



**Stadtwerke Espelkamp**  
Anstalt des öffentlichen Rechts

**Stadtwerke Espelkamp AöR**  
Wilhelm-Kern-Platz 1  
32339 Espelkamp

**Ganzheitliche Betrachtung  
der Abwasserentsorgung  
Stadtwerke Espelkamp  
2025+**

Erläuterungsbericht

Projekt-Nr.: 25271

Stand: 19.10.2021

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung/Veranlassung.....	3
2	Historie.....	3
3	Zusammenfassung Optimierungsstudie Kläranlage Espelkamp .....	4
4	Abwassertechnische Berechnungen unter Berücksichtigung einer Klärschlammvererdungsanlage .....	7
4.1	Anpassung der Kläranlagenbemessungswerte .....	8
4.2	Verfahrenstechnische Berechnung.....	8
5	Zukünftige Klärschlammbehandlung Kläranlage Espelkamp .....	9
5.1	Variante 1: Neubau einer Klärschlammvererdungsanlage.....	11
5.2	Variante 2: Sanierung der maschinellen Schlamm entwässerung .....	13
6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	14
6.1	Projektkostenübersicht .....	14
6.2	Dynamische Kostenvergleichsrechnung nach LAWA .....	16
7	Exkurs: Klärschlammverwertung .....	22
8	Zusammenfassung.....	25

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Volumenveränderung durch Eindickung, Entwässerung, Trocknung.....	10
Abbildung 2: Standortvarianten Klärschlammvererdungsanlage inkl. Überleitungstrasse Standort Fabbenstedter Straße .....	12
Abbildung 3: Luftbild Schlammbehandlung Kläranlage Espelkamp .....	13
Abbildung 4: Fotos vorhandene Schlamm entwässerung .....	14
Abbildung 5: Entwicklung Projektkostenbarwert für Ausgangsszenario .....	19
Abbildung 6: Klärschlammverwertung der öffentlichen Abwasserbehandlung im Jahr 2019 [Quelle: Statistisches Bundesamt, 2021] .....	22
Abbildung 7: Mechanische, biologische und thermische Behandlungsverfahren (ab 2029/2032) [Quelle: Korrespondenz Abwasser 2019 Ausgabe 3).....	23

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gegenüberstellung Rückbelastung Zentrat- bzw. Trübwasser .....	8
Tabelle 2: Projektkostenübersicht Varianten 1 und 2.....	15
Tabelle 3: Investitionskosten und Betriebskosten je Variante .....	18
Tabelle 4: Projektkostenbarwerte für Ausgangsszenario .....	19
Tabelle 5: Ergebnis Sensitivitätsanalyse .....	21

## 1 Einleitung/Veranlassung

Mitte August 2021 stellte die Bockermann Fritze IngenieurConsult GmbH die Ergebnisse einer Optimierungsstudie zur weitergehenden Phosphor- und Stickstoffelimination auf der Kläranlage Espelkamp vor. Aufgrund steigender Qualitätsanforderungen, unter anderem formuliert im 3. Bewirtschaftungsplan zur Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), war eine Untersuchung des Status Quo erforderlich. Die durchgeführte Untersuchung ist dabei Teil einer Nebenbestimmung des aktuellen wasserrechtlichen Erlaubnisbescheides zur Einleitung von gereinigtem Abwasser in das Gewässer „Kleine Aue“. Eine Zusammenfassung der Studie erfolgt in Kapitel 3.

In Bezug auf die zukünftige Ausrichtung der kommunalen Klärschlammbehandlung sollen nun in einer ergänzenden Betrachtung die Wechselwirkungen zwischen Klärschlammbehandlung und Abwasserreinigungsprozess untersucht werden. Dabei werden aufgrund des aktuell laufenden Entscheidungsprozesses die Verfahren der maschinellen Klärschlammvererdung und der Klärschlammvererdung gegenübergestellt und erneut verfahrenstechnische Berechnungen durchgeführt, um die Auswirkungen auf den Betrieb darzustellen.

Des Weiteren wird die Bockermann Fritze IngenieurConsult GmbH, als unabhängiger Berater, die Möglichkeiten der zukünftigen Klärschlammbehandlung einer umfangreichen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unterziehen.

Die Ergebnisse dieser Betrachtung sollen den Stadtwerken Espelkamp AöR der abschließenden Entscheidungsfindung zur langfristigen Aufstellung der kommunalen Klärschlammbehandlung dienen.

## 2 Historie

Nachfolgend werden, bezogen auf den oben beschriebenen Sachverhalt, die wesentlichen Projektmeilensteine zur leichteren zeitlichen Einordnung aufgeführt:

- 2018 Erarbeitung einer Machbarkeitsuntersuchung zur Klärschlammvererdung als Alternative zur maschinellen Klärschlammvererdung
- 09/2019: Ablauf der wasserrechtlichen Einleitungserlaubnis der KA Espelkamp
- 07/2021: Planung einer Klärschlammvererdungsanlage  
→ Standort an der Osnabrücker Str.
- 05/2021: Option für Alternativstandort Klärschlammvererdungsanlage  
→ Fabbenstedter Str.
- 10/2019: Erteilung einer bis 2023 befristeten Einleitungserlaubnis
- 2020/2021: Optimierungsstudie zur weitergehenden Phosphor- und Stickstoffelimination
- 11/2021: Scoping-Termin zur wasserrechtlichen Einleitungserlaubnis der KA Espelkamp mit Bezirksregierung Detmold

### 3 Zusammenfassung Optimierungsstudie Kläranlage Espelkamp

Die wasserrechtliche Erlaubnis zur Einleitung von gereinigtem Abwasser der Kläranlage Espelkamp in das Gewässer „Kleine Aue“ lief im September 2020 aus. Eine Verlängerung der Erlaubnis wurde rechtzeitig am 31.03.2020 eingereicht. Mit dem Bescheid vom 01.10.2020 erteilte die Bezirksregierung Detmold eine bis zum 30.09.2023 befristete Genehmigung. Der Überwachungswert für Ammoniumstickstoff ist von 4,0 mg/l auf 3,0 mg/l reduziert worden. Weiterhin sind zur Erreichung eines guten ökologischen Zustandes bzw. eines ökologischen Potentials gemäß Oberflächengewässerverordnung einzuhaltende Betriebsmittelwerte für Phosphor und Ammonium formuliert worden. Um die Zielwerte gemäß Oberflächengewässerverordnung von 0,2 mg NH<sub>4</sub>-N/l und 0,1 mg P<sub>ges</sub>/l im Gewässer einzuhalten, ergeben sich aus der von der Bezirksregierung Detmold durchgeführten Mischungsrechnung Betriebsmittelwerte für den Ablauf der Kläranlage von 0,38 mg NH<sub>4</sub>-N/l und 0,19 mg P<sub>ges</sub>/l. Die Jahresmittelwerte werden aus den Analysen der Selbstüberwachung gemäß Selbstüberwachungsverordnung ermittelt.

In den Nebenbestimmungen zum Bescheid wird unter dem Punkt 6.7 weiterhin ein sogenannter Scoping-Termin seitens der Genehmigungsbehörde eingefordert. Dieser hat zwei Jahre vor Ablauf der Befristung zu erfolgen und dient der gemeinsamen Abstimmung zum Umfang und der Art der Nachweisführung zum Erreichen der oben beschriebenen Ziele. Darüber hinaus sind die Antragsunterlagen zur Verlängerung der Einleitungserlaubnis spätestens ein Jahr vor Ablauf der Befristung einzureichen. Darin ist die Gewässerverträglichkeit und die im Scoping-Termin abgestimmten Anforderungen prüffähig dazulegen.

Die Optimierungsstudie dient der Untersuchung des Status Quo der Kläranlage Espelkamp sowie der konzeptionellen Betrachtung inwieweit möglicherweise die Reinigungsleistung verbessert werden muss bzw. wie dies Erreicht werden kann. Die Betriebsdatenauswertung zeigt, dass die derzeitigen Reinigungsanforderungen stets eingehalten werden. Im Ablauf der technischen Anlage lag der Betriebsmittelwert für Ammonium in den vergangenen Jahren (2016-2020) bei 0,15 mg/l. Im Ablauf des Schönungsteiches bzw. an der Einleitungsstelle steigen die Konzentrationen, was möglicherweise an einen externen Eintrag von Nährstoffen oder an der Probenahmeart liegt. Die Probenahme erfolgt mittlerweile als 24-h Mischprobe.

Die Auswertung eines Sondermessprogramms zeigt u.a., dass durch eine Anpassung der Fällmittelzugabe (chemische Phosphorelimination) und unter Berücksichtigung des Schönungsteiches der Betriebsmittelwert für P<sub>ges</sub> von 0,19 mg/l erreicht werden kann. Es ist allerdings deutlich zu erkennen, dass bei steigenden hydraulischen Belastungen durch Regenereignisse ein Schlamm- bzw. Flockenabtrieb aus der Nachklärung stattfindet, was sich nachteilig auf die Reinigungsleistung auswirkt. Allerdings sedimentieren die partikulären Stoffe im Schönungsteich und gelangen somit nicht in den Vorfluter.

Die verfahrenstechnischen Berechnungen zeigen, dass die Kläranlage Espelkamp derzeit keine Ausbaureserven aufweist und die gute Reinigungsleistung nur durch eine vergleichsweise hohe Feststoffkonzentration in der biologischen Stufe (Belebung) zu realisieren ist. Dies

bedingt allerdings im Gegenzug, dass gewisse verfahrenstechnische und betriebliche Nachweise für die der Belebung nachgeschalteten Nachklärbecken, zur Abtrennung des Schlammes, nicht positiv geführt werden können. Es kommt daher unweigerlich zu kurzzeitigem Schlammabtrieb.

Der Schlamm treibt zum einen in die Ozonung ab und führt dort, bedingt durch den höheren Ozoneintrag, zu einem erhöhten Energieverbrauch, zum anderen findet eine Schlammakkumulation im Schönungsteich statt. Eine Gewässerverunreinigung konnte gemäß der Eigenüberwachung jedoch verhindert werden.

Bereits die im August 2012 durchgeführte Energieanalyse (Mitsdoerffer, 2012) hat ergeben, dass die Anlage zur biologischen Abwasserreinigung keinerlei Reservekapazität aufweist und nur mit aufwändigen und teilweise extremen verfahrenstechnischen Einstellungen, wie einer in der kalten Jahreszeit sehr hohen Feststoffkonzentration in der Belebung, betrieben werden kann. Trotz der sehr hohen Feststoffkonzentrationen in der Belebung ist das aerobe Schlammalter für eine sichere und ausreichende Nitrifikation (Stickstoffelimination) als grenzwertig zu bezeichnen. In der Konzeptstudie sind die maßgeblichen verfahrenstechnischen Defizite sowie Möglichkeiten zur Behebung aufgeführt worden.

Weiterhin sind insgesamt drei Varianten zur Integration einer weitergehenden Phosphatelimination untersucht worden. Die ersten beiden Varianten befassen sich dabei mit der Abwasserfiltration und die dritte Variante bezieht sich auf die Optimierung der Nachklärbecken mit einem höhenverstellbaren Einlaufbauwerk. Ein direkter Vergleich der Varianten 1/2 und Variante 3 in Bezug auf den Rückhalt der sogenannten abfiltrierbaren Stoffe (AFS) besteht nicht. Eine gesicherte und in Teilen steuerbarer weitergehende P-Elimination ist daher mit einer Filtration umzusetzen. Dennoch bietet die Variante 3 eine kostengünstigere Alternative zur Optimierung der Ist-Situation.

In der Variantenuntersuchung sind eine Filtration vor und hinter Ozonung sowie unterschiedliche Verfahrensarten untersucht worden. Aufgrund der sich ergebenden Druckverluste muss sowohl bei der Sandfiltration als auch bei Tuchfiltration ein Abwasserpumpwerk errichtet werden. Beide Varianten haben unterschiedliche Vor- und Nachteile die im Zuge einer Bewertungsmatrix gegenübergestellt wurden.

### Zusammenfassung der Empfehlungen

Zunächst einmal ist auf die Komplexität und gegenseitige Beeinflussung der Erkenntnisse dieser Konzeptstudie hinzuweisen. Die zu optimierende Stickstoff- und Phosphorelimination bedingen sich letztendlich über den Schlammhaushalt der Kläranlage gegenseitig. In Bezug auf den Ist-Zustand würde sich eine Verringerung der Feststoffkonzentration positiv auf die Phosphatelimination auswirken, da weniger AFS aus der Nachklärung abtreiben würden. Auf der anderen Seite reicht dann das vorhandene Belebungsbeckenvolumen bzw. das geringe Denitrifikationsvolumen nicht mehr aus. Im Folgenden werden zunächst Empfehlungen zur generellen Verbesserung der Betriebsstabilität der Kläranlage Espelkamp angegeben. Danach konkret in Bezug auf die Vorzugslösung zum Aufbau einer weitergehenden Phosphatelimination.

Um die Betriebsstabilität der Abwasserreinigung kurzfristig zu optimieren wurde folgendes Vorgehen empfohlen:

- Umnutzung des anaeroben Mischbeckens (Bio-P) als vorgeschaltete Denitrifikation (*bereits durch den Betrieb umgesetzt*)
- Absenken des TS-Gehaltes ggf. zusätzliche Optimierung der Nachklärbecken durch höhenverstellbare Einlaufgarnitur (Variante 3)
- Rücklaufverhältnis auf 0,75 einstellen
- aktive Speicherbeckenbewirtschaftung bei Regenwasserzuflüssen (*Alternativ: Bau von zusätzlichem vorgelagertem Speichervolumen*)

Das oben beschriebene Vorgehen berücksichtigt lediglich eine Optimierung der Bestandssituation. Nach wie vor weist die Kläranlage Espelkamp nach diesen Umstellungen kaum Reserven auf. Zukünftige schmutzfrachtintensive Erweiterungsmaßnahmen im Einzugsgebiet sind daher sehr sorgfältig mit Blick auf einen stabilen Kläranlagenbetrieb zu bewerten.

Eine entscheidende Rolle wird ebenfalls die zukünftige Klärschlammbehandlung spielen. So wirkt sich z.B. die Klärschlammvererdung vorteilhaft auf die Stickstoffelimination aus, da sich die kläranlageninterne Rückbelastung verringert und vergleichmäßigt.

Ein grundsätzliches Problem der derzeitigen Betriebsweise der Kläranlage besteht darin, dass das Volumen der vorgeschalteten Denitrifikation (ehemalige Nachklärbecken) für die namensgleiche Verfahrensweise nicht ausreicht. Daher wird gegenwertig eine Verfahrenskombination aus vorgeschalteter Denitrifikation und intermittierender Denitrifikation eingesetzt. Die Leistungsfähigkeit der intermittierenden Denitrifikation ist aufgrund der fehlenden organischen Substrate hinter dem Nitrifikationsbecken I allerdings gering. Eine Stickstoffelimination findet nur auf Grundlage der endogenen Atmung (Selbstzersetzung der Mikroorganismen) statt. Zusätzlich steht das in der Regel unbelüftete Nitrifikationsbecken II erst ab gewissen Grenzwerten wieder für die Nitrifikation zur Verfügung. Um die Abwasserreinigung mittel- bis langfristig zukunftsfähig aufzustellen wurden folgende Empfehlungen ausgesprochen:

- Erweiterung der Belebungsbeckenvolumina durch den Neubau einer zweistraßigen Denitrifikation (möglicherweise im Bereich der ehemaligen Bio-P)
- Verfahrensart als vorgeschaltete Denitrifikation (eindeutige und nachvollziehbare Betriebsweise)
- durchgängige Zweistraßigkeit in der biologischen Reinigungsstufe gewährleisten (wichtige Anforderung der Genehmigungsörden)
- Außerbetriebnahme der alten Denitrifikation und Schaffung von Ausbaufächen ggf. für Filtrationsstufe

Gleichzeitig empfiehlt es sich zunächst Erfahrungen aus den oben beschriebenen betrieblichen Anpassungen zu sammeln und diese dann in den weiteren Entscheidungsprozess mit einfließen zu lassen.

Um die zukünftigen Anforderungen an den Betriebsmittelwert für  $P_{ges}$  von 0,19 mg/l sicher erreichen zu können ohne dabei eine Schlammverlagerung in den Schönungsteich zuzulassen, wird die Errichtung einer Filtrationsstufe empfohlen. Es ist davon auszugehen, dass die Qualitätsanforderungen auf Grundlage der Oberflächengewässerverordnung steigen werden. Anhand der Bewertungsmatrix ergibt sich eine knappe Vorteilhaftigkeit für eine Sandfiltration hinter der vorhandenen Ozonung. Diese Variante bietet gegenüber der Tuchfiltration vor der Ozonung mehr Flexibilität, da zusätzlich eine Stickstoffelimination integriert und im Bedarfsfall zukünftig auf den Schönungsteich verzichtet werden könnte. Durch die Außerbetriebnahme des Schönungsteiches stünden weitere Ausbauflächen zur Verfügung.

## 4 Abwassertechnische Berechnungen unter Berücksichtigung einer Klärschlammvererdungsanlage

Im Folgenden sollen mögliche Veränderungen, durch den Betrieb einer Klärschlammvererdungsanlage, auf den Abwasserreinigungsprozess der Kläranlage Espelkamp untersucht werden.

Die Prozesse der Abwasserreinigung und Schlammbehandlung sind im realen Kläranlagenbetrieb nicht voneinander zu trennen. Insbesondere auf Kläranlagen mit einer anaeroben Schlammstabilisierung (Schlammfäulung), wie auch in Espelkamp, sind die Wechselwirkungen mitunter erheblich. Dies ist insbesondere in der sogenannten Stickstoff-Rückbelastung begründet. Während der anaeroben Schlammstabilisierung, bei der die organischen Inhaltsstoffe des Klärschlammes unter Ausschluss von Sauerstoff abgebaut und umgewandelt werden, werden ebenfalls organische Stickstoffverbindungen in anorganisches Ammonium umgewandelt. Bei der nachfolgenden Schlammwässerung enthält das abgetrennte Schlammwasser (flüssige Phase) eine hohe Ammoniumkonzentration. Die Stickstoff-Rückbelastung kommunaler Kläranlagen aus der Schlammbehandlung beträgt etwa 1,5 g N/(EW·d) bzw. etwa 15 % bis 25 % bezogen auf den Gesamtstickstoff im Zulauf zur biologischen Stufe. Die Ablaufkonzentration der biologischen Stufe kann damit in Abhängigkeit ihrer Reinigungsleistung durch die aus den Schlammwässern eingetragene Stickstofffracht in hohem Maße beeinflusst werden.

Der Prozess der Klärschlammvererdung verändert die Zusammensetzung der Rückbelastung. Stickstoffverbindungen werden in den Vererdungsbeeten biologisch umgewandelt. In welcher Form sie anfallen, hängt maßgeblich vom betrieblichen Zustand der Vererdungsbeete ab. Unter anaeroben Verhältnissen wird überwiegend Ammonium im Filtratwasser vorliegen, unter (vorzugsweise) aeroben Verhältnissen überwiegend Nitrat. Im Einfahrbetrieb, wenn die Schilfpflanzen noch nicht ausreichend gewachsen sind, wird voraussichtlich Ammonium dominieren. Nach Etablierung des Schilfbestandes überwiegend Nitrat.

Durch die Sauerstoffzufuhr im Schlammbeet (Schilfpflanzen, Wind) erfolgt zum Teil eine Umwandlung von Ammonium zu Nitrat (Nitrifikation). Der gleiche Prozess, der in den Schlammbeeten als natürlicher Prozess abläuft, geschieht in der biologischen Stufe der Kläranlage unter Zugabe von Luftsauerstoff in technischer Form. Eine Denitrifikation, also die Reduktion von

Nitrat-Stickstoff zu elementarem Stickstoff (gasförmig), kann aufgrund des fehlenden organischen Materials nur geringem Maß stattfinden.

## 4.1 Anpassung der Kläranlagenbemessungswerte

In der nachfolgenden Tabelle sind die Veränderungen der Rückbelastung am Beispiel der Kläranlage Espelkamp gegenübergestellt. Die Werte zur Trübwasserqualität der Klärschlammvererdung stammen aus Betriebsdaten vergleichbarer Kläranlagen und basieren auf einer eingefahrenen Klärschlammvererdungsanlage. Die organische Rückbelastung aus CSB sowie die Phosphatrückbelastung bleiben annähernd gleich. Die Stickstoffrückbelastung bleibt in Summe ebenfalls annähernd gleich. Allerdings ändert sich die Zusammensetzung, da bereits ein Teil der Ammoniumfracht zur Nitrat umgewandelt worden ist.

Tabelle 1: Gegenüberstellung Rückbelastung Zentrat- bzw. Trübwasser

Rückbelastung KA Espelkamp			
Parameter	Fracht	Zentrat KA Espelkamp	Trübwasser KS-Vererdung
CSB	kg/d	20,6	24,5
NH4-N	kg/d	27,8	9,8
NO3-N	kg/d	-	13,2
Nges	kg/d	27,8	23,0
Pges	kg/d	0,5	0,7

## 4.2 Verfahrenstechnische Berechnung

Bei der Dimensionierung, Neu- oder Nachbemessungen von kommunalen Kläranlagen wird in Deutschland im Wesentlichen auf das technische Regelwerk der DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Abfall zurückgegriffen.

Die Nachrechnung der Belebungs- und Nachklärbecken erfolgt auf Grundlage des DWA-A 131 „Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen“ (Juni 2016). Der Nachweis wird mit Hilfe des zugehörigen Software-Programms BelebungsExpert (Version 3.00+) der DWA durchgeführt. Das Programm arbeitet dabei mit den Grundlagen und Formeln des A 131. Es werden die Eingabe- und Ergebniswerte dokumentiert.

Im Rahmen der Berechnung wurden die Berechnungsergebnisse unter Berücksichtigung einer Klärschlammvererdungsanlage dem Berechnungsergebnis des Soll-Zustandes der Optimierungsstudie gegenübergestellt. Der Soll-Zustand der Optimierungsstudie berücksichtigt bereits die Erweiterung der biologischen Stufe durch Umnutzung vorhandener Becken auf der Kläranlage Espelkamp.

Die veränderte Stickstoffzusammensetzung im Zulauf zur biologischen Stufe sorgt dafür, dass das anteilige Denitrifikationsvolumen von 50 % auf 45 % gesenkt werden kann. Dadurch steigt der Prozessfaktor (Sicherheitsfaktor für die Nitrifikation) von 1,67 auf 1,84. Des Weiteren sinkt der tägliche Sauerstoffverbrauch (hier reiner Sauerstoff) um ca. 54 kg O<sub>2</sub>/d.



Aufgrund der hohen Qualitätsanforderungen zur Ammoniumelimination sollte das maximal verfügbare Belebungsbeckenvolumen geschaffen werden, sodass der Prozessfaktor steigt. Der Idealwert für die KA Espelkamp liegt dabei bei ca. 1,9 - 2,0 und wird durch die oben beschriebene Anpassung fast erreicht.

Die verfahrenstechnische Berechnung zeigt, dass sich die veränderte Stickstoffzusammensetzung im Zulauf zur biologischen Stufe der Kläranlage Espelkamp, bedingt durch den Prozess der Klärschlammvererdung, grundsätzlich positiv auf den Anlagenbetrieb auswirkt. Negative Auswirkungen auf den Abwasserreinigungsprozess sind bei ordnungsgemäßem Betrieb nicht zu erwarten.

## **5 Zukünftige Klärschlammbehandlung Kläranlage Espelkamp**

Die Klärschlammbehandlung beschreibt die Behandlung von Schlämmen, welche während des Abwasserreinigungsprozesses anfallen. In Espelkamp wird der Schlamm anaerob stabilisiert, d. h. der Abbau erfolgt ohne das Vorhandensein von Sauerstoff in einem externen Faulbehälter. Die Schlammstabilisierung oder Faulung dient in erster Linie dem Zweck, die organischen Bestandteile so weit abzubauen, dass der Schlamm von selbst nicht mehr in eine (stinkende) Gärung übergehen kann. Bei diesem Prozess entsteht zudem Faulgas, das wiederum thermisch verwertet und zur Strom- und Wärmeproduktion genutzt werden kann. Dazu werden in der Regel Blockheizkraftwerke (BHKW's) eingesetzt.

Zur weitergehenden Reduktion der Behandlungs- und Transportkosten werden auf allen Kläranlagen die anfallenden Klärschlämme in verschiedenen Stufen eingedickt bzw. entwässert. Vor der Faulung wird der Klärschlamm i.d.R. eingedickt (ca. 1 - 10 % TR). Nach der Faulung wird der Faulschlamm i.d.R. zur Massenreduktion entwässert (10 - 30 % TR). Zur weiteren Massenreduktion ist es möglich den Faulschlamm zu trocknen und dabei Trockenrückstände bis zu 95 % zu erreichen. Die nachfolgende Abbildung beschreibt die unterschiedlichen Zustände und die damit verbundene Volumenreduktion.

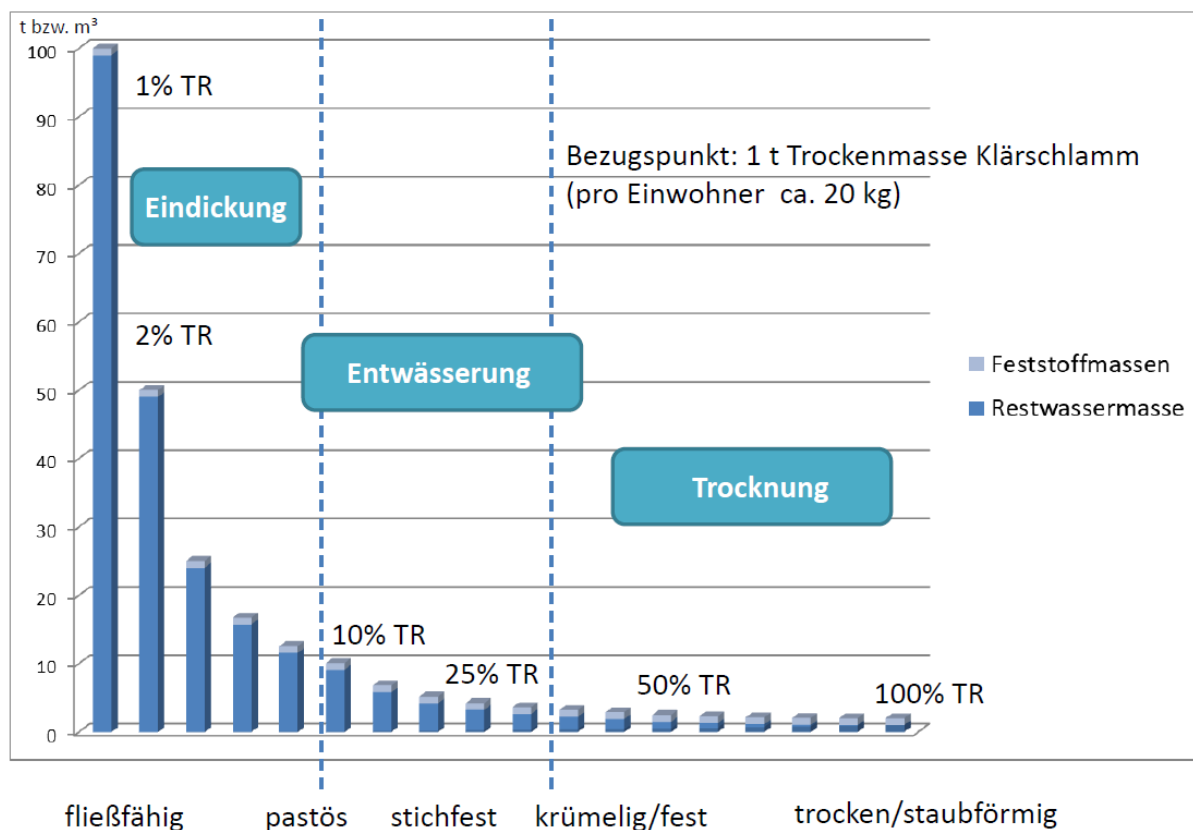


Abbildung 1: Volumenveränderung durch Eindickung, Entwässerung, Trocknung

Es wird deutlich, dass Klärschlamm zu überwiegendem Anteil aus Wasser besteht und dabei bereits zum Großteil über die Verfahren der Eindickung und maschinellen Entwässerung abgetrennt werden kann.

Derzeit wird der auf der Kläranlage Espelkamp anfallende Faulschlamm mit einer Siebbandpresse maschinell entwässert. Sowohl die Siebbandpresse als auch die erforderlichen technischen Nebenanlagen (Polymereinsatzstation, Rohrleitungen, Pumpen etc.) sind jedoch abgängig und müssen perspektivisch ersetzt werden. Der Rohschlamm wird zudem vor der Beschickung des Faulbehälters zusätzlich maschinell eingedickt.

Als Alternative zur Ersatzbeschaffung und umfangreichen Sanierung des Schlammmentwässerungsgebäudes ist im Jahr 2018 erstmals die Option zum Bau einer Klärschlammvererdungsanlage in Betracht gezogen worden. Im Rahmen einer Machbarkeitsuntersuchung ist die technische Umsetzung einer Klärschlammvererdungsanlage geprüft und ein wirtschaftlicher Vergleich gegenüber einer Neuausrüstung der maschinellen Entwässerung aufgestellt worden. Im Zuge der Machbarkeitsstudie wurden bereits erste Vorabstimmungen mit den zuständigen Aufsichtsbehörden (Bezirksregierung Detmold, Kreis Minden-Lübbecke) durchgeführt und die grundsätzliche Genehmigungsfähigkeit des Vorhabens signalisiert.

Nachfolgend erfolgt eine kurze Beschreibung der beiden Alternativen, um die abschließende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung besser nachvollziehen zu können.

An dieser Stelle wird auf eine detaillierte Beschreibung der technischen Verfahren oder zum Prinzip und zur Funktionsweise einer Klärschlammvererdungsanlage verzichtet. Vielmehr sollen die zur Einbindung in den Gesamtkontext erforderlichen wesentlichen Projektrandbedingungen aufgezeigt und kurz erläutert werden.

## **5.1 Variante 1: Neubau einer Klärschlammvererdungsanlage**

Die gesamte Planung der Klärschlammvererdungsanlage wurde durch die „THE PAULY GROUP GmbH & Co. KG“ übernommen. Das vorliegende Werkvertragsmodell umfasst neben der reinen Planung (inkl. Genehmigungsverfahren), den Bau, die Inbetriebnahme und ein mehrjähriges betriebsbegleitendes Engineering einer EKO-PLANT Hochleistungs-Klärschlammvererdungsanlage.

Im Rahmen der Planungsphase wurde insgesamt zwei Standortvarianten für den Bau einer Klärschlammvererdungsanlage betrachtet.

Der Standort „Osnabrücker Straße“ befindet sich ca. 450 m östlich der Kläranlage Espelkamp. Zur Beschickung wird eine Querung des Gewässers „Kleine Aue“ erforderlich. Der Standort „Fabbenstedter Straße“ liegt in Luftlinie ca. 3,3 km südwestlich der Kernstadt und nördlich des Fabbenstedter Graben.

Beide Standorte haben eine Fläche von knapp 3,8 ha. An jedem Standort sind jeweils sechs Vererdungsbeete vorgesehen. Das Gesamtspeichervolumen beträgt dabei in Summe ca. 21.400 m<sup>3</sup> und ist für die Annahme einer jährlichen Nassschlammmenge von 24.000 m<sup>3</sup>/a ausgelegt.

Die Auslegung- und Dimensionierung der Anlagen erfolgt auf Basis einer vorangegangenen Betriebsdatenauswertung und unter Berücksichtigung entsprechender Ausbaureserven.

Nachfolgende Abbildung zeigt die beiden Standort und die Lage der Kläranlage Espelkamp.



Abbildung 2: Standortvarianten Klärschlammvererdungsanlage inkl. Überleitungstrasse Standort Fabbenstedter Straße

Die Abbildung 2 zeigt ebenfalls die im Rahmen einer Entwurfsplanung erarbeitete Vorzugsvariante einer Trassierung zur Anbindung des Standortes „Fabbenstedter Straße“. Die Trasse hat eine Gesamtlänge von ca. 5,0 km und ist sowohl in geschlossener (HDD-Bohrung) als auch offener Bauweise herzustellen. Die Rückführung des anfallenden Filtratwassers zur Kläranlage erfolgt dabei nicht über eine eigenständige Rückföhrleitung, sondern wird dem öffentlichen Kanalnetz zugeföhrt.

Nach umfangreichen Abwägungsprozessen wird der Standort „Osnabrücker Straße“ als favorisierter Standort betrachtet. Wesentliche Vorteile sind die unmittelbare Nähe zur Kläranlage und den damit verbundenen geringeren Kosten im Bau (u.a. deutlich kürzerer Transportleitung) und Betrieb (u.a. weniger Pumpenergie, kürzere Einsatzzeiten für den Betrieb).

Gleichzeitig befindet sich die avisierte Fläche (Flurstücke 579 und 580, Gemarkung Espelkamp Flur 8) im Trinkwasserschutzgebiet der Zone IIIa, wodurch sich erhöhte Anforderungen an die Bauausföhrung (z.B. Art der Abdichtung) und kontinuierliche Anlagenüberwachung ergeben. Weiterhin wird das Landschaftsschutzgebiet LSG-Altkreis Lübbecke (LSG-3416-003) beröhrt, sodass eine entsprechende Genehmigung auf Befreiung bei der zuständigen Aufsichtsbehörde zu stellen ist.

An dieser Stelle wird erneut darauf hingewiesen, dass im Rahmen der Voruntersuchung und vorangegangenen Abstimmungen bereits die Genehmigungsfähigkeit in Aussicht gestellt und entsprechend einzuhaltende Auflagen formuliert worden sind. So wird im Rahmen der Planung bereits ein elektronisches Leckerkennungssystem „Geologger“ berücksichtigt.

Im Rahmen der Planung wurden folgende Fachgutachten eingeholt und die Erkenntnisse eingearbeitet:

- Ingenieurvermessung Urgelände, 2018
- Artenschutzrechtlicher Fachbeitrag, 2018
- Baugrundtechnische Untersuchung, 2019
- Geruchsgutachten, 2021

*Anmerkung:*

*Im Zuge der Ausarbeitung der hier vorliegenden Bewertung wurde eine Ortsbesichtigung der Klärschlammvererdungsanlage in Rotenburg a.d. Fulda durchgeführt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse aus der Besichtigung und Gesprächen mit dem Betriebspersonal sind in diese Betrachtung mit eingeflossen.*

## 5.2 Variante 2: Sanierung der maschinellen Schlammentwässerung

Wie zuvor bereits beschrieben erfolgt die Klärschlamm entwässerung derzeit mittels Siebbandpresse. Die Siebbandpresse und dazugehörige Peripherie ist in einer Entwässerungshalle südlich des Faulbehälters untergebracht.



Abbildung 3: Luftbild Schlammbehandlung Kläranlage Espelkamp

Sowohl die Siebbandpresse als auch die gesamte dazugehörige Technik sind perspektivisch zu erneuern. Dabei ist auch grundsätzlich die Abkehr von der bisherigen Technik und der Einsatz eines Dekanters (Entwässerungszentrifuge) denkbar. Gleichzeitig sind das Gebäude selbst und die Schlammverladesituation zu Erneuern. Hierbei sind insbesondere die im Umbau



erforderlichen Provisorien zu beachten. Unter Umständen wäre sogar ein vollständiger Neubau westlich der bestehenden Halle, unter Weiterbetrieb der Bestandsanlage, anzudenken, um oftmals teure und aufwändige Provisorien zu vermeiden.

Die nachfolgenden Bilder zeigen Schlammmentwässerungshalle, die Siebbandpresse und den Schlammagerplatz.



Abbildung 4: Fotos vorhandene Schlammmentwässerung

## 6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

### 6.1 Projektkostenübersicht

Den Kern der hier vorliegenden Betrachtung bildet eine vergleichende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter Berücksichtigung der erforderlichen Investitions- und Betriebskosten. Gerade bei abwassertechnischen Anlagen fällt ein Großteil der tatsächlichen Projektkosten erst mit dem laufenden Betrieb, meist über mehrere Jahrzehnte, an, sodass rein investive Vergleiche von Varianten keine ausreichende Entscheidungsgrundlage darstellen.

Dennoch wird an dieser Stelle für die drei betrachteten Varianten separat auf die Investitionskosten bzw. das daraus abzuleitenden Projektbudget eingegangen. Dies dient zum einen zum besseren Verständnis der nachfolgenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und soll zum anderen die unterschiedlichen anfallenden tatsächlichen Kosten transparent abbilden.

Nachfolgend werden drei Varianten verglichen:

- Variante 1.1: Neubau Klärschlammvererdungsanlage „Fabbenstedter Straße“
- Variante 1.2: Neubau Klärschlammvererdungsanlage „Osnabrücker Straße“
- Variante 2: Erneuerung maschinelle Klärschlammmentwässerung

Die Kosten setzen sich dabei wie folgt zusammen:

- Investitionskosten aus Pauschalvertrag zum Bau einer Klärschlammvererdungsanlage je Standort
- Kosten für den Bau einer Überleitungstrasse für den stabilisierte Klärschlamm
- Grunderwerbskosten  
(Annahme nach Fläche mit jeweils 3,8 ha mit 6 €/m<sup>2</sup>)
- Annahme für Baukosten zur Erneuerung der maschinellen Klärschlammmentwässerung (getrennt nach Bau-, Maschinen- und EMSR-Technik)
- Risikokosten als prozentuale Abschätzung

Tabelle 2: Projektkostenübersicht Varianten 1 und 2

Variante	Neubau Klärschlammvererdungsanlage		Erneuerung maschinelle Schlammmentwässerung (SE) 2
	Fabbenstedter Straße 1.1	Osnabrücker Straße 1.2	
Pauschalvertrag/Baukosten <sup>1</sup> (zzgl. 15 % Risikokosten für SE)	3.271.000 €	3.304.800 €	500.000 € (+ 75.000 €)
Überleitungstrasse <sup>2</sup> (zzgl. 15 % Risikokosten)	658.870 € (+ 98.830 €)	-	-
Nassschlammumpwerk <sup>3</sup>	20.000 €	-	-
Grunderwerb	228.000 €	228.000 €	-
Planungsleistung für Standortan- passung <sup>4</sup>	-	44.175 €	-
Projektkosten, netto	4.276.700 €	3.576.975 €	575.000 €
Projektkosten, brutto <sup>5</sup>	<b>5.089.000 €</b>	<b>4.256.000 €</b>	<b>684.000 €</b>

Anmerkungen:

- 1) Baukosten für Schlammmentwässerung wurden überschlägig geschätzt
- 2) Baukosten der Überleitungstrasse wurden im Rahmen einer Entwurfsplanung ermittelt und beinhalten bereits Baunebenkosten (z.B. Planungskosten)
- 3) Kosten für Nassschlammumpwerk auf der KA Espelkamp beruhen auf Richtpreisangebot
- 4) Kosten für die Umplanung nach Standortwechsel
- 5) Projektkosten gerundet auf Tsd.

Die Erneuerung der maschinellen Klärschlammmentwässerung liegt mit 684.000 € um ca. 3,5 bis 4,4 Mio. € brutto günstiger als der Neubau einer Klärschlammvererdungsanlage und erfordert somit die geringsten Erstinvestitionen.

Die Erneuerung der maschinellen Entwässerung kann vollständig auf dem Gelände der Kläranlage Espelkamp erfolgen, sodass keine Kosten für zusätzlichen Grunderwerb oder eine Schlammüberleitung erforderlich werden. Gleichzeitig wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es sich lediglich um eine überschlägige Investitionskostenabschätzung ohne konkrete Objektplanung handelt. Die angesetzten Risikokosten von 15% sind daher als konservativ zu bewerten.

Die aufgeführten Kosten des Pauschalvertrages für den Standort „Osnabrücker Straße“ beinhalten bereits die Kosten für den Bau einer Überleitungstrasse und werden daher nicht mehr separat aufgeführt.

Da im Rahmen der Projektbearbeitung eine Änderung des Vorzugsstandortes durchgeführt wurde, wurden entsprechende Umplanungsarbeiten erforderlich, die eine separate Vergütung zur Folge hatten.

## 6.2 Dynamische Kostenvergleichsrechnung nach LAWA

Der Aufbau der nachfolgenden dynamischen Kostenvergleichsrechnung erfolgt nach den „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)“. Diese wurden erstmals von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (kurz LAWA) erarbeitet und werden seit 2007 durch die DWA fortgeführt. Diese standardisierte Methodik ist ein wesentlicher Baustein in der Wirtschaftlichkeitsbewertung von Projekten in der Wasser- und Abwasserwirtschaft.

Im Kern werden neben den reinen Investitionskosten dabei ebenfalls die laufenden Betriebskosten berücksichtigt und für einen zu betrachtenden Untersuchungszeitraum finanzmathematisch aufbereitet. Dabei werden unter anderem auch die Kosten für erforderliche Ersatzinvestitionen nach Erreichen einer definierten Nutzungsdauer, jährliche Preisveränderungen, z.B. für Energiekosten, abgebildet. Im Ergebnis erfolgt ein Vergleich anhand von sogenannten Projektbarwerten oder Jahreskosten.

Ziel ist es, die gesamtwirtschaftliche Kostenvorteilhaftigkeit aufzuzeigen und dadurch Entscheidungsprozesse zu stützen. Entscheidend ist dabei jedoch die zwingende Voraussetzung der Nutzengleichheit der zu vergleichenden Alternativen. Im hier vorliegenden Fall besteht die Nutzengleichheit in der Aufgabe der weitergehenden Klärschlammbehandlung bzw. Entwässerung vor der nachfolgenden Klärschlammverwertung. Da es sich um eine vergleichende Aufbereitung von Kosten handelt, sind in allen Varianten gleichlautende Ansätze, z.B. Reinvestitionszeitpunkte für maschinentechnische Anlagen mit 15 Jahren, anzusetzen, auch wenn die tatsächliche Nutzungsdauer dann nicht zwangsläufig erreicht sein muss. Diese Ansätze werden nach Empfehlungen der KVR-Leitlinien angesetzt.

Zunächst sollen die jeweiligen Kostenblöcke kurz beschrieben werden. Im Anschluss werden die daraus abgeleiteten Projektkostenbarwerte einer sogenannten Sensitivitätsanalyse unterzogen und dadurch die Stabilität der Kostenvorteilhaftigkeit bei veränderten Eingangsparametern (z.B. veränderte Klärschlammkosten) untersucht.

### Investitionskosten

Die angesetzten Investitionskosten entsprechen der oben gemachten Aufstellung, abzüglich der Grunderwerbskosten in den Varianten 1.1 und 1.2, da diese im Sinne der Methodik keiner Nutzungsdauer unterliegen und einen bleibenden Wert darstellen. Weiterhin haben Grunderwerbskosten keine direkte gebührentechnische Relevanz und sind daher auszuschließen.



## Betriebskosten

### 1. Personalkosten

Die angesetzten Personalkosten für die Klärschlammvererdungsanlage werden den Angaben der Fa. PAULY GROUP entnommen. In der Variante „Fabbenstedter Straße“ wurde ein Aufschlag, aufgrund der erhöhten Fahrtzeit, ausgehend vom Kläranlagenstandort, berücksichtigt. Die Personalkosten für den Betrieb der neuen Entwässerungsanlage wurden Anhand von Erfahrungswerten und nach Abgleich mit zur Verfügung stehenden Literaturwerten geschätzt.

### 2. Energiekosten

Die angesetzten Energiekosten für die Klärschlammvererdungsanlage werden den Angaben der Fa. PAULY GROUP entnommen. In der Variante „Fabbenstedter Straße“ wurde auf einen Zuschlag im Bereich der Pumpentechnik, aufgrund der größeren Förderstrecke, zunächst verzichtet. Die Energiekosten für den Betrieb der neuen Entwässerungsanlage wurden Anhand von Erfahrungswerten und nach Abgleich mit zur Verfügung stehenden Literaturwerten geschätzt.

### 3. Betriebsmittel

Die angesetzten Kosten der erforderlichen Betriebsmittel, hier im Wesentlichen polymere Flockungshilfsmittel zur Klärschlammmentwässerung, werden den Angaben der Fa. PAULY GROUP entnommen und sind für beide Standortvarianten gleich anzusetzen. Für die Erneuerung der neuen Entwässerungsanlage wurde, in Anlehnung an entsprechende Literaturwerte, ein Bedarf von 12,5 kg WS/t TS (WS=Wirksubstanz; TS: Trockensubstanz) berücksichtigt.

### 4. Wartung- und Instandhaltung

Die angesetzten Wartungs- und Instandhaltungskosten für die Klärschlammvererdungsanlage werden den Angaben der Fa. PAULY GROUP entnommen. In der Variante „Fabbenstedter Straße“ wurde der Mehraufwand zur Instandhaltung der größeren Überleitung durch einen Aufschlag berücksichtigt. Für die Erneuerung der maschinellen Entwässerungsanlage wurde, in Anlehnung an die KVR-Leitlinien, ein prozentualer Ansatz von einheitlich 3,0 % der Nettobaukosten gewählt.

### 5. Betriebsbegleitendes Engineering für Klärschlammvererdungsanlage

Der im Auftragsfall zu schließende Werkvertrag sichert im Kern über entsprechende Funktionsparameter die Leistungsfähigkeit der Klärschlammvererdungsanlage zu. So wird u.a. eine Volumenreduktion zum Nassschlamminput von 92 % zugesichert. Gleichzeitig muss dazu ein sogenanntes Betriebsbegleitendes Engineering (BBE) abgeschlossen werden, sodass der Auftragnehmer entsprechenden Einfluss auf den ordnungsgemäßen Betrieb der Anlage hat. Darüber wird ebenfalls die Schulung und Einweisung des Personals der Stadtwerke Espelkamp gewährleistet. Die Kosten für das BBE verringern sich nach den ersten drei Jahren.

### 6. Schlammentsorgung

Die Entsorgungskosten werden für alle Varianten einheitlich angesetzt. Für den Trockensubstanzgehalt (TS) wird gemäß Werkvertrag ein Wert von 50 % (TS-Äquivalent) zugrunde gelegt. Für die Erneuerung der maschinellen Entwässerungsanlage wurde von einem Entwässerungsgrad (TS) von 22 % ausgegangen. Dies deckt

sich mit den aktuellen Betriebserfahrungen und liegt in der zu erwartenden Spanne von Kläranlagen bei Betrieb einer Klärschlammfäulung.

7. Beeträumung für Klärschlammvererdungsanlagen

Über den im Auftragsfall zu schließenden Werkvertrag wird ebenfalls die Höhe der anfallenden Räumkosten pro Beet gedeckt. Hier wird unterteilt in die Grundleistungen je Räumung (u.a. Planung und Analytik der Räumung, Öffnen und Verschließen des Beetdamms) und variable Leistungen (u.a. Lösen, Ausheben und Laden der Klärschlammmerde durch Baumaschinen). Die Räumung erfolgt beetweise, beginnend im Jahr 7, sodass der erste vollständige Räumung im Jahr 12 abgeschlossen ist.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden folgende Kostenansätze (netto) hinterlegt:

- kalkulatorischer Zinssatz: 3,0 % p.a.  
(gemäß Empfehlung KVR-Leitlinie)
- Betrachtungszeitraum: 36 Jahre
- Personalkosten: 50 €/h
- Polymeres Flockungshilfsmittel: 2,30 €/kg
- Energiekosten: 21 cent/kWh
- Klärschlamm Entsorgung: 104 €/t
- Betriebsbegleitendes Engineering (Jahr 1-3): 28.190 €/a
- Betriebsbegleitendes Engineering (Jahr 4-12): 26.190 €/a
- Beeträumung Grundpreis: 28.000 €/Beet
- Beeträumung variable Leistung: 7,90 €/m<sup>3</sup>

Die Tabelle 3 fasst die Kosten unter den zuvor beschriebenen Ansätzen zusammen:

Tabelle 3: Investitionskosten und Betriebskosten je Variante

Variante	Neubau Klärschlammvererdungsanlage		Erneuerung maschinelle Schlammwässerung (SE) 2
	Fabbenstedter Straße 1.1	Osnabrücker Straße 1.2	
Investitionskosten	4.048.700,50 € 121 %	3.348.975,00 € 100 %	575.000,00 € 17 %
Personalkosten	5.200 €/a	3.900 €/a	36.000 €/a
Energiekosten	2.500 €/a	2.500 €/a	9.450 €/a
Betriebsmittel	10.080 €/a	10.080 €/a	17.325 €/a
Schlammverwertung	-	-	283.608 €/a
Wartung und Instandhaltung	10.538 €/a	9.580 €/a	15.000 €/a
BBE (Jahr 1-3)	28.190 €/a	28.190 €/a	-
BBE (Jahr 4-12)	26.180 €/a	26.180 €/a	-
Beeträumung je Beet, Grundpreis	28.000,00 €	28.000,00 €	-
Beeträumung je Beet, var. Preis	20.075,29 €	20.075,29 €	-
Schlammverwertung je Beet	223.600,00 €	223.600,00 €	-

Die Tabelle 4 zeigt die über den gewählten Betrachtungszeitraum entstehenden Projektkostenbarwerte. Diese Variante bildet die Ausgangsbasis für die sich anschließende Sensitivitätsanalyse.

Tabelle 4: Projektkostenbarwerte für Ausgangsszenario

Variante	Neubau Klärschlammvererdungsanlage		Erneuerung maschinelle Schlammentwässerung (SE)
	Fabbenstedter Straße 1.1	Osnabrücker Straße 1.2	2
Investitionskosten	7.484.063,70 € 107 %	6.996.339,11 € 100 %	9.122.875,78 € 130 %

Über den Gesamtzeitraum betrachtet stellt sich der Bau der Klärschlammvererdungsanlage am Standort „Osnabrücker Straße“, trotz der im Vergleich zur maschinellen Entwässerung sehr hohen Investitionskosten, als wirtschaftlichste Variante dar. Die Entwicklung des Projektkostenbarwertes über den Betrachtungszeitraum gesehen kann der nachfolgenden Abbildung 5 entnommen werden. Beginnend zum Zeitpunkt „0“ erfolgt die Erstinvestition und danach schließen sich die laufenden Betriebskosten, Räumkosten oder auch Reinvestitionszeitpunkte an.

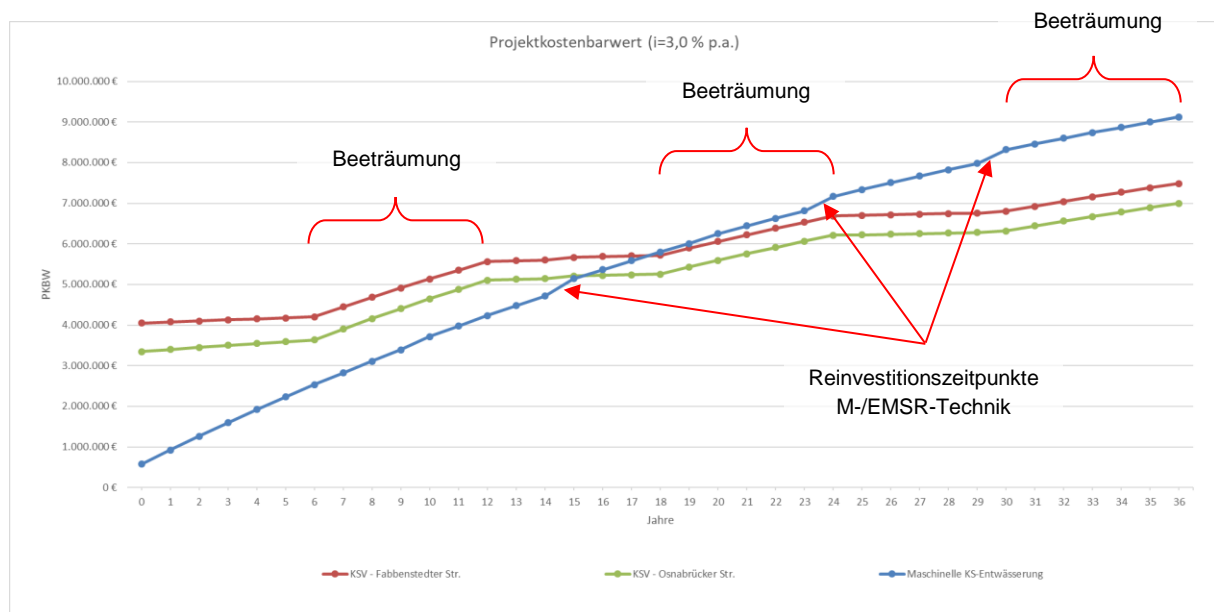


Abbildung 5: Entwicklung Projektkostenbarwert für Ausgangsszenario

Es zeigt sich, dass mit Beginn des Jahr 15 die gesamtwirtschaftliche Vorteilhaftigkeit der maschinellen Klärschlammmentwässerung zu Gunsten der Klärschlammvererdungsanlage umkehrt. Dies lässt sich im Kern auf den deutlich erhöhten Gesamtentwässerungsgrad bzw. die Volumenreduktion des vererdeten Klärschlammes und die dadurch bedingten deutlich geringeren Entsorgungskosten zurückführen. Dazu wird folgende überschlägige Ermittlung der Entsorgungskosten für die ersten 12 Jahren, also nach Abschluss des ersten Räumzyklus, kurz aufgestellt:

Maschinelle Klärschlammmentwässerung:  $12 \times 283.608 \text{ €/a} = 3.403.296 \text{ €}$   
Klärschlammvererdung:  $6 \times 223.600 \text{ €} = 1.341.600 \text{ €}$

Die überschlägige Vorteilhaftigkeit für die Klärschlammmentsorgung beträgt demnach über die ersten 12 Jahre gesehen ca. 2,0 Mio. €, was maßgeblich zur Entwicklung der Gesamtkosten beiträgt.

Die Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse. Auf der linken Seite werden dabei die Veränderungen des Ausgangsszenarios beschrieben und auf der rechten Seite die jeweiligen Projektkostenbarwerte je Variante aufgeführt. Zur leichteren Übersicht wird die jeweilige Rangfolge und die Prozentuale Veränderung, ausgehend von der wirtschaftlichsten Variante, angegeben.

Bei der Veränderung von einzelnen Parametern bzw. Ansätzen werden ebenfalls verschiedene Kombinationen betrachtet. Dabei wurde bewusst das Ziel verfolgt „Grenzscenarien“ abzubilden, bei denen sich die Rangfolge in der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit verändert, um anschließend daran eine entsprechende Bewertung vornehmen zu können.

Die Vorgehensweise wird beispielhaft am Szenario 1 kurz erläutert.

Der Grundansatz des für den Bau einer Klärschlammvererdungsanlage zu schließenden Werkvertrages ist die Einhaltung des vertraglich beschriebenen Pauschalpreises (Investitionssumme) für die Planung und den Bau der Anlage. Sollte es jedoch nach Vertragsabschluss zu gravierenden Änderungen von durch die Firma zu tragenden Baukosten, z.B. Materialpreissteigerungen >10 % kommen, kann unter Umständen eine Preisanpassung erforderlich werden. Gleichzeitig bezieht sich der Werkvertrag auf einen spätesten Baubeginn im 3. Quartal 2022. Sollte es aufgrund von derzeit unvorhersehbaren Verzögerungen zu einem späteren Baubeginn kommen, wird eine sogenannte Preisgleitung, ausgehend vom Baupreisindex Deutschland, wirksam. Dies ist im Falle von Pauschalpreisen nicht unüblich, da dem Auftragnehmer keine unzumutbaren Risiken auferlegt werden können. Daher soll im Szenario 1 die Auswirkung einer fiktiven Erhöhung der Investitionskosten um + 25 % für den Bau einer Klärschlammvererdungsanlage untersucht werden. Die Baukosten für die Erneuerung der maschinellen Klärschlammmentwässerung bleiben in diesem Fall unverändert.

Es zeigt sich, dass auch bei einer Erhöhung der Investitionskosten keine Umkehr der gesamtwirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit einstellt. Der Projektkostenbarwert für die Erneuerung der maschinellen Klärschlammmentwässerung liegt im Vergleich zur Variante 1.2 „Standort Osnabrücker Straße“ immer noch um + 16% höher. Erst bei einer Investitionskostenzunahme von >60 % des Ausgangspreises kippt die wirtschaftliche Gesamtvorteilhaftigkeit.

Tabelle 5: Ergebnis Sensitivitätsanalyse

		Sensitivitätsanalyse Schlammbehandlung KA Espelkamp		
		Variante 1.1 (Fabbenstedter Str.)	Variante 1.2 (Osnabrücker Str.)	Variante 2 (maschinelle Entwässerung)
<b>0</b>	Ausgangsszenario	7.484.063,70 €	6.996.339,11 €	9.122.875,78 €
		107%	100%	130%
		<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	Vererdung + 25 % Invest.	8.496.238,83 €	7.833.582,86 €	9.122.875,78 €
		108%	100%	116%
		<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	Kostensenkung der Verwertung um 50 % (52 €/t)	6.371.580,73 €	5.883.856,13 €	6.026.975,05 €
		108%	100%	102%
		<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	Vererdung + 25 % Invest. / -50 % Verwertungskosten (52 €/t)	7.383.755,85 €	6.721.099,88 €	6.026.975,05 €
		123%	112%	100%
		<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>4</b>	Vererdung + 25 % Räumkosten pro Zyklus	7.603.658,83 €	7.115.934,24 €	9.122.875,78 €
		107%	100%	128%
		<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	besseres Entwässerungsergebnis von 22 % auf 25 %	7.484.063,70 €	6.996.339,11 €	8.380.404,54 €
		107%	100%	120%
		<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
<b>6</b>	Verringerung TR-Äquivalent von 50 % auf 30 %*	8.967.374,34 €	8.479.649,74 €	9.122.875,78 €
		106%	100%	108%
		<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
<b>7</b>	Verringerung TR-Äquivalent von 50 % auf 30 %* und besseres Entwässerungsergebnis von 22% auf 25 %	8.967.374,34 €	8.479.649,74 €	8.380.404,54 €
		107%	101%	100%
		<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>8</b>	Kostensteigerung der Verwertung um 25 % (130 €/t)	8.040.305,19 €	7.552.580,60 €	10.670.826,15 €
		100%	100%	141%
		<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
* vertraglicher Garantiewert 50 % TR-Äquivalent				

Es ist festzuhalten, dass sich nur in zwei Szenarien (Szenario 3 und 7) die Erneuerung der maschinellen Entwässerungsanlage wirtschaftlicher darstellt. Dabei liegt selbst im Szenario 7 unter Ansatz eines verbesserten Entwässerungsergebnisses (Steigerung von 22 % auf 25 % durch laufende betriebliche Optimierung) und bei stark gestörtem Betrieb der Klärschlammvererdungsanlage (Verringerung des Entwässerungsgrades) die Vorteilhaftigkeit bei knapp 1 %.

Insgesamt ist die gesamtwirtschaftliche Vorteilhaftigkeit für den Bau und Betrieb einer Klärschlammvererdungsanlage, insbesondere am Standort „Osnabrücker Straße“, als äußerst stabil gegenüber veränderten Eingangsparametern anzusehen.

## 7 Exkurs: Klärschlammverwertung

Während des Entscheidungsprozesses zur langfristigen Aufstellung der kommunalen Klärschlammbehandlung- bzw. Entsorgungsstrategie der Stadtwerke Espelkamp AöR wurden ebenfalls alternative Verwertungswege in die Diskussion mit eingebracht. Daher soll an dieser Stelle ein kurzer Exkurs zur Einordnung der Entsorgungswege und Verfahren erfolgen.

Seit der 2017 neu gefassten Rechtsgrundlage (u.a. Klärschlammverordnung, Düngemittelverordnung) besteht in Bezug auf die Klärschlammbehandlung und -entsorgung eine klare Regelung (Verpflichtung) zur Phosphor-Rückgewinnung ab dem Jahr 2029 bzw. 2032. Dies betrifft insbesondere große Kläranlagen. Für Kläranlagen <50.000 Einwohnerwerte (EW), somit auch für die Kläranlage Espelkamp (ca. 31.000 EW), besteht auch in der Folgezeit die Möglichkeit der bodenbezogenen Verwertung von Klärschlamm. Es stehen somit grundsätzlich beide Verwertungswege zur Option.

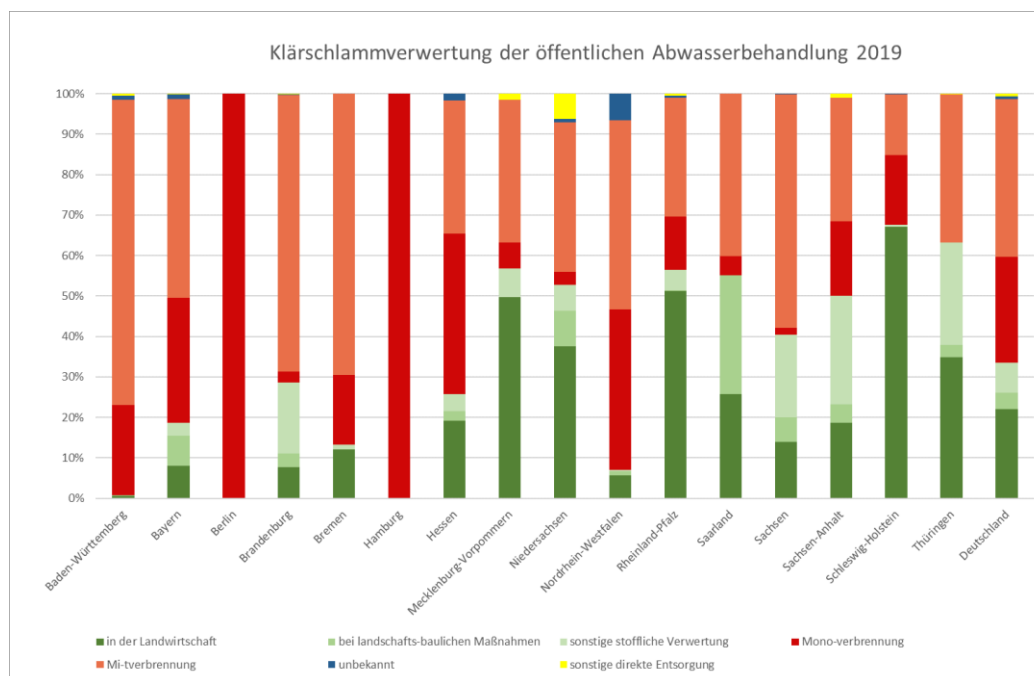


Abbildung 6: Klärschlammverwertung der öffentlichen Abwasserbehandlung im Jahr 2019 [Quelle: Statistisches Bundesamt, 2021]

Wie die Abbildung 6 zeigt, wurde bereits im Jahr 2019 ein Großteil des in Deutschland anfallenden Klärschlammes thermisch verwertet. Dabei wurde jedoch fast die Hälfte des Schlammes über eine sogenannte Mitverbrennung, z.B. in Kraftwerken, Zementwerken oder Abfallverbrennungsanlagen, entsorgt. Eine kontrollierte Phosphor-Rückgewinnung wird durch die Mitverbrennung jedoch erschwert, sodass zu erwarten ist, dass sich eine Trendentwicklung zur Monoverbrennung für Klärschlamm unter gleichzeitigem Einsatz von entsprechenden Rückgewinnungstechnologien einstellen wird.

Für die Stadtwerke Espelkamp AöR besteht durch den Anschluss an die Klärschlammkooperation OWL („Klärschlammverwertung OWL GmbH“) bereits für 20 % der anfallenden Klär-

schlammmenge eine klare Regelung zur thermischen Verwertung. Die Entsorgung der restlichen 80 % ist weiterhin weitestgehend offen und kann nach wirtschaftlichem Ermessen erfolgen.

Um den Prozess bzw. die Optionen zur weitergehenden Behandlung aufzuzeigen wird auf die nachfolgende Abbildung 7 verwiesen.

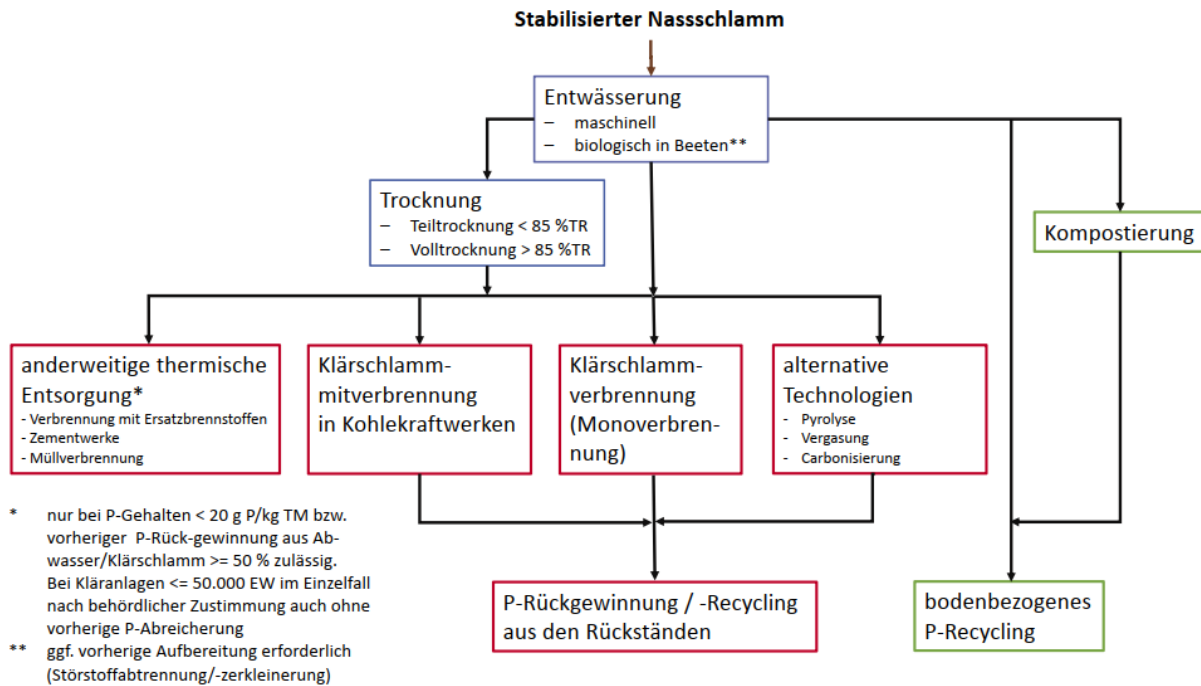


Abbildung 7: Mechanische, biologische und thermische Behandlungsverfahren (ab 2029/2032) [Quelle: Korrespondenz Abwasser 2019 Ausgabe 3]

Grundsätzlich ist dabei festzuhalten, dass alle Prozesse, bis auf die biologische Entwässerung in Beeten (Klärschlammvererdung), eine vorherige maschinelle Klärschlamm-entwässerung benötigen. Dabei wird ein Großteil des im Klärschlamm enthaltenen Wassers abgetrennt und das Volumen und die Konsistenz so verändert, dass ein weitergehender Transport technisch und wirtschaftlich sinnvoll möglich ist.

Dies verdeutlicht die im Kapitel 6 beschriebene Anforderung zur Nutzengleichheit von Varianten im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung nach KVR, da das der eigentlichen Verwertung vorgelagerte Verfahren der Entwässerung zu vergleichen ist und damit die Betrachtungsgrenze darstellt.

Da im Laufe des Prozesses ebenfalls das Verfahren der Klärschlamm-pyrolyse mit in die Betrachtung einbezogen wurde, wird an dieser Stelle kurz eine inhaltliche Einordnung vorgenommen. Diese abschließende Passage stellt dabei in Teilen die persönliche Meinung des Autors dar und ist als solche zu verstehen.

Die hoheitliche Aufgabe der Städte und Gemeinden ist es, das auf ihrem Gebiet anfallende Abwasser (Schmutz- und Niederschlagswasser) abzuleiten und zu beseitigen. Das Ziel des

abwassertechnischen Betriebes ist dabei die Sicherstellung einer möglichst störungsfreie Führung der Anlagen (hier: Kläranlage) zur Einhaltung der, oftmals im Wasserrecht formulierten, rechtlichen Anforderungen (z.B. Reinigungsleistung). Gleichzeitig sind dabei die Haushaltsgrundsätze der Wirtschaftlichkeit zu beachten. In diesem Sinne empfiehlt es sich oftmals möglichst erprobte bzw. betriebsstabile Verfahren einzusetzen. Gerade bei kleineren und mittleren Betrieben liegt die Optimierung des betrieblichen Aufwandes dabei oftmals im Fokus.

Jedoch ist gerade in der Abwasserbranche der technologische Fortschritt und die Durchführung von Pilotprojekten entscheidend für die stetige Verbesserung von Prozessen und zur Weiterentwicklung der Technik. Für den hier vorliegenden Fall zum Einsatz der Pyrolyse-Technologie liegt unter Umständen genau so ein Zielkonflikt vor. Es treffen der Wunsch zum Einsatz innovativer Technik mit dem Ziel der sicheren und stabilen Betriebsweise aufeinander. Dieser Konflikt ist oftmals nur schwer zu lösen, da selten nur rein objektiv messbare oder wirtschaftliche Faktoren zu betrachten sind.

Für den hier vorliegenden Fall kann jedoch festgehalten werden, dass durch die nun favorisierte Behandlungsform keine Entscheidung gegen die nachgelagerte thermische Verwertungsform in Form einer Klärschlampypyrolyse gefallen ist. Vielmehr wird durch die Bindung zur Abgabe von lediglich 20 % der jährlichen Klärschlammmenge an die KSV OWL die Option weiter offen gehalten. Die KSV OWL kann und wird nach eigener Aussage keine Annahme von Reststoffen aus der Pyrolyse durchführen, was sich unter anderem auf genehmigungsrechtliche Gründe im Abfallrecht zurückführen lässt.

Sofern zukünftige Erfahrungen oder Branchenentwicklungen sowie die einzuhaltenden genehmigungsrechtlichen Anforderungen einen dezentralen Einsatz begünstigen, kann diese Option weiterhin betrachtet werden. Dies gilt unter anderem auch für den Einsatz von durch Pyrolyse gewonnenen Materialien im Bereich von Düngeprodukten. Hier wird nach EU-Recht derzeit die Nutzung von Klärschlamm ausgeschlossen. Unter Umständen bietet sich dennoch die Gelegenheit in Form eines Versuchsbetriebs die Technik für den Anwendungsfall auf der Kläranlage Espelkamp zu erproben. Dabei gewonnene Erkenntnisse im Realbetrieb könnten dann, ohne zu große technische oder wirtschaftlich Risiken, mit in die langfristige Planung einbezogen werden.



## 8 Zusammenfassung

Die Stadtwerke Espelkamp AöR befinden sich derzeit in einem laufenden Entscheidungsprozess zur langfristigen Aufstellung und Ausrichtung der kommunalen Abwasserreinigung. Dazu sind verschiedene strategische Entscheidungen in Bezug auf die Bereiche der Abwasserreinigung und die nachgelagerte Schlammbehandlung zu treffen.

Im Bereich der Abwasserreinigung kann festgestellt werden, dass zunehmend eine Verschärfung der Anforderungen an die zu erbringende Reinigungsleistung erfolgt. Übergeordnet lässt sich dies auf die Anforderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie und die in Deutschland geltende Oberflächengewässerverordnung zurückführen. Ziel ist es, die Gewässer in einen guten ökologischen Zustand bzw. ein gutes ökologisches Potential zu überführen, was insbesondere Anlagenbetreiber an vergleichsweise kleinen Gewässern (Vorflutern) vor größere Herausforderungen stellt. Oftmals stellt hierbei die Einleitungsmenge an gereinigtem Abwasser einen erheblichen Anteil am natürlichen Gesamtabfluss im Gewässer dar, sodass in Bezug auf chemische Qualität die Kläranlagen einen deutlichen Einfluss auf verschiedene Parameter (z.B. Stickstoff, Phosphor) haben.

Gleichzeitig hat das Thema der Klärschlammverwertung, auch aufgrund steigender gesetzlicher Anforderungen, z.B. an die Klärschlammqualität im Bereich der landwirtschaftlichen Verwertung oder die Anforderung an die Ressourcenrückgewinnung, Stichwort Phosphor-Recycling, stark an Bedeutung gewonnen. Dies hat insbesondere in den letzten Jahren zu steigenden Preisen für die Klärschlamm Entsorgung geführt, sodass der Umgang und die Art der Verwertung des anfallenden Klärschlammes einen maßgeblichen Einfluss auf die Gesamtbetriebskosten einer Kläranlage hat.

Im Bereich der Abwasserreinigung wurde durch die erarbeitete Studie der Status Quo festgestellt und wesentliche Bausteine zur verfahrenstechnischen Optimierung aufgezeigt. Neben Empfehlungen zur kurzfristigen Betriebsumstellung wurden dabei Mittel- und Langfristige Ziele, wie der Bau einer nachgeschalteten Filtrationsanlage zur weitergehenden Phosphorelimination oder die Auswirkungen und Optionen zur Aufgabe des vorhandenen Schönungsteiches, herausgearbeitet. Die Ergebnisse der Studie werden noch im laufenden Jahr der Bezirksregierung Detmold vorgestellt, um im gemeinsamen Dialog die weiteren Schritte festzulegen.

Die Klärschlammbehandlung hat, insbesondere durch die sich einstellende Rückbelastung aus der Schlammmentwässerung, mitunter einen hohen Einfluss auf die Reinigungsleistung bzw. auf den Betrieb der biologischen Reinigungsstufe. Aufgrund des aktuellen Abstimmungsprozesses zum Bau einer Klärschlammvererdungsanlage, war es daher geboten, die daraus resultierenden Auswirkungen auf den Abwasserreinigungsprozess aus verfahrenstechnischer Sicht zu untersuchen. Es ist festzuhalten, dass sich durch den Bau einer Klärschlammvererdungsanlage die Belastungssituation im Bereich der Stickstoffelimination verbessert. Dies wirkt sich somit positiv auf ggf. später erforderliche weitere Baumaßnahmen aus (z.B. die Schaffung von zusätzlichem Belebungsbeckenvolumen).

Weiterhin wurde eine vertiefte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt, um die gesamtwirtschaftliche Vorteilhaftigkeit der Verfahren „Maschinelle Klärschlammwässerung“ und „Klärschlammvererdung“ aufzuzeigen. Trotz der deutlich höheren Erstinvestitionskosten stellt sich dabei nach ca. 15 Jahren eine wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit der Klärschlammvererdung dar. Diese Vorteilhaftigkeit konnte im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse, unter Ansatz verschiedener Betrachtungsszenarien, bestätigt werden.

Das Verfahren der Klärschlammvererdung kann als robuste und vergleichsweise betriebsarme Technik zur Behandlung von Klärschlamm beschrieben werden. Dies konnte durch den Besuch einer Vergleichsanlage bestätigt werden. Gleichwohl ist ein gewissenhafter und sorgsamer Betrieb geboten, um die biologischen Prozesse in der Anlage stabil zu halten. Die Behebung von Betriebsstörungen wird dabei im Gegenzug zu einer maschinellen Schlammwässerung als aufwändiger eingeschätzt. Nach Einschätzung des Autors scheitert der Einsatz der Technik oftmals an einer ausreichenden Flächenverfügbarkeit im unmittelbaren Umfeld der jeweiligen Kläranlage bzw. aus genehmigungsrechtlichen Gründen. Dennoch ist in Deutschland eine ausreichende Anzahl an Vergleichsanlagen vorhanden, sodass von einer langjährig erprobten Technik gesprochen werden kann.

Enger, den 19.10.2021

**Bockermann Fritze IngenieurConsult GmbH**

gez.  
Henrik Doht, M.Sc.

gez.  
i.V. Michael Bröker, M.Sc.