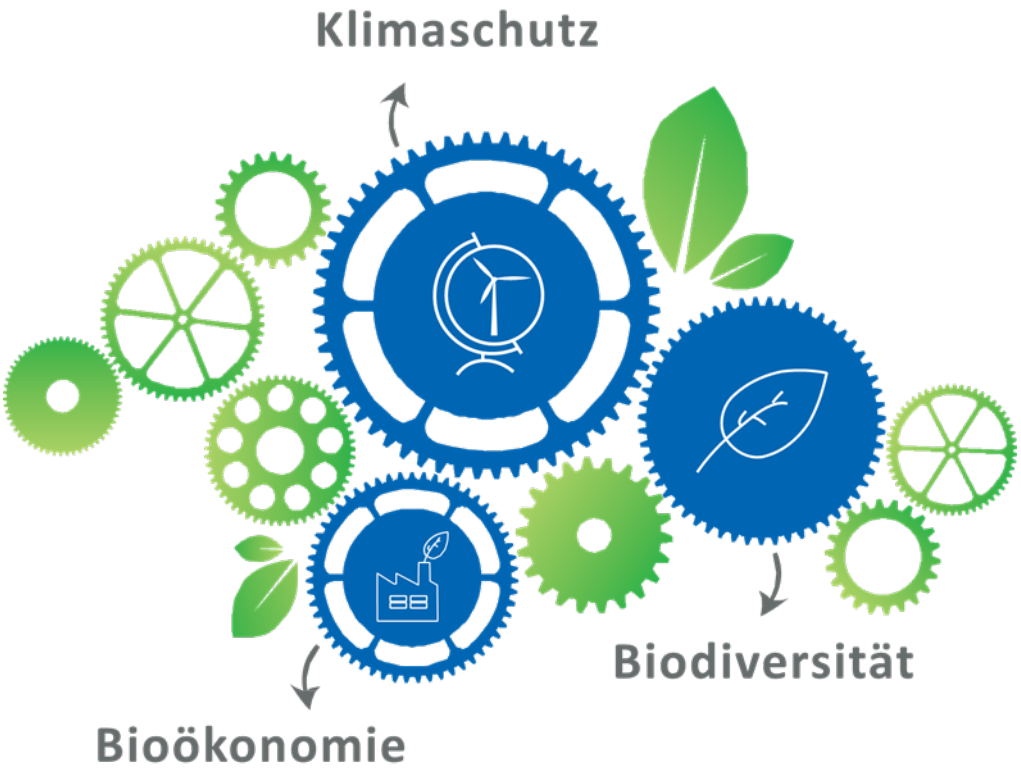
Businessplan Energieautarke Kläranlage

gefördert im Rahmen der LIFE integrierten Projekte mit Schwerpunkt Klimaschutz

der Europäischen Kommission



Herausgeber:
Institut für angewandtes Stoffstrommanagement
Hochschule Trier
Umwelt-Campus Birkenfeld
Postfach 1380
55761 Birkenfeld
www.stoffstrom.org

Ansprechpartner:
Thomas Anton
Telefon: +049 (0) 6782 17 – 1571
E-Mail: t.anton@umwelt-campus.de

Wissenschaftliche Leitung:
Prof. Dr. Peter Heck (Geschäftsführender Direktor IfaS)

Finanztechnische Projektleitung:
Markus Blim

Technische Projektleitung:
Thomas Anton

Projektarbeit und Redaktion:
Marco Angilella
Jacob Bußmann
Jan Weiten

Layout:
Jacob Bußmann

Weitere Informationen online:
www.zenapa.de

Förderung:
Das diesem Bericht zugrundeliegende Projekt wurde mit Mitteln der Europäischen Kommission im Förderbereich Life Climate unter dem Förderkennzeichen LIFE15 IPC/DE/000005 gefördert.

Hinweis: Die weibliche Form ist in dieser Veröffentlichung der männlichen Form gleichgestellt. Lediglich aus Gründen der Vereinfachung wurde auf die durchgängige Nennung beider Formen verzichtet. Auf die Verwendung geschlechtsneutraler Formulierungen wurde zugunsten einer besseren Lesbarkeit verzichtet.

Fertigstellung:

August 2021

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis II

Abkürzungsverzeichnis IV

Abstract V

1 Einleitung 1

2 Grundlagen und Darstellung der energetischen Szenarien 2

2.1 Grundlagen 2

2.1.1 Potentialanalyse und Definition des Untersuchungsraums 2

2.1.2 Verfahrensprozess Kläranlage 3

2.1.3 Verfahrensvergleich aerobe und anaerobe Schlammstabilisierung 6

2.2 Kläranlagen: Energiebilanz und Optimierungsansätze 7

2.3 Erhöhung der Eigenstromerzeugung durch Co-Vergärung 10

2.4 Zusatz EE: PV-Anlagen 15

3 Finanzierung und Kostenrechnung 17

3.1 Kosten-Erlösrechnung Verfahrensumstellung 17

3.1.1 Investitionsvolumen 17

3.1.2 Betriebskosteneinsparungen 18

3.1.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Verfahrensumstellung 20

3.2 Mehrkosten Co-Vergärung 21

3.2.1 Mehrkosten feste Co-Substrate: Beispiel Biotonne 21

3.2.2 Mehrkosten flüssige Substrate: Beispiel Fette 24

3.2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Co-Vergärung 26

3.3 Kostenrechnung Photovoltaikanlage 28

4 Förderrichtlinien 29

5 Exkurs: Wirkung von Kläranlagen auf die Biodiversität 34

6 Fazit und Handlungsempfehlung 38

Anhang 40

Literaturverzeichnis V

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anzahl KA mit mehr als 10.000 EW im Untersuchungsraum ZENAPA nach Landesverbänden 3
Abbildung 2: Verfahrensschema Aerobe und anaerobe Schlammstabilisierung 6
Abbildung 3: Spezifischer Energieverbrauch im Median von KA mit anaerober Stabilisierung 8
Abbildung 4: Energiebilanz KA mit anaerober Schlammstabilisierung 9
Abbildung 5: Maßnahmen zur Steigerung der Gaserzeugung 10
Abbildung 6: Absolutes Energiedefizit im Median von KA mit anaerober Stabilisierung 13
Abbildung 7: Annahme Substrateigenschaften 14
Abbildung 8: Substratmengen zum Erreichen einer energieautarken KA 14
Abbildung 9: Reinvestitionen während Betrachtungszeitraum 17
Abbildung 10: Gesamtinvestitionen für die Verfahrensumstellung 18
Abbildung 11: Zusammenstellung Betriebskosten und Erlöse durch Verfahrensumstellung 19
Abbildung 12 : Verfahrensumstellung: Wirtschaftlichkeitsgrenzen in Abh. des Kalkulationszinssatzes 20
Abbildung 13: Mehrkosten Faulturm bei Co-Vergärung 22
Abbildung 14: Zusatzinvestition für die Implementierung einer Co-Vergärung (Biotonne) 23
Abbildung 15: Beispiel Biotonne: Erlöse und Mehrkosten durch Co-Vergärung 24
Abbildung 16: Zusatzinvestition für die Implementierung einer Co-Vergärung (Fette) .. 25
Abbildung 17: Beispiel Fette: Erlöse und Mehrkosten durch Co-Vergärung 26
Abbildung 18: Wirtschaftliches Ergebnis Verfahrensumstellung inkl. Co-Vergärung bei 1- 3% Kapitalzins 27
Abbildung 19: Wirtschaftliches Ergebnis Co-Vergärung bei 5 % Kapitalzins 27
Abbildung 20: Stromgestehungskosten PV-Anlagen 28
Abbildung 21: Förderung Verfahrensumstellung 32

Abbildung 22: Wirtschaftliches Ergebnis Verfahrensumstellung bei 3 % Kapitalzins und Förderung 33
Abbildung 1: degradierter Bach mit immer gleicher Strömungsgeschwindigkeit (negativ) 36
Abbildung 2: Fließgewässer mit verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten, indem sich das Gewässer frei bewegen kann (positiv)..... 36

Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
BMU	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
CHP	Combined heat and power plant
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V
EW	Einwohner
IfaS	Institut für angewandtes Stoffstrommanagement
ISE	Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme
KA	Kläranlage
MUEEF	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten
MULNV NRW	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
PE	Population equivalent
tectraa	Zentrum für Innovative Abwassertechnologien tectraa
VKB	Vorklärbecken
WerAA	Erschließung neuer Wertschöpfungsketten in der Abfall- und Abwasserwirtschaft
WWTP	Wastewater treatment plants
ZEBRAS	Zukunftsorientierte Einbindung der Faulung und Faulgasverwertung in die Verfahrenskette der Abwasserreinigung, Schlammbehandlung und -verwertung in Rheinland-Pfalz
ZENAPA	Zero Emission Nature Protection Areas

Abstract

This paper addresses the energy optimisation potentials of the largest municipal energy consumers – the wastewater treatment plants (WWTP). The aim is a reduction of operating costs and greenhouse gases by means of reconstruction, aiming to achieve an energy positive WWTP. The study was conducted for 48 category 4a (10.000 - 50.000 PE[1]) and 10 category 4b (50.000 - 100.000 PE) WWTPS within the ZENAPA project area.

The reconstruction is explained in more detail on the basis of the three process stages: the mechanical, the biological, and the chemical-physical wastewater treatment. During an anaerobic fermentation of organic substances, a considerable amount of fermentation gas is produced, which can be used to largely meet the energy requirements of the WWTP. Therefore, a pre-sedimentation basin for high-energy primary sludge and a fermentation tower are required. The fermentation gas can be converted into heat and energy in a combined heat and power plant (CHP) or stored in a gas tank and used as required by the CHP.

The amount of methane gas recovered during the anaerobic stabilisation of wastewater and thereby the amount of energy that can be gained depends on the pollution load. The pollution load, however, also affects the energy demand and thereby the anaerobic stabilisation can at least partially cover the plant's electricity requirements. Depending on the size of the WWTP, the fermentation can supply between 12.9 kWh/(PE*a) and 18.6 kWh/(PE*a). Considering the median specific total energy consumption of about 36.8 and 36.1 kWh/(PE*a), respectively, this results in a median self-supply of about 35 to 52 % (cf. Fig. 4).

Several measures can be taken to enlarge the power production on-site and to increase economic efficiency. One solution is co-fermentation with biowaste or fats, to gain more methane. In the macroeconomic evaluation including capital costs, a distinction must be made between a process conversion with the simultaneous implementation of co-digestion or whether digestion with free capacities already exists and only co-digestion is introduced. In the case of the former, it becomes clear

[1] The population equivalent (PE) expresses the pollutant load to which the wastewater treatment plant can be exposed within 24 hours.

that profitability is significantly increased compared to an exclusive process conversion, and economic efficiency can already be achieved with comparatively smaller WWTPs.

Energy self-sufficiency can also be achieved through the installation of PV systems. The addition of PV systems should always be considered, as long as the electricity production costs are below the external procurement costs.

Overall, the measures described cause high investments, but these can be amortised through cost savings or reduced running costs. Based on the example calculations carried out in the study, it can be seen that a process conversion is already economically feasible from 13,000 PE (depending on the underlying capital costs). Overall, the conversion leads to a significant reduction of greenhouse gas emissions.

To enable the conversion various subsidies are available at both federal and state levels, which lead to a significant reduction of the initial investment.

The impact of wastewater treatment plants on the local ecosystem is particularly severe. A properly operating wastewater treatment plant is central to the protection of biodiversity. To enhance the purification process, the process can be supplemented by a fourth purification stage. In this stage, micropollutants are filtered and disposed of with the help of activated carbon. This can improve the water quality, which has a direct influence on the biodiversity in the water body. However, the structure of the subsequent river course can also significantly reduce the impact through a near-natural course. In addition to the river course-related measures, simple measures for birds or insects in the form of nesting boxes, wintering facilities, flowering meadows and structural elements can be installed to create refuge areas on site. The conservation of biodiversity can thus be achieved locally by committed actors.

1 Einleitung

Das Projekt ZENAPA, Kurzform für „Zero Emission Nature Protection Areas“, zielt auf die CO_2-Neutralität der Großschutzpartnerregionen ab. Bei diesem soll gleichzeitig ein erkennbarer Beitrag zu Klima-, Natur- und Artenschutz geleistet werden.

Bereits jetzt haben deutschlandweit Kommunen bei der Umsetzung von Energie- und Klimaschutzpolitik eine tragende Rolle eingenommen. Dennoch bleiben nach wie vor durch eine sektorale Betrachtungsweise viele bestehende Potentiale zur CO_2-neutralen Energiegewinnung und -optimierung ungenutzt. Dies trifft oftmals auch auf die größten kommunalen Stromverbraucher, die Kläranlagen (KA), zu. Diese bieten noch immer große Energieoptimierungspotentiale, die sowohl zu einer Reduktion der Betriebskosten als auch zu einer Verminderung der Treibhausgase beitragen können. Ergänzend zu den bestehenden Einsparungspotentialen weisen KA zudem ein großes Potential zur CO_2-neutralen Energiegewinnung mittels anaerober Klärschlammfaulung und anschließender Verstromung auf.[2]

Vor diesem Hintergrund werden verschiedene Möglichkeiten zur Erhöhung des Eigenstromversorgungsgrades einer KA aufgezeigt. Anschließend wird auf Basis wirtschaftlicher Aspekte untersucht, ab welcher Anschlussgröße sich eine Umstellung der Kläranlage mit aerober Schlammstabilisierung auf eine anaerobe Stabilisierung als ökonomisch vorteilhaft erweist und ob es sinnvoll ist, dieses Verfahren um eine Co-Vergärung zu ergänzen (Erklärung in Kapitel 2.1.3). Zusätzlich wird der Einsatz von Photovoltaik-Anlagen zur Erreichung einer vollständig energieautarken Kläranlage geprüft. Anschließend wird auf mögliche Fördermechanismen auf Bundes- und Landesebene eingegangen.

Durch technischen Fortschritt sowie gestiegene Strompreise erweisen sich anaerob stabilisierende Anlagen nach derzeitigem Stand ab etwa 10.000 Einwohnern (EW) als wirtschaftlich. Daher bilden Kläranlagen der Größenklasse 4 den Untersuchungsrahmen dieser Arbeit.[3] Diese Kategorie wird weiterführend in die Unterklassen 4a (10.000 - 50.000 EW) und 4b (50.000 - 100.000 EW) unterteilt.[4]

[2] Vgl. Knerr et Al., (2016): „Zukunftsorientierte Einbindung der Faulung und Faulgasverwertung “, S. 31
[3] Vgl. Gretzschel et al. (2011): Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen (…), Modul 1, S. 1
[4] Vgl. Durth (2014): Abwasser und Klärschlamm in Deutschland – statistische Betrachtungen

2 Grundlagen und Darstellung der energetischen Szenarien

2.1 Grundlagen

2.1.1 Potentialanalyse und Definition des Untersuchungsraums

In Deutschland gibt es etwa 10.000 kommunale Abwasserbehandlungsanlagen, welche einen Gesamtstrombedarf von 4.400 GWh für die Abwasserbehandlung aufweisen und einer Emission von rund 3 Millionen Tonnen CO_2 entsprechen. Somit gehören sie zu den größten kommunalen Stromverbrauchern.[5] Von diesen 10.000 Anlagen fallen etwa 1.600 Anlagen in die Kategorie 4a und rund 300 Anlagen in die Kategorie 4b.[6] Dies entspricht somit zwar nur rund 20% aller Abwasserbehandlungsanlagen in Deutschland, dennoch sind diese aufgrund der hohen Anzahl an angeschlossenen EW und der zu behandelten Abwassermenge für einen Großteil des Strombedarfs verantwortlich und unterstreichen somit das große Potential zur Energie- und CO_2-Einsparung.[7]

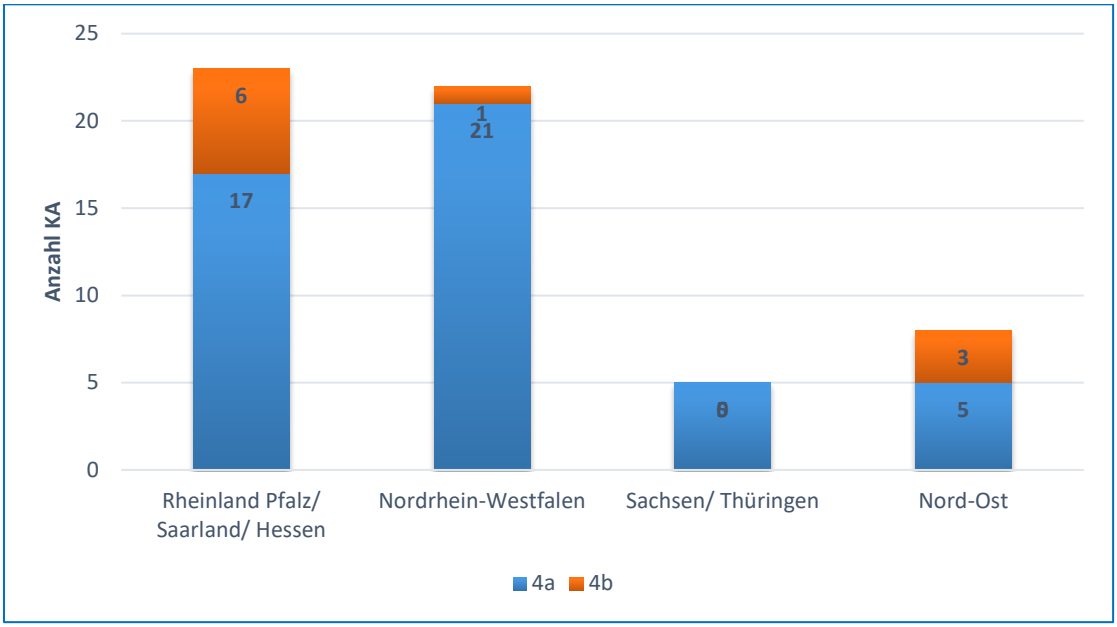
Eine Klärgaserzeugung erfolgt Stand 2014 bisher lediglich auf ca. 1.240 KA, was 12,5 % aller bestehenden Anlagen entspricht. Dies lässt sich meist durch ökonomische Aspekte begründen, da in der Vergangenheit eine Verfahrensumstellung von aerober zu anaerober Schlammstabilisierung sich erst ab 30.000 EW als wirtschaftlich erwiesen hat. Kleinere Kläranlagen stabilisieren überwiegend den Schlamm unter Sauerstoffeinsatz (aerob), was allerdings einen hohen Energiebedarf in der Belebung zur Folge hat. Durch technischen Fortschritt sowie gestiegene Strompreise, erweisen sich anaerob stabilisierende Anlagen heute schon ab etwa 10.000 EW als wirtschaftlich. Allein in Rheinland-Pfalz könnten rund 70 Kläranlagen auf eine anaerobe Schlammfaulung umgerüstet werden (Stand 2011). Durch diese Verfahrensumstellung und die Nutzung von Klärgas zur Eigenstromerzeugung kann der Fremdstrombezug dieser Anlagen um rund 80 % reduziert werden. Bei dieser Analyse bleibt eine Co-Vergärung von biogenen Abfällen noch unberücksichtigt.[8] Da in der Praxis der Fokus bei der Optimierung von Kläranlagen stärker auf der

[5] Vgl. bmu (2017): Statistik Abwasserentsorgung
[6] Vgl. Statistisches Bundesamt (2015): Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (…)
[7] Vgl. bmu (2017): Statistik Abwasserentsorgung
[8] Vgl. Gretzschel et al. (2011): Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen (…),

vorhandenen Anlagentechnik ruht, nutzen erst 10 % der anaerob stabilisierenden Anlagen eine Co-Vergärung.

Das ZENAPA-Projekt selbst umfasst 48 KA der Kategorie 4a und 10 KA der Kategorie 4b, welche laut der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) im Untersuchungsraum liegen (Vgl. Abb. 1). Nach vorliegenden Informationen haben von diesen bisher etwa 20 noch nicht auf eine Faulung umgestellt und lediglich drei Anlagen haben eine Co-Vergärung implementiert.[9]

Abbildung 1: Anzahl KA mit mehr als 10.000 EW im Untersuchungsraum ZENAPA nach Landesverbänden



Eigene Darstellung nach Auswertung DWA

2.1.2 Verfahrensprozess Kläranlage

Der technische Ablauf der Abwasserbehandlung lässt sich in drei Verfahrensstufen unterteilen:

1. Mechanische Stufe
2. Biologische Stufe
3. Chemisch-Physikalische Stufe.

Das Abwasser gelangt über einen Zulauf zur Kläranlage. Während der mechanischen Behandlungsstufe durchläuft das Abwasser zunächst die Rechenanlage. Hierbei

[9] Vgl. DWA (2019/ 2020): Kläranlagen- und Kanal-Nachbarschaften im (…)

werden grobe Verschmutzungen, wie beispielsweise Laub oder Papier, herausgefiltert. Das vorgereinigte Abwasser gelangt nun im Weiteren in ein Absatzbecken und den Sandfang. Bei anaerob stabilisierenden KA bildet das Vorklärbecken (VKB) eine zusätzliche Verfahrensstufe. In diesem liegt eine deutlich verringerte Fließgeschwindigkeit vor, wodurch sich feinere Schmutzpartikel am Boden absetzen können. Es entsteht der sog. Primärschlamm. In der anschließenden biologischen Verfahrensstufe durchläuft das Abwasser das Belebungsbecken. Das Wasser wird hier durch die Zufuhr von Sauerstoff und durch Rührwerke in Bewegung versetzt. Hierdurch werden in den einzelnen Beckenarealen unterschiedliche Milieubedingungen für aerobe Bakterien und andere Mikroorganismen geschaffen. Diese bauen die organischen Abwasserinhaltsstoffe ab und wandeln diese in anorganische Stoffe um, es entstehen Belebtschlammflocken. Im Anschluss daran wird das Abwasser gemeinsam mit dem Belebtschlamm in das Nachklärbecken eingeleitet. Durch eine erneute Verringerung der Fließgeschwindigkeit kann sich der Belebtschlamm sedimentieren und das Wasser wird durch maschinelle Räumeinrichtungen abgetrennt. In der letzten Prozessstufe, der chemischen Abwasseraufbereitung, werden verschiedene chemische Verbindungen eingesetzt, um die gesetzlich vorgegebenen Wasserrichtwerte zu erreichen. Hierzu zählen die Neutralisation, die Desinfektion, die Phosphatfällung, die Stickstoffelimination, die Enteisung und die Entmanganung.[10]

Der während den Prozessen anfallende Überschussschlamm und der Primärschlamm werden aus dem System entfernt und weiterbehandelt.[11] Die Schlammbehandlung setzt sich aus der Schlammstabilisierung, -entwässerung und gegebenenfalls Trocknung und anschließender Verwertung zusammen.[12]

Bei der Schlammstabilisierung findet ein Abbau von organischen Substanzen im Klärschlamm statt. Das bedeutet, dass der Schlamm von einem „fäulnisfähigen in einen stabilen Zustand“ überführt wird.[13] Ziel ist dabei eine geringere Geruchsbelastung und eine Weiterbehandlung zu vereinfachen. Es werden zwei

[10] Vgl. aerzen (2021): DIE VERFAHREN DER ABWASSERAUFBEREITUNG
[11] Vgl. Bmlrt (2019): Wie funktioniert eine Kläranlage?
[12] Vgl. lfu.bayern (2020): Klärschlamm
[13] Vgl. Ebenda

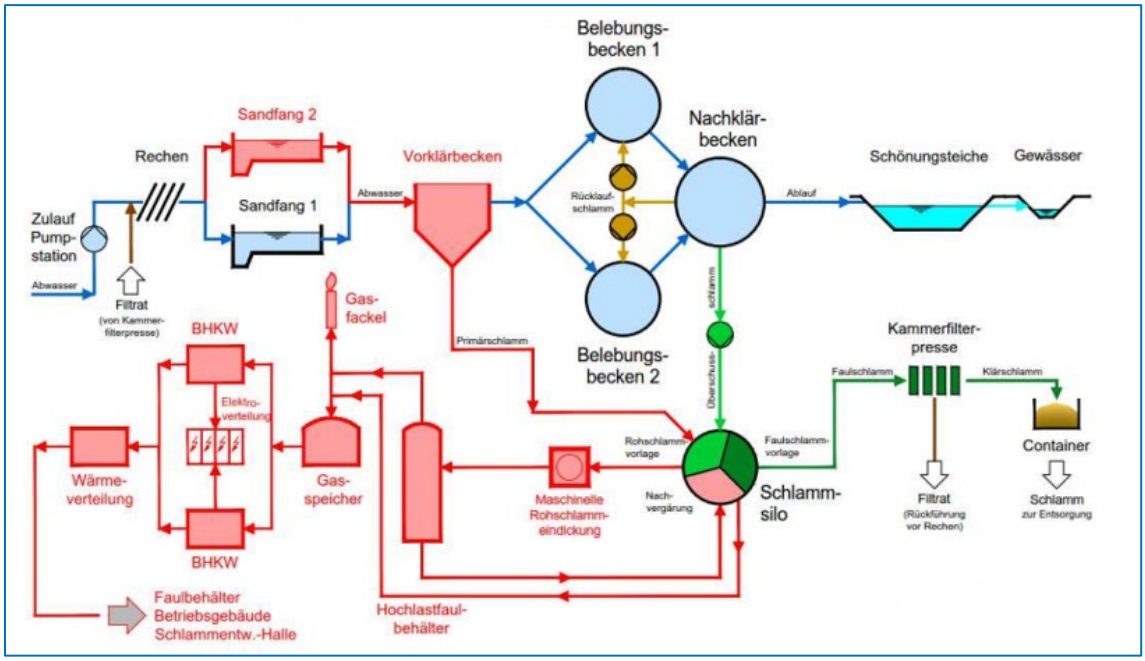
Verfahren zur Schlammstabilisierung unterschieden: Die aerobe und die anaerobe Schlammstabilisierung.[14]

Die aerobe Schlammstabilisierung erfolgt simultan mit der biologischen Abwasserbehandlung im Belebungsbecken. Unter einer anhaltenden Sauerstoffzufuhr erfolgen hierbei durch aerobe Mikroorganismen Abbauprozesse, welche die im Klärschlamm enthaltenen organischen Substanzen zu humusartigen und zu mineralischen Endprodukten umwandeln. In Folge des Abklingens der biologischen Aktivitäten gelangt der Schlamm in einen lagerfähigen Zustand (Vgl. Abb. 2, blaue Darstellung).

Bei der anaeroben Stabilisierung (sog. Faulung) erfolgt durch die zusätzliche Integration eines VKB die Gewinnung eines sehr energiereichen Primärschlamms und eine Entlastung der biologischen Prozessstufe. Das Belebungsbecken wird höher befrachtet, wodurch der entstehende Überschussschlamm ebenfalls deutlich energiereicher und aktiver ist. Die Stabilisierung des Rohschlamms (Primärschlamm + Überschussschlamm) erfolgt in einem Faulturm. Unter Ausschluss von Sauerstoff entsteht durch mikrobiologische Abbauprozesse Faulgas. Dieses kann anschließend in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) zur Strom- und Wärmeerzeugung verwertet werden (Vgl. Abb. 2, rote Darstellung).[15]

[14] Vgl. Ministerium für Umwelt (…) Nordrhein-Westfalen (2018): Energie in Abwasseranlagen, S. 130 ff.
[15] Vgl. Gretzschel et al. (2014): Umstellung von Kläranlagen auf Schlammfaulung, S. 11

Abbildung 2: Verfahrensschema Aerobe und anaerobe Schlammstabilisierung



Quelle: Dipl.-Ing. Stefan Krieger, HYDRO-Ingenieure Energie & Wasser GmbH, 2011

2.1.3 Verfahrensvergleich aerobe und anaerobe Schlammstabilisierung

Vergleicht man die aerobe und die anaerobe Schlammstabilisierung, so ergibt sich als augenscheinlicher Unterschied die zusätzliche Verfahrensstufe bei der Faulung. Hierzu sind zusätzlich ein VKB, ein Faulbehälter und ein BHKW zur Verstromung des beim Prozess entstehenden Faulgases notwendig.[16] Weitere Verfahrensunterschiede werden im Folgenden beschrieben.

Ein erster technischer Unterschied kann bereits bei der mechanischen Stufe in der Rechenanlage vorliegen. So ist für den Betrieb einer Kläranlage mit anschließender Faulung die Nutzung eines Feinrechens notwendig. Fehlt dieser, so müsste die Anlage nachgerüstet werden. Des Weiteren beinhaltet die anaerobe Stabilisierung, wie bereits im vorherigen Kapitel beschrieben, ein VKB.[17] Auch für die biologische Reinigungsstufe ergeben sich Veränderungen. Da für das Belebungsbecken die Funktion der Schlammstabilisierung wegfällt, reduziert sich das Schlammalter von etwa 25 auf 10 -20 Tage und das Beckenvolumen kann um rund 50% reduziert werden. Damit einhergehend sinkt ebenfalls der Energiebedarf für die Belüftung des

[16] Vgl. Gretzschel et al. (2014): Umstellung von Kläranlagen auf Schlammfaulung, S. 11
[17] Vgl. Gretzschel et al. (2011): Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen (…), Modul 2, S. 3

Belebungsbeckens.[18] Durch den zusätzlichen Primärschlammabzug in der Vorklärung nimmt die stoffliche Belastung in der Nachklärung ab. Bestehende Schwimm- und Blähschlammprobleme, welche im Zusammenhang mit der Schlammbelastung stehen, können hierdurch verringert bzw. vermieden werden.[19]

Der entnommene Primärschlamm und der anfallende Überschussschlamm werden in einem Rohschlammbehälter gemischt und homogenisiert und anschließend einem Faulbehälter zugeführt. Zum bedarfsgerechten Betrieb des BHKW ist ein Gasspeicher erforderlich.[20]. Der erzeugte Strom dient zur Eigenstromnutzung, was zu einem geringeren Fremdbezug führt.[21]

Ein weiterer Vorteil der Faulung erweist sich in der Entwässerbarkeit des Schlammes, welche durch eine Faulung wesentlich verbessert wird. Zudem wird die Abbaubarkeit der organische Substanz erhöht, was zu einer etwa 30 % geringeren Klärschlammenge führt und damit einhergehend auch zu geringeren Klärschlammentsorgungskosten.[22]

Die beschriebenen Veränderungen in der anaeroben Schlammstabilisierung gehen mit hohen Investitionen zur Umrüstung einher. Die daraus resultierenden Kapitalkosten hängen von der Anlagennutzungsdauer und dem Zinssatz ab.[23] Zusätzlich ergeben sich erhöhte Personalausgaben durch einen erhöhten Arbeitszeitaufwand und Wartungsaufwand im Vergleich zum aeroben Verfahren.[24] Dagegen ergeben sich Betriebskosteneinsparungen durch einen geringeren Energieaufwand in der biologischen Behandlungsstufe, einer möglichen Eigenstromerzeugung sowie geringeren Schlammentsorgungskosten.[25]

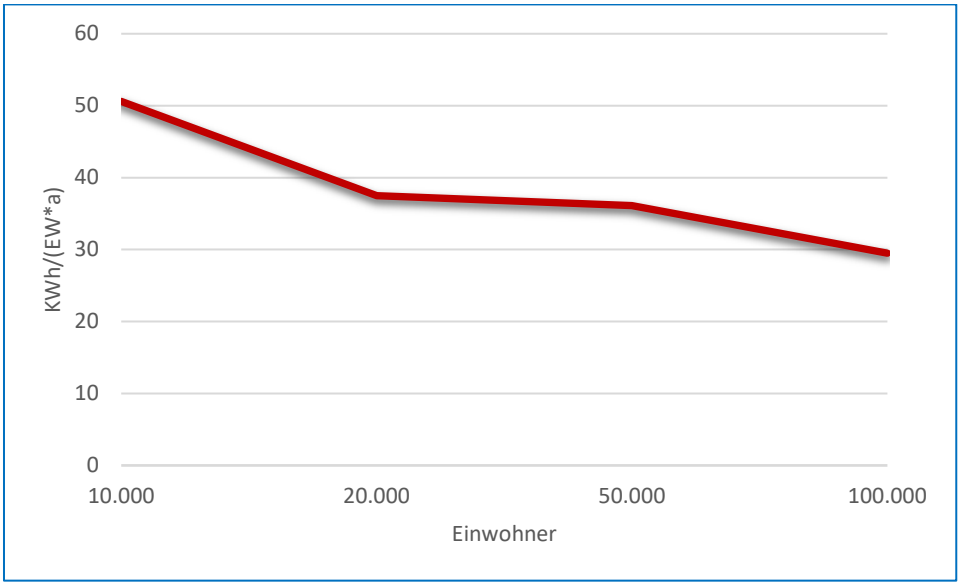
2.2 Kläranlagen: Energiebilanz und Optimierungsansätze

Mit zunehmender Anlagengröße nimmt der absolute Strombedarf einer Kläranlage zu, jedoch verringert sich der spezifische Strombedarf pro Einwohner (EW). Bereits durch eine Verfahrensumstellung können Energieeinsparungen zwischen 9,5 kWh/(E*a) und

[18] Vgl. Gretzschel et al. (2014): Umstellung von Kläranlagen auf Schlammfaulung, S. 7 ff.
[19] Vgl. Ebenda, S. 11
[20] Vgl. Ebenda, S. 14
[21] Vgl. Ebenda, S. 56
[22] Vgl. Ebenda, S. 14
[23] Vgl. Gretzschel et al. (2011): Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen (…), Modul 2, S. 55
[24] Vgl. Ebenda, S. 57
[25] Vgl. Ebenda, S. 56

12 kWh/(E*a) für KA mit einer Einwohnerzahl zwischen 10.000 und 50.000 im Vergleich zur aeroben Schlammstabilisierung realisiert werden.[26] So ergab sich als Erkenntnis, der im Rahmen des Projektes „Zukunftsorientierte Einbindung der Faulung und Faulgasverwertung in die Verfahrenskette der Abwasserreinigung, Schlammbehandlung und -verwertung in Rheinland-Pfalz“ (ZEBRAS) vom Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten (MUEEF) durchgeführten Untersuchungen, dass bei anaerob stabilisierenden KA der Kategorien 4a und 4b der spezifische Stromverbrauch im Median bei etwa 36,8 bzw. 36,1 kWh/(E*a) lag (Vgl. Abb.3).[27]

Abbildung 3: Spezifischer Energieverbrauch im Median von KA mit anaerober Stabilisierung

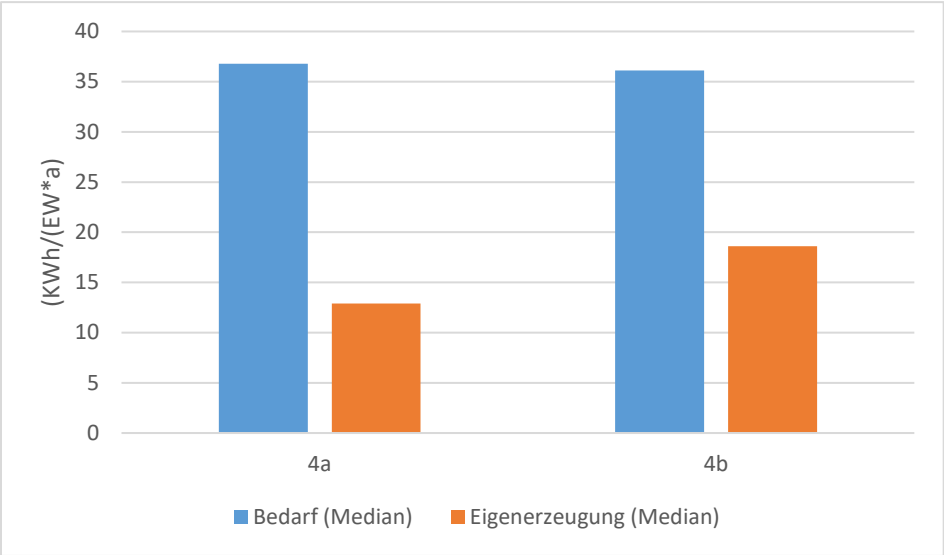


Quelle: Eigene Darstellung nach Vgl. Knerr et Al., (2016): „Zukunftsorientierte Einbindung der Faulung (…)“, S.29

Gleichzeitig lag die Eigenstromversorgung der Anlagen je nach Größenklasse bei 12,9 kWh/(E*a) bzw. 18,6 kWh/(E*a). Unter Beachtung des angegebenen Gesamtenergieverbrauches ergibt sich somit eine Eigenstromversorgung von etwa 35 bis 52 % im Median (Vgl. Abb. 4).[28] Im DWA Arbeitsblatt A-216 wird ein Eigenversorgungsgrad im Median von 44 % angegeben.[29]

[26] Vgl. Gretzschel et al. (2011): Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen (…), Modul 2, S. 56 ff.
[27] Vgl. Knerr et Al., (2016): „Zukunftsorientierte Einbindung der Faulung und Faulgasverwertung “, S.29
[28] Vgl. Ebenda, S. 27
[29] Vgl. DWA A-216 (2015): Energiecheck und Energieanalyse (…), S. 58

Abbildung 4: Energiebilanz KA mit anaerober Schlammstabilisierung



Quelle: Eigene Darstellung nach Knerr et Al., (2016): „Zukunftsorientierte Einbindung der Faulung (…)“, S. 27

Da diese Werte ausschließlich den Median darstellen, ergibt sich, dass bereits in diesem Rahmen verfahrenstechnische Optimierungspotentiale bei den meisten Anlagen vorliegen. So kann einerseits eine technologische Effizienzsteigerung zu einer Verringerung des Energiebedarfes führen oder eine mögliche Gasausbeute und anschließende Energiegewinnung erhöhen. Beispielsweise lagen im Erhebungsrahmen von ZEBRAS KA mit einem Eigenversorgungsgrad von über 75 % in der Kategorie 4 vor.[30] Auch die DWA setzt einen Idealwert von 80 % an.[31]

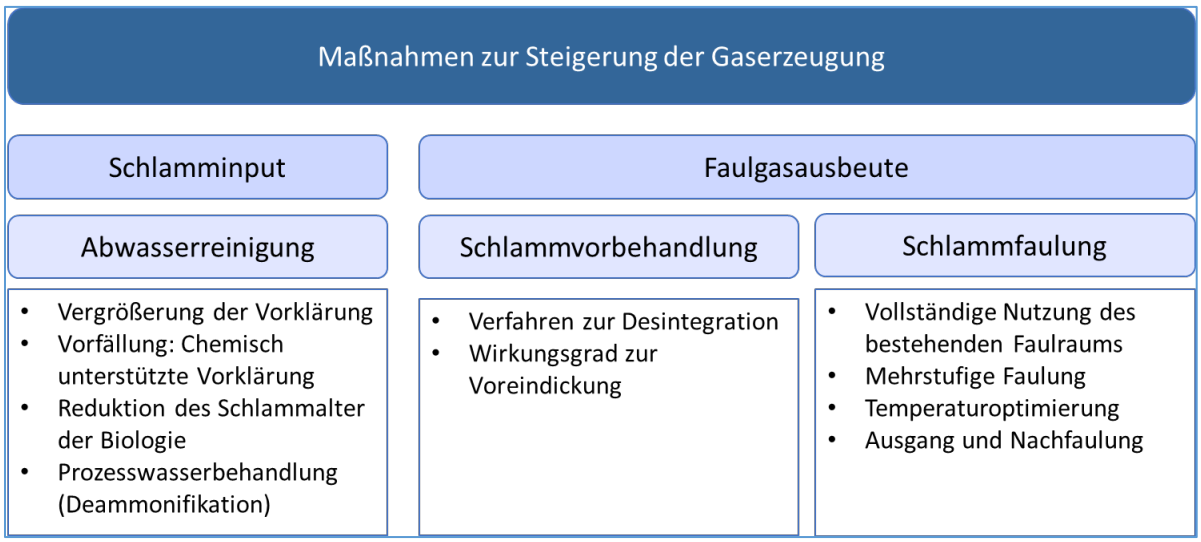
Bei der Identifizierung möglicher Effizienzmaßnahmen kann hierbei Rückgriff auf das DWA Arbeitsblatt A-216 genommen werden. Dieses dient als eine praxisorientierte Arbeitshilfe zur verfahrenstechnischen und energetischen Optimierung von Abwasseranlagen und kann ebenfalls als Grundlage zur Implementierung eines Energiemanagementsystems genutzt werden. Das Energiemanagementsystem kann das Fundament zur schlussendlichen Erreichung einer energieautarken Anlage bilden.[32]

Neben Effizienzmaßnahmen zur Optimierung der vorhandenen Anlagentechnik und Behandlungsverfahren ist die Produktion von Biogas und damit einhergehend die Erzeugung von Eigenstrom heute für einen ökologischen und ökonomischen Betrieb

[30] Vgl. Knerr et Al., (2016): „Zukunftsorientierte Einbindung der Faulung und Faulgasverwertung “, S. 31
[31] Vgl. DWA A-216 (2015): Energiecheck und Energieanalyse (…), S. 58
[32] Vgl. Ebenda

einer Kläranlage von zentraler Bedeutung. Nachfolgende Grafik liefert eine Übersicht möglicher Maßnahmen zur Steigerung der Gaserzeugung (Vgl. Abb. 5).

Abbildung 5: Maßnahmen zur Steigerung der Gaserzeugung



Quelle: Eigene Darstellung nach: MULNV NRW (2014): Verbesserung der Klärgasnutzung (…), S. 50

Bei der in der Tabelle angeführten vollständigen Nutzung des vorhanden Faulraums zur Steigerung der Gasausbeute kann zum einen eine Co-Vergärung genutzt werden (Vgl. Kapitel 2.3), aber auch Fremdschlämme von anderen naheliegenden kommunalen Anlagen angenommen werden. Die Bildung von Klärschlammverbünden ist förderfähig (Vgl. Kapitel 4), muss aber hinsichtlich entstehender Transportkosten und Auswirkungen auf die Anlagen deduziert betrachtet werden.[33]

2.3 Erhöhung der Eigenstromerzeugung durch Co-Vergärung

Die oben beschriebene Stromgewinnung kann durch Erschließung ungenutzter Potentiale während der anaeroben Faulung durch Co-Vergärung gesteigert werden. Hierbei wird dem Hauptsubstrat, also den Klärschlämmen, organisches Material als Co-Substrat hinzugefügt, um einen Mehrertrag an Methan zu erzeugen und die Stromerzeugung zu erhöhen. Voraussetzung für die Co-Vergärung sind das Vorhandensein oder das Erzeugen von freien Kapazitäten im Faulraum. Durch die demografische Entwicklung insbesondere im ländlichen Raum sind immer mehr Kläranlagen nicht vollständig ausgelastet. Dies kann dazu führen, dass bestehende Faultürme entweder stillgelegt werden oder nur teilweise ausgelastet sind. Zudem wird

[33] Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2020): Kommunalrichtlinie

in vielen Kläranlagen die empfohlene Aufenthaltszeit im Faulbehälter oft weit überschritten. Eine Anpassung der Verweilzeit würde somit freie Kapazitäten für die Mitbehandlung organischer Abfälle schaffen. Eine Potentialuntersuchung des Raumes Rheinland-Pfalz ergab, dass es Stand 2018 etwa 43 Standorte mit freien Kapazitäten im Faulraum gibt. Dieses Potential könnte durch eine mögliche Verfahrensumstellung von aerober zu anaerober Schlammstabilisierung bei den Anlagen der Größenklasse 4 sogar weiter gesteigert werden.[34]

Bei Neubau eines Faulturms sollte eine mögliche Co-Vergärung bereits in die Planung und Dimensionierung des Faulturms miteinbezogen werden. Leider ist dies aufgrund von fehlender Praxiserfahrung oder ungenauen Kenntnissen der Klärwerke über die potenziellen Abfallströme in ihrer Region bzw. im unmittelbaren Einzugsgebiet nicht immer der Fall. So haben laut DWA von den im Untersuchungsgebiet von ZENAPA erfassten KA bisher ausschließlich drei Anlagen eine CO-Vergärung implementiert.[35] Neben der erhöhten Stromerzeugung, welche zu einer Verringerung eines bestehenden Energiedefizites der Kläranlage beziehungsweise Deckung des Energiebedarfes führt, werden auch organische Abfallprodukte einer sinnvollen Verwertung zugeführt.[36] Darüber hinaus kann durch bestimmte Substratkombinationen eine Verbesserung des Klärschlammabbaus während des Gärprozesses erreicht werden.[37]

Es gibt verschiedene Substrate, welche für eine Co-Vergärung in Frage kommen. Das DWA Merkblatt M380 bietet eine Übersicht der klassischerweise auf dem Markt befindlichen Substrate mit unterschiedlichem Gasertrag. Zu diesen Substraten zählen unter anderem Grünschnitt, Bioabfälle und Fette. Die Auswahl des gewählten Substrates ist zum einen abhängig von der potentiellen Gasproduktion und zum anderen von den regionalen Verfügbarkeiten. Hierzu ist es notwendig, für den Standort eine Potentialanalyse durchzuführen, um mögliches Inputmaterial und dessen Potential zu evaluieren.

[34] Vgl. Knerr et Al., (2016): „Zukunftsorientierte Einbindung der Faulung und Faulgasverwertung “, S. 3ff
[35] Vgl. DWA (2019/ 2020): Kläranlagen- und Kanal-Nachbarschaften im (…)
[36] Vgl. Ministerium für Umwelt (…) Nordrhein-Westfalen (2018): Energie in Abwasseranlagen, S. 215 ff.
[37] Vgl. Nowak, O. E. (2016): Verwertung organischer Reststoffe in Faulbehältern (…), S. 7

An ein solches Co-Substrat werden verschiedene Anforderungen gestellt, die es zu erfüllen hat. Eine genaue Darstellung erfolgt im Merkblatt DWA M380:

- Rechtliche Zulässigkeit des Co-Substrates zur Co-Vergärung
- Anaerob-biologische Abbaubarkeit
- Pumpfähigkeit
- Möglichkeit zur Aufbereitung
- Geringer Störstoffanteil
- Gleichbleibende Zusammensetzung
- Evtl. Hygienisierung
- Geringe Rückbelastung der Kläranlage durch das Co-Substrat[38]

Grundsätzlich ist es das Ziel, ein Co-Substrat zu wählen, welches eine hohe Methanausbeute ermöglicht und einer geringen Aufbereitung zur Faulung bedarf. Grob könnte man diese nach der Art der Aufbereitung in zwei Gruppen unterscheiden:

1. Feste Stoffe, die zerkleinert und in eine Suspension überführt werden müssen
2. Flüssige Stoffe mit geringem Aufbereitungsaufwand

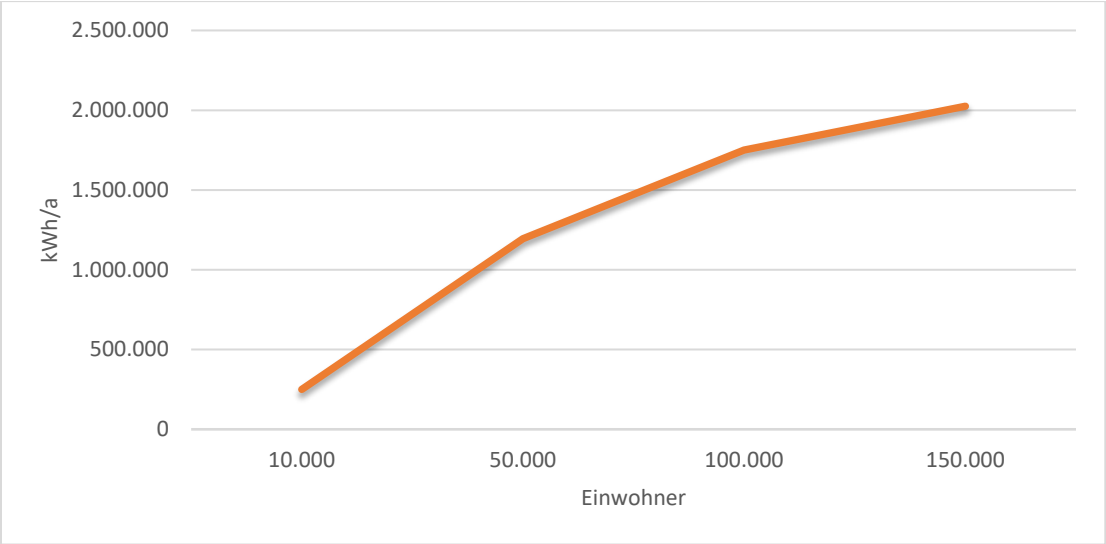
Ein Beispiel für die erste Kategorie sind die Substrate Bio- und Grüngut aus häuslicher Sammlung, welche in einem etwa ausgeglichenen Verhältnis den Inhalt der Biotonne und sonstige Grüngut-Sammlungen bilden. Laut Umweltbundesamt fallen jährlich 109 kg Bio- und Grünabfälle pro Kopf an und bilden ein enormes Nutzenpotential für eine potentielle Co-Vergärung. Allerdings haben derzeit erst rund 56% bzw. 44 Millionen Deutsche eine Biotonne in Benutzung. Dennoch werden bereits jetzt fast 9 Millionen Tonnen Bio- und Grünabfälle aus Haushalten erfasst. Ob die am Standort vorhandenen Bio- und Grüngutmengen ausreichen, um eine vollständige Deckung des Energiedefizits der KA zu erreichen, ist individuell zu überprüfen und hängt insbesondere von der Effizienz der Sammlung ab.[39] In die zweite Kategorie gehören Fette, welche im Vergleich zu den meisten anderen Substraten eine hohe Ausbeute ermöglichen. Allerdings ist eine ausschließliche Deckung des bestehenden Energiebedarfs der KA höchstwahrscheinlich nicht ausschließlich über Fette möglich, da die Verfügbarkeit auf dem Markt begrenzt ist. Aufschluss ob dies auf die eigene KA zutrifft, ist ebenfalls mittels einer Potentialanalyse zu ermitteln und davon abhängig,

[38] Vgl. LfU Bayern, B. L. (2011): Co-Vergärung auf kommunalen Kläranlagen, S. 5 ff.
[39] Vgl. Kern et al.: Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen, UBA, S. 11 ff.

wie groß das bestehende Energiedefizit der KA ist und welche Inputquellen zur Verfügung stehen.

Ausgehend von der Herleitung aus Kapitel 2.2 liegt das Energiedefizit einer anaerob stabilisierenden KA der Kategorie 4 je nach EW-Zahl abnehmend im Median zwischen 25 kWh/(E*a) und 17,5 kWh/(E*a).[40] Das absolute Energiedefizit je nach Größe der KA wird in folgender Graphik dargestellt:

Abbildung 6: Absolutes Energiedefizit im Median von KA mit anaerober Stabilisierung



Quelle: Eigene Darstellung nach Knerr et Al., (2016): „Zukunftsorientierte Einbindung der Faulung und Faulgasverwertung "

Zur Veranschaulichung wird im Folgenden anlehnend an den Berechnungen des Projektes „Erschließung neuer Wertschöpfungsketten in der Abfall- und Abwasserwirtschaft" (WerAA) eine Abschätzung der benötigten Inputmenge an aufzubereitenden Co-Substraten zur Deckung des oben erläuterten Energiedefizits aufgezeigt.[41] Als erste Option werden die Inhalte der Biotonne und sonstigen Grüngut-Sammlungen als Inputmaterial gewählt, welche einer verhältnismäßig aufwendigen Aufbereitung bedürfen. Für das zweite Beispiel werden Fette verwendet. Für die Berechnungen wurde Rückgriff auf das DWA Merkblatt 380 gezogen und folgende Werte angenommen:

[40] Vgl. Knerr et al., (2016): „Zukunftsorientierte Einbindung der Faulung und Faulgasverwertung ", S. 27
[41] Vgl. IfaS (2019): Erschließung neuer Wertschöpfungsketten in der Abfall-/ Abwasserwirtschaft, S. 28

Abbildung 7: Annahme Substrateigenschaften

	Biogut	Grüngut	Fette
Trockensubstanz (%)	50%	12%	84%
organ. Trockensubstanz (%)	50%	90%	65%
Methanausbeute (m^3/kg oTS)	35%	35%	65%
Biotonne & so. Sammlung	49%	50%	n.a
Störstoffanteil	5%		0%

Quelle: Eigene Darstellung nach DWA Merkblatt 380 und Gruber (2013): Sachbilanz von (…) biogene Abfallfraktionen, S. 31 ff.

Unter Berücksichtigung, dass durch den Prozess der Co-Vergärung der Gesamtenergiebedarf der Anlage in Abhängigkeit von der Inputmenge ansteigt, ergeben sich zur vollständigen Energieautarkie die in der Tabelle angegebene Mengen an Substrat für die jeweilige Option (Vgl. Abb. 8).[42]

Abbildung 8: Substratmengen zum Erreichen einer energieautarken KA

Einwohner	Biotonne t/a	Fette t/a
10.000	1.412,28	178,26
15.000	2.118,42	267,39
20.000	2.824,55	356,52
25.000	3.375,34	426,04
30.000	4.050,41	511,24
35.000	4.725,48	596,45
40.000	5.400,55	681,66
45.000	6.075,62	766,87
50.000	6.750,68	852,07
55.000	5.437,27	686,29
60.000	5.931,56	748,68
65.000	6.425,86	811,08
70.000	6.920,16	873,47
75.000	7.414,45	935,86
80.000	7.908,75	998,25
85.000	8.403,05	1.060,64
90.000	8.897,35	1.123,03
95.000	9.391,64	1.185,42
100.000	9.885,94	1.247,81

Quelle: Eigene Darstellung nach ZEBRAS und WerAA

Zur genauen Mengendefinition an benötigtem Inputmaterial muss für jeden Standort allerdings eine Potentialanalyse erfolgen und die vorhandenen Mengen an Substraten

[42] Vgl. IfaS (2019): Erschließung neuer Wertschöpfungsketten in der Abfall-/ Abwasserwirtschaft, S. 29

erfasst werden. Anschließend kann evaluiert werden, inwiefern diese ausreichen, um den Energiebedarf der Anlage zu decken und welche Substratkombinationen möglich sind. Würde das theoretische Potential von 109 kg Bio- und Grüngut pro Kopf vollständig erfasst werden, würde dies ausreichen um in dem beschriebenen Zahlenbeispiel den Bedarf an Co-Substrat zwischen 75 und 100% zu decken. Gegebenenfalls könnte anschließend durch die Nutzung von PV-Anlagen ein weiterhin bestehendes Energiedefizit geschlossen werden.

2.4 Zusatz EE: PV-Anlagen

Eine weitere Option zur Energieerzeugung auf Kläranlagen bieten ebenfalls Photovoltaikanlagen. Allgemein gibt es die Möglichkeit, die PV-Anlagen auf vorhandenen Dachflächen, in die Gebäudehülle, auf die Beckenabdeckungen oder auf verfügbaren Freiflächen zu installieren.[43] Bei letzterem können die Anlagen entweder durch eine Unterkonstruktion in Reihen hintereinander platziert oder auf Nachführanlagen implementiert werden.[44] Zu beachten ist, dass dabei keine Flächen belegt werden, welche im späteren Verlauf für eine abwassertechnische Verfahrensstufe eingesetzt werden könnten oder im temporären Schatten von Objekten stehen.[45]

Die Planung der PV-Anlagen erfolgt in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Fläche und dem benötigten Energiebedarf der KA. Dieser Bedarf ermittelt sich aus dem in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Strombedarf und der Eigenversorgung durch die Verstromung von Klär- bzw. Biogas. Der Ertrag der PV-Anlagen hängt von den eingesetzten Modulen und deren Wirkungsgrad und der Sonneneinstrahlung am Standort ab.[46]

Bei der Planung muss mit einberechnet werden, dass eine Photovoltaikanlage nicht kontinuierlich die gleichen Mengen an Strom produziert, sondern Spitzenlasten hat. Diese werden von den Tageszeiten und den Jahreszeiten beeinflusst. Da bei KA im

[43] Vgl. Ministerium für Umwelt (…) Nordrhein-Westfalen (2018): Energie in Abwasseranlagen, S. 221 ff.
[44] Vgl. Ebenda, S. 222 ff.
[45] Vgl. Ebenda, S. 222 ff.
[46] Vgl. Ebenda, S. 222 ff

Normalfall der Strombedarf tagsüber höher ist als nachts, erleichtert dies eine Eigenstromverwendung.[47]

[47] Vgl. Ministerium für Umwelt (…) Nordrhein-Westfalen (2018): Energie in Abwasseranlagen, S. 222 ff.

3 Finanzierung und Kostenrechnung

Wie bereits im Grundlagen-Kapitel hergeleitet, ergeben sich sowohl durch eine Verfahrensumstellung von aerober zu anaerober Schlammstabilisierung als auch durch die Implementierung einer Co-Vergärung ein Investitionsbedarf, welcher durch Kosteneinsparungen bzw. Eigenstromerzeugung langfristig refinanziert werden soll. Für die Gesamtbewertung wird ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren gewählt. Es wird angenommen, dass für das BHKW eine Reinvestition jeweils nach 12,5 Jahren und für die sonstige Ausrüstung/ Technik nach 25 Jahren nötig ist.[48]

Abbildung 9: Reinvestitionen während Betrachtungszeitraum

Objekt	Jahre (n)
Bauwerke; Verkehrsflächen usw.	50
Ausrüstung/ Technik	25
BHKW, Maschinelle Voreindickung	12,5

Quelle: Eigene Darstellung

3.1 Kosten-Erlösrechnung Verfahrensumstellung

3.1.1 Investitionsvolumen

Bei der Verfahrensumstellung bilden das VKB und der Faulturm den größten Faktor des Investitionsvolumens. Dieses setzt sich dabei aus den Ausgaben für die Errichtung des baulichen Teils sowie für die notwendige Ausrüstung zusammen. Bei der Kalkulation wird die Ausführung des VKB als Rundbecken mit trichterförmiger Beckensohle vorausgesetzt. Kostenparameter wurden anhand von Pauschalwerten und Erfahrungswerten angenommen. Ggf. müssen bei eigener Kostenermittlung diese erneut angepasst werden.[49] Für die Errichtung des Faulturms gibt es verschiedene Faulbehältertypen, wie beispielsweise Stahlbetonbehälter in Leichtbauweise, Zylindrische Stahlbehälter, Faultürme mit integriertem Gasspeicher, Hochlastfaulung mit Mikrofiltration oder Kompaktfaulbehälter.[50] Je nach Faulbehältertyp unterscheidet sich das Investitionsvolumen. Laut dem Ingenieurbüro Dr.-Ing. Dieter Schreff war im Jahr 2010 mit Investitionsausgaben für einen „klassischen“ Faulbehälter von 800 bis1.000 €/m³ zur rechnen. Zur weiteren Kalkulation wird ausgehend von einer

[48] Vgl. Gretzschel et al. (2011): Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen (…), Modul 2, S. 49
[49] Vgl. Ebenda, S. 50
[50] Vgl. Ebenda, S. 51 ff.

zeitlich bedingten Preissteigerung eine Preiserhöhung von 30 % angesetzt und mit 1300 €/m³ kalkuliert.[51] Zu beachten ist, dass diese Dimensionierung und Kostenrechnung sich zunächst ausschließlich auf eine Verfahrensumstellung ohne Co-Vergärung beziehen. Die hierfür notwendigen Mehrausgaben werden in Kapitel 3.2 aufgeführt.

Die weiteren Investitionskomponenten setzen sich aus Pumpen und Aggregaten, dem Technikgebäude, Rohrleitungen, BHKW und Gasspeicher/ -fackel sowie sonstigen Anlagen und Flächen zusammen.[52] In Abbildung 10 erfolgt eine Gesamtübersicht des Investitionsvolumen für eine Verfahrensumstellung je nach EW-Zahl. Zu erkennen ist, dass die absolute Summe mit steigender EW-Zahl zwar ansteigt, die relative Investition pro Kopf jedoch immer weiter abnimmt.

Abbildung 10: Gesamtinvestitionen für die Verfahrensumstellung

Einwohner [E]	VKB	Faulturm	BHKW+ Gasspeicher / fackel	Rohrleitungen	Gebäude	Pumpen + Aggregate	Summe	Spez. Kosten [€/E]
10.000	176.115 €	200.573 €	265.000 €	150.000 €	172.500 €	200.500 €	1.164.689 €	116,47 €
15.000	211.767 €	300.860 €	315.000 €	160.000 €	167.500 €	224.500 €	1.379.627 €	91,98 €
20.000	254.116 €	401.140 €	344.500 €	170.000 €	210.000 €	241.000 €	1.620.756 €	81,04 €
25.000	265.672 €	501.427 €	359.500 €	180.000 €	215.000 €	264.500 €	1.786.099 €	71,44 €
30.000	295.438 €	601.713 €	370.000 €	190.000 €	220.000 €	286.000 €	1.963.152 €	65,44 €
35.000	323.345 €	631.800 €	400.000 €	200.000 €	225.000 €	304.500 €	2.084.645 €	59,56 €
40.000	333.308 €	722.058 €	409.500 €	210.000 €	257.500 €	314.000 €	2.246.366 €	56,16 €
45.000	350.765 €	767.187 €	427.000 €	220.000 €	262.500 €	332.000 €	2.359.453 €	52,43 €
50.000	358.501 €	802.288 €	437.500 €	240.000 €	292.500 €	337.500 €	2.468.289 €	49,37 €
55.000	366.409 €	838.994 €	458.000 €	250.000 €	300.000 €	355.500 €	2.568.904 €	46,71 €
60.000	374.495 €	877.380 €	465.500 €	260.000 €	325.000 €	363.500 €	2.665.876 €	44,43 €
65.000	382.762 €	917.523 €	486.000 €	270.000 €	330.000 €	381.500 €	2.767.785 €	42,58 €
70.000	391.215 €	959.502 €	493.500 €	280.000 €	357.500 €	399.500 €	2.881.217 €	41,16 €
75.000	399.857 €	1.003.401 €	514.000 €	290.000 €	362.500 €	407.500 €	2.977.258 €	39,70 €
80.000	408.694 €	1.049.309 €	521.500 €	300.000 €	387.500 €	425.500 €	3.092.503 €	38,66 €
85.000	417.729 €	1.097.317 €	542.000 €	310.000 €	395.000 €	433.500 €	3.195.546 €	37,59 €
90.000	426.966 €	1.147.522 €	549.500 €	320.000 €	420.000 €	451.500 €	3.315.488 €	36,84 €
95.000	436.411 €	1.200.024 €	570.000 €	330.000 €	425.000 €	459.500 €	3.420.936 €	36,01 €
100.000	446.069 €	1.254.928 €	577.500 €	340.000 €	452.500 €	477.500 €	3.548.497 €	35,48 €

Quelle: Eigene Darstellung nach: Gretzschel et al. (2011): Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen

3.1.2 Betriebskosteneinsparungen

Ein Ziel bei der anaeroben Schlammstabilisierung ist die Erzeugung von Faulgas und eine anschließende Verstromung dessen, was zu einer Eigenstromversorgung führt und somit den kostenpflichtigen Fremdbezug verringert. Die Vergütung über den KWK Bonus wird auf 4 ct/kWh für Anlagen bis 50 $kW_{el.}$ Leistung und mit 3 ct/kWh für größere

[51] Vgl. Schreff (2010): (…) Einsatz der anaeroben Schlammstabilisierung in Kläranlagen
[52] Vgl. Gretzschel et al. (2011): Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen (…), Modul 2, S. 54

Anlagen nach aktuellem Stand kalkuliert.[53] Zudem ergeben sich durch die Verfahrensumstellung Energieeinsparungen und die Menge an zu entsorgendem Klärschlamm verringert sich durch den Prozess der Faulung, was ebenfalls zu Kosteneinsparungen führt.[54]

Dem gegenüber stehen erhöhte Personalkosten durch einen erhöhten Arbeitszeitbedarf und ein gestiegener Instandhaltungsaufwand. Der zusätzliche Personalbedarf wird mit 5 bis 12 h/Woche und einem Stundensatz von 29 € berechnet. Die Mehrkosten für die Instandhaltung beruhen auf einem Pauschalansatz von 0,5 %/a der Investitionskosten für die Ausrüstung und 0,25 %/a für den baulichen Teil. Die ermittelten Kostenvorteile für eine KA der Kategorie 4 werden in Abbildung 11 dargestellt.[55]

Abbildung 11: Zusammenstellung Betriebskosten und Erlöse durch Verfahrensumstellung

Ausbaugröße	Kostenvorteile aus Eigenstrom-erzeugung	niedrigerem Stromverbr.	niedrigeren Entsorgungsk.	Zwischensumme	abzgl. Höherer Personal-kosten	abzgl. Instandhal-tungskosten	Kostenvorteile	
	[€/a]	[€/a]	[€/a]	[€/a]	[€/a]	[€/a]	[€/a]	[€/E/a]
10.000	28.057 €	9.053 €	26.561 €	63.671 €	- 12.064 €	- 2.629 €	48.978 €	4,90 €
15.000	42.132 €	19.200 €	39.841 €	101.173 €	- 15.080 €	- 3.134 €	82.960 €	5,53 €
20.000	56.176 €	25.600 €	49.473 €	131.249 €	- 15.080 €	- 3.624 €	112.545 €	5,63 €
25.000	67.110 €	30.118 €	61.841 €	159.069 €	- 18.096 €	- 3.949 €	137.024 €	5,48 €
30.000	89.523 €	36.142 €	74.209 €	199.873 €	- 18.096 €	- 4.270 €	177.507 €	5,92 €
35.000	105.106 €	42.165 €	86.577 €	233.848 €	- 21.112 €	- 4.588 €	208.148 €	5,95 €
40.000	125.126 €	48.189 €	91.645 €	264.960 €	- 21.112 €	- 4.859 €	238.989 €	5,97 €
45.000	145.702 €	54.212 €	103.100 €	303.014 €	- 24.128 €	- 5.108 €	273.778 €	6,08 €
50.000	161.891 €	60.236 €	114.556 €	336.682 €	- 24.128 €	- 5.315 €	307.239 €	6,14 €
55.000	178.080 €	66.260 €	123.592 €	367.931 €	- 27.144 €	- 5.545 €	335.242 €	6,10 €
60.000	194.269 €	72.283 €	142.707 €	409.259 €	- 27.144 €	- 5.713 €	376.402 €	6,27 €
65.000	210.458 €	78.307 €	161.457 €	450.221 €	- 30.160 €	- 5.948 €	414.113 €	6,37 €
70.000	226.647 €	84.330 €	179.825 €	490.802 €	- 30.160 €	- 6.172 €	454.471 €	6,49 €
75.000	242.836 €	90.354 €	197.793 €	530.983 €	- 33.176 €	- 6.363 €	491.444 €	6,55 €
80.000	259.025 €	96.377 €	215.344 €	570.747 €	- 33.176 €	- 6.593 €	530.978 €	6,64 €
85.000	275.214 €	102.401 €	232.458 €	610.074 €	- 36.192 €	- 6.791 €	567.090 €	6,67 €
90.000	291.403 €	108.425 €	249.116 €	648.943 €	- 36.192 €	- 7.028 €	605.723 €	6,73 €
95.000	307.592 €	114.448 €	265.295 €	687.336 €	- 39.208 €	- 7.233 €	640.894 €	6,75 €
100.000	323.781 €	120.472 €	280.975 €	725.228 €	- 39.208 €	- 7.478 €	678.542 €	6,79 €

Quelle: Eigene Darstellung nach: Gretzschel et al. (2011): Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen

Insgesamt ist festzustellen, dass nach den Berechnungen bereits ab 10.000 EW eine Verfahrensumstellung zu jährlichen Betriebskosteneinsparungen führt und die verfahrenstechnischen Mehrkosten gedeckt werden.

[53] Vgl. bafa (2020): KWK-Anlagen über 50 $kW_{el.}$ bis 2 $MW_{el.}$
[54] Vgl. Ebenda, S. 57
[55] Vgl. Gretzschel et al. (2011): Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen (…), Modul 2, S. 57

3.1.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Verfahrensumstellung

Bei der Gesamtbewertung wird ein Zeitraum von 50 Jahren betrachtet und von Reinvestitionen nach jeweils 12,5 bzw. 25 Jahren ausgegangen. Da es sich somit um Projekte mit sehr langem Planungshorizont handelt, verbietet sich eine Ausrichtung nach den aktuellen Gegebenheiten des Kapitalmarktes. Zur allgemeinen Beurteilung von technischen Infrastrukturmaßnahmen wurden durch umfangreiche wirtschaftswissenschaftliche Untersuchungen im Rahmen der periodischen Fortschreibung der Bundesverkehrswegeplanung und durch Abstimmung zwischen Bund und Ländern ein Zinssatz von 3 % p.a. als Aktualisierungsrate festgelegt. Laut der Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen der DWA gilt dieser auch als empfohlener Standardwert zur Planung von wasserwirtschaftliche Projekten. Zur Sensitivitätsprüfung wird eine Bandbreite zwischen 2 % bis 5 % p.a. empfohlen.[56]

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter Annahme gleichbleibender Kostenparameter ergibt somit je nach Szenario mit einem Kalkulationszinssatz von 1 % bis 5 % eine Wirtschaftlichkeit der Verfahrensumstellung zwischen 10.000 und 20.000 EW (Vgl. Abb. 12). Im Anhang erfolgt eine Auflistung der Erlöse je nach Szenario sowie eine Darstellung der Entwicklung des Projektkostenbarwertes bei 3% Kapitalkosten.

Abbildung 12 : Verfahrensumstellung: Wirtschaftlichkeitsgrenzen in Abh. des Kalkulationszinssatzes

Zinssatz	1%	2%	3%	4%	5%
Wirtschaftlichkeitsgrenze (EW)	≈10.000	≈11.000	≈13.000	≈15.000	≈19.000

Quelle: Eigene Darstellung

In Kapitel 4 wird die Wirtschaftlichkeit der Verfahrensumstellung erneut unter Beachtung der Fördermöglichkeiten der Kommunalrichtlinie geprüft, wodurch sich die Wirtschaftlichkeitsgrenze (orientiert an den EW) verschiebt. Auch kann sich durch die Veränderung von einzelnen Kostenparametern oder des Strompreises das Ergebnis der Berechnungen ebenfalls verändern.[57]

Durch den Einbezug von Co-Vergärung könnte eine KA mit anaerober Schlammstabilisierung seine Eigenstromerzeugung weiterhin erhöhen. Die

[56] Vgl. DWA (2012) : Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen, S. 29- 30
[57] Vgl. Gretzschel et al. (2011): Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen (…), Modul 2, S. 30

Mehrkosten und Erlöse durch eine Co-Vergärung werden im folgenden Kapitel aus ökonomischer Sicht analysiert.

3.2 Mehrkosten Co-Vergärung

Wie bereits in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben, werden für eine Co-Vergärung je nach Substrat unterschiedliche Prozesse für die Aufbereitung benötigt. Daher variieren ebenfalls die Investitionen in die Aufbereitungstechnologie.[58] Zudem verändert sich durch die Zugabe des Co-Substrates die Dimensionierung des Faulturmvolumens durch den zusätzlichen Zulauf und die Größe des BHKW durch eine erhöhte Gasausbeute bei gleichbleibender Betriebszeit. Ausgegangen wird bei der Planung von einer Faulzeit von 15 bis 20 Tagen.

3.2.1 Mehrkosten feste Co-Substrate: Beispiel Biotonne

Für die Berechnung der Mehrkosten des Faulturms wird Bezug auf das Rechenbeispiel der Biotonne aus Kapitel 2.3 genommen. Es wird bei der Kalkulierung des Zusatzvolumens von einer Dichte des Bioabfalls von 0,25 ausgegangen.[59] Zu beachten ist, dass es sich bei dem aufgeführten Beispiel um ein theoretisches Potential handelt, sobald das Co-Substrat mehr als 50% des Gesamtinputs des Fermenters ausmacht, ist zu prüfen, welche rechtlichen Rahmenbedingungen zu beachten sind. Auch ein erhöhter Zulauf durch den Einsatz von Prozesswasser bei der Substrataufbereitung muss bei der Bestimmung des Volumens beachtet werden. Hieraus ergeben sich in diesem Fall folgende Zusatzinvestitionen:

[58] Vgl. IfaS (2019): Erschließung neuer Wertschöpfungsketten in der Abfall-/ Abwasserwirtschaft, S. 36
[59] Vgl. statistik-bw (2020): Umrechnungsfaktoren

Abbildung 13: Mehrkosten Faulturm bei Co-Vergärung

Einwohner EW	Bedarf Substrat t/a	Zulauf [m³/d]	Zusatzvolumen [m³]	Anteil am Gesamtvolumen %	Zusatzinvestition
10.000	1.434	18,1	361	69%	475.427 €
15.000	2.151	27,1	542	70%	700.140 €
20.000	2.868	36,1	723	70%	937.860 €
25.000	3.427	43,2	864	69%	1.123.573 €
30.000	4.112	51,8	933	67%	1.218.287 €
35.000	4.798	60,5	1.088	69%	1.409.200 €
40.000	5.483	69,1	1.175	68%	1.526.942 €
45.000	6.168	77,7	1.244	68%	1.611.813 €
50.000	6.854	86,4	1.296	68%	1.680.712 €
55.000	5.520	69,6	1.044	62%	1.358.006 €
60.000	6.022	75,9	1.138	63%	1.475.620 €
65.000	6.524	82,2	1.233	64%	1.604.477 €
70.000	7.026	88,5	1.328	64%	1.731.498 €
75.000	7.528	94,9	1.423	65%	1.843.599 €
80.000	8.029	101,2	1.518	65%	1.979.691 €
85.000	8.531	107,5	1.613	66%	2.100.683 €
90.000	9.033	113,8	1.708	66%	2.219.478 €
95.000	9.535	120,2	1.802	66%	2.348.976 €
100.000	10.037	126,5	1.897	66%	2.463.072 €

Quelle: Eigene Darstellung nach IfaS (2019): Erschließung neuer Wertschöpfungsketten in der Abfall-/ Abwasserwirtschaft

Für die Aufbereitung von festen Substraten wie Grün- bzw. Bioabfällen sind Technologien wie Stofflöser, Pressen und Zerkleinerer notwendig, um eine homogenisierte Lösung zu erzeugen, welche dem Faulturm zugeführt werden kann. Ziel ist dabei eine möglichst hohe Anlagenauslastung zu erreichen, um die spezifischen Kosten pro aufbereiteter Tonne Co-Substrat niedrig zu halten.

Im Weiteren wird sich auf die Marktanalyse des Projektes WerAA berufen. Diese ergab, dass das kosteneffizienteste Modell eine Komplettanlage mit einem Investitionsvolumen von etwa 175.000 € und einer maximalen Durchsatzleistung von 12.480 t/a Substrat ist. Diese Kapazitätsgrenze würde nach den Berechnungen aus Kapitel 2.3 ausreichen, um die benötigte Menge an Bio- und Grüngut vollständig zu verarbeiten. Auch bei einer deutlich geringeren Auslastung von 1.000t/a wäre diese Version am kosteneffizientesten im Vergleich zu den untersuchten Marktalternativen. Daher wird unabhängig von der Inputmenge an Substrat von der gleichen

Investitionssumme ausgegangen.[60] Sollte das eingesetzte Substrat eine Länge von 200 mm überschreiten, würden weitere Komponenten für die Annahme- und Förderstruktur notwendig sein, was die Investition erhöhen würde. Darüber hinaus fallen durch einen erhöhten Gasertrag höhere Ausgaben für die Investition in das BHKW an. In folgender Tabelle werden die zusätzlichen Ausgaben für eine Co-Vergärung mit Inhalten der Biotonne als Co-Substrat dargestellt.

Abbildung 14: Zusatzinvestition für die Implementierung einer Co-Vergärung (Biotonne)

Ausbaugröße	Faulturm	Aufbereitungs -anlage	BHKW	Summe	Spezifische Kosten [€/E]
10.000	475.427 €	175.000 €	67.000 €	717.427 €	71,74 €
15.000	700.140 €	175.000 €	60.000 €	935.140 €	62,34 €
20.000	937.860 €	175.000 €	50.000 €	1.162.860 €	58,14 €
25.000	1.123.573 €	175.000 €	43.000 €	1.341.573 €	53,66 €
30.000	1.218.287 €	175.000 €	66.000 €	1.459.287 €	48,64 €
35.000	1.409.200 €	175.000 €	54.000 €	1.638.200 €	46,81 €
40.000	1.526.942 €	175.000 €	65.000 €	1.766.942 €	44,17 €
45.000	1.611.813 €	175.000 €	68.000 €	1.854.813 €	41,22 €
50.000	1.680.712 €	175.000 €	78.000 €	1.933.712 €	38,67 €
55.000	1.358.006 €	175.000 €	65.000 €	1.598.006 €	29,05 €
60.000	1.475.620 €	175.000 €	65.000 €	1.715.620 €	28,59 €
65.000	1.604.477 €	175.000 €	65.000 €	1.844.477 €	28,38 €
70.000	1.731.498 €	175.000 €	65.000 €	1.971.498 €	28,16 €
75.000	1.843.599 €	175.000 €	78.000 €	2.096.599 €	27,95 €
80.000	1.979.691 €	175.000 €	91.000 €	2.245.691 €	28,07 €
85.000	2.100.683 €	175.000 €	65.000 €	2.340.683 €	27,54 €
90.000	2.219.478 €	175.000 €	88.000 €	2.482.478 €	27,58 €
95.000	2.348.976 €	175.000 €	65.000 €	2.588.976 €	27,25 €
100.000	2.463.072 €	175.000 €	95.000 €	2.733.072 €	27,33 €

Quelle: IfaS (2019): Erschließung neuer Wertschöpfungsketten in der Abfall-/ Abwasserwirtschaft

Durch die Co-Vergärung und die Aufbereitung der Co-Substrate entstehen ein zusätzlicher Wartungsaufwand sowie Personal- und Energiekosten. Diese werden auf Basis der Herstellerangaben angenommen und sind abhängig von der jährlichen Durchsatzmenge an Substrat. Es wird von einem Wartungsaufwand von 0,5 €/t Durchsatz und einem zusätzlichen Energieaufwand von 86 kWh/t mit Stromkosten von 0,19 €/kWh ausgegangen. Der zusätzliche Energieaufwand beinhaltet sowohl die Aufbereitung des Co-Substrates als auch die anschließende

[60] Vgl. IfaS (2019): Erschließung neuer Wertschöpfungsketten in der Abfall-/ Abwasserwirtschaft, S. 53

Schlammentwässerung.[61] Der angenommene Stundensatz wurde auf 29 € angelegt und ist ebenfalls abhängig vom Auslastungsgrad der Maschine. Durch den Einsatz von Bio- und Grüngut erhöht sich ebenfalls die Menge der zu entsorgenden Gärreste und es entstehen Entsorgungskosten (Verwertung und Transport) für die abgesonderten Siebreste bzw. Störstoffe aus der mechanischen Vorbehandlung (Vgl. Kapitel 2.3). Dem gegenüber stehen die Einsparungen durch die Vermeidung des Bezuges von Fremdstrom sowie die Einnahmen durch die Annahme/ Verwertung von Bio- und Grüngut, wodurch sich wiederrum ein positives Nettoergebnis ergibt. Der Annahmepreis beinhaltet ausschließlich die Behandlungs- und nicht die Transportkosten. Deren Höhe hängt von den Angebotspreisen alternativer Verwertungswege ab und kann regional sehr unterschiedlich ausfallen. Für die Berechnungen der Biotonne wurde ein Wert von 60 €/t angesetzt, was dem Minimalwert möglicher Marktalternativen entspricht.[62]

Abbildung 15: Beispiel Biotonne: Erlöse und Mehrkosten durch Co-Vergärung

Einwohner	Absolutes Defizit	Einsparungen €/t	Einnahmen Verwertung	Wartungsaufwand €/t	Personalkosten €/h	Schlammentsorgung €/t	Verwertung Störstoffe €/t	Transport Störstoffe €/km	Energiekosten kWh/t	Nettoergebnis	Spezifisch
EW	kWh/a	0,19 €	60,00 €	0,5 €	29,0 €	50,00 €	80,00 €	2,00 €	86	Option 1	[€/E]
10.000	250.000	47.500 €	86.029 €	- 717 €	- 7.796 €	- 32.978 €	- 5.735 €	- 2.400 €	- 23.429 €	60.474 €	6,05 €
15.000	375.000	71.250 €	129.043 €	- 1.075 €	- 11.695 €	- 49.467 €	- 8.603 €	- 3.600 €	- 35.143 €	90.711 €	6,05 €
20.000	500.000	95.000 €	172.058 €	- 1.434 €	- 15.593 €	- 65.955 €	- 11.471 €	- 4.800 €	- 46.857 €	120.948 €	6,05 €
25.000	597.500	113.525 €	205.609 €	- 1.713 €	- 18.633 €	- 78.817 €	- 13.707 €	- 5.800 €	- 55.994 €	144.469 €	5,78 €
30.000	717.000	136.230 €	246.731 €	- 2.056 €	- 22.360 €	- 94.580 €	- 16.449 €	- 6.800 €	- 67.193 €	173.523 €	5,78 €
35.000	836.500	158.935 €	287.853 €	- 2.399 €	- 26.087 €	- 110.344 €	- 19.190 €	- 8.000 €	- 78.392 €	202.377 €	5,78 €
40.000	956.000	181.640 €	328.974 €	- 2.741 €	- 29.813 €	- 126.107 €	- 21.932 €	- 9.200 €	- 89.591 €	231.230 €	5,78 €
45.000	1.075.500	204.345 €	370.096 €	- 3.084 €	- 33.540 €	- 141.870 €	- 24.673 €	- 10.200 €	- 100.790 €	260.284 €	5,78 €
50.000	1.195.000	227.050 €	411.218 €	- 3.427 €	- 37.267 €	- 157.634 €	- 27.415 €	- 11.400 €	- 111.988 €	289.138 €	5,78 €
55.000	962.500	182.875 €	331.211 €	- 2.760 €	- 30.016 €	- 126.964 €	- 22.081 €	- 9.200 €	- 90.200 €	232.865 €	4,23 €
60.000	1.050.000	199.500 €	361.321 €	- 3.011 €	- 32.745 €	- 138.506 €	- 24.088 €	- 10.000 €	- 98.400 €	254.071 €	4,23 €
65.000	1.137.500	216.125 €	391.431 €	- 3.262 €	- 35.473 €	- 150.049 €	- 26.095 €	- 10.800 €	- 106.600 €	275.277 €	4,24 €
70.000	1.225.000	232.750 €	421.542 €	- 3.513 €	- 38.202 €	- 161.591 €	- 28.103 €	- 11.800 €	- 114.800 €	296.283 €	4,23 €
75.000	1.312.500	249.375 €	451.652 €	- 3.764 €	- 40.931 €	- 173.133 €	- 30.110 €	- 12.600 €	- 123.000 €	317.489 €	4,23 €
80.000	1.400.000	266.000 €	481.762 €	- 4.015 €	- 43.660 €	- 184.675 €	- 32.117 €	- 13.400 €	- 131.200 €	338.695 €	4,23 €
85.000	1.487.500	282.625 €	511.872 €	- 4.266 €	- 46.388 €	- 196.218 €	- 34.125 €	- 14.200 €	- 139.400 €	359.901 €	4,23 €
90.000	1.575.000	299.250 €	541.982 €	- 4.517 €	- 49.117 €	- 207.760 €	- 36.132 €	- 15.000 €	- 147.600 €	381.107 €	4,23 €
95.000	1.662.500	315.875 €	572.092 €	- 4.767 €	- 51.846 €	- 219.302 €	- 38.139 €	- 15.800 €	- 155.800 €	402.313 €	4,23 €
100.000	1.750.000	332.500 €	602.202 €	- 5.018 €	- 54.575 €	- 230.844 €	- 40.147 €	- 16.800 €	- 164.000 €	423.319 €	4,23 €

Quelle: Eigene Darstellung nach IfaS (2019): Erschließung neuer Wertschöpfungsketten in der Abfall-/ Abwasserwirtschaft

Die Berechnungen zeigen, dass die Erlöse die zusätzlichen Betriebskosten einer Co-Vergärung mit Inhalten der Biotonne bei KA der Kategorie 4 decken.

3.2.2 Mehrkosten flüssige Substrate: Beispiel Fette

Bei der Verwendung von Fetten als Co-Substrat wird analog zu den Berechnungen im vorherigen Kapitel das zusätzliche Volumen für den Faulturm berechnet. Die benötigte

[61] Vgl. DWA-M 366 (2013): Maschinelle Schlammentwässerung, S. 36 ff.
[62] Vgl. IfaS (2019): Erschließung neuer Wertschöpfungsketten in der Abfall-/ Abwasserwirtschaft

Menge an Fetten zur vollständigen Deckung des Energiedefizites einer KA wurde ebenfalls in Kapitel 2.3 hergeleitet.

Flüssige Fette benötigen eine vergleichsweise geringe Aufbereitungstechnik, da sie nicht aufwendig in eine Emulsion überführt werden müssen. In diesem Fall ist eine Fettannahmestation notwendig. Zusätzlich wird ebenfalls aufgrund eines gestiegenen Gasanfalls ein größeres BHKW benötigt. Die anfallenden Investitionen werden in anschließender Tabelle dargestellt:

Abbildung 16: Zusatzinvestition für die Implementierung einer Co-Vergärung (Fette)

Ausbaugröße	Faulturm	Fettannahme	BHKW	Summe	Spezifische Kosten [€/E]
10.000	13.508 €	11.327 €	67.000 €	91.836 €	9,18 €
15.000	20.263 €	16.991 €	60.000 €	97.254 €	6,48 €
20.000	27.017 €	22.655 €	50.000 €	99.672 €	4,98 €
25.000	32.285 €	27.073 €	43.000 €	102.358 €	4,09 €
30.000	34.868 €	32.487 €	66.000 €	133.355 €	4,45 €
35.000	40.679 €	37.902 €	54.000 €	132.581 €	3,79 €
40.000	43.908 €	43.316 €	65.000 €	152.224 €	3,81 €
45.000	46.490 €	48.731 €	68.000 €	163.221 €	3,63 €
50.000	48.427 €	54.145 €	78.000 €	180.573 €	3,61 €
55.000	39.005 €	43.611 €	65.000 €	147.616 €	2,68 €
60.000	42.551 €	47.575 €	65.000 €	155.127 €	2,59 €
65.000	46.097 €	51.540 €	65.000 €	162.637 €	2,50 €
70.000	49.643 €	55.504 €	65.000 €	170.148 €	2,43 €
75.000	53.189 €	59.469 €	78.000 €	190.658 €	2,54 €
80.000	56.735 €	63.434 €	91.000 €	211.169 €	2,64 €
85.000	60.281 €	67.398 €	65.000 €	192.679 €	2,27 €
90.000	63.827 €	71.363 €	88.000 €	223.190 €	2,48 €
95.000	67.373 €	75.327 €	65.000 €	207.700 €	2,19 €
100.000	70.919 €	79.292 €	95.000 €	245.211 €	2,45 €

Quelle: Eigene Darstellung

Wie auch bei der Co-Vergärung von Bio- und Grüngut fallen bei der Vergärung von Fetten zusätzliche Personal- und Energiekosten an. Da die Aufbereitung von Fetten allerdings deutlich weniger aufwendig ist und lediglich eine Erhitzung auf etwa 40°C notwendig ist, fallen die Kosten verhältnismäßig geringer aus.[63] Als zusätzlicher Kostenfaktor fallen die Beschaffungskosten des Fettes an, welches im Gegensatz zu den Abfällen der Biotonne nicht frei verfügbar ist. Hier wird von Beschaffungskosten

[63] Vgl. IfaS (2016): Kläranlage Rockenhausen energetische (…) Optimierung, S. 21

von 80 €/t ausgegangen. Dem gegenüber stehen erneut die Erlöse aus der Vermeidung eines Energie-Fremdbezuges. Auch hier ergibt sich, dass die zusätzlichen Betriebskosten durch die Einsparungen an Fremdstrom gedeckt werden (Vgl. Abb. 17).

Abbildung 17: Beispiel Fette: Erlöse und Mehrkosten durch Co-Vergärung

Einwohner	Absolutes Defizit	Einsparungen	Kosten Fette	Personalkosten €/h	Energiekosten kWh/t	Nettoergebnis	Spezifisch
EW	kWh/a	0,19 €	80,00 €	29,00 €	13	Option 2	[€/E]
10.000	250.000	47.500 €	- 14.261 €	- 1.432 €	- 440 €	31.367 €	3,14 €
15.000	375.000	71.250 €	- 21.391 €	- 2.148 €	- 660 €	47.050 €	3,14 €
20.000	500.000	95.000 €	- 28.521 €	- 2.864 €	- 881 €	62.734 €	3,14 €
25.000	597.500	113.525 €	- 34.083 €	- 3.423 €	- 1.052 €	74.967 €	3,00 €
30.000	717.000	136.230 €	- 40.900 €	- 4.107 €	- 1.263 €	89.961 €	3,00 €
35.000	836.500	158.935 €	- 47.716 €	- 4.792 €	- 1.473 €	104.954 €	3,00 €
40.000	956.000	181.640 €	- 54.533 €	- 5.476 €	- 1.684 €	119.947 €	3,00 €
45.000	1.075.500	204.345 €	- 61.349 €	- 6.161 €	- 1.894 €	134.941 €	3,00 €
50.000	1.195.000	227.050 €	- 68.166 €	- 6.845 €	- 2.105 €	149.934 €	3,00 €
55.000	962.500	182.875 €	- 54.904 €	- 5.513 €	- 1.695 €	120.763 €	2,20 €
60.000	1.050.000	199.500 €	- 59.895 €	- 6.015 €	- 1.849 €	131.741 €	2,20 €
65.000	1.137.500	216.125 €	- 64.886 €	- 6.516 €	- 2.003 €	142.720 €	2,20 €
70.000	1.225.000	232.750 €	- 69.877 €	- 7.017 €	- 2.157 €	153.698 €	2,20 €
75.000	1.312.500	249.375 €	- 74.868 €	- 7.518 €	- 2.312 €	164.677 €	2,20 €
80.000	1.400.000	266.000 €	- 79.860 €	- 8.019 €	- 2.466 €	175.655 €	2,20 €
85.000	1.487.500	282.625 €	- 84.851 €	- 8.521 €	- 2.620 €	186.634 €	2,20 €
90.000	1.575.000	299.250 €	- 89.842 €	- 9.022 €	- 2.774 €	197.612 €	2,20 €
95.000	1.662.500	315.875 €	- 94.833 €	- 9.523 €	- 2.928 €	208.590 €	2,20 €
100.000	1.750.000	332.500 €	- 99.825 €	- 10.024 €	- 3.082 €	219.569 €	2,20 €

Quelle: Eigene Darstellung nach IfaS (2019): Erschließung neuer Wertschöpfungsketten in der Abfall-/Abwasserwirtschaft

3.2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Co-Vergärung

Bei der gesamtwirtschaftlichen Bewertung unter Einbezug der Kapitalkosten ist zu unterscheiden, ob eine Verfahrensumstellung bei gleichzeitiger Implementierung einer Co-Vergärung betrachtet wird, oder ob bereits eine Faulung mit freien Kapazitäten vorliegt und ausschließlich eine Co-Vergärung eingeführt wird. Bei ersterem wird deutlich, dass die Rentabilität im Vergleich zu einer ausschließlichen Verfahrensumstellung deutlich gesteigert wird und eine Wirtschaftlichkeit bereits bei vergleichsweise kleineren KA erreicht werden kann.

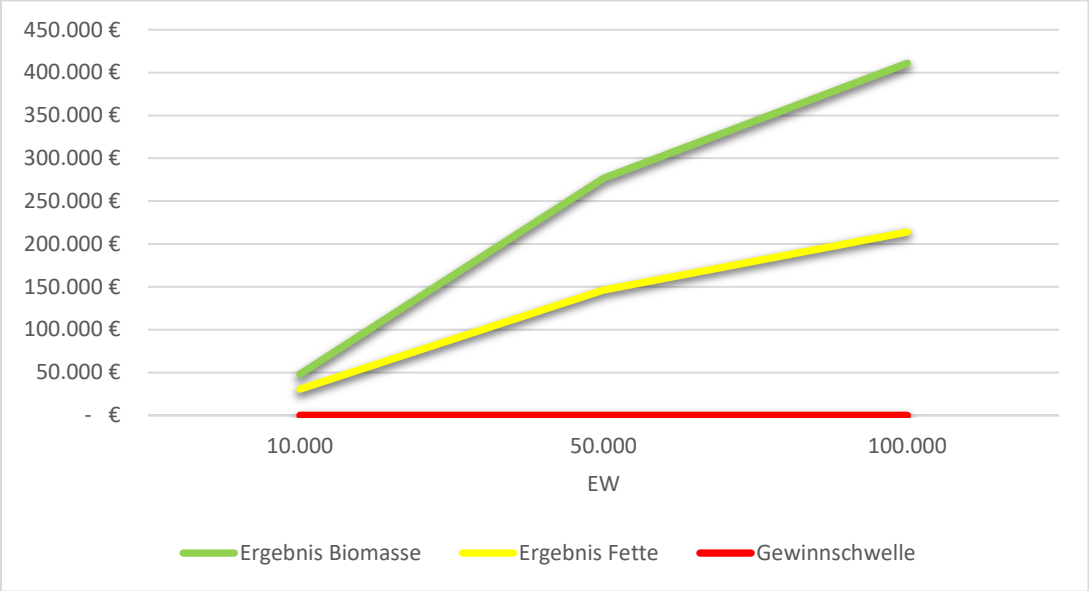
Abbildung 18: Wirtschaftliches Ergebnis Verfahrensumstellung inkl. Co-Vergärung bei 1- 3% Kapitalzins

	Biotonne			Fette		
EW	Ergebnis bei 1%	Ergebnis bei 2%	Ergebnis bei 3%	Ergebnis bei 1%	Ergebnis bei 2%	Ergebnis bei 3%
10.000	31.641 €	20.270 €	7.897 €	25.702 €	18.098 €	9.829 €
15.000	79.065 €	65.068 €	49.830 €	65.740 €	56.807 €	47.094 €
20.000	122.442 €	105.583 €	87.208 €	102.175 €	91.755 €	80.414 €
25.000	158.192 €	139.238 €	118.568 €	132.584 €	121.143 €	108.685 €
30.000	216.012 €	195.270 €	172.651 €	179.237 €	166.538 €	152.712 €
35.000	264.250 €	241.681 €	217.065 €	219.674 €	206.246 €	191.627 €
40.000	313.646 €	289.305 €	262.747 €	258.865 €	244.331 €	228.502 €
45.000	369.588 €	344.028 €	316.139 €	303.304 €	288.021 €	271.378 €
50.000	425.168 €	398.460 €	369.312 €	347.059 €	331.005 €	313.517 €
55.000	404.426 €	379.154 €	351.584 €	343.224 €	326.758 €	308.819 €
60.000	459.716 €	433.130 €	404.116 €	391.993 €	374.885 €	356.240 €
65.000	509.652 €	481.666 €	451.126 €	435.790 €	418.024 €	398.664 €
70.000	562.517 €	533.064 €	500.915 €	482.654 €	464.150 €	443.983 €
75.000	611.891 €	581.098 €	547.489 €	525.319 €	506.113 €	485.187 €
80.000	662.680 €	630.278 €	594.910 €	570.215 €	550.187 €	528.363 €
85.000	713.959 €	680.344 €	643.641 €	615.089 €	594.539 €	572.141 €
90.000	763.424 €	728.220 €	689.783 €	658.072 €	636.613 €	613.227 €
95.000	813.164 €	776.662 €	736.798 €	701.695 €	679.684 €	655.687 €
100.000	860.719 €	822.571 €	780.914 €	742.809 €	719.803 €	694.727 €

Quelle: Eigene Darstellung

Wird bei vorhandenen freien Kapazitäten im Faulbehälter zusätzlich eine Co-Vergärung implementiert, erweist sich dies bei einem Kapitalzins von 1-5 % immer als rentabel, da die Kosteneinsparungen die zusätzlichen Kapitalkosten decken (Vgl. Abb. 19).

Abbildung 19: Wirtschaftliches Ergebnis Co-Vergärung bei 5 % Kapitalzins



Quelle: Eigene Darstellung

3.3 Kostenrechnung Photovoltaikanlage

Die Investitionsausgaben für die PV-Anlage hängen in erster Linie davon ab, wie hoch die installierte Nennleistung sein muss, um ein bestehendes Energiedefizit der KA zu decken. Beim Preis pro kWp ist auch entscheidend, um welchen Anlagentyp es sich handelt. Nach Angabe des Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) liegen die Anschaffungskosten derzeit bei rund 600 bis 1400 €/kWp. Unter Annahmen von Kapitalkosten zwischen 3,8 und 4,1 % p.a. und einer Globaleinstrahlung in Deutschland von 950 bis 1300 kWh/m²a evaluierte das ISE Stromgestehungskosten zwischen 3,71 und 11,54 Ct/kWh. Den Untersuchungsrahmen der Studie bildeten dabei kleine sowie große PV-Dachanlagen und PV-Freiflächenanlagen (Vgl. Abb. 20).[64]

Abbildung 20: Stromgestehungskosten PV-Anlagen

Bezeichnung	Leistung	Stromgestehungskosten
Dachinstallierte Kleinanlagen	5 - 15 kWP	6,5 - 11,54 Ct/kWh
Dachinstallierte Großanlagen	100 - 1.000 kWp	5 - 8,5 Ct/kWh
Freiflächenanlagen	>2 MWp	3,71 - 7 Ct/kWh

Quelle: Eigene Darstellung nach Jülch et al. (2018): Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien, S. 4

Auf Basis dieser Daten lässt sich das Fazit ziehen, dass sich die Ergänzung von PV-Anlagen zur Erreichung einer energieautarken KA auch aus ökonomischen Gesichtspunkten langfristig rechnet, da die Stromgestehungskosten unterhalb der Fremdbezugskosten liegen. Zu beachten ist allerdings, dass diese Stromgestehungskosten ausschließlich die Kosten zur Stromerzeugung und nicht zur Stromspeicherung betrachten. Da der hauptsächliche Strombedarf von KA tagsüber ist, ist dennoch eine Eigenstromverwendung erleichtert. Sollten zusätzlich die unter Umständen entstehenden Stromüberschüsse genutzt werden, so ist ein Stromspeicher notwendig. Nach Angaben des ISE belaufen sich die anschließenden Stromgestehungskosten dann allerdings auf 16,34 bis 47,34 Ct/kWh und sind damit unter Umständen teurer als ein Fremdbezug.[65]

[64] Vgl. Jülch et al. (2018): Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien, S. 2 ff.
[65] Vgl. Ebenda, S. 3

4 Förderrichtlinien

Für die kommunalen Akteure gibt es die Möglichkeit auf Landes- und auf Bundesebene Fördermittel zur Umsetzung der Projekte zu erlangen. Zunächst können durch die Kommunalrichtlinie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) finanzielle Förderungen zur Implementierung von Projekten zur Senkung der Treibhausgasemissionen erhalten werden. Diese umfasst in Kapitel 2.13 ebenfalls Fördermaßnahmen für Kläranlagen. Förderfähig sind dabei Maßnahmen in den folgenden Bereichen:

- Klärschlammverwertung im Verbund
- Erneuerung der Belüftung in Abwasseranlagen
- Erneuerung von Pumpen und Motoren in Abwasseranlagen
- Neubau Vorklärung und Umstellung auf Faulung
- Verfahrenstechnik in Abwasseranlagen[66]

Voraussetzung für die meisten Förderungen ist, dass die beantragten Maßnahmen zuvor in einer durchgeführten Potentialstudie als notwendig eingestuft wurden. Darüber hinaus sind folgende Regelungen für eine mögliche Förderung zu beachten:

- Sofern beihilferechtliche Vorgaben nicht entgegenstehen, ist die Kumulierbarkeit mit Drittmitteln, Zuschussförderungen und Förderkrediten anderer Fördermittelgeber möglich
- Die Kumulierbarkeit mit anderen Bundesprogrammen ist nicht möglich.
- Der Eigenanteil muss mindestens 15 % betragen.
- Ein vorzeitiger Vorhabenbeginn ist nicht zulässig.
- Ausschreibung bzw. einer Aufforderung zur Abgabe von Angeboten dient nur der Fördermittelbeantragung. Darin muss ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass eine Zuschlagserteilung bzw. ein Vertragsabschluss nur bei Bewilligung der beantragten Zuwendung erfolgt.
- Auszahlung von Beträgen unter 25.000 € erfolgt erst nach Prüfung des Verwendungsnachweises.
- Ingenieurdienstleistungen sind nur nach LP 8 HOAI förderfähig.

[66] Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2020): Kommunalrichtlinie

- Als „finanzschwach“ gelten Kommunen, denen mittels landesrechtlichem Hilfs- oder Haushaltssicherungsprogramm oder durch die Kommunalaufsicht „Finanzschwäche“ bescheinigt wurden.[67]

Die oben genannte Potentialstudie kann ebenfalls bereits gefördert werden. Hier liegt der Satz bei max. 50 % bzw. 70 % für finanzschwache Kommunen oder einer Mindestförderung in Höhe von 10.000 €. Während der Studie erfolgt eine energetische und klimaschutzbezogene Bestandsaufnahme der Anlage und eine grobe Ableitung von Handlungsmaßnahmen. Der Bewilligungszeitraum liegt bei etwa 12 Monaten. Als gleichwertig wird eine DWA-A216 Studie angesehen, die nicht älter als zwei Jahre ist.

Da dieser Bericht sich schwerpunktmäßig mit der Verfahrensumstellung von einer aeroben zu einer anaeroben Schlammstabilisierung befasst, wird der Unterpunkt 2.13.4; Neubau Vorklärung und Umstellung auf Faulung, genauer beschrieben: Gefördert werden Ausgaben für den Neubau von VKB, Faultürmen, Schlammtransportinfrastruktur (z.B. Schlammpumpen, Leitungen) und Gaspufferspeicher und deren Errichtung. Die maximale Förderhöhe liegt bei 30 % bzw. 40 % für finanzschwache Kommunen. Bei Anträgen von finanzschwachen Kommunen, die während dem 01.08.2020 und dem 31.12.2021 gestellt werden, wird die Förderquote um 10 % erhöht. Die absolut Maximale Zuwendung beträgt 500.000 €, der Bewilligungszeitraum beträgt etwa 48 Monate.[68]

Auch hier werden wieder bestimmte Voraussetzungen definiert:

- Keine Klärschlammfaulung bei Antragsstellung vorhanden
- Vorhandensein einer aeroben Schlammstabilisierung bei Antragsstellung
- Das gewonnene Gas wird mittels KWK, Einspeisung in öffentliche Netze oder zur weiteren kommunalen Nutzung genutzt

Auch auf Landesebene gibt es Fördermöglichkeiten. Die Art der Förderung und der Zuschüsse sowie deren Voraussetzungen können in den einzelnen Richtlinien nachgelesen werden. Das BMU stellt eine Übersicht zur Kumulierbarkeit der Förderprogramme der Bundesländer mit der Kommunalrichtlinie zur Verfügung.[69]

[67] Vgl. klimaschutz (2020): Kommunalrichtlinie
[68] Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2020): Kommunalrichtlinie
[69] Vgl. klimaschutz (2020): Förderprogramme der Bundesländer kumulierbar mit der Kommunalrichtlinie

Beispielsweise kann im Land Rheinland-Pfalz ebenfalls eine Förderung durch die Förderrichtlinie der Wasserwirtschaftsverwaltung genutzt werden. Diese ermöglicht unter anderem durch einen Energiebonus einen Zuschuss von 20 % für Energieeffizienz-Maßnahmen, welche entweder zu einer mindestens 20 %-igen Reduzierung des Energiebedarfes oder zu einer Steigerung der Eigenstromerzeugung in der Abwasserbeseitigung führen.[70] Wie oben in den Berechnungen dargestellt wurde, erfüllen sowohl die Verfahrensumstellung als auch die Co-Vergärung dieses Kriterium unter den beschriebenen Bedingungen und tragen zur Erreichung einer energieautarken KA bei. Auch ist eine Förderung für die Durchführung einer Potentialanalyse nach DWA-A216 mit bis zu 5.000 € möglich. Weitere Förderungen richten sich insbesondere nach der Entgeltbelastung für die Einwohner und sind individuell zu überprüfen, ob eine Entgeltgrenze von über 170 €/EW erreicht wird. Zur Veranschaulichung der Fördermechanismen werden diese im Nachkommenden nun auf die durchgeführten Kostenkalkulationen aus Kapitel 3 übertragen.[71]

Bei der Verfahrensumstellung können sowohl die Kommunalrichtlinie als auch die Förderung auf Bundesebene genutzt werden. Hierdurch können bis zu 45 % der anfallenden Erstinvestition übernommen werden (Vgl. Abb. 21). Eine temporär erhöhte Förderquote wird bei der Kalkulation nicht beachtet, da diese nur kurzfristig zur Verfügung steht. Eine Darstellung der Förderung finanzschwacher Kommunen kann in Anhang 1 eingesehen werden.

[70] Vgl. Ministerium für Umwelt, Energie (…) und Forsten Rheinland-Pfalz (2017): Förderrichtlinien
[71] Vgl. Ebenda

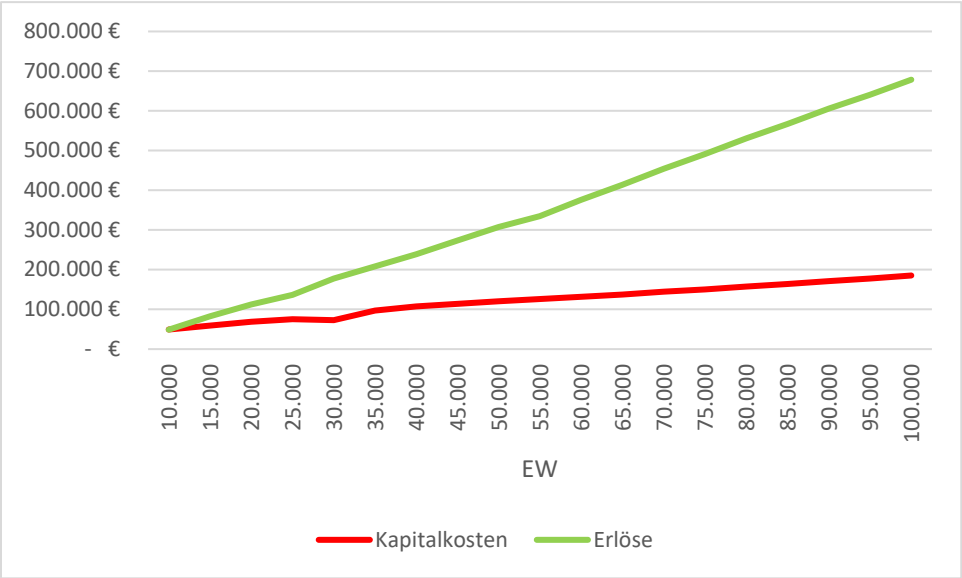
Abbildung 21: Förderung Verfahrensumstellung

	Förderung			
Einwohner [E]	Kommunal 30%	RLP 20%	Eigenanteil	Spez. Kosten [€/E]
10.000	261.657 €	232.938 €	670.094 €	67,01 €
15.000	314.138 €	275.925 €	789.563 €	52,64 €
20.000	367.127 €	324.151 €	929.478 €	46,47 €
25.000	412.230 €	357.220 €	1.016.649 €	40,67 €
30.000	500.000 €	392.630 €	1.070.521 €	35,68 €
35.000	500.000 €	416.929 €	1.167.716 €	33,36 €
40.000	500.000 €	449.273 €	1.297.093 €	32,43 €
45.000	500.000 €	471.891 €	1.387.562 €	30,83 €
50.000	500.000 €	493.658 €	1.474.631 €	29,49 €
55.000	500.000 €	513.781 €	1.555.123 €	28,27 €
60.000	500.000 €	533.175 €	1.632.701 €	27,21 €
65.000	500.000 €	553.557 €	1.714.228 €	26,37 €
70.000	500.000 €	576.243 €	1.804.973 €	25,79 €
75.000	500.000 €	595.452 €	1.881.807 €	25,09 €
80.000	500.000 €	618.501 €	1.974.002 €	24,68 €
85.000	500.000 €	639.109 €	2.056.437 €	24,19 €
90.000	500.000 €	663.098 €	2.152.391 €	23,92 €
95.000	500.000 €	684.187 €	2.236.748 €	23,54 €
100.000	500.000 €	709.699 €	2.338.798 €	23,39 €

Quelle: Eigene Darstellung

Durch den verringerten Eigenanteil bei der Erstinvestition vermindern sich auch die laufenden Kapitalkosten für das Projekt, was Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung hat. So verschiebt sich die Gewinnschwelle bei einem Kapitalzins von 3 % von zuvor etwa 13.000 EW (Vgl. Kapitel 3.2.4) auf etwa 10.000 EW (Vgl. Abb. 22).

Abbildung 22: Wirtschaftliches Ergebnis Verfahrensumstellung bei 3 % Kapitalzins und Förderung



Quelle: Eigene Darstellung

Eine Kalkulation des Eigenanteils bzw. eine Darstellung der Förderung für eine Verfahrensumstellung inklusive Co-Vergärung oder der ausschließlichen Implementierung einer Co-Vergärung bei freien Kapazitäten kann für die in Kapitel 3 dargestellten Szenarien in den Anhängen 2 bis 5 eingesehen werden. Zu beachten ist, dass bei letzterem ausschließlich eine Förderung auf Landesebene möglich ist.

5 Exkurs: Wirkung von Kläranlagen auf die Biodiversität

Dass die Wasserqualität starken Einfluss auf die Artenvielfalt im Gewässer hat, ist seit Langem bekannt. Aufgrund dessen kam es in den 70er und 80er Jahren zu einem organisierten Aufbau von Kläranlagen, damit weniger Gewässer durch organische Verunreinigungen und Giftstoffe verunreinigt werden. Neben dem direkten Eintrag von Stoffen in das Abwasser durch die an die Kanalisation angeschlossenen Gebäude, (z. B. Putzmittel, Wandfarben, etc.) spielen auch Stoffe, welche beispielsweise durch Regen ausgewaschen werden (Öle, Unkrautvernichter, Sedimente) eine entscheidende Rolle für die Belastung des Abwassers. Diese anthropogene Nutzung und Veränderung der Gewässer haben die biologische Vielfalt stark beeinflusst. Muscheln, Fische und Krebse sind durch die schlechte Wasserqualität stark bedroht worden. Dank dem Ausbau von Kläranlagen konnte die Wasserqualität kontinuierlich verbessert und somit auch die Artenvielfalt gesteigert werden. Trotzdem sind nach wie vor viele Gewässer in keinem guten ökologischen Zustand. Knapp 90 % aller Gewässer weisen Degradationserscheinungen auf. Die reduzierte Artenvielfalt und der Rückgang der Organismen im Wasser hat wiederum negative Auswirkungen auf die Wasserqualität – die Selbstreinigungskraft von den Fließgewässern ist eingeschränkt.[72] Die Artenvielfalt spielt eine große Rolle bei der Gewässerqualität. Die damit einhergehenden Ökosystemleistungen sind sehr umfangreich. Beispielsweise bauen sie nicht nur organische Verunreinigungen und Schadstoffe ab, sondern verhindern auch, dass Bakterien und Krankheitserreger Überhand gewinnen.[73] Aber nicht nur die biotischen Faktoren werden durch die zahlreichen Organismen verbessert, sie tragen auch dazu bei, dass die Gewässersohle gut strukturiert ist und somit Lebensraum und Brutstätten für Fließgewässerorganismen existieren.[74] Aus diesem Grund ist es besonders wichtig bereits den Eintrag von schädlichen Substanzen (Bsp. Öl und Pestizide) zu vermeiden. Im weiteren Verlauf ist für eine fachgerechte Klärwirkung der Kläranlage zu sorgen. Um dies zu ermöglichen, verläuft das Wasser bestimmte Reinigungsstufen. Die herkömmliche Abwasserreinigung in kommunalen Kläranlagen erfolgt in drei Stufen. Ungelöste Stoffe werden mechanisch abgetrennt, daraufhin bauen Mikroorganismen gelöste organische Stoffe auf

[72] Quelle: Dr. Markus et al. (2020)
[73] Quelle: Ebd.
[74] Quelle: Ebd.

biologischem Wege ab und entfernen Stickstoffverbindungen. Zur Elimination von Phosphorverbindungen wird das Abwasser zum Schluss noch chemisch gefällt. Durch dieses Reinigungsverfahren werden durchschnittlich 95 % der organischen Stoffe entfernt. Im Abwasser bleiben jedoch zahlreiche anthropogene Spurenstoffe oder Mikroverunreinigungen übrig. Die Spurenstoffe im Abwasser stammen meist aus Produkten, die im Haushalt, in öffentlichen Einrichtungen, Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft eingesetzt werden. Insbesondere Arzneimittelwirkstoffe werden aufgrund ihrer meist schlechten biologischen Abbaubarkeit nur bedingt eliminiert. Der Ausbau von ausgewählten Kläranlagen mit einer vierten Reinigungsstufe ist daher langfristig ein sinnvoller Beitrag zur Verringerung des Spurenstoffeintrags.[75] Zur Minimierung der Spurenstoffe im Gewässer werden seit einigen Jahren bestimmte Technologien in kommunalen Kläranlagen getestet. Das bekannteste Verfahren ist dabei der Einsatz von Aktivkohle in granulierter oder pulverisierter Form. Die Spurenstoffe können dabei an der Aktivkohle gebunden werden und so gefiltert werden. Ein breites Spektrum an Mikroverunreinigungen können dabei aus dem Abwasser entfernt werden. Dies führt zu einer signifikanten Verbesserung der Qualität des gereinigten Abwassers, was wiederum zu einer deutlichen Verbesserung der Oberflächengewässerqualität führen kann und damit direkten Einfluss auf die Artenvielfalt im Gewässer hat. Eine vierte Reinigungsstufe ist daher aus Sicht der biologischen Vielfalt vorteilhaft muss jedoch aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet werden.

Der Ablauf der Kläranlage erfüllt in erster Linie die Aufgabe das Wasser schnell genug abzuleiten, um die Funktionsweise der Kläranlage zu gewährleisten, welche durch einen Rückstau beeinträchtigt würde. Dennoch kann ein naturnah angelegter Ablauf bereits den Nährstoffeintrag weiter reduzieren. Aus diesem Grund ist es empfehlenswert den Ablauf schnellstmöglich in ein naturnahes Gewässer zu überführen. Dabei ist darauf zu achten, dass sich das Gewässer frei bewegen kann und es somit viele verschiedene Strömungsgeschwindigkeiten gibt. Auch sollten die Ränder von Bäumen und Sträuchern gesäumt sein, um so durch den Eintrag von Laub und Holz eine diverse Gewässersohle zu bieten.[76] Ein solches Gewässer bietet nicht

[75] Quelle: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
[76] Quelle: SBZ Hannover

nur im Wasserlebenden Organismen einen Lebensraum, sondern auch vielen Landlebewesen.

Abbildung 23: degradierter Bach mit immer gleicher Strömungsgeschwindigkeit (negativ)[77]

Abbildung 24: Fließgewässer mit verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten, indem sich das Gewässer frei bewegen kann (positiv)[78]

[77] Quelle: Umweltbundesamt
[78] Quelle: Landesverband für Vogelschutz in Bayern (LBV)

Neben diesen gewässerbezogenen Maßnahmen können auch leichtumsetzbare Maßnahmen zur Steigerung der Artenfilefalt auf dem Gelände der Kläranlage ergriffen werden. Durch die Flächenversiegelungen im lokalen Raum entfallen zunehmend mehr Schlaf- und Nistplätze für Tiere. Kläranlagen bieten eine gute Möglichkeit verlorene Nistmöglichkeiten zu ersetzen. Es ist darauf zu achten, dass die Nistkästen ordnungsgemäß konstruiert werden, damit sie ihren Zweck auch erfüllen. Hierbei muss auch auf die entsprechende Größe geachtet werden. Die Kästen können dabei an der Außenfassade des Gebäudes oder an Bäumen auf dem Gelände angebracht werden. Dies gilt ebenso für Fledermaushöhlen. Neben Nistkästen für Vögel oder Fledermäusen können auch Maßnahmen für am Boden lebende Tiere, wie Insekten, Kleinsäuger und bodenbrütende Vögel ergriffen werden. Hierbei ist besonders auf eine Reduzierung der Mahd auf ein bis zwei Mal pro Jahr zu achten. Bei der Mahd sollten Flächen zeitversetzt gemäht werden, sodass immer genügend Rückzugsflächen vorhanden sind. Sollten die Grünflächen hauptsächlich aus Rasen bestehen, sollte eine Blühwiese angelegt werden. Hierbei sollte jedoch in jedem Fall drauf geachtet werden, dass regionales Saatgut verwendet wird, sodass die Pflanzen das hiesige Klima perfekt annehmen und einen hohen Vernetzungsgrad im heimischen Ökosystem aufweisen. Außerdem sollte die Saatgutmischung einen Grasanteil von etwa 20 – 30 % aufweisen. Der Grasanteil gibt eine stabile Struktur vor in der viele verschiedene Blühpflanzenarten überdauern können. Bei Saatgutmischungen die ausschließlich aus Blühpflanzen bestehen werden nach kurzer Zeit die meisten Arten durch wenige dominante Arten verdrängt. Zudem sollten weitere Strukturelemente wie Totholzinseln und Steinhaufen angelegt werden, da diese einen wichtigen Beitrag zum Erhalt der Artenvielfalt leisten. Damit die Maßnahmen auch angenommen werden, bedarf es einen Austausch mit den angrenzenden Flächen. Aus diesem Grund sollte der Zaun, um die Kläranlage in den unteren Bereich durchlässig sein für kleinere Säugetiere, eine Maschenweite von 10 auf 10 cm ist empfehlenswert. Alternativ kann der Zaun auch erst 10 bis 20 cm über dem Boden beginnen.

6 Fazit und Handlungsempfehlung

Insgesamt geht aus den oben gewonnen Erkenntnissen hervor, dass in der Regel verschiedene Optimierungspotentiale auf kommunalen KA bestehen. Die grundlegende Basis für das Ableiten konkreter Handlungsmaßnahmen bildet dabei zunächst immer eine Potentialanalyse. Aufbauend auf dieser kann eruiert werden, welche Maßnahme unter Beachtung ökonomischer Aspekte am effizientesten hinsichtlich der gesetzten Klimaziele ist.

Anlehnend an den oben durchgeführten Beispielrechnungen ist zu erkennen, dass eine Verfahrensumstellung sich unter den beschriebenen Annahmen bereits ab etwa 13.000 EW als wirtschaftlich erweist (Abhängig von den zugrundeliegenden Kapitalkosten). Die Umstellung führt insgesamt zu einem deutlich verringerten Fremdstrombezug und trägt somit zu einer Verringerung der Treibhausgase bei. In Abhängigkeit der regional vorliegenden Potentiale hinsichtlich möglicher Co-Substrate sollte bei einer Verfahrensumstellung ebenfalls genügend Kapazitäten eingeplant werden um eine Co-Vergärung zu integrieren. Diese kann ebenfalls durch eine verbesserte Gasausbeute schlussendlich den Fremdbezug an Strom verringern und die zusätzlich anfallenden Kosten decken.

Insgesamt weisen die beschriebenen Maßnahmen vergleichsweise hohe Investitionsausgaben auf, dennoch können diese durch Kosteneinsparungen respektive verringerte laufende Betriebskosten amortisiert werden. Auch werden sowohl auf Bundes- als auch auf Landesebene verschiedene Fördermöglichkeiten angeboten, welche zu einer deutlichen Verminderung der Anfangsinvestitionen führen. Langfristig kann eine Kommune somit von reduzierten Gebühren profitieren. Da eine Projektumsetzung durch den Planungsprozess und eine Antragsprüfung (bis zu 48 Monaten bei Fördergeldern) recht lange dauern kann, sollten Maßnahmenplanungen frühzeitig begonnen werden.

Der Einflussbereich der Kläranlagen auf das lokale Ökosystem ist besonders schwerwiegend. Eine gut funktionierende Kläranlage ist zentral für den Schutz der Biodiversität. Dabei kann der Reinigungsprozess des Abwassers um eine vierte Reinigungsstufe ergänzt werden. In dieser Stufe werden mit Hilfe von Aktivkohle Mikroverunreinigungen gefiltert und entsorgt. Dadurch kann die Wasserqualität

verbessert werden, was direkten Einfluss auf die Biodiversität im Gewässer hat. Aber auch die Struktur des nachfolgenden Gewässers kann, durch einen naturnahen Verlauf, die Auswirkungen erheblich mindern. Neben dem Gewässer bezogenen Maßnahmen können zudem einfache Maßnahmen für Vögel oder Insekten in Form von Nistkästen, Überwinterungsmöglichkeiten, Blühwiesen und Strukturelementen installiert werden, um an dem Standort Rückzugsgebiete zu schaffen. Der Erhalt der biologischen Vielfalt kann somit vor Ort durch engagierte Akteure erfolgen.

Anhang

Anhang 1: Wirtschaftlichkeit Verfahrensumstellung bei 1% Kapitalkosten

Kapitalkosten				Kostenvorteile	Erlöse
Bau	Sonstige	BHKW/MÜSE	Summe	Verfahrensumst	
[€/a]	[€/a]	[€/a]	[€/a]	[€/a]	[€/a]
- 16.626 €	- 14.213 €	- 17.101 €	- 47.940 €	48.978 €	1.039 €
- 19.224 €	- 17.078 €	- 21.376 €	- 57.678 €	82.960 €	25.282 €
- 22.853 €	- 20.343 €	- 23.684 €	- 66.880 €	112.545 €	45.665 €
- 25.147 €	- 22.859 €	- 25.394 €	- 73.401 €	137.024 €	63.623 €
- 27.758 €	- 25.661 €	- 26.506 €	- 79.925 €	177.507 €	97.582 €
- 29.222 €	- 26.983 €	- 29.499 €	- 85.704 €	208.148 €	122.444 €
- 31.885 €	- 29.496 €	- 29.670 €	- 91.050 €	238.989 €	147.938 €
- 33.403 €	- 31.021 €	- 31.380 €	- 95.804 €	273.778 €	177.974 €
- 35.365 €	- 32.336 €	- 31.636 €	- 99.336 €	307.239 €	207.903 €
- 36.536 €	- 33.775 €	- 33.603 €	- 103.914 €	335.242 €	231.328 €
- 38.246 €	- 35.134 €	- 33.603 €	- 106.983 €	376.402 €	269.419 €
- 39.476 €	- 36.530 €	- 35.569 €	- 111.574 €	414.113 €	302.539 €
- 41.246 €	- 38.076 €	- 36.424 €	- 115.746 €	454.471 €	338.725 €
- 42.537 €	- 39.548 €	- 37.536 €	- 119.621 €	491.444 €	371.823 €
- 44.372 €	- 41.061 €	- 38.391 €	- 123.824 €	530.978 €	407.154 €
- 45.732 €	- 42.730 €	- 39.502 €	- 127.964 €	567.090 €	439.127 €
- 47.637 €	- 44.330 €	- 40.357 €	- 132.325 €	605.723 €	473.399 €
- 49.071 €	- 45.977 €	- 41.469 €	- 136.516 €	640.894 €	504.378 €
- 51.054 €	- 47.785 €	- 42.324 €	- 141.163 €	678.542 €	537.379 €

Quelle: Eigene Darstellung

Anhang 2: Wirtschaftlichkeit Verfahrensumstellung bei 2% Kapitalkosten

Kapitalkosten				Kostenvorteile	Erlöse
Bau	Sonstige	BHKW/MÜSE	Summe	Verfahrensumst	
[€/a]	[€/a]	[€/a]	[€/a]	[€/a]	[€/a]
- 20.738 €	- 16.033 €	- 18.242 €	- 55.013 €	48.978 €	- 6.035 €
- 23.979 €	- 19.264 €	- 22.802 €	- 66.046 €	82.960 €	16.913 €
- 28.506 €	- 22.947 €	- 25.265 €	- 76.718 €	112.545 €	35.827 €
- 31.367 €	- 25.786 €	- 27.089 €	- 84.242 €	137.024 €	52.781 €
- 34.624 €	- 28.946 €	- 28.275 €	- 91.846 €	177.507 €	85.662 €
- 36.450 €	- 30.438 €	- 31.467 €	- 98.355 €	208.148 €	109.792 €
- 39.772 €	- 33.272 €	- 31.650 €	- 104.694 €	238.989 €	134.295 €
- 41.665 €	- 34.992 €	- 33.474 €	- 110.132 €	273.778 €	163.646 €
- 44.112 €	- 36.476 €	- 33.748 €	- 114.335 €	307.239 €	192.904 €
- 45.573 €	- 38.099 €	- 35.845 €	- 119.518 €	335.242 €	215.724 €
- 47.707 €	- 39.633 €	- 35.845 €	- 123.184 €	376.402 €	253.218 €
- 49.240 €	- 41.207 €	- 37.943 €	- 128.389 €	414.113 €	285.724 €
- 51.447 €	- 42.951 €	- 38.855 €	- 133.254 €	454.471 €	321.217 €
- 53.058 €	- 44.611 €	- 40.041 €	- 137.711 €	491.444 €	353.733 €
- 55.347 €	- 46.318 €	- 40.953 €	- 142.618 €	530.978 €	388.359 €
- 57.043 €	- 48.201 €	- 42.139 €	- 147.383 €	567.090 €	419.708 €
- 59.420 €	- 50.006 €	- 43.051 €	- 152.477 €	605.723 €	453.246 €
- 61.208 €	- 51.863 €	- 44.237 €	- 157.308 €	640.894 €	483.586 €
- 63.682 €	- 53.904 €	- 45.149 €	- 162.734 €	678.542 €	515.808 €

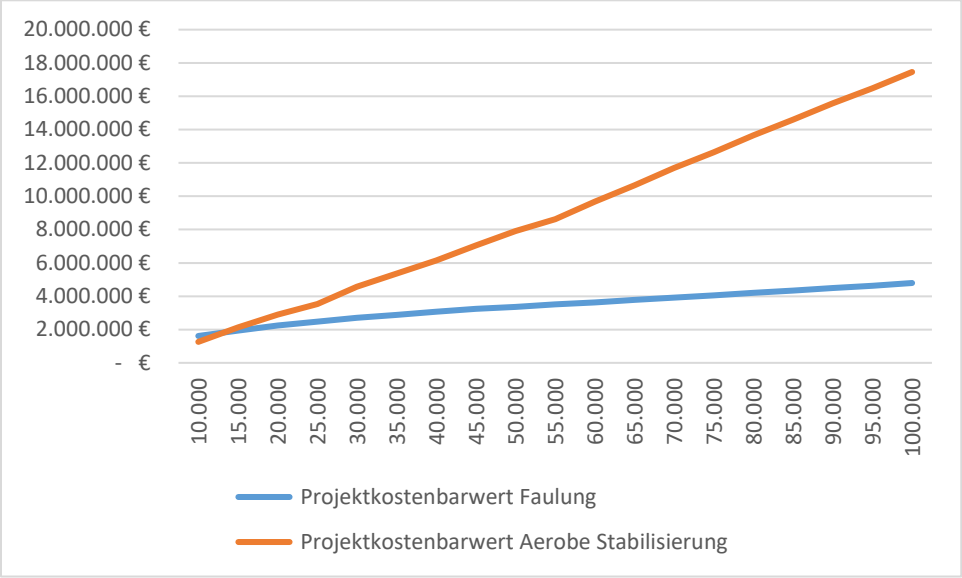
Quelle: Eigene Darstellung

Anhang 3: Wirtschaftlichkeit Verfahrensumstellung bei 3% Kapitalkosten

Kapitalkosten				Kostenvorteile	Erlöse
Bau [€/a]	Sonstige [€/a]	BHKW/MÜSE [€/a]	Summe [€/a]	Verfahrensumst [€/a]	[€/a]
- 25.328 €	- 17.976 €	- 19.423 €	- 62.727 €	48.978 €	- 13.748 €
- 29.286 €	- 21.599 €	- 24.279 €	- 75.164 €	82.960 €	7.796 €
- 34.814 €	- 25.728 €	- 26.901 €	- 87.443 €	112.545 €	25.102 €
- 38.308 €	- 28.911 €	- 28.843 €	- 96.063 €	137.024 €	40.961 €
- 42.286 €	- 32.454 €	- 30.106 €	- 104.847 €	177.507 €	72.661 €
- 44.516 €	- 34.127 €	- 33.505 €	- 112.148 €	208.148 €	96.000 €
- 48.573 €	- 37.305 €	- 33.699 €	- 119.577 €	238.989 €	119.412 €
- 50.886 €	- 39.233 €	- 35.641 €	- 125.760 €	273.778 €	148.017 €
- 53.873 €	- 40.896 €	- 35.933 €	- 130.703 €	307.239 €	176.536 €
- 55.659 €	- 42.716 €	- 38.166 €	- 136.541 €	335.242 €	198.701 €
- 58.264 €	- 44.436 €	- 38.166 €	- 140.866 €	376.402 €	235.536 €
- 60.136 €	- 46.200 €	- 40.400 €	- 146.737 €	414.113 €	267.376 €
- 62.832 €	- 48.156 €	- 41.371 €	- 152.360 €	454.471 €	302.110 €
- 64.800 €	- 50.018 €	- 42.634 €	- 157.452 €	491.444 €	333.992 €
- 67.595 €	- 51.931 €	- 43.605 €	- 163.132 €	530.978 €	367.846 €
- 69.666 €	- 54.042 €	- 44.867 €	- 168.576 €	567.090 €	398.514 €
- 72.570 €	- 56.066 €	- 45.839 €	- 174.474 €	605.723 €	431.249 €
- 74.753 €	- 58.149 €	- 47.101 €	- 180.003 €	640.894 €	460.891 €
- 77.774 €	- 60.436 €	- 48.072 €	- 186.283 €	678.542 €	492.260 €

Quelle: Eigene Darstellung

Anhang 4: Vergleich Projektkostenbarwert Faulung zu aerobe Stabilisierung bei 3% Kapitalkosten



Quelle: Eigene Darstellung

Anmerkung: Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfaulung

verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet. Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung bleiben unberücksichtigt!

Anhang 5: Wirtschaftlichkeit Verfahrensumstellung bei 4% Kapitalkosten

Kapitalkosten				Kostenvorteile	Erlöse
Bau [€/a]	Sonstige [€/a]	BHKW/MÜSE [€/a]	Summe [€/a]	Verfahrensumst [€/a]	[€/a]
- 30.336 €	- 20.037 €	- 20.643 €	- 71.016 €	48.978 €	- 22.037 €
- 35.076 €	- 24.075 €	- 25.804 €	- 84.956 €	82.960 €	- 1.997 €
- 41.697 €	- 28.678 €	- 28.591 €	- 98.966 €	112.545 €	13.579 €
- 45.883 €	- 32.226 €	- 30.656 €	- 108.764 €	137.024 €	28.260 €
- 50.647 €	- 36.175 €	- 31.997 €	- 118.820 €	177.507 €	58.687 €
- 53.318 €	- 38.040 €	- 35.610 €	- 126.968 €	208.148 €	81.180 €
- 58.177 €	- 41.582 €	- 35.816 €	- 135.575 €	238.989 €	103.414 €
- 60.947 €	- 43.731 €	- 37.881 €	- 142.559 €	273.778 €	131.219 €
- 64.526 €	- 45.585 €	- 38.190 €	- 148.301 €	307.239 €	158.938 €
- 66.664 €	- 47.614 €	- 40.564 €	- 154.842 €	335.242 €	180.400 €
- 69.784 €	- 49.530 €	- 40.564 €	- 159.878 €	376.402 €	216.524 €
- 72.027 €	- 51.497 €	- 42.938 €	- 166.462 €	414.113 €	247.651 €
- 75.256 €	- 53.677 €	- 43.971 €	- 172.904 €	454.471 €	281.567 €
- 77.613 €	- 55.752 €	- 45.312 €	- 178.677 €	491.444 €	312.767 €
- 80.961 €	- 57.885 €	- 46.345 €	- 185.191 €	530.978 €	345.787 €
- 83.441 €	- 60.238 €	- 47.686 €	- 191.366 €	567.090 €	375.725 €
- 86.919 €	- 62.494 €	- 48.719 €	- 198.131 €	605.723 €	407.592 €
- 89.534 €	- 64.815 €	- 50.060 €	- 204.410 €	640.894 €	436.485 €
- 93.152 €	- 67.365 €	- 51.093 €	- 211.610 €	678.542 €	466.932 €

Quelle: Eigene Darstellung

Anhang 6: Wirtschaftlichkeit Verfahrensumstellung bei 5% Kapitalkosten

Kapitalkosten				Kostenvorteile	Erlöse
Bau	Sonstige	BHKW/MÜSE	Summe	Verfahrensumst	
[€/a]	[€/a]	[€/a]	[€/a]	[€/a]	[€/a]
- 35.697 €	- 22.209 €	- 21.902 €	- 79.808 €	48.978 €	- 30.829 €
- 41.275 €	- 26.686 €	- 27.377 €	- 95.338 €	82.960 €	- 12.379 €
- 49.066 €	- 31.787 €	- 30.334 €	- 111.188 €	112.545 €	1.357 €
- 53.992 €	- 35.720 €	- 32.524 €	- 122.236 €	137.024 €	14.788 €
- 59.598 €	- 40.098 €	- 33.948 €	- 133.644 €	177.507 €	43.864 €
- 62.740 €	- 42.164 €	- 37.781 €	- 142.685 €	208.148 €	65.462 €
- 68.459 €	- 46.090 €	- 38.000 €	- 152.548 €	238.989 €	86.440 €
- 71.718 €	- 48.473 €	- 40.190 €	- 160.381 €	273.778 €	113.397 €
- 75.929 €	- 50.528 €	- 40.518 €	- 166.975 €	307.239 €	140.264 €
- 78.445 €	- 52.776 €	- 43.037 €	- 174.258 €	335.242 €	160.984 €
- 82.116 €	- 54.900 €	- 43.037 €	- 180.054 €	376.402 €	196.348 €
- 84.755 €	- 57.081 €	- 45.556 €	- 187.392 €	414.113 €	226.721 €
- 88.556 €	- 59.497 €	- 46.651 €	- 194.704 €	454.471 €	259.767 €
- 91.329 €	- 61.797 €	- 48.075 €	- 201.201 €	491.444 €	290.244 €
- 95.269 €	- 64.161 €	- 49.170 €	- 208.600 €	530.978 €	322.378 €
- 98.187 €	- 66.769 €	- 50.593 €	- 215.550 €	567.090 €	351.540 €
- 102.279 €	- 69.270 €	- 51.688 €	- 223.237 €	605.723 €	382.486 €
- 105.357 €	- 71.843 €	- 53.112 €	- 230.312 €	640.894 €	410.582 €
- 109.614 €	- 74.669 €	- 54.207 €	- 238.491 €	678.542 €	440.052 €

Quelle: Eigene Darstellung

Anhang 7: Förderung Verfahrensumstellung finanzschwache Kommunen

	Finanzschwache K.			
Einwohner [E]	Kommunal 40%	RLP 20%	Eigenanteil	Spez. Kosten [€/E]
10.000	348.875 €	232.938 €	582.875 €	58,29 €
15.000	500.000 €	275.925 €	603.702 €	40,25 €
20.000	500.000 €	324.151 €	796.605 €	39,83 €
25.000	500.000 €	357.220 €	928.879 €	37,16 €
30.000	500.000 €	392.630 €	1.070.521 €	35,68 €
35.000	500.000 €	416.929 €	1.167.716 €	33,36 €
40.000	500.000 €	449.273 €	1.297.093 €	32,43 €
45.000	500.000 €	471.891 €	1.387.562 €	30,83 €
50.000	500.000 €	493.658 €	1.474.631 €	29,49 €
55.000	500.000 €	513.781 €	1.555.123 €	28,27 €
60.000	500.000 €	533.175 €	1.632.701 €	27,21 €
65.000	500.000 €	553.557 €	1.714.228 €	26,37 €
70.000	500.000 €	576.243 €	1.804.973 €	25,79 €
75.000	500.000 €	595.452 €	1.881.807 €	25,09 €
80.000	500.000 €	618.501 €	1.974.002 €	24,68 €
85.000	500.000 €	639.109 €	2.056.437 €	24,19 €
90.000	500.000 €	663.098 €	2.152.391 €	23,92 €
95.000	500.000 €	684.187 €	2.236.748 €	23,54 €
100.000	500.000 €	709.699 €	2.338.798 €	23,39 €

Quelle: Eigene Darstellung

Anhang 8: Förderung Verfahrensumstellung inkl. Co-Vergärung (Biotonne)

Einwohner [E]	Förderung Kommunal 30%	Förderung RLP 20%	Eigenanteil	Spez. Kosten [€/E]
10.000	404.285 €	376.423 €	1.101.408 €	110,14 €
15.000	500.000 €	462.953 €	1.351.814 €	90,12 €
20.000	500.000 €	556.723 €	1.726.893 €	86,34 €
25.000	500.000 €	625.534 €	2.002.138 €	80,09 €
30.000	500.000 €	684.488 €	2.237.951 €	74,60 €
35.000	500.000 €	744.569 €	2.478.276 €	70,81 €
40.000	500.000 €	802.662 €	2.710.646 €	67,77 €
45.000	500.000 €	842.853 €	2.871.412 €	63,81 €
50.000	500.000 €	880.400 €	3.021.601 €	60,43 €
55.000	500.000 €	833.382 €	2.833.527 €	51,52 €
60.000	500.000 €	876.299 €	3.005.196 €	50,09 €
65.000	500.000 €	922.452 €	3.189.810 €	49,07 €
70.000	500.000 €	970.543 €	3.382.172 €	48,32 €
75.000	500.000 €	1.014.771 €	3.559.086 €	47,45 €
80.000	500.000 €	1.067.639 €	3.770.555 €	47,13 €
85.000	500.000 €	1.107.246 €	3.928.983 €	46,22 €
90.000	500.000 €	1.159.593 €	4.138.373 €	45,98 €
95.000	500.000 €	1.201.982 €	4.307.929 €	45,35 €
100.000	500.000 €	1.256.314 €	4.525.255 €	45,25 €

Quelle: Eigene Darstellung

Anhang 9: Förderung Verfahrensumstellung inkl. Co-Vergärung (Fette)

	Förderung			
Einwohner [E]	Kommunal 30%	RLP 20%	Eigenanteil	Spez. Kosten [€/E]
10.000	265.709 €	251.305 €	739.510 €	73,95 €
15.000	320.217 €	295.376 €	861.288 €	57,42 €
20.000	375.232 €	344.085 €	1.001.110 €	50,06 €
25.000	500.000 €	377.691 €	1.010.765 €	40,43 €
30.000	500.000 €	419.301 €	1.177.205 €	39,24 €
35.000	500.000 €	443.445 €	1.273.780 €	36,39 €
40.000	500.000 €	479.718 €	1.418.872 €	35,47 €
45.000	500.000 €	504.535 €	1.518.139 €	33,74 €
50.000	500.000 €	529.772 €	1.619.089 €	32,38 €
55.000	500.000 €	543.304 €	1.673.216 €	30,42 €
60.000	500.000 €	564.200 €	1.756.802 €	29,28 €
65.000	500.000 €	586.084 €	1.844.338 €	28,37 €
70.000	500.000 €	610.273 €	1.941.091 €	27,73 €
75.000	500.000 €	633.583 €	2.034.333 €	27,12 €
80.000	500.000 €	660.734 €	2.142.937 €	26,79 €
85.000	500.000 €	677.645 €	2.210.580 €	26,01 €
90.000	500.000 €	707.736 €	2.330.943 €	25,90 €
95.000	500.000 €	725.727 €	2.402.909 €	25,29 €
100.000	500.000 €	758.742 €	2.534.966 €	25,35 €

Quelle: Eigene Darstellung

Anhang 10: Förderung Co-Vergärung (Biotonne)

Einwohner [E]	Förderung Kommunal n.a	Förderung RLP 20%	Eigenanteil	Spez. Kosten [€/E]
10.000		35.000 €	140.000 €	14,00 €
15.000		35.000 €	140.000 €	9,33 €
20.000		35.000 €	140.000 €	7,00 €
25.000		35.000 €	140.000 €	5,60 €
30.000		35.000 €	140.000 €	4,67 €
35.000		35.000 €	140.000 €	4,00 €
40.000		35.000 €	140.000 €	3,50 €
45.000		35.000 €	140.000 €	3,11 €
50.000		35.000 €	140.000 €	2,80 €
55.000		35.000 €	140.000 €	2,55 €
60.000		35.000 €	140.000 €	2,33 €
65.000		35.000 €	140.000 €	2,15 €
70.000		35.000 €	140.000 €	2,00 €
75.000		35.000 €	140.000 €	1,87 €
80.000		35.000 €	140.000 €	1,75 €
85.000		35.000 €	140.000 €	1,65 €
90.000		35.000 €	140.000 €	1,56 €
95.000		35.000 €	140.000 €	1,47 €
100.000		35.000 €	140.000 €	1,40 €

Quelle: Eigene Darstellung

Anhang 11: Förderung Co-Vergärung (Fette)

Einwohner [E]	Förderung Kommunal n.a	Förderung RLP 20%	Eigenanteil	Spez. Kosten [€/E]
10.000		2.265 €	9.062 €	0,91 €
15.000		3.398 €	13.593 €	0,91 €
20.000		4.531 €	18.124 €	0,91 €
25.000		5.415 €	21.658 €	0,87 €
30.000		6.497 €	25.990 €	0,87 €
35.000		7.580 €	30.321 €	0,87 €
40.000		8.663 €	34.653 €	0,87 €
45.000		9.746 €	38.985 €	0,87 €
50.000		10.829 €	43.316 €	0,87 €
55.000		8.722 €	34.889 €	0,63 €
60.000		9.515 €	38.060 €	0,63 €
65.000		10.308 €	41.232 €	0,63 €
70.000		11.101 €	44.404 €	0,63 €
75.000		11.894 €	47.575 €	0,63 €
80.000		12.687 €	50.747 €	0,63 €
85.000		13.480 €	53.919 €	0,63 €
90.000		14.273 €	57.090 €	0,63 €
95.000		15.065 €	60.262 €	0,63 €
100.000		15.858 €	63.434 €	0,63 €

Quelle: Eigene Darstellung

Literaturverzeichnis

Abfallvergärungsanlagen und landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Hennef: Deutsche Vereinigung für für Wasserwirtschaft, Abwasser, und Abfall e. V.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2020): *Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld „Kommunalrichtlinie“*, Bundesanzeiger.

Dr. Markus et al. (2020): Wasserqualität und Biodiversität – eine enge wechselseitige Beziehung

DWA (2012): *Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser, und Abfall e. V.

DWA A-216 (2015): *Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser, und Abfall e. V.

DWA (2020/ 2021): *Kläranlagen- und Kanal-Nachbarschaften im DWA-Landesverband Nord-Ost*, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser, und Abfall e. V. DWA Landesverband Nord-Ost.

DWA-M 366 (2013): *Maschinelle Schlammentwässerung, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft*, Abwasser und Abfall e. V, Köthen.

Fricke, Klaus (2009): *Energieeffizienz kommunaler Kläranlagen*, Umweltbundesamt.

Gretzschel, Oliver/ Hansen, Joachim/ Jakob, Jürgen/ Schmitt, Theo G./ Siekmann, Klaus (2011): Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen mit anaerober Schlammbehandlung vor dem Hintergrund der energetischen Rahmenbedingungen und der abwassertechnischen Situation in Rheinland-Pfalz-NAwaS- Modul 1: Weitergehende Untersuchungen, Zentrum für Innovative für innovative Abwassertechnologien an der TU Kaiserslautern.

Gretzschel, Oliver/ Hansen, Joachim/ Jakob, Jürgen/ Schmitt, Theo G./ Siekmann, Klaus (2011): Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen mit anaerober Schlammbehandlung vor dem Hintergrund der energetischen Rahmenbedingungen und der abwassertechnischen Situation in Rheinland-Pfalz-NAwaS- Modul 2: Grundlegende Untersuchungen, Zentrum für Innovative für innovative Abwassertechnologien an der TU Kaiserslautern.

Gretzschel, Oliver/ Hansen, Joachim/ Jakob, Jürgen/ Schmitt, Theo G./ Siekmann, Klaus (2014): Umstellung von Kläranlagen auf Schlammfaulung- Energetisches und ökonomisches Optimierungspotenzial, Zentrum für Innovative für innovative Abwassertechnologien an der TU Kaiserslautern.

Gruber, Sabine (2013): *Sachbilanz von Technologien und Verfahrenskombinationen für ausgewählte biogene Abfallfraktionen*.

IfaS (2016): *Kläranlage Rockenhausen Energetische und verfahrenstechnische Optimierung*, Institut für angewandtes Stoffstrommanagement.

IfaS (2019): *Erschließung neuer Wertschöpfungsketten in der Abfall und Kombinierte Vergärung von Klärschlamm und biogene Haushaltsabfälle für einen energieautarken Kläranlagenbetrieb Abwasserwirtschaft*, Institut für angewandtes Stoffstrommanagement.

Jülch, Verena/ Kost, Christoph/ Huyen-Tran/ Schlegel, Thomas Shammugam, Shivenes (2018): *Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien*, Fraunhofer.

Knerr, Henning/ Dilly, Timo/ Schmitt, Theo G./ Hansen, Joachim/ Hien, Sebastian (2016): *„Zukunftsorientierte Einbindung der Faulung und Faulgasverwertung in die Verfahrenskette der Abwasserreinigung, Schlammbehandlung und -verwertung in Rheinland-Pfalz, ZEBRAS“*, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten (MULEWF) des Landes Rheinland-Pfalz.

LfU (2009): *Merkblatt DWA-M 380: Co-Vergärung in kommunalen Klärschlammfaulbehältern*.

LfU (2011): *CO-Vergärung auf kommunalen Kläranlagen, Bayerisches Landesamt für Umwelt*.

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2014): *Abschlussbericht Projekt Nr. 2: Verbesserung der Klärgasnutzung, Steigerung der Energieausbeute auf kommunalen Kläranlagen*.

Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz (2017): *Förderrichtlinien der Wasserwirtschaftsverwaltung – FöRiWWV*.

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2018): *Energie in Abwasseranlagen- Handbuch NRW 2. vollständig überarbeitete Fassung*, Silber Druck oHG.

MULNV NRW (2014): Verbesserung der Klärgasnutzung, *Steigerung der Energieausbeute auf kommunalen Kläranlagen*, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.

Nowak, O. E. (2016): *Verwertung organischer Reststoffe in Faulbehältern kommunaler Kläranlagen. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, Springer.

Schreff, Dieter (2010): *Überlegungen zum wirtschaftlichen Einsatz der anaeroben Schlammstabilisierung in Kläranlagen*, Ingenieurbüro für Wasser, Abwasser und Energie.

Statistisches Bundesamt (2015): *Fachserie 19/Reihe 2.1.2, Umwelt, Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung – Öffentliche Abwasserbehandlung und -entsorgung , Erhebungsjahr 2013*, Statistisches Bundesamt.

Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Bayerisches Landesamt für Umwelt.

Internetquellen

aerzen (2021): DIE VERFAHREN DER ABWASSERAUFBEREITUNG, *Aerzener Maschinenfabrik GmbH*, unter: Die Verfahren der Abwasseraufbereitung (aerzen.com) (Zugriff: 15.02.2021).

bafa (2020): KWK-Anlagen über 50 kWel bis 2 MWel, *Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle*, unter: https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Kraft_Waerme_Kopplung/Stromverguetung/Stromverguetung_50_KW_bis_2_MW/stromverguetung_50_kw_bis_2_mw_node.html (Zugriff: 15.10.2020).

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz unter: https://www.stmuv.bayern.de/themen/wasserwirtschaft/abwasser/spurenstoffe.htm (abgerufen am 03.10.2021)

Bmlrt (2019): Wie funktioniert eine Kläranlage?, *Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus*, unter: https://www.bmlrt.gv.at/wasser/wasserqualitaet/abwasserreinigung/klaeranlage.html (Zugriff: 31.08.2020).

bmu (2017): Statistik Abwasserentsorgung, *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)*, unter: https://www.bmu.de/download/statistik-abwasserentsorgung/#:~:text=Leistung%20von%20Kl%C3%A4ranlagen,8000%20kommunalen%20Abwasserentsorgungsunternehmen%20kleinteilig%20organisiert. (Zugriff: 29.04.2021).

Dipl.-Ing. Stefan Krieger, HYDRO-Ingenieure Energie & Wasser GmbH, 2011, *Anaerobe Stabilisierung mit Hochlastfaulung*, in IfaS: Biomasse als systemischer Dienstleister in der Kreislaufwirtschaft, unter: https://slideplayer.org/slide/10234192/ (Zugriff: 29.04.2021).

Durth (2014): Abwasser und Klärschlamm in Deutschland – statistische Betrachtungen, *Statistisches Bundesamt und DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.2*,

unter: https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/20141218_dwa-stat-abw-ks-dez-2014.pdf (Zugriff: 29.08.2020).

klimaschutz (2020): Kommunalrichtlinie, *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit*, unter: https://www.klimaschutz.de/kommunalrichtlinie (Zugriff: 28.10.2020).

Landesverband für Vogelschutz in Bayern (LBV) unter: https://www.lbv.de /news/details/ausgezeichnet-lebendige-baeche-in-bayern/ (abgerufen am 03.10.2021)

lfu.bayern (2020): Klärschlamm, *Bayerisches Landesamt für Umwelt*, unter: https://www.lfu.bayern.de/wasser/abwasser_klaerschlamm/index.html (Zugriff: 31.08.2020).

SBZ Hannover unter: http://www.schulbiologiezentrum.info/GEW%C4SSER%D6KOLOGIE/Pr%E4sentation%20Flie%DFgew%E4sser%F6kologie%20Sch%FCler.pdf (abgerufen am 03.10.2021)

Umweltbundesamt unter: https://www.umweltbundesamt.de/themen/schadstoffe-koennen-aus-klaeranlagen-in-gewaesser (abgerufen am 03.10.2021)

Umweltbundesamt unter: https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/fluesse /gewaesserrenaturierung-start (abgerufen am 03.10.2021)