaften. Im Gegenzug sind höhere Kosten für Wartung und Instandhaltung der zusätzlichen Bauwerke und Anlagen sowie höhere Personalkosten zu berücksichtigen.

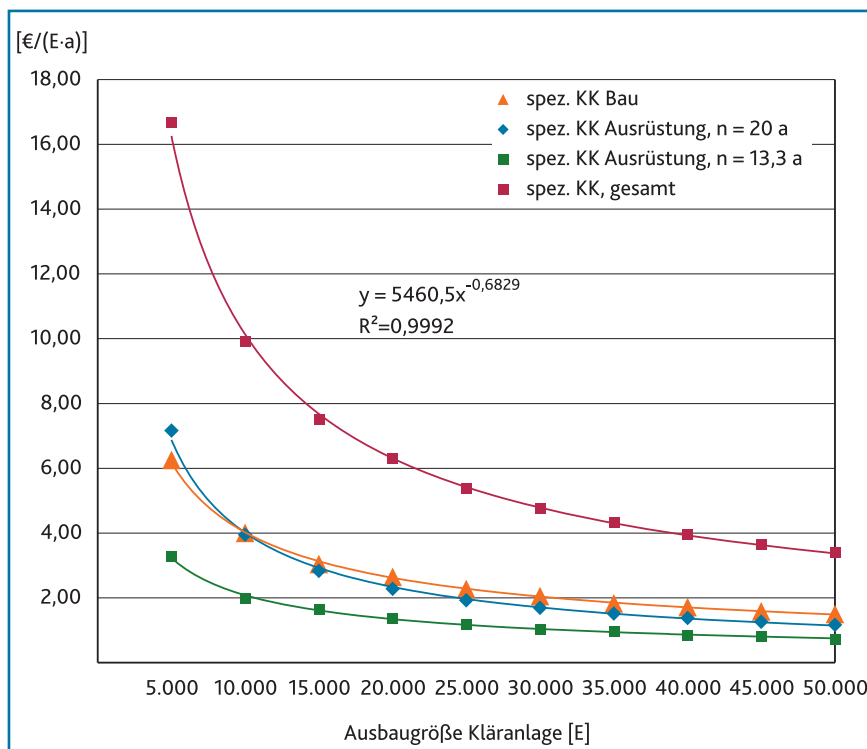


Bild 29: Spezifische Kapitalkosten der Verfahrensumstellung

Energiekosten

Für die Stromkosteneinsparung in der biologischen Behandlungsstufe wird bei den Anlagen bis 10.000 E eine etwa 30 %ige Reduzierung des bisherigen Energieverbrauchs der Belüftungseinrichtung zugrunde gelegt (im Wesentlichen resultierend aus dem Vorschalten eines Vorklärbeckens sowie dem geringeren Schlammalter). Aufgrund der möglichen Stilllegung eines Beckens wird bei den größeren Anlagen von einer Reduzierung des spezifischen Energieverbrauchs für die Belüftung und für die Umwälzung sowie Durchmischung von ca. 12 kWh/(E·a) ausgegangen. Die Eigenstromerzeugung erfolgt über den Einsatz eines BHKW. Der spezifische Energieinhalt des Faulgases wird mit 6,5 kWh/m³ und der elektrische Wirkungsgrad des BHKW mit 30 - 35 % (in Abhängigkeit der Größe des BHKW) angesetzt.

Der erzeugte Strom wird eigengenutzt bzw. in das Stromnetz der Kläranlage eingespeist, so dass sich hieraus eine entsprechende Reduzierung des Fremdbezugs respektive der aufzuwendenden Stromkosten ergibt. Es wurde weiterhin davon ausgegangen, dass eine zusätzliche Vergütung über den KWK-Bonus erfolgt. Für die Berechnung des KWK-Bonus wird von einer 75 %igen Prozesswärmenutzung der BHKW-Abwärme ausgegangen.

Der Energieverbrauch für den Betrieb der zusätzlichen Anlagenstufen wird auf Basis spezifischer Verbrauchswerte (Baumann, Roth 2008) wie in Tab. 4 berücksichtigt.

Entwässerungs-/ Entsorgungskosten

Für die Ermittlung der zu entwässernden bzw. zu entsorgenden Schlammengen wird davon ausgegangen, dass aus dem höheren oTR-Abbau in der Faulungsanlage eine um 10 g/(E·d) geringere Feststofffracht resultiert. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass bei der maschinellen Entwässerung höhere Feststoffgehalte (28 % anstelle von 22 %) erreicht werden.

Die eingesparten Entwässerungskosten aufgrund des niedrigeren Schlammanfalls wurden bei kleineren Anlagen mit 8,00 €/m³ und mit 5,00 €/m³ bei den größeren Anlagen abgeschätzt.

Die spezifischen Entsorgungskosten wurden mit 50,00 €/t entwässertem Schlamm (spezifischer Preis für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung) eingerechnet.

Vorklärbecken inkl. Primärschlammumpwerk	0,2 kWh/(E·a)
Zwischenpumpwerk	0,6 kWh/(E·a) pro m Förderhöhe
maschinelle Überschussschlammeindickung	0,15 kWh/m ³ Schlammdurchsatz
Faulturm	2,5 kWh/(E·a)

Tabelle 4: Gewählte Verbrauchswerte der einzelnen Verfahrensstufen

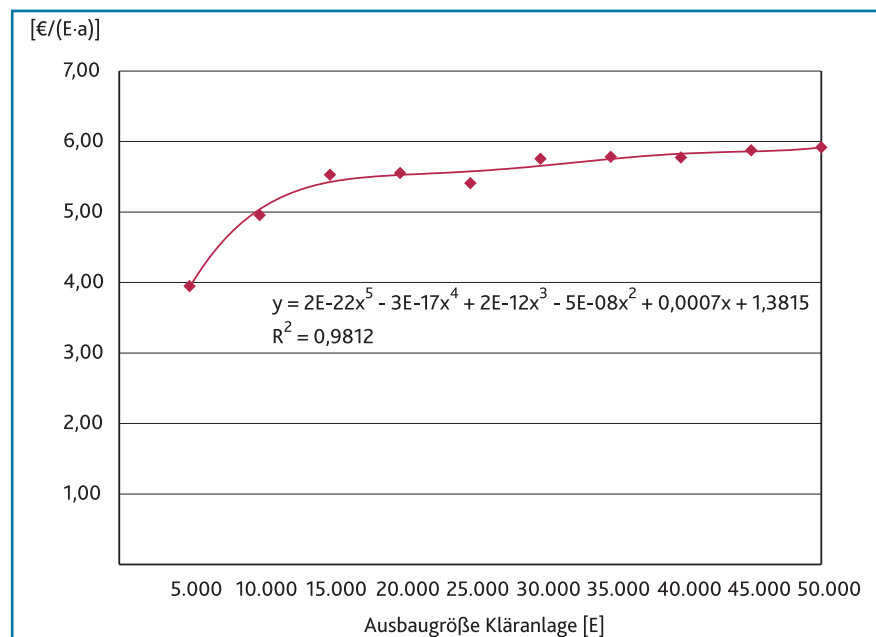


Bild 30: Mögliche spezifische Betriebskosteneinsparung

Personalkosten

Der zusätzliche Arbeitszeitbedarf wurde mit 5 bis 12 h/Woche und einem Stundenverrechnungssatz von 20,00 €/h berücksichtigt.

Wartung und Instandhaltung

Für die Wartung und Instandhaltung der neuen Anlagenstufen wurde ein Pauschalansatz von 0,25 %/a der Investitionskosten für den baulichen Teil und von 0,50 %/a der Investitionskosten für die Ausrüstung unterstellt. Aus der Bilanzierung der Mehr-/ Minderkosten ergibt sich die in Bild 30 aufgezeigte Kostenfunktion für die mögliche spezifische Betriebskosteneinsparung bei Umstellung der Verfahrensführung.

5.3 Wirtschaftlichkeitsgrenze für Verfahrensumstellung

Das Bild 31 zeigt bei den derzeitigen Energie- und Entsorgungskosten eine Wirtschaftlichkeitsgrenze der Verfahrensumstellung bei etwa 24.000 E. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass seit

2003 die Strompreise bis heute im Mittel um 5 - 7 % pro Jahr steigen (Seibert-Erling, Etges 2010). Eine Stagnation oder gar Umkehr der Energiepreisentwicklung ist nicht zu erwarten. Hinsichtlich der zukünftigen Möglichkeiten der Klärschlamm Entsorgung bestehen zurzeit einige Unsicherheiten. Eine Reduktion der Schlammmenge ist in jedem Fall von Vorteil.

Die vorstehenden Überlegungen führen zwangsläufig dazu, dass die Betreiber von Kläranlagen im Rahmen eines verantwortungsvollen, wirtschaftlichen und zukunftssicheren Anlagenbetriebes die Verfahrensvorteile der "Schlammfäulung" in ihre Überlegungen einzubeziehen haben. Auch wenn unter heutigen Rahmenbedingungen eine Verfahrensumstellung erst bei Kläranlagen > 24.000 E (bei einem Zinssatz von 4 % vgl. Bild 31) bzw. > 20.000 E (bei einem Zinssatz von 3 % vgl. Bild 43) wirtschaftlich realisierbar ist, zeigt der Vergleich der Kostenbarwerte bei Verfahrensumstellung mit der möglichen Betriebskosteneinsparung (der Fäulung gegenüber der aeroben Stabilisierung), dass die Wirtschaftlichkeit mit

zunehmenden Betriebskosten sehr schnell auch für kleinere Ausbaugrößen gegeben ist.

Bereits eine Steigerungsrate von lediglich 2 %/a führt dazu, dass die Umstellung auch für Kläranlagen ab 15.000 E interessant ist. Bei einer Steigerung von 3 %/a ist die Verfahrensumstellung bereits für Anlagen ab 12.000 E wirtschaftlich realisierbar. Die vollständigen Grafiken der Kostenbarwertvergleiche können als [Download \(siehe Anhang\)](#) über das Internet bezogen werden.

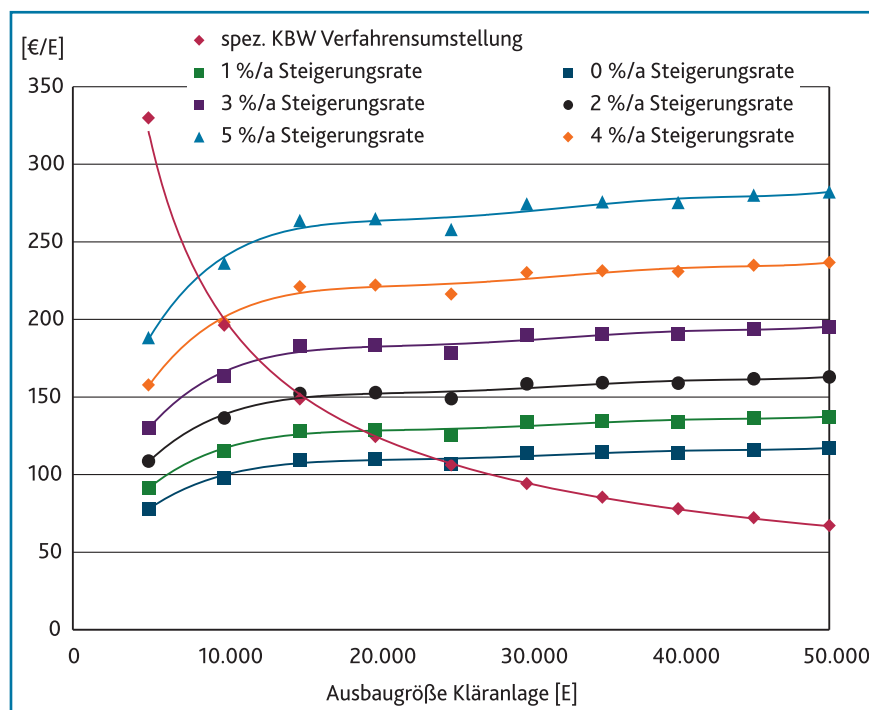


Bild 31: spezifische Kostenbarwerte bei einem Zinssatz von $i = 4\%$ und einer Steigerung der möglichen Betriebskosteneinsparungen zwischen 0 und 5%



6 CHECKLISTE ZUR MÖGLICHEN UMSTELLUNG

6.1 Grundlagen

Die entwickelte „Checkliste“ dient Anlagenbetreibern und Planern zur Prüfung der Fragestellung, ob eine Kläranlage für eine Umstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung möglicherweise geeignet ist und ob eine detaillierte Untersuchung durchgeführt werden sollte.

Die Checkliste ist in drei Blöcke untergliedert: Im Block 1 „Basisabfrage“ wird die Belastung der Kläranlage erfasst. Sie stellt die Grundlage für die weiteren Betrachtungen dar. Eine überschlägige Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer Umstellung basierend auf der tatsächlichen Belastung der Kläranlage zeigt, ob eine weitere Prüfung unter den gewählten ökonomischen Rahmenbedingungen sinnvoll ist.

Block 2 umfasst eine Überprüfung der „Verfahrenstechnik“ auf der zu untersuchenden Kläranlage. Dazu werden die Bereiche „Mechanische Stufe“, „Biologische Stufe“ und „Nachklärung“ näher betrachtet. Gegebenenfalls erforderliche Anpassungen im Rahmen einer Umstellung werden aufgezeigt, desweiteren erfolgen Hinweise, ob möglicherweise eine Umnutzung von Becken und Anlagenteilen in Frage kommt.

Block 3 schließt mit einer „Abschätzung der voraussichtlichen Investitionskosten“ unter den gegebenen Rahmenbedingungen.

Die Checkliste liegt in Form von Fließbildern vor, anhand derer der Anwender eine Prüfung für seine Anlage vornehmen kann. Auf eine klassische Checkliste, die auf dem Ankreuzen von Kriterien basiert, wurde aufgrund der Individualität der einzelnen Anlagen gezielt verzichtet.

Die Checkliste kann als [Download](#) (siehe [Anhang](#)) über das Internet bezogen werden.

Block 1: Basisabfrage

Angeschlossene EW-Belastung der Kläranlage

Die Ausbaugröße spiegelt die tatsächliche Belastungssituation der Kläranlage in der Regel nicht ausreichend wieder. Aus diesem Grund erfolgt hier eine frachtbasierte Ermittlung der angeschlossenen Einwohnerwerte.

Grundlage dafür bilden 24-h Mischproben des Zulaufs, auf deren Basis entsprechend ATV-DVWK-A 198 die Frachtermittlung erfolgt.

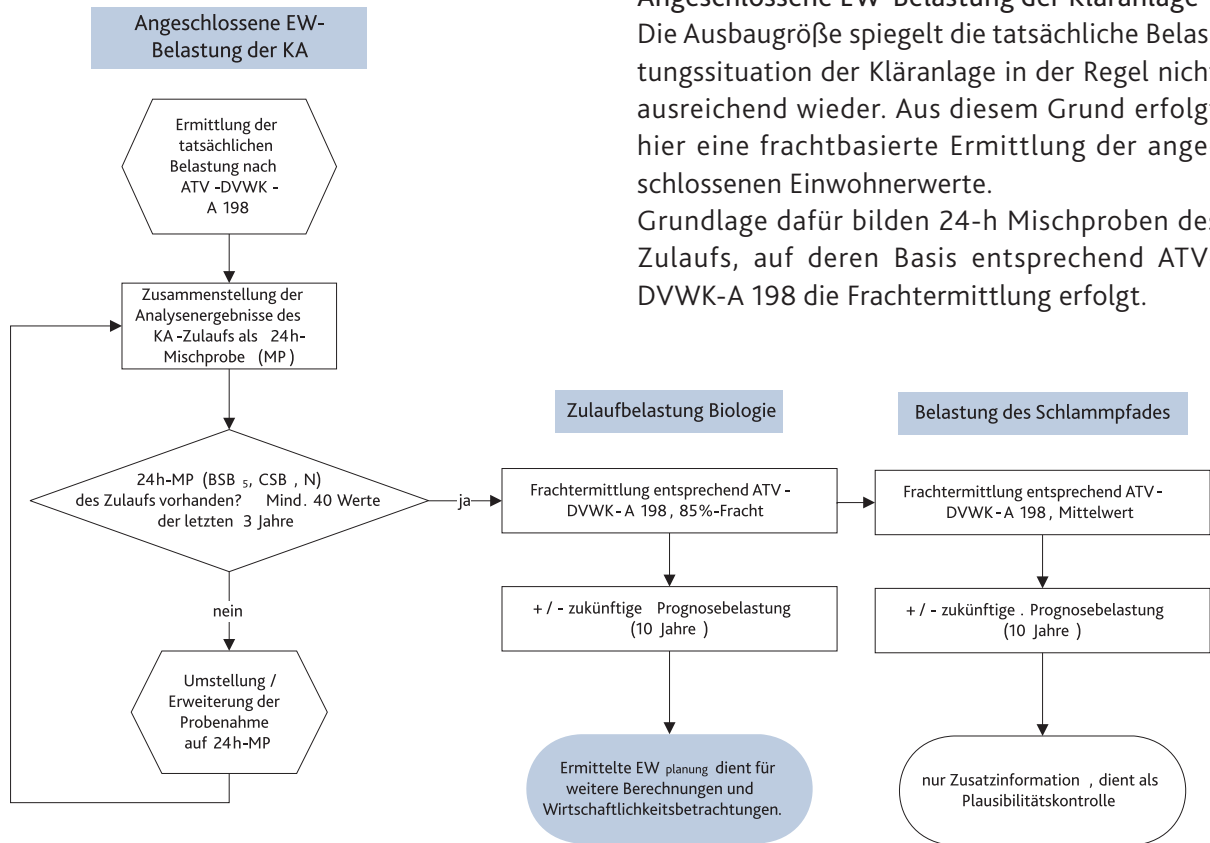


Bild 32: Checkliste Block 1 – Ermittlung der Belastung der Kläranlage

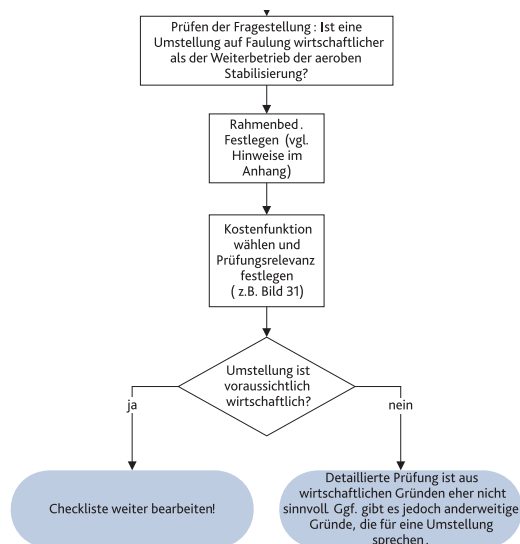


Bild 33: Checkliste Block 1 – Überschlägige Prüfung der Wirtschaftlichkeit

Überschlägige Prüfung der Wirtschaftlichkeit

Nach Ermittlung der tatsächlichen Belastung der Kläranlage erfolgt eine überschlägige Prüfung der Wirtschaftlichkeit, um die Frage zu klären, ob eine Umstellung auf Faulung gegebenenfalls kostengünstiger ist als der Weiterbetrieb der aeroben Stabilisierung. Basierend auf den in Kapitel 5.3 ermittelten Kostenfunktionen sowie dem ermittelten EW-Wert kann die Wirtschaftlichkeit unter den entsprechenden Rahmenbedingungen abgeschätzt werden. Zeichnet sich eine Wirtschaftlichkeit ab, wird die Prüfung an Hand der Checkliste fortgesetzt.

Block 2: Verfahrenstechnik – Mechanische Stufe

• Rechen

Es wird geprüft, ob eine Feinrechenanlage vorhanden ist, die die Gefahr einer Schwimmdeckenbildung im Faulbehälter deutlich reduziert.

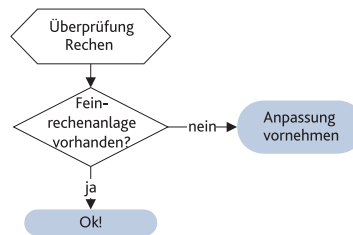


Bild 34: Checkliste Block 2 – Prüfung Rechen

• Sandfang

Die Funktionalität des Sandfangs wird geprüft, um übermäßigen Sandeintrag in den Faulbehälter zu vermeiden.

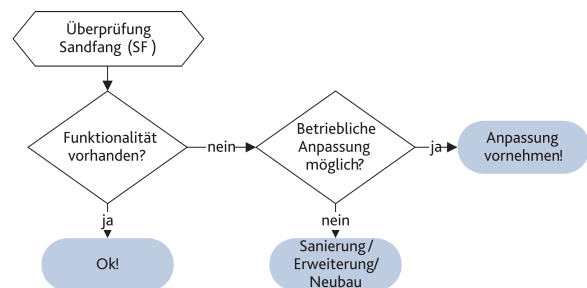


Bild 35: Checkliste Block 2 – Prüfung Sandfang

• Vorklärung

Die Vorklärung ist eine wesentliche Verfahrensstufe bei einem Faulungsbetrieb. Nach Ermittlung des Volumenbedarfs für diesen Prozessschritt erfolgt eine Abfrage nach ggf. vorhandener Vorklärung. Dies ist i. d. R. bei Anlagen mit simultan aerober Schlammstabilisierung nicht der Fall. Im Anschluss ist zu prüfen, ob freie, freiwerdende oder unnutzbare Beckenvolumina vorhanden sind.

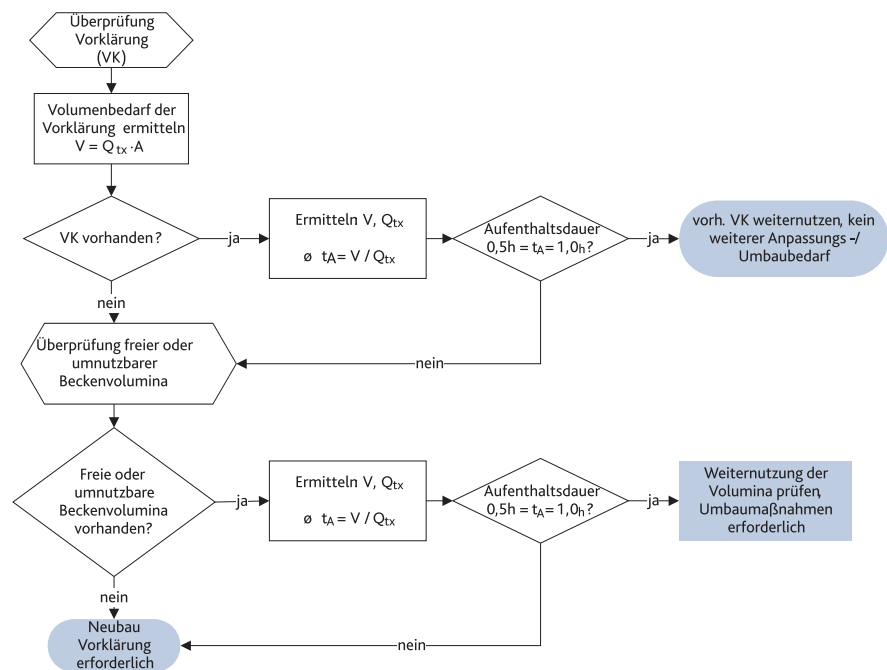


Bild 36: Checkliste Block 2 – Prüfung Vorklärung

Block 2: Verfahrenstechnik – Biologische Stufe

• Beckenvolumen Belegung – Vergleich

Das Ergebnis dieser Prüfung ist der Anteil an Belebungsbeckenvolumen, der im Falle einer Umrüstung auf Faulung nicht mehr erforderlich ist und einer möglichen Umnutzung zur Verfügung steht.

Das erforderliche Beckenvolumen der Belegung kann anhand von Bild 39 ermittelt werden.

• Weiternutzung Beckenvolumen Belegung

Die Schlammmasse in der biologischen Anlagenstufe ist die entscheidende Größe für das Erreichen des Abwasserreinigungsziels. Sie kann über die Stellgrößen V_{BB} bzw. TS-Gehalt im BB „gesteuert“ werden.

Mit Hilfe dieser Stellgrößen kann im Rahmen der Prüfung iterativ ermittelt werden, welcher TS-Gehalt erforderlich ist, um mit dem vorhanden (Teil-)volumen eines/ mehrerer Becken(s) im Falle einer Umstellung auszukommen.

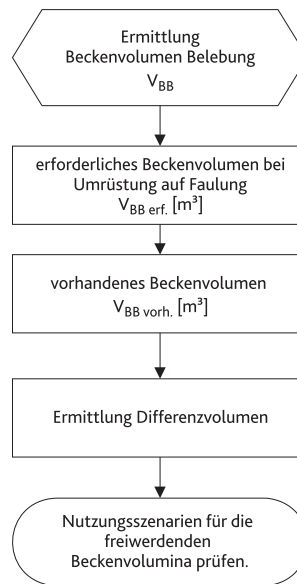


Bild 37: Checkliste Block 2 – Beckenvolumen Belegung - Vergleich

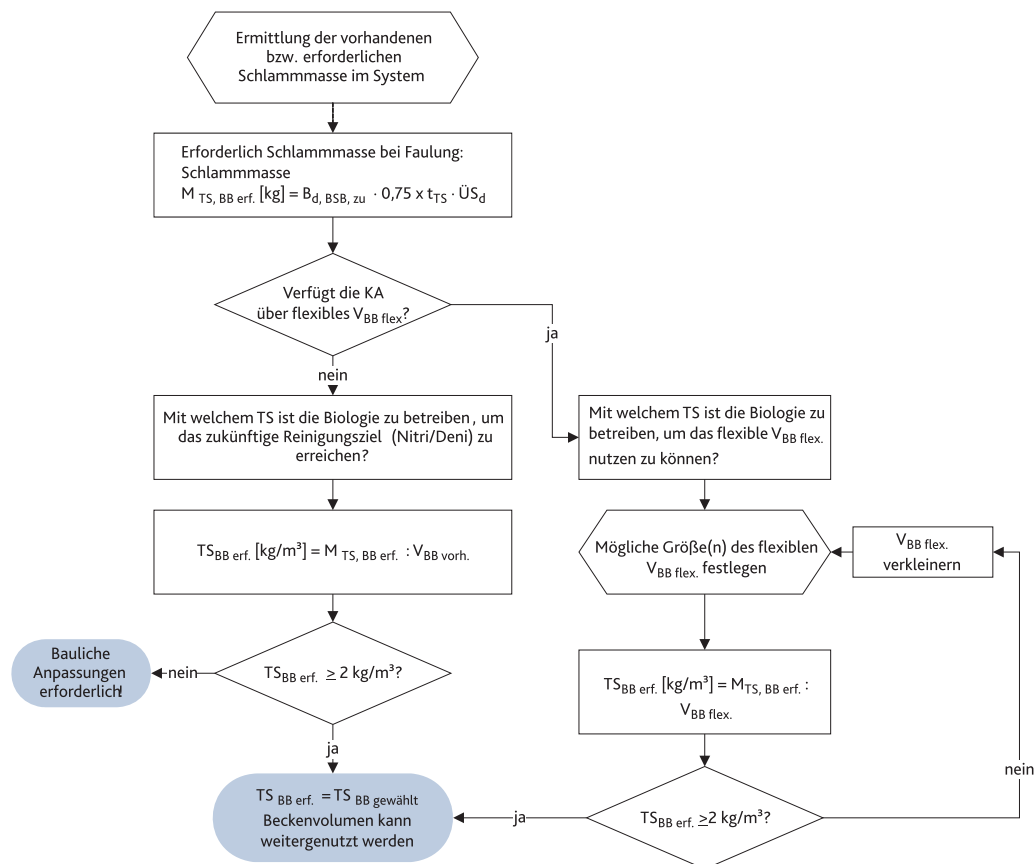


Bild 38: Checkliste Block 2 – Weiternutzung Beckenvolumen Belegung

- **Umnutzung von Beckenvolumen**

Bei Umstellung der Verfahrensführung von gemeinsamer aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung reduziert sich das benötigte Behandlungsvolumen in dem/den Belebungsbecken erheblich. Dies resultiert daraus, dass

- durch das Vorschalten eines Vorklärbeckens die Zulauffrachten zum Belebungsbecken (in Abhängigkeit der Aufenthaltszeit im VKB) reduziert werden.
- das Schlammalter in der biologischen Anlagenstufe von > 25 d auf ca. 12 – 15 d (je nach Temperatur) verringert werden kann.

Demnach ergibt sich bereits bei einer kleineren Kläranlage mit einer Ausbaugröße von 10.000 E eine Volumeneinsparung von rd. 2.250 m³. Bei einer Ausbaugröße von 30.000 E erhöht sich die Einsparung bereits auf mehr als 6.750 m³, woraus zwangsläufig die Frage resultiert, ob dieses frei werdende Beckenvolumen anderweitig genutzt werden kann. Diese Frage kann nicht pauschal beantwortet werden. Hierfür bedarf es jeweils einer Einzelfallprüfung, wobei folgende wesentliche Aspekte zu beachten sind:

- Lässt die vorhandene Bausubstanz und/ oder die installierte Beckenausrüstung eine Weiternutzung überhaupt zu?
- Lässt sich das frei werdende Beckenvolumen sinnvoll in das verfahrenstechnische Anlagenkonzept einbinden?
- Hat die weitere Nutzung überhaupt finanzielle Vorteile gegenüber einem evtl. Neubau?
- Sind die erforderlichen Arbeiten für eine Umnutzung im laufenden Anlagenbetrieb möglich?

Die bisherigen Erfahrungen in diesem Bereich belegen, dass Umnutzungsmöglichkeiten zwar grundsätzlich gegeben sind, diese jedoch zumindest bei einstraßigen Belebungsanlagen i. d. R. daran scheitern, dass die notwendigen Arbeiten zur Abtrennung des nicht mehr benötigten Behandlungsvolumens im laufenden Anlagenbetrieb nicht oder nur mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand realisierbar sind.

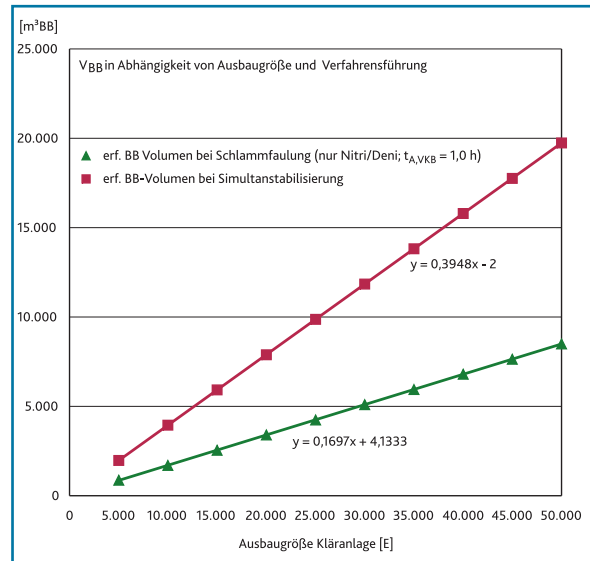


Bild 39: Gegenüberstellung des benötigten Belebungsbecken volumens bei aerober Stabilisierung und Fäulung

Eine Vielzahl der Anlagen in Rheinland-Pfalz im betrachteten Größenbereich verfügt jedoch über einen 2-straßigen Betrieb. Die Außerbetriebnahme bzw. Umnutzung einer Beckeneinheit ist bei diesen Anlagen, in Abhängigkeit der Belastung, durchaus ein Thema.

Block 2: Verfahrenstechnik – Nachklärung

In Abhängigkeit der aktuellen Situation der Nachklärung können bei Umstellung möglicherweise vorhandene Probleme (Schlammabtrieb, Schwimmschlamm) verringert bzw. beseitigt werden. Anpassungen sind bei der Nachklärung i. d. R. nicht zu erwarten.

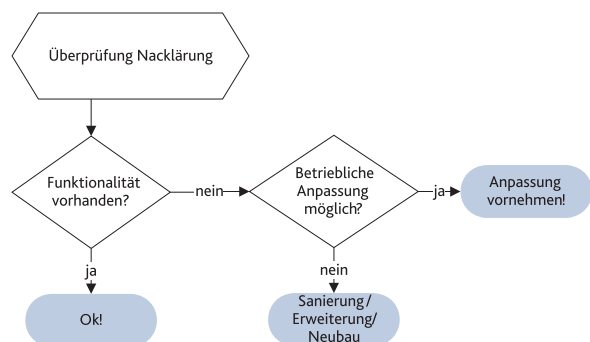


Bild 40: Checkliste Block 2 - Nachklärung

Block 3: Investitionskosten

Die im Rahmen einer Umstellung auftretenden spezifischen Gesamtkosten können anhand der in Block 1 ermittelten EW-Zahl aus dem Diagramm in Kapitel 5.1.3 abgeschätzt werden. Die Gesamtkosten lassen sich für einzelne Bauwerke und Anlagenteile anhand der Kostenfunktionen spezifizieren. Diese können als [Download \(siehe Anhang\)](#) über das Internet bezogen werden.

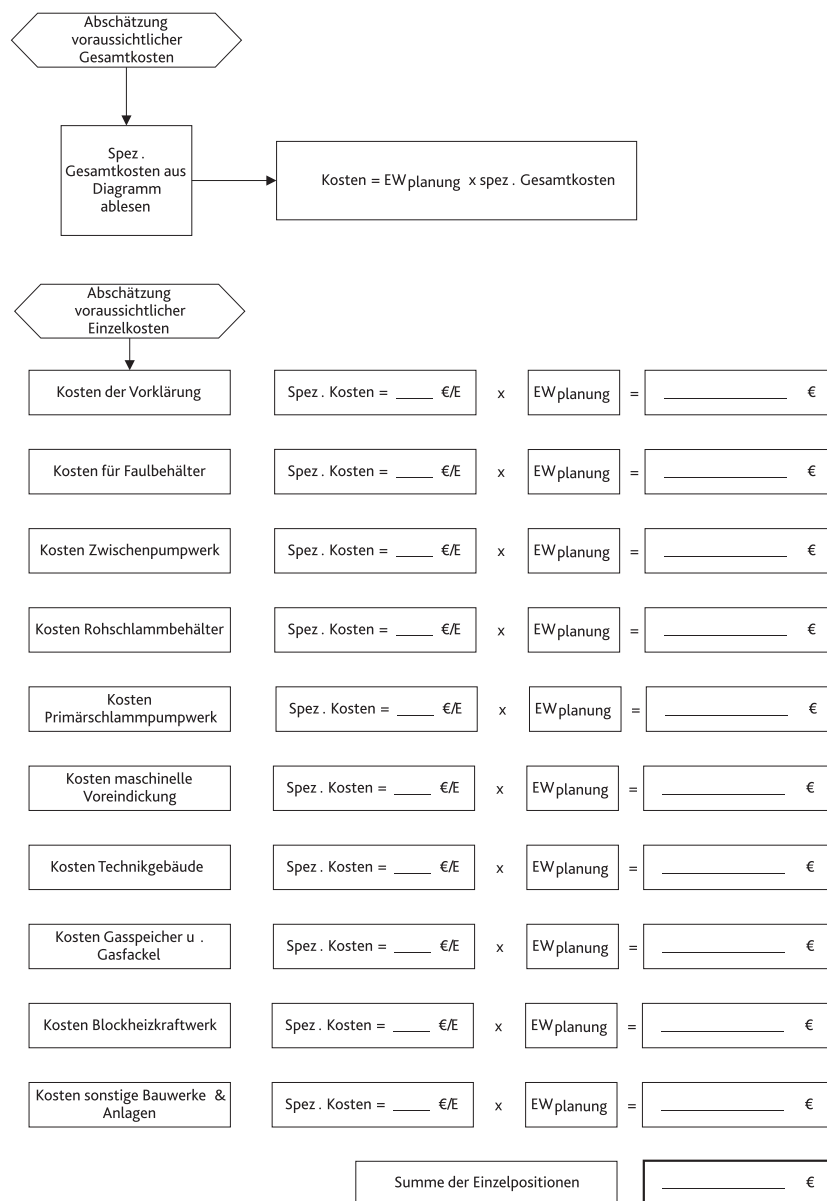


Bild 41: Checkliste Block 3 – Investitionskosten für einzelne Anlagen und Bauteile

6.2 Anwendung der Checkliste

Nachfolgend wird die Checkliste anhand einer Musteranlage exemplarisch angewendet. Es können an dieser Stelle nicht alle Eventualitäten erfasst werden, jedoch bietet dieses Beispiel dem Anwender eine Hilfestellung.

6.2.1 Kurzbeschreibung der Anlage

Bei der untersuchten Kläranlage handelt es sich um eine mechanisch-biologische Abwasserreinigungsanlage mit einer Ausbaugröße von 13.000 E, die mit gemeinsamer aerober Stabilisierung betrieben wird. Sie besteht aus Rechen und Sandfang,

einem vorgeschalteten Anaerobbecken zur biologischen P-Rücklösung, zwei intermittierend betriebenen Belebungsbecken sowie zwei Nachklärbecken.

Der Schlamm wird in einem Schlamm-speicher (Stapelbehälter) zwischengelagert. Die Entwässerung des Schlammes erfolgt mit Hilfe einer mobilen Presse, die Verwertung in der Landwirtschaft.

6.2.2 Anwendungsbeispiel Block 1: Basisabfrage

Angeschlossener Einwohnerwert

Der Anlagenbetreiber nimmt wöchentlich zuflussproportionale 24-h-Mischproben. Basierend auf dieser Datengrundlage kann die tatsächliche Zulaufbelastung der Anlage ermittelt werden.

Die Auswertung ergab eine Zulaufbelastung von 17.300 E (85 %-Wert). Damit ist die Anlage im Vergleich zum Ausbauzustand (13.000 E) deutlich überlastet.

Becken	Volumen [m ³]	Tiefe [m]	Geometrie
Anaerobbecken	3 · 217		Rechteckbecken
Belebungsbecken Straße 1	3.325	5,4	Rundbecken
Belebungsbecken Straße 2	1.300	5,3	Kombibecken (äußerer Ring)
Nachklärbecken Straße 1	380	3,0	Rundbecken
Nachklärbecken Straße 2	315	4,2	Kombibecken (innerer Ring)

Tabelle 5: Beckengeometrien

Die Demografieprognose für das betrachtete Einzugsgebiet geht bis 2020 von einem Bevölkerungsrückgang von 5 % aus. Es ist somit von keiner Belastungszunahme auszugehen. Die nachfolgende Betrachtung erfolgt daher für den Wert von $EW_{\text{planung}} = 17.300 \text{ E}$.

Überschlägige Prüfung der Wirtschaftlichkeit

Mit dem ermittelten Wert für EW_{planung} kann eine überschlägige Prüfung der Wirtschaftlichkeit anhand der Kostenbarwerte für eine Umstellung auf Faulungsbetrieb vorgenommen werden.

Wie die Entwicklung der letzten Jahre gezeigt hat, ist von einer Preissteigerung sowohl der Energie- als auch der Entsorgungskosten auszugehen. Die Wirtschaftlichkeit wird für folgende Randbedingungen geprüft:

- Realzinssatz $i = 3,0 \%$, Der Realzinssatz wurde aufgrund der aktuellen Marktsituation gewählt.
- Preissteigerungsraten für Energie- und Entsorgungskosten zwischen 0 und 5 %/a

Aus Bild 43 geht hervor, dass bereits bei einer jährlichen Preissteigerung von 1 % eine Umstellung auf Schlammfaulung wirtschaftliche Vorteile gegenüber der aeroben Stabilisierung erwarten lässt. Bei zu erwartenden größeren Preissteigerungsraten verbessert sich die Situation deutlich und eine Umstellung wird zunehmend interessant.

Das Ergebnis der Basisabfrage lautet somit:

Die Prüfung der Umstellung ist sinnvoll, da unter den gegebenen Rahmenbedingungen eine Wirtschaftlichkeit zu erwarten ist.

→ Checkliste weiter bearbeiten

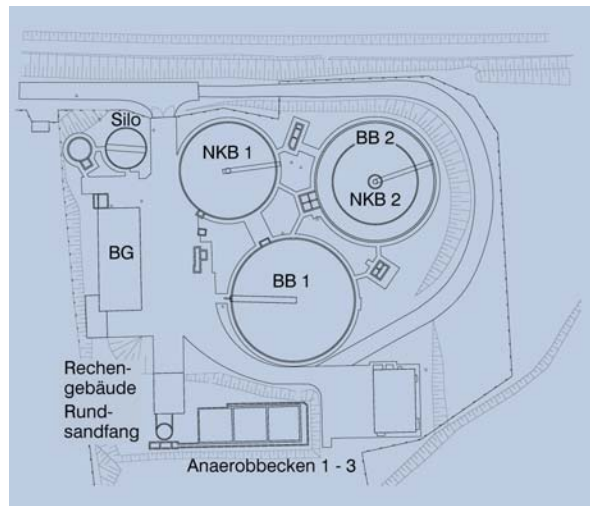


Bild 42: Skizze der Musteranlage

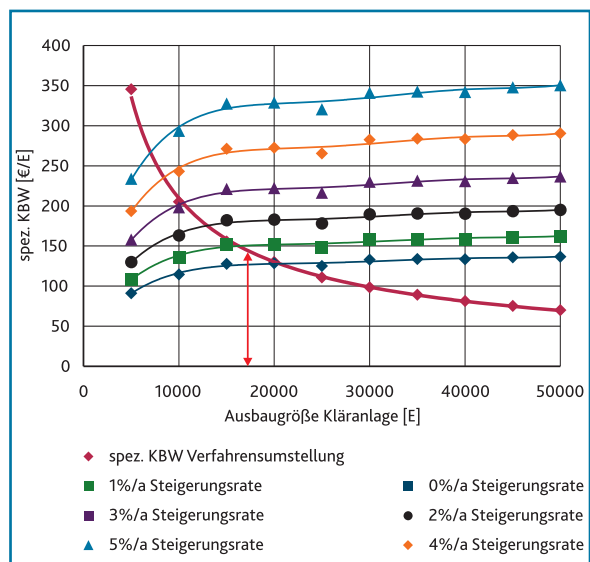


Bild 43: spez. Kostenbarwerte (KBW) bei einem Zinssatz von $i = 3\%/a$ und einer Steigerung der möglichen Betriebskosteneinsparungen (für Energie und Entsorgung) zwischen 0 und 5%

Block 2: Verfahrenstechnik – Mechanische Stufe Rechen

Der installierte Rechen ist ein Feinrechen mit ausreichend kleinem Stababstand. Hier sind keine weiteren Maßnahmen zu ergreifen.

Sandfang

Der Sandfang ist für die Zulaufbelastung ausreichend dimensioniert und erfüllt seine Funktion. Hier sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich.

Vorklärung

Basierend auf der durchgeführten Auswertung der Betriebstagebücher kann der Trockenwetterzufluss zur Kläranlage mit 56,2 l/s angegeben werden.

Das Vorklärbeckenvolumen ergibt sich bei einer Aufenthaltszeit von 1 Stunde zu:

$$V = 56,2 \text{ l/s} \cdot 3,6 \cdot 1\text{h} = 202 \text{ m}^3$$

Eine Vorklärung ist nicht vorhanden.

Es gibt auf der Kläranlage derzeit keine freien Beckenvolumina. In Erwägung gezogen werden kann allerdings die Umnutzung eines der drei Anaerobbecken mit einem Volumen von 217 m³. Die sich daraus ergebende Aufenthaltszeit läge bei etwas mehr als 1 h.

Ergebnis

Prüfung der Umnutzung eines Anaerobbeckens als Vorklärbecken aus technischer und wirtschaftlicher Sicht (alternativ: Neubau eines Vorklärbeckens).

Block 2: Verfahrenstechnik – Biologische Stufe Beckenvolumen Belebung

Das erforderliche Belebungsbeckenvolumen bei Faulungsbetrieb ergibt sich aus der Grafik in Bild 39. Bei einer Anlagenbelastung von 17.300 E und unter Berücksichtigung eines ca. 25%igen Vorabbaus in der Vorklärung ergibt sich ein erforderliches Volumen von

$$V_{\text{BB erf.}} = 2.940 \text{ m}^3$$

Das derzeit vorhandene Volumen setzt sich zusammen aus den beiden Belebungsbecken sowie den 2 Anaerobbecken (Annahme: 1 Anaerobbecken wird als Vorklärung genutzt) und beträgt somit

$$V_{\text{BB vorh.}} = 5.059 \text{ m}^3$$

Ergebnis:

$$V_{\text{BB vorh.}} = 5.059 \text{ m}^3 \gg V_{\text{BB erf.}} = 2.940 \text{ m}^3$$

Weiternutzung Beckenvolumen

Das erforderliche Volumen von 2.940 m³ entspricht im vorliegenden Fall in etwa dem Beckenvolumen von Straße 1 (3.325 m³).

Dies bietet die Möglichkeit, Belebungsbecken 2 außer Betrieb zu nehmen und Becken 1 als alleiniges Belebungsbecken weiter zu nutzen. Zur Gewährleistung einer betriebssicheren Abwasserreinigung ist eine ausreichende Biomasse in der Belebung erforderlich. Ausgehend von einem erforderlichen Schlammalter von ca. 10 - 15 d, gewählt 12,5 d, einem spezifischen ÜSS-Anfall von 0,9 kg TS/kg BSB₅ und einem 25%-igen Vorabbau im Vorklärbecken berechnet sich diese wie folgt:

$$\begin{aligned} M_{\text{TS, BB erf.}} &= B_{\text{d,BSB, zu}} \cdot 0,75 \times t_{\text{TS}} \cdot \text{ÜS}_d \\ &= 1.038 \text{ kg BSB}_5/\text{d} \cdot 0,75 \cdot 12,5 \text{ d} \cdot 0,9 \text{ kg TS/kg BSB}_5 \\ &= 8.760 \text{ kg TS} \end{aligned}$$

Hieraus ergibt sich ein TS-Gehalt im Belebungsbecken 1, welches zukünftig als alleiniges Becken weiterbetrieben wird, von:

$$\text{TS}_{\text{BB}} = M_{\text{TS}}/V_{\text{BB}} = 8.760 \text{ kg}/3.325 \text{ m}^3 = \text{rd. } 2,7 \text{ kg TS/m}^3$$

Der TS-Gehalt im Belebungsbecken sollte aus betrieblichen Gründen nicht unter 2 kg/m³ abgesenkt werden. Dies ist vorliegend gegeben.

Der aktuelle TS-Gehalt im Becken liegt im Mittel bei ca. 5 kg/m³. Daraus resultiert eine derzeitige Schlammmasse von:

$$M_{\text{TS vorh.}} = 5.276 \text{ m}^3 \cdot 5 \text{ kg/m}^3 = 26.380 \text{ kg TS}$$

Ergebnis

Weiternutzung von Becken 1 als alleinige Belebungsanlage möglich.

Block 2: Verfahrenstechnik - Nachklärung

Die auf der Kläranlage vorhandene Schwimmschlammproblematik kann durch eine Umstellung auf Faulungsbetrieb möglicherweise beseitigt werden, weil die Wachstumsvorteile von z. B. fadenförmigen Bakterien in der Belebungsanlage durch geringeres Schlammalter ggf. beseitigt werden.

Block 3: Investitionskosten

Grundlage für die Abschätzung der Investitionskosten bildet die Anlagenbelastung EW_{planung} , die in Block 1 ermittelt wurde.

Mit $EW_{\text{planung}} = 17.300 \text{ E}$ ergeben sich somit spezifische Gesamtkosten von

$$y = 77.647 \cdot 17.300^{-0,675} \text{ €/E} = \text{ca. } 107 \text{ €/E}$$

bzw. Gesamtkosten von $17.300 \cdot 107 \text{ €/E} = \text{ca. } 1,85 \text{ Mio. €}$

Eine Spezifizierung der Gesamtkosten für einzelne Bauwerke und Anlagenteile ist möglich.

6.2.3 Zusammenfassung

- Die Umstellung auf Faulung lässt wirtschaftliche Vorteile gegenüber der aeroben Stabilisierung erwarten.
- Ein Anaerobbecken kann als Vorklärbecken genutzt und entsprechend umgebaut werden.
- Das Belebungsbecken 2 wird stillgelegt (äußerer Ring des Kombibeckens) und Belebungsbecken 1 als alleinige Belebungsanlage genutzt.

Ergebnis

Es wird empfohlen, den Bau einer Schlammfauungsanlage ingenieurtechnisch zu prüfen.

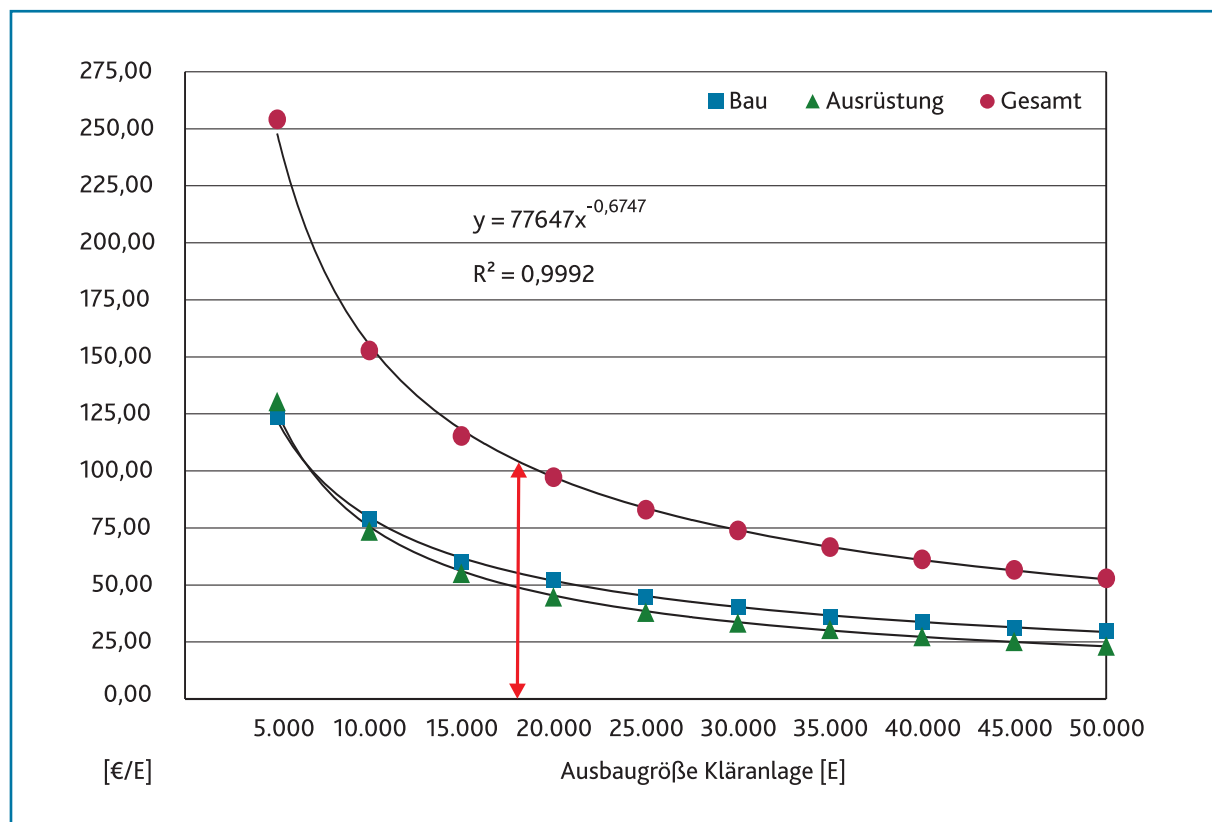


Bild 44: Spezifische Gesamtkosten bei einer Umstellung auf Faulungsbetrieb



7 FALLBEISPIELE EINER UMSTELLUNG AUF FAULUNG

7.1 Kläranlage Linz-Unkel

7.1.1 Ausgangssituation

Der Zweckverband Abwasserbeseitigung Linz-Unkel betreibt seit 1993 eine mechanisch-biologische Kläranlage mit einer Ausbaugröße von 28.800 E. Die 2-straßig ausgeführte biologische Reinigungsstufe wurde mit gemeinsamer aerober Stabilisierung betrieben. Der Belebungsanlage war ein Anaerobbecken mit einem Volumen von 500 m³ vorgeschaltet. Der anfallende Überschussschlamm wurde nach statischer Voreindickung in einer Kammerfilterpresse mit Kalk-Eisen-Konditionierung auf ca. 30 % Feststoffgehalt entwässert. Der entwässerte Schlamm wird landwirtschaftlich verwertet.

Die Reinigungsleistung der bestehenden Anlage war zu keiner Zeit zu beanstanden. Die Stromkosten betragen ca. 130.000 €/a, die Kosten für die Entwässerung ca. 100.000 €/a und die Kosten für die Verwertung des Schlammes ca. 160.000 €/a.

Auf der Basis einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung fasste der Zweckverband im Jahr 2008 den Beschluss, die Kläranlage mit einer Schlammfaulung nachzurüsten. Folgende Gründe waren hierfür maßgeblich:

- Einsparung von Strom beim Betrieb der Belebungsanlage

- Einsparung an Stromfremdbezug durch Faulgasverstromung
- Einsparung durch Verringerung der zu entsorgenden Schlammengen

Als Faulbehälter wurde ein 2-straßiger Faulbehälteranlage in Kompaktbauweise eingesetzt.

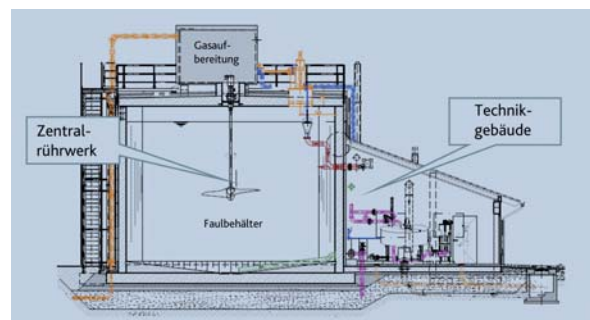
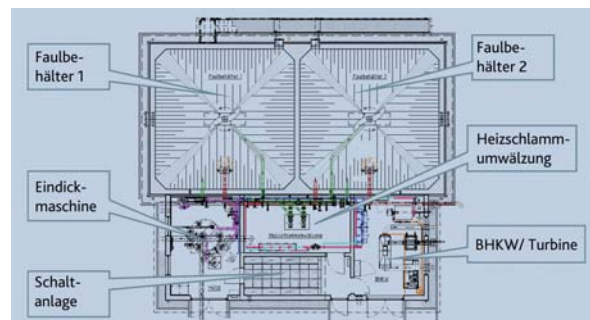


Bild 45: Grund- und Aufriss 2-stufiger Kompaktfaulbehälter

Umbau des bestehenden Anaerobbeckens in eine Vorklärung

Eine Schlammfäulung macht nur dann Sinn, wenn energiereicher Primärschlamm in einer Vorklärung abgetrennt wird. Da das bestehende Anaerobbecken zur gesteigerten biologischen P-Elimination ohnehin nicht genutzt wurde, erfolgte ein Umbau zum Vorklärbecken. Die Durchflusszeit bei Trockenwetter beträgt ca. eine Stunde, so dass im mechanisch vorgeklärten Abwasser noch ausreichend BSB₅ für die Denitrifikation enthalten ist. Durch die Umnutzung dieses Beckens konnten Baukosten eingespart werden. Nachteilig war allerdings, dass aufgrund der gegebenen Bauwerkskubatur nur ein relativ kleiner Schlammtrichter realisiert werden konnte, so dass der Primärschlamm nur auf ca. 2 - 3 % eindickt.

Zur Förderung des Primärschlammes in den Rohschlammvorlagebehälter wurde der Neubau eines Primärschlammumpferwerkes mit zwei Exzentrerschneckenpumpen und vorgeschaltetem Feststoffzerkleinerer erforderlich.

Stilllegung eines Belebungsbeckens und Umnutzung als Reserve-/ Havarie-Becken

Das Schlammalter in der Belebungsanlage wurde von mindestens 25 d auf 10 bis 15 d vermindert. Da wegen der Vorklärung die Fracht zur Belebungsanlage um ca. 25 % reduziert wird, reicht jetzt eines der beiden Belebungsbecken aus. Das zweite Belebungsbecken konnte stillgelegt werden und dient nun als Reserve- bzw. Havariebecken. Der Stromverbrauch der Belebungsanlage wird durch drei parallele Effekte reduziert:

- geringere Fracht durch Vorklärung
- reduzierter erforderlicher aerober Abbau, d.h. geringerer Sauerstoffverbrauch durch Verlagerung der Stabilisierung in separate Fäulung
- geringeres zu durchmischendes Volumen

Maschinelle Schlammvoredickung und zweistufige Kompaktfäulung

Primär- und Überschussschlamm werden in einem Rohschlammvorlagebehälter mit einem Nutzvolumen von 50 m³ zwischengespeichert

und durchmischt. Um die Effizienz der Fäulung zu erhöhen und Behältervolumen zu reduzieren, wird der gemischte Rohschlamm maschinell mittels eines Scheibeneindickers auf einen Feststoffgehalt von 5 - 6 % voreingedickt.

Die zweistufige Fäulung hat ein theoretisch nutzbares Gesamtvolumen von 965 m³. Die Verweilzeit des Schlammes, d.h. das anaerobe Schlammalter beträgt ca. 20 Tage. Beide Behälter weisen bei einer Grundfläche von 9,0 m · 9,0 m eine Höhe von ca. 7,0 m auf.

Der maschinell voreingedickte Rohschlamm (ca. zu 50 m³/d) wird mit Hilfe einer Exzentrerschneckenpumpe dem Umwälzschlamm (ca. 65 m³/h) und somit quasi-kontinuierlich dem ersten Faulbehälter zugegeben. Die Wärmeübertragung vom Heizwasser auf den Schlamm wird von einem separaten Doppelmantelwärmetauscher mit einer Heizleistung von 100 kW sichergestellt.

Durch die Rohschlammzugabe erhöht sich der Schlamm Spiegel im Behälter 1, so dass eine entsprechende Schlammmenge über einen Ablauftrichter in Behälter 2 und von hier in den Faulschlammstapelbehälter verdrängt wird.

Die Durchmischung der Behälter erfolgt über Zentralrührwerke.

Gasspeicherung und -verwertung

Der Gasspeicher hat die Aufgabe, Produktions- und Verbrauchsschwankungen auszugleichen. Zur Gasspeicherung wird ein Doppelmembrangasspeicher mit einem Nutzvolumen von 270 m³ eingesetzt.

Trotz höherer Investitionskosten entschied sich der Zweckverband bei der Faulgasverstromung für eine Mikrogasturbine. Gründe hierfür waren der geringere Personalaufwand aufgrund von längeren Wartungsintervallen, geringere Emissionen und eine einfache Steuerung im Teillastbetrieb. Nachteil von Mikrogasturbinen ist der vergleichsweise schlechte elektrische Wirkungsgrad. Der erzeugte Strom wird zur Eigennutzung in das Netz der Kläranlage eingespeist. Die Abwärme wird zur Beheizung des Faulbehälters und des Betriebsgebäudes genutzt.

7.1.2 Wirtschaftlichkeit

Ob ein Systemwechsel von einer bestehenden aeroben Simultanstabilisierungsanlage auf eine Anlage mit Schlammfäulung wirtschaftlich ist, hängt insbesondere von den Rahmenbedingungen der Kläranlage ab. Ggf. erforderliche Sowieso-Maßnahmen, z. B. für Ertüchtigung und/ oder Erweiterung der biologischen Anlagenstufe begünstigen die Wirtschaftlichkeit einer Verfahrensumstellung, sind aber nicht zwingende Voraussetzung.

• Investitionskosten

Die Kosten beinhalten neben dem Bau der Schlammfäulung mit zugehörigem Maschinengebäude und den Peripherieanlagen (Rohschlammbehälter, Gasspeicher, Gasfackel usw.) die Umrüstung des bestehenden Anaerobbeckens zu einem Vorklärbecken, den Bau eines Primärschlammumpferkes, die Verlegung der verbindenden Rohrleitungen, die Herstellung der Verkehrsflächen sowie die Verstromung des anfallenden Faulgases über eine Mikrogasturbine. Bei der Simultanstabilisierung sind keine Investitionskosten anzusetzen.

• Betriebskosten

Die Betriebskosten gliedern sich in Personalkosten, Energiekosten, Betriebsmittelkosten, Wartungskosten und Klärschlammverwertungskosten.

• Personalkosten

Der Betrieb der Kläranlage wird nach der Verfahrensumstellung mit dem gleichen Personal betrieben wie vorher. Grund hierfür ist im Wesentlichen der deutlich geringere Personalaufwand für den Betrieb der Kammerfilterpresse aufgrund der reduzierten Schlammengen. Für den Betrieb der Schlammfäulung werden trotzdem höhere Kosten von 7.520 €/a angenommen.

• Energiekosten

Der Stromverbrauch beim Betrieb der simultanen aeroben Stabilisierung lag im Jahresmittel bei ca. 890.000 kWh/a. Nach der Verfahrensumstellung konnte der Fremdstrombezug auf ca. 410.000 kWh/a reduziert werden.

• Bau	883.900,00 €
• Ausrüstung	625.360,00 €
• EMSR-Technik	164.620,00 €
• Gasturbine	188.850,00 €
Zwischensumme	1.862.730,00 €
zzgl. 19 % MwSt.	353.918,70 €
Investitionen, brutto	2.216.648,70 €
zzgl. Baunebenkosten	320.000,00 €
Gesamtkosten, gerundet:	2.536.650,00 €

Tabelle 6: Investitionskosten der Umstellung auf Fäulung

Bei einer Eigenstromerzeugung von ca. 350.000 kWh/a beträgt die Stromeinsparung in der Belebung durch Außerbetriebnahme eines Beckens, Vorschalten einer Vorklärung und Verlegung der Stabilisierung in eine separate Faulstufe ca. 130.000 kWh/a.

Auf Basis der spezifischen Stromkosten im Betriebsjahr 2012 von 0,156 €/kWh ergibt sich unter Berücksichtigung des KWK-Bonus in Höhe von ca. 4.260 €/a ein Kostenvorteil für die Fäulung in Höhe von ca. 79.000 €/a.

• Betriebsmittelkosten

Die Kosten für die Konditionierungsmittel zur Klärschlammwässerung (FeCl_3 , Kalk) verringerten sich durch die Verfahrensumstellung von 99.320 €/a auf 82.200 €/a. Für die maschinelle Voreindickung sind zusätzliche Kosten für Floccungsmittel in Höhe von 15.000 €/a bei der Fäulung anzusetzen.

Die Kosten für den Gasfremdbezug zur Gebäudeheizung in Höhe von 5.500 €/a entfallen nach der Verfahrensumstellung.

• Wartungskosten

Für die Wartung der neuen Anlagentechnik wird eine Pauschale von 0,25 % der Investitionskosten für den baulichen Teil und von 0,5 % der Investitionskosten für den maschinellen und EMSR-technischen Teil angenommen.

Die Wartungskosten der Gasturbine werden mit 1,5 ct/kWh angesetzt. Für die Wartung der Altanlagentechnik der Stabilisierungsanlage wird ein Pauschalbetrag von 15.000 € angenommen.

Durch die Umstellung der Verfahrensführung konnte eines der beiden Belebungsbecken außer Betrieb genommen werden. Hierdurch werden Wartungskosten von angenommenen 2.500 €/a vermieden, so dass sich die realen Wartungskosten für die Altanlagentechnik bei Schlammfäulung auf 12.500 €/a reduzieren. Der Wartungsmehraufwand bei der Fäulung beläuft sich auf ca. 10.000 €/a.

- Klärschlammverwertungskosten

Nach Umstellung der Verfahrensführung auf Fäulung konnte die zu verwertende Klärschlammmenge von ca. 3.100 t/a auf ca. 1.900 t/a reduziert werden. Dies führt zu einem Kostenvorteil bei der Fäulung von ca. 53.000 €/a.

Durch die Verfahrensumstellung auf Fäulung ergeben sich insgesamt Betriebskosteneinsparungen in Höhe von ca. 122.000 €/a.

Kostenvergleichsrechnung

Mit Hilfe der Diskontierungs- und Kapitalwiedergewinnungsfaktoren werden aus den Investitions- und Reinvestitionskosten sowie den laufenden Kosten (Betriebskosten) die Jahreskosten ermittelt (siehe DWA 2012b).

Die durchschnittliche Nutzungsdauer wird in Anlehnung an diese Leitlinien wie folgt festgelegt:

- a) Baulicher Teil 40 Jahre
- b) Anlagentechnik 20 Jahre

Der Zinssatz wird auf 3 % (wasserwirtschaftliche Projekte) festgesetzt.

Ohne Ansatz einer Kostensteigerung (keine Steigerung der Betriebskosten) berechnen sich die Jahreskosten wie folgt:

Simultanstabilisierung	653.883,74 €/a
Fäulung	635.365,02 €/a

Demzufolge ergibt sich bereits heute ein Jahreskostenvorteil für die Fäulung in Höhe von 18.518,72 €/a.

Die Kosten der Maßnahme werden von den resultierenden betrieblichen Einsparungen gedeckt. Hierbei wird eine vollständige Fremdfinanzierung, d.h. ohne Berücksichtigung von Fördergeldern vorausgesetzt. Bezieht man die Landesförderung in die Wirtschaftlichkeitsberechnungen ein, ergibt sich natürlich heute schon ein deutlich höherer Kostenvorteil für den Abwasserzweckverband Linz-Unkel.

Da in Zukunft mit steigenden Strombeschaffungskosten zu rechnen ist, dürften mittelfristig signifikante Einsparungen zu erwarten sein. Auch bei der Klärschlammbehandlung und -verwertung ist zukünftig mit deutlich höheren Kosten (Phosphorrückgewinnung, Zunahme thermische Behandlung, novellierte Klärschlammverordnung usw.) zu rechnen. Somit führt die deutlich geringere Klärschlammmenge bei der Fäulung zukünftig zu weiteren erheblichen Betriebskosteneinsparungen. Bei Ansatz einer pauschalen Erhöhung der Betriebskosten über den Untersuchungszeitraum von lediglich 2 %/a ergibt sich ein Jahreskostenvorteil für die Fäulung in Höhe von 70.618,12 €/a.



Scheibeneindicker, Kläranlage Linz-Unkel

7.1.3 Erste Betriebserfahrungen seit Systemwechsel

Die Inbetriebnahme der zweistufigen Kompaktfaulung erfolgte im November 2011. Nach der Einfahrphase arbeitet die Anlage seit März 2012 stabil. Die Erwartungen wurden zum Teil deutlich übertroffen.

Die zur ursprünglichen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Rahmen der Planung angesetzte Gasausbeute wird um ca. 15 % übertroffen.

Fremdbezug von Strom

Im Vergleich zu 2010 konnte der Strombezug um ca. 40.000 kWh je Monat reduziert werden. 2011 wurde nicht zu Vergleichszwecken herangezogen, da in diesem Jahr die Umbaumaßnahmen erfolgten und demzufolge keine verlässlichen Werte vorliegen.

Klärschlammmenge

Der entwässerte Klärschlamm wird landwirtschaftlich verwertet. Die zu verwertende Klärschlammmenge betrug im Betriebsjahr 2011 ca. 262 t.

Im Betriebsjahr 2012 reduzierte sich die zu verwertende Klärschlammmenge um ca. 35 % auf i. M. 169 t/Monat.

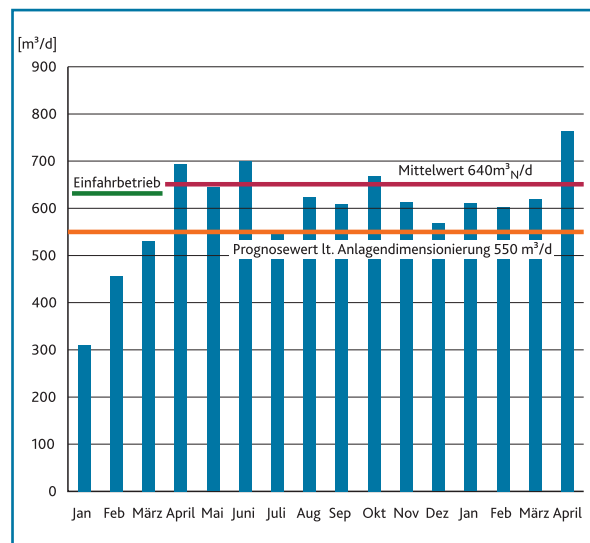


Bild 46: Tagesmittelwerte der Gasproduktion 2012 -04.2013

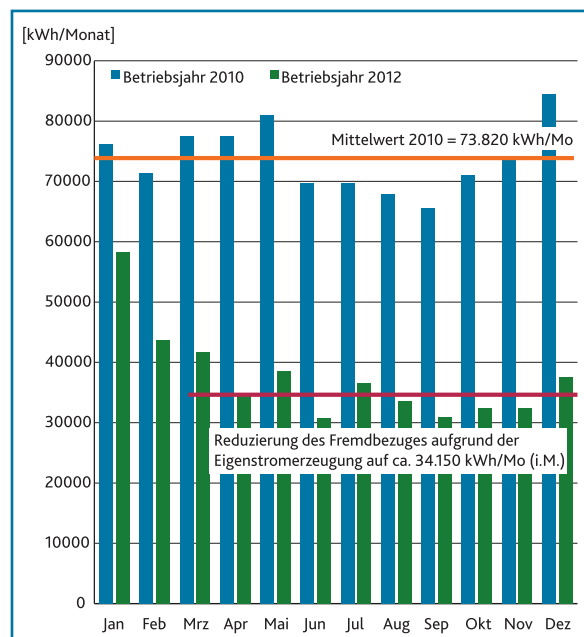


Bild 47: Vergleich des Stromfremdbezuges in 2010 und 2012

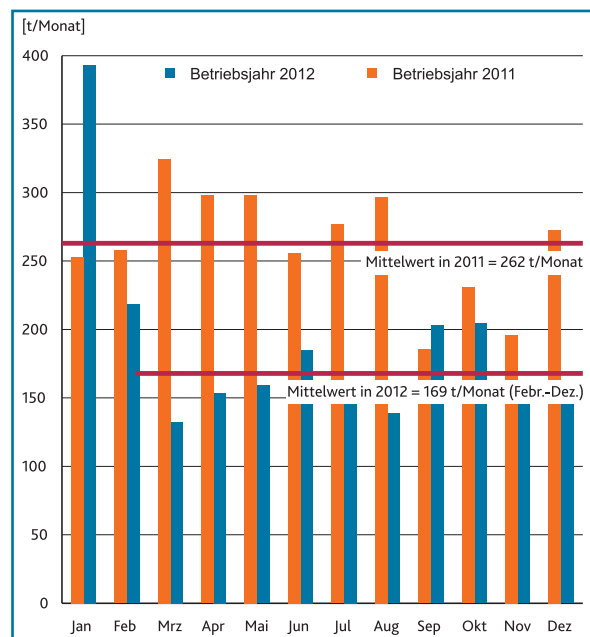


Bild 48: Vergleich der Klärschlammengen in 2011 und 2012

7.2 Kläranlage Selters

7.2.1 Ausgangssituation

Die Verbandsgemeinde Selters weist dezentrale Entsorgungsstrukturen auf. Neben drei mechanisch-biologischen Kläranlagen wurden im Verbandsgemeindegebiet bisher weitere drei Teichkläranlagen mit z. T. unzureichenden Reinigungsleistungen betrieben. Der benachbarte Zweckverband Abwassergruppe Holzbach betreibt in der Verbandsgemeinde Dierdorf die Kläranlage Wienau (10.000 E). Die Anlage war hydraulisch überlastet. Eine Erneuerung der Maschinen- und Elektrotechnik war ohnehin notwendig.

Kostenvergleichsrechnungen zeigten, dass eine Zentralisierung der Abwasserreinigung und Errichtung eines interkommunalen Klärschlammbehandlungszentrums auf der Kläranlage Selters die wirtschaftlichste Lösung darstellt.

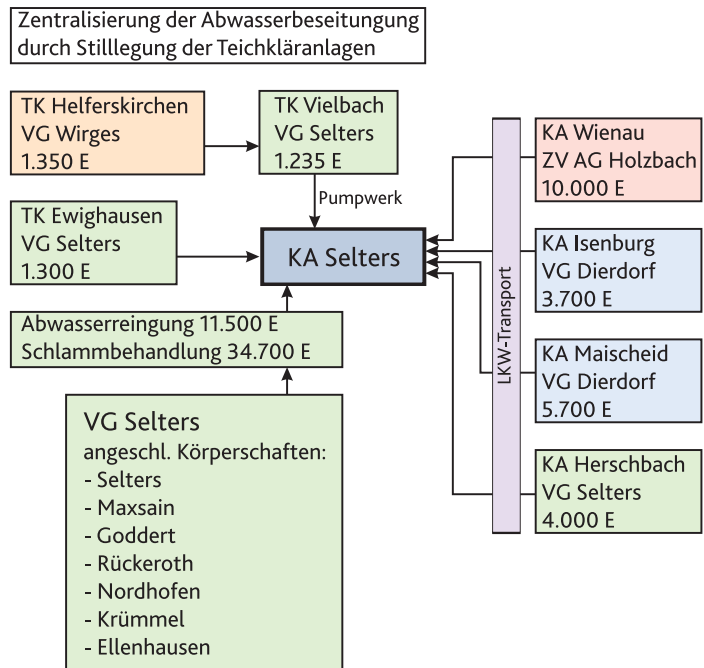


Bild 49: Interkommunales Klärschlammbehandlungszentrum auf der Kläranlage Selters



7.2.2 Umsetzung der Maßnahme

Da die Teichkläranlagen nicht mehr den heutigen Anforderungen entsprachen, wurden sie stillgelegt und die betroffenen Ortsteile an die Kläranlage Selters angeschlossen. Unter Berücksichtigung eines Erweiterungspotenzials von 10 % erhöhte sich die Ausbaugröße der Kläranlage Selters hierdurch wasserseitig auf ca. 11.500 E.

Für eine getrennte Schlammstabilisierung mittels Schlammfäulung ist der Neubau einer Vorklärung und eines Zwischenpumpwerkes erforderlich. Weil durch die Vorklärung die BSB-Fracht zur Belebungsanlage um ca. 25% geringer wird und das Schlammalter in der Belebung von mehr als 25 d auf ca. 15 Tage vermindert werden kann, reicht das vorhandene Belebungsbeckenvolumen in jedem Fall aus, es ist sogar noch eine ausreichende Kapazität vorhanden, um das Schlammwasser der ausgefauten Fremdschlämme nach Vergleichmäßigung aufzunehmen.

Die neue zweistufige Kompaktfäulung hat eine Ausbaugröße von 34.700 E. Neben dem Schlamm der Kläranlage Selters werden in der Anlage auch die Schlämme der benachbarten Kläranlagen Wienau, Herschbach, Isenburg und Maischeid ausgefaut und anschließend entwässert. Die Rohschlämme werden per LKW zur Kläranlage Selters transportiert. Bei Bedarf wird ein Teil des Schlammwassers bei der Rückfahrt zur Kläranlage Wienau verbracht und hier behandelt.

Auf allen Satellitenkläranlagen wird der Überschussschlamm maschinell auf ca. 6 % TR voreingedickt, um das Transportvolumen zu reduzieren. Auch der auf der Kläranlage Selters anfallende Überschussschlamm wird maschinell auf ca. 6 % voreingedickt. In einem Vorlagebehälter werden der Primär- und voreingedickte Überschussschlamm der Kläranlage Selters sowie die angelie-

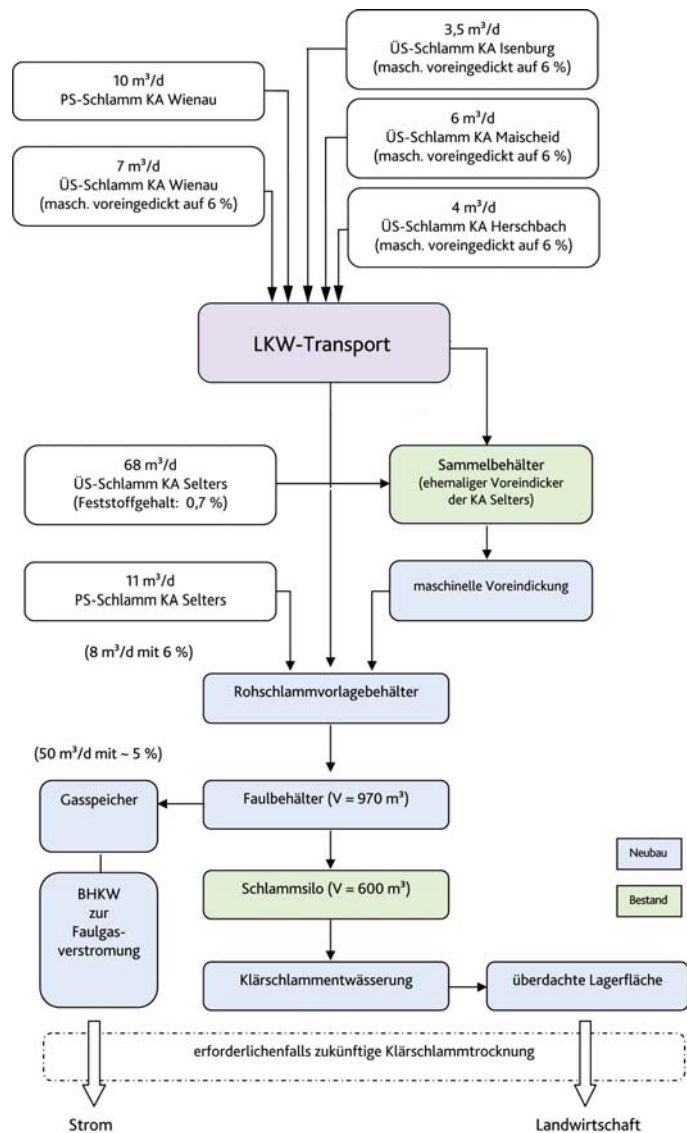


Bild 50: Verfahrensschema der Klärschlammbehandlung in der KA Selters

ferten Fremdschlämme vor Zugabe in die Fäulung zwischengestapelt und homogenisiert.

Das anfallende Faulgas wird über ein Blockheizkraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 50 kW verstromt.

Durch die Umstellung wird auf allen beteiligten Anlagen eine Energieeinsparung von insgesamt rund 200 MWh/a prognostiziert. Gleichzeitig wird aus der Faulgasverstromung ein Energiegewinn von 400 MWh/a erwartet. Die Stromeigenerzeugung soll den Gesamtenergiebedarf der Kläranlage Selters decken (MULEWF 2012). Die CO₂-Emissionen werden um ca. 350 t/a verringert.



8 ENERGETISCHES OPTIMIERUNGSPOTENZIAL

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung macht deutlich, dass das Umstellungspotenzial von aerober Stabilisierung auf Faulung schon für Anlagen mit einer Anschlussgröße ab 10.000 E, zum Teil auch darunter, in Betracht kommt. Eine Umstellung von Kläranlagen auf Faulung führt zu mehreren Effekten, die sich positiv auf den Betrieb der Anlagen auswirken:

- Effizienzsteigerung durch Prozessoptimierung und Energieeinsparung
- Erzeugung regenerativer Energie, die vor Ort genutzt werden kann

Beide Prozesse entlasten die öffentliche Stromversorgung. Darüber hinaus ergibt sich eine deutliche Primärenergieeinsparung. Weitere positive Effekte sind erhöhte Preisstabilität, deutlich größere Unabhängigkeit von Energiekonzernen sowie Entlastung der öffentlichen Haushalte.

Wenn man die Möglichkeiten, die sich durch die Annahme von Fremdschlämmen im Rahmen eines interkommunalen Klärschlammmanagements oder durch die Annahme von Co-Substraten ergeben, mit in die Überlegungen einbezieht, so kann die Wirtschaftlichkeit zusätzlich gesteigert werden.

Die theoretische Spanne des Optimierungspotenzials soll am Beispiel zweier Szenarien mit un-

terschiedlichen Preissteigerungsraten und Zinssätzen aufgezeigt werden. Die Kläranlagen, die demnach für eine Umstellung in Frage kommen, ergeben sich aus der Kostenbarwertbetrachtung mit den entsprechenden Preissteigerungsraten und Zinssätzen. ([Download](#), siehe Anhang)

Szenario 1

Hohe Preissteigerungsrate (5 %) / geringer Zinssatz (3 %), aerobe Stabilisierungsanlagen mit einer Anschlussgröße ab 7.000 E

Dazu gehören 93 Anlagen mit einer Gesamtanschlussgröße von rd. 1.250.000 E. Bei Umstellung auf Faulung würde sich der zusätzlich erzeugte Strom auf rund 20.000 MWh/a berechnen. Die thermische Energieerzeugung würde sich um 32.000 MWh/a erhöhen.

Durch die Umstellung auf Faulung kann zusätzlich eine Einsparung von 5 kWh/(E·a) erwartet werden, das entspricht einer Reduzierung des Stromverbrauchs von rd. 6.250 MWh/a.

Szenario 2

Geringe Preissteigerungsrate (1 %) / hoher Zinssatz (5 %), aerobe Stabilisierungsanlagen mit einer Anschlussgröße ab 22.000 E

Dazu gehören 16 Anlagen mit einer Gesamtanschlussgröße von rd. 386.000 E. Der zusätzlich erzeugte Strom würde sich auf rund 6.200 MWh/a

berechnen. Die thermische Energieerzeugung würde sich um 9.800 MWh/a erhöhen. Durch Umstellung auf Faulung kann zusätzlich eine Einsparung von 5 kWh/(E·a) erwartet werden, das entspricht einer Reduzierung des Stromverbrauchs von rd. 1.930 MWh/a. 2 Anlagen befinden sich derzeit in der Umstellung auf Faulung.

Der zusätzlich erzeugte Strom lässt sich somit auf 6.200 - 20.000 MWh/a berechnen, die hieraus resultierende Wärmeerzeugung beträgt 9.800 - 32.000 MWh/a. Das würde eine Steigerung um rd. 15 % - 49 % bedeuten und zeigt damit das große Optimierungspotenzial für Rheinland-Pfalz.

Aufenthaltszeit Vorklärung	1 h
Gasertrag je EW	7,1 m ³ /(E·a)
Energiegehalt Klärgas	6,5kWh/m ³
Wirkungsgrad BHKW el.	35 %
Wirkungsgrad BHKW therm.	55 %

Tabelle 7: Verfahrenstechnische Randbedingungen zur Abschätzung des Optimierungspotenzials

9 ANHANG

Download

der folgenden Dokumente

- NAwaS Modul 1: Grundlegende Untersuchungen
- NAwaS Modul 2: Weitergehende Untersuchungen
- Checkliste
- Kostenfunktionen
- Kostenbarwerte $i = 3,0 \%$
- Kostenbarwerte $i = 4,0 \%$
- Kostenbarwerte $i = 5,0 \%$

unter <http://www.wasser.rlp.de/servlet/is/8523/>

Literaturverzeichnis

ASUE (2011): BHKW-Kenndaten 2011. Module, Anbieter, Kosten. Herausgegeben von ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

ASUE (2012): Das KWK-Gesetz 2012. Grundlagen, Förderung, praktische Hinweise. Herausgegeben von ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. Berlin.

ATV-DVWK (Hg.) (2000): Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. Stand: Mai 2000. Hennef: GFA-Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e. V. (ATV-DVWK-Regelwerk, A 131).

Baumann, Peter; Roth, Manfred (2008): Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen. Systematisches Vorgehen zur Steigerung der Energieeffizienz durch Nutzung des Einsparpotenzials ; Leitfaden. 2. Aufl. Stuttgart: DWA Landesverband Baden-Württemberg, Leitfaden für das Betriebspersonal,

Biebersdorf, Norbert; Schröder, Markus (2008): Schlammbehandlung auf Kläranlagen. Kleine und mittlere Anlagen. In: Wasserwirtschaft Wassertechnik, H. 10, S. 8–12.

Cornel, Peter (1998): Reduzierung der Stickstoffrückbelastung durch Schlammwasserbehandlung. In: Schriftenreihe WAR 108. Darmstadt, Bd. 102, S. 173–197.

Denkert, R. (2007): Eindickung, Entwässerung und Trocknung von Klärschlamm. DWA-Fortbildungskurs M/4 "Schlammbehandlung, -verwertung und -beseitigung". Veranstaltung vom 2007. Kassel.

DWA (2003): Biologische Stabilisierung von Klärschlamm. ATV-DVWK: DWA, 2003, Nr. M-368.

DWA (2008): Technische Ausrüstung von Faulgasanlagen auf Kläranlagen. April 2008. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. Hennef: DWA (DWA-Regelwerk, M 212).

DWA (2009): Energiebilanz der Desintegration. Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe AK-1.6. "Klärschlamm-desintegration". In: Korrespondenz Abwasser, Abfall, H. 8.

DWA (2010): Abwasserentsorgung und Energierecht. 2., überarb. Aufl. Hennef: DWA (DWA-Themen).

DWA (2012a): Herkunft, Aufbereitung und Verwertung von Biogasen. November 2012. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. Hennef: DWA (DWA-Regelwert, Merkblatt M 363)

DWA (2012b): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). Juli 2012. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. Hennef: DWA

Energieagentur NRW (2013): Infografik Energie. Herausgegeben von Energieagentur NRW. Energieagentur NRW. <http://www.energieagentur.nrw.de/infografik/grafik.asp?RubrikID=3165>

Gerber, Helmut; Scherer, Jochen; Siekmann, Klaus; Sehn, Winfried (2010): Neues Verfahren zur thermischen Klärschlammbehandlung für kleinere Kläranlagen. In: 43. ESSENER TAGUNG.

Gretzschel, Oliver; Hansen, Joachim; Siekmann, Klaus; Jakob, Jürgen; Schmitt, Theo G. (2011): Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen mit anaerober Schlammbehandlung vor dem Hintergrund der energetischen Rahmenbedingungen und der abwassertechnischen Situation in Rheinland-Pfalz - NAWaS. Modul 2 - Weitergehende Untersuchungen. Kaiserslautern.

Hansen, Joachim; Wu, Kai; Kolisch, Gerd; Hobus, Inka; Schirmer, Gitta (2007): Steigerung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen. Ökoeffizienz in der Wasserwirtschaft. Herausgegeben von Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz Ministerium für Umwelt. Mainz. <http://www.wasser.rlp.de/servlet/is/8523/>

Jakob, Jürgen; Siekmann, Klaus (2010): Umrüstung von aeroben Stabilisierungsanlagen in Anlagen mit Schlammfäulung. Veranstaltung vom 2010. Stuttgart-Vaihingen.

Kempton, B.; Schmid-Staiger, U.; Trösch, W. (2000): Verbesserter Abbau von kommunalen Klärschlämmen in einer zweistufigen Hochlast-Vergärungsanlage. In: Korrespondenz Abwasser, Abfall, H. 9.

Kempton-Regel, B.; Oehlke, M.; Weber, J.; Trösch, W. (2003): Integration einer Hochlastfäulung in die herkömmliche Technik: Erste Bilanzierungsergebnisse der Schlammfäulung in Heidelberg. In: Korrespondenz Abwasser, Abfall, H. 11.

Kempton-Regel, B.; Trösch, W. (2009): Mehr Energieeffizienz für kleinere Kläranlagen – Hochlastfäulung mit Mikrofiltration. In: Die Gemeinde, H. 11, S. 424-427

Krieger, Stefan; Blank, Andreas; Sterr, Yasemin (2012): Energieautarke GKA Weilerbach - Umstellung einer aeroben Stabilisierungsanlage auf eine Hochlastfaulung. In: Hoffmann, Erhard; Homa, Justyna (Hg.): Zukunftsfähige Abwasser- und Schlammbehandlung - Bauliche, verfahrenstechnische und energetische Optimierungspotenziale. Karlsruhe (Schriftenreihe SWW, 143), S. 109–122.

Meyer, H.; Biebersdorf, Norbert (1995): Schlammfaulung oder simultane aerobe Stabilisierung. In: Gewässerschutz, Wasser, Abwasser. Aachen, Bd. 146, S. 14.1.

Müller, Ernst A.; Kobel, Beat; Pinnekamp, Johannes; Seibert-Erling, Gerhard; Schaab, Rüdiger; Böcker, Karl (1999): Handbuch Energie in Kläranlagen NRW. Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.

MULEWF (2012): Energiesituation der kommunalen Kläranlagen in Rheinland-Pfalz. Datenauswertung 2011. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten

MULEWF (2013): Stand der Abwasserbeseitigung in Rheinland-Pfalz. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten

Nachtigall, Andrea (2012): Strom aus Schlamm. In: Umwelt (5), S. 48–49.

Roediger, Hanns; Roediger, Markus; Kapp, Helmut (1990): Anaerobe alkalische Schlammfaulung. 4. Aufl. München: Oldenbourg.

Schmid-Schmieder, Volker (2009): Potenziale der Klärschlammdeintegration. Ziele, Verfahren, Einsatzgebiete. In: Wasserwirtschaft Wassertechnik, H. 3, S. 32–38.

Schmitt, Theo G.; Hansen, Joachim (2003): Zentrales Erfassungssystem zur Beratung bei Bläh- und Schwimmschlammproblemen auf kommunalen Kläranlagen. Herausgegeben von Theo G. Schmitt. Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft & tectraa an der Universität Kaiserslautern.

Schnatmann, Christian (22. März 2012): Kostengünstiger Bau und Betrieb von BHKW-Anlagen unter geänderten Rahmenbedingungen. Praxisbeispiele. Veranstaltung vom 22. März 2012, aus der Reihe "DWA Seminar "Energieoptimierung auf Kläranlagen". Rüsselsheim.

Seibert-Erling, Gerhard; Etges, Tanja (2010): Praktische Umsetzung von Energiesparmaßnahmen. In: 11. Kölner Kanal und Kläranlagen Kolloquium (Aachener Schriften zur Stadtentwässerung, 14).

Simon, Ralf (unbekannt a): Virtuelles Kraftwerk: Möglichkeiten für eine zusätzliche Wertschöpfung von Erzeugern und Verbrauchern. Bingen Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung.

Simon, Ralf (unbekannt b): Vituelles Kraftwerk. Herausgegeben von Transferstelle Bingen.

Trösch, Walter; Sterr, Yasemin; Schließmann, Ursula (2010): Energieeffiziente Kläranlagen – Hochlastfaulung für Klärschlamm. Herausgegeben von Fraunhofer IGB.



RheinlandPfalz

MINISTERIUM FÜR
UMWELT, LANDWIRTSCHAFT,
ERNÄHRUNG, WEINBAU UND
FORSTEN



RheinlandPfalz

MINISTERIUM FÜR
WIRTSCHAFT, KLIMASCHUTZ,
ENERGIE UND
LANDESPLANUNG

Kaiser-Friedrich-Str. 1
55116 Mainz

Poststelle@mulewf.rlp.de
www.mulewf.rlp.de

Stiftsstraße 9
55116 Mainz

Poststelle@mwkel.rlp.de
www.mwkel.rlp.de