



**Machbarkeitsstudie  
für die Kläranlage  
Haag am Hausruck**

**THE PAULY GROUP**  
Von Natur aus smart.

**Erarbeitung der Entscheidungsgrundlage mit Kosten- und Systemvergleich: Bau einer EKO-PLANT Klärschlammvererdung in Relation zur mobilen Klärschlammmentwässerung**

**Auftraggeberin:**

15.11.2024

Marktgemeinde Haag am Hausruck  
Marktplatz 23  
4680 Haag am Hausruck

**Auftragnehmerin:**

THE PAULY GROUP GmbH & Co. KG  
Bahnhofstraße 12  
37249 Neu-Eichenberg

**Ansprechpartner:**

Johann Busse, Yannick Reis  
E: [johann.busse@thepaulygroup.de](mailto:johann.busse@thepaulygroup.de)  
T: +49 5542 9251-428  
E: [yannick.reis@thepaulygroup.de](mailto:yannick.reis@thepaulygroup.de)  
T: +49 5542 9251-422

© 2024 by THE PAULY GROUP GmbH & Co. KG - Vervielfältigung und Weitergabe, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Zustimmung der THE PAULY GROUP GmbH & Co. KG. Änderungen vorbehalten.

**THE PAULY GROUP GmbH & Co. KG**

Bahnhofstraße 12  
37249 Neu-Eichenberg  
Telefon: +49 5542 9251-0  
Telefax: +49 5542 9251-405  
[info@thepaulygroup.de](mailto:info@thepaulygroup.de)  
[www.thepaulygroup.de](http://www.thepaulygroup.de)

**Geschäftsführung**  
Dr.-Ing. Udo Pauly  
Svetlana Stelle-Klees  
Amtsgericht Eschwege  
HRA 2845

**Persönlich haftende Gesellschafterin**  
THE PAULY GROUP GESCHÄFTSFÜHRUNGS GmbH  
**Geschäftsführung**  
Dr.-Ing. Udo Pauly, Svetlana Stelle-Klees  
Amtsgericht Eschwege  
HRB 3343

**Bankverbindung**  
Sparkasse Werra-Meißner  
IBAN: DE73 5225 0030 0000 0503 51  
BIC: HELADEF1ESW  
USt.-Id.Nr.: DE 337 939 522

## Zusammenfassung

Die vorliegende Studie wurde seitens der Marktgemeindeamt Haag am Hausruck in Auftrag gegeben, um zu prüfen, ob der Bau einer EKO-PLANT Klärschlammvererdungsanlage für die Kläranlage Haag am Hausruck technisch machbar und wirtschaftlich sinnvoll ist.

Auf der Kläranlage Haag am Hausruck wird der nach der Abwasserreinigung anfallende Überschussschlamm im Stapelbehälter voreingedickt und anschließend in die Nassschlammverwertung verbracht. Anlass der Studie ist die zukünftig ungewisse Lage zur landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung in Österreich.

Zur Ergründung der Aufgabenstellung wird in den betrachteten Varianten untersucht, ob die mobile Entwässerung des anfallenden Klärschlammes über einen Betrachtungszeitraum von 36 Jahren verglichen zum Bau einer EKO-PLANT Vererdungsanlage durch die baulichen Gegebenheiten möglich ist und welche Kosten sich durch Investition und laufende Aufwendungen im gesamten Betrachtungszeitraum ergeben. In beiden Untersuchungsvarianten wird die anfallende Klärschlammmerde bodenbezogen verwertet. Dabei wird ein Verwertungspreis von 75 €/t angenommen.

Der Klärschlamm der Kläranlage Haag am Hausruck ist entsprechend einer Beprobung als ausreichend stabilisiert zu bewerten. Neben der Untersuchung des Überschussschlammes stellte die Auftraggeberin Klärschlammanalysen aus den vergangenen drei Jahren zur Verfügung. In allen Analysen lagen keinerlei Grenzwertüberschreitungen vor. Bei Kupfer trat der Wert in allen Jahren jedoch bis auf 85 % an den Grenzwert heran. Um die mögliche Verschlechterung der vorliegenden Werte abzubilden, wurde in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ebenfalls die thermische Verwertung mit einem Verwertungspreis von 120 €/t dargestellt. Neben dem Szenario einer sich verschlechternden Schlammqualität besteht ebenso die Möglichkeit, dass sich Gesetze bezüglich der Verwertung von Klärschlamm verändern und somit die thermische Verwertung unumgänglich wird. Den Anlagen dieser Studie ist ein Artikel der DWA beigelegt, welcher die möglichen Preisentwicklungen der Klärschlammverwertung abschätzt.

Wird der Bau einer EKO-PLANT Klärschlammvererdung umgesetzt, wird ein für den aufkommenden Klärschlamm angepasster Beschickungsplan erarbeitet, der das Vererdungsbeet und den Schilfbestand vor einer Überlastung schützen soll. Bei unverträglicher Abweichung der Schlammparameter müssen Maßnahmen zur Anpassung ergriffen werden, um eine Verschlechterung des Vererdungsprozesses zu verhindern.

In beiden Varianten wird ein Klärschlammfall von 65 t TS/a bei einer Nutzungsdauer von 36 Jahren zugrunde gelegt.

**Wirtschaftlichkeit**

Die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit erfolgt nach den „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen“ (DWA 2012)<sup>1</sup>. Dabei werden die Projektkostenbarwerte und die dynamischen Jahreskosten dargestellt.

**Tabelle 1: Projektkostenbarwerte (PKBW) und dynamische Jahreskosten (dyn. JK) der Klärschlammwässerung für die Kläranlage Haag am Hausruck**

| Verfahren                      | Verwertung         | PKBW        | Dyn. JK     |
|--------------------------------|--------------------|-------------|-------------|
| EKO-PLANT Klärschlammvererdung | landwirtschaftlich | 2.417.181 € | 110.716 €/a |
| mobile Entwässerung            |                    | 3.181.606 € | 145.730 €/a |
| EKO-PLANT Klärschlammvererdung | thermisch          | 1.627.097 € | 74.527 €/a  |
| mobile Entwässerung            |                    | 2.169.182 € | 99.357 €/a  |

Im Ergebnis zeigt sich, dass der Umbau zur EKO-PLANT Klärschlammvererdungsanlage im **Projektkostenbarwert** einen wirtschaftlichen Vorteil von 21,2 % bei landwirtschaftlicher Verwertung und 33 % bei thermischer Verwertung erreicht.

Die **dynamischen Jahreskosten** errechnen sich aus dem Projektkostenbarwert anhand des Kapitalwiedergewinnungsfaktors. Dieser Kapitalwiedergewinnungsfaktor ergibt sich aus einem Realzinssatz von 3 % über einen Zeitraum von 36 Jahren.

In einer zusätzlich durchgeführten Sensitivitätsprüfung werden die Verwertungs- und Betriebskosten einer jährlichen Preissteigerung unterzogen. Die jährliche Preissteigerung wird auf 2 % angesetzt. Besonders bei einem Anstieg der Betriebskosten entsteht ein deutlicher Vorteil auf der Seite der EKO-PLANT Klärschlammvererdungsanlage.

Bei einer Liquiditätsbetrachtung (statischer Kostenvergleich) zeigt sich ebenfalls ein klarer Kostenvorteil bei der EKO-PLANT Klärschlammvererdung. Hier liegen die Einsparungen der landw. Verwertung bei 18.119 €/a, gemittelt über den Betrachtungszeitraum. Bei thermischer Verwertung zeigt sich ein Kostenvorteil von 27.524 €/a

<sup>1</sup> DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrgs.) (2012): „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)“, 8. Auflage



## Inhaltsverzeichnis

|          |  |               |
|----------|--|---------------|
| <b>1</b> | <b>Veranlassung und Aufgabenstellung</b> .....   | <b>- 1 -</b>  |
| <b>2</b> | <b>Grundlagenermittlung</b> .....  | <b>- 2 -</b>  |
| 2.1      | <i>Kläranlage Haag am Hausruck</i> .....   | - 2 -         |
| 2.2      | <i>Überschussschlammqualität</i> .....   | - 4 -         |
| 2.2.1    | Stabilisierungsgrad .....  | - 4 -         |
| 2.2.2    | Entwässerungsverhalten .....   | - 4 -         |
| 2.2.3    | Schadstoffbelastung .....  | - 5 -         |
| 2.3      | <i>Klärschlammengenermittlung</i> .....  | - 6 -         |
| 2.3.1    | Rechnerischer Überschussschlammanfall nach Einwohnerwerten .....   | - 6 -         |
| 2.3.2    | Überschussschlammanfall nach Belastung im Zulauf .....   | - 6 -         |
| 2.3.3    | Klärschlammengen dokumentiert aus Entwässerung und Vererdung .....   | - 7 -         |
| 2.3.4    | Zusammenfassung und Festlegung des Klärschlammanfalls .....  | - 7 -         |
| <b>3</b> | <b>Darstellung der Bemessungsvarianten</b> .....   | <b>- 8 -</b>  |
| 3.1      | <i>EKO-PLANT Klärschlammvererdungsanlage</i> .....   | - 8 -         |
| 3.1.1    | Verfahren der Klärschlammvererdung.....  | - 8 -         |
| 3.1.2    | Planungsgrundlagen.....  | - 10 -        |
| 3.1.3    | Genehmigungsrechtliche Besonderheiten.....   | - 12 -        |
| 3.1.4    | Investitionskosten .....   | - 13 -        |
| 3.1.5    | Betriebskosten .....   | - 13 -        |
| 3.1.6    | Filtratbeschaffenheit.....   | - 16 -        |
| 3.1.7    | Einfahrbetrieb .....   | - 16 -        |
| 3.2      | <i>Mobile Entwässerung und Zwischenlagerung des Schlammes mit anschließender Landwirtschaftlicher Verwertung</i> .....       | - 17 -        |
| 3.2.1    | Investitionskosten .....   | - 17 -        |
| 3.2.2    | Betriebskosten .....   | - 17 -        |
| <b>4</b> | <b>Wirtschaftlichkeitsuntersuchung</b> .....   | <b>- 19 -</b> |
| 4.1      | <i>Vergleich der EKO-PLANT Klärschlammvererdung auf der Kläranlage Haag am Hausruck mit einer mobilen Entwässerung</i> ..... | - 19 -        |
| 4.2      | <i>Dynamische Kostenvergleichsrechnung (KVR)</i> .....   | - 19 -        |
| 4.3      | <i>Liquiditätsbetrachtung</i> .....  | - 25 -        |
| <b>5</b> | <b>Fazit</b> .....   | <b>- 33 -</b> |
| <b>6</b> | <b>Anhang</b> .....  | <b>I</b>      |
| 6.1      | <i>Gegenüberstellung der betrachteten Entwässerungssysteme</i> .....   | I             |
| 6.2      | <i>Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse</i> .....   | IV            |
| 6.3      | <i>Projektkostenbarwertrechnung</i> .....  | V             |
| 6.3.1    | EKO-PLANT-Klärschlammvererdung für Bemessungsvariante Thermik (65 t TS/a).....   | VII           |
| 6.3.2    | Mobile Entwässerung für Bemessungsvariante Thermik (65 t TS/a) .....   | IX            |

## Anlagen

- Übersichtslageplan
- Musterplan
- DWA-Fachbeitrag „Aktuelle Preise sowie zukünftige Kosten der Klärschlamm Entsorgung“ 2024

## Abkürzungsverzeichnis

|           |  |
|-----------|--|
| ÜSS:      | Überschussschlamm                              |
| AbfKlärV: | Verordnung über die Verwertung von Klärschlamm |
| DümV:     | Düngemittelverordnung                          |
| Landw:    | Landwirtschaftlich                             |
| KSV:      | Klärschlammvererdungsanlage                    |
| EW:       | Einwohnerwerte                                 |
| TS:       | Trockensubstanz                                |
| AG:       | Auftraggeberin                                 |
| AN:       | Auftragnehmerin                                |

## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Das Marktgemeindeamt Haag am Hausruck betreibt die Kläranlage Haag am Hausruck nord-westlich der gleichnamigen Ortschaft. Auf der Kläranlage wird das häusliche Abwasser der umliegenden Ortschaften mechanisch-biologisch gereinigt. Der anfallende Überschussschlamm wird im Stapelbehälter gesammelt, statisch eingedickt und anschließend in der Nassschlammverwertung auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht.

Anlass zur Beauftragung dieser Studie ist die zukünftige Ungewissheit über die sich langfristig verändernden Vorschriften zur Verwertung von Klärschlämmen. Da schwer vorhersehbar ist, wie sich die Situation der Verwertung von Klärschlamm entwickelt, bietet die Klärschlammvererdung die Möglichkeit einen langen Zeitraum der möglichen Preisfindung und Entsorgungsengpässen zu überbrücken. Ebenfalls bietet die Klärschlammvererdung den Vorteil, die zu verwertende Menge durch den organischen Abbau zu reduzieren und somit die Verwertungskosten langfristig zu verringern.

In der vorliegenden Studie werden zwei Varianten verglichen, um die Wirtschaftlichkeit der betrieblich sinnreichsten Vorgehensweise darzustellen. Für die Kläranlage Haag am Hausruck stehen folgende Varianten in der Betrachtung:

- Bau einer EKO-PLANT Vererdungsanlage
- Mobile Entwässerung des zukünftig anfallenden Klärschlammes

In beiden Varianten wird die landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlammes bzw. der Klärschlammmerde betrachtet. Die Betrachtung beider Bemessungsvarianten erfolgt über einen Zeitraum von 36 Jahren. Im Falle der mobilen Entwässerung werden die Kosten für Entwässerung und Verwertung betrachtet. Im Fall der EKO-PLANT-Anlage umfasst die Betrachtung zudem den Betrieb, die Betreuung und die anschließenden Räumungen und Verwertung der Klärschlammmerde.

Die Realisierbarkeit wird nach technischen Aspekten untersucht. Ferner erfolgt die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach den Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR) der DWA (2012)<sup>2</sup>.

Sämtliche in der Machbarkeitsanalyse genannten Kosten sind als Nettokosten angegeben.

---

<sup>2</sup> DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrsg.) (2012): „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)“, 8. Auflage

## 2 Grundlagenermittlung

### 2.1 Kläranlage Haag am Hausruck

Die Kläranlage Haag am Hausruck befindet sich nord-östlich der Ortschaft Haag am Hausruck. Zur Datenaufnahme und Besichtigung der Kläranlage und Vererdungsanlage erfolgte am 09.07.2024 ein Ortstermin auf dem Gelände der Kläranlage.



Abbildung 1: Luftbild Kläranlage Haag am Hausruck

Die Kläranlage Haag am Hausruck wurde 1977 gebaut und im Jahr 2001 saniert. Dabei wurde sie für den Anschluss von 4.700 EW ausgelegt. Derzeit wird das Abwasser von rd. 3.500 EW gereinigt. Die üblichen täglichen Zulaufschwankungen sind vorhanden. Von starken temporären Zulaufschwankungen durch Gewerbe-/Industrie- oder Tourismusbetrieb ist nicht auszugehen. Teilweise sind Schmutzfrachtschankungen durch aluminiumbearbeitenden Betrieb und einen Betrieb für Pulverbeschichtungen zu erwarten. Das Kanalisationssystem besteht zu 80 % aus Mischkanalisation und zu 20 % aus Trennkanalisation. Im Fall von Starkregenereignissen steigt die Zulaufmenge durch den hohen Anteil an Mischkanalisation an. Überschüssiges Zulaufvolumen wird in einem Regenspeicherbecken mit einem Volumen von 300 m<sup>3</sup> zwischengespeichert.

Die mechanische Abwasserreinigung besteht aus einem Huber Trommelrechen mit einer Spaltweite von 3 mm und einer Rechengutpresse. Darauf folgt ein belüfteter Rundsandfang ohne Fettabscheider.

Die biologische Reinigungsstufe erfolgt in zwei Rechteckbecken mit jeweils 800 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen. Becken 1 dient der Nitrifikation, Becken 2 der Denitrifikation. Die Steuerung der Belüftung erfolgt über die Parameter Sauerstoff, Ammonium und Zeit. Die Phosphatfällung erfolgt zu etwa 80 % auf chemischem Wege mittels Eisen-III-chlorid. Restliche Phosphatanteile werden durch biologische Phosphatfällung entfernt.

Die zwei nachgeschalteten Nachklärbecken fassen jeweils 600 m<sup>3</sup>. Der in der Nachklärung abgezogene Überschussschlamm wird in drei Schlammstapelbehältern mit einem Gesamtvolumen von 800 m<sup>3</sup> verbracht. Hier wird der Schlamm statisch voreingedickt. Ein Rührwerk, eine Füllstandsmessung und ein Trübwasserabzug sind vorhanden.



Abbildung 2: Zulaufbauwerk der Kläranlage

Der in den Schlammstapelbehältern über mehrere Stufen auf ca. 5 – 6 % TS-Gehalt voreingedickte Schlamm wird im letzten Stapelbehälter gesammelt und wurde in der bisherigen Verfahrensweise durch die Ausbringer der Nassschlammverwertung abgesaugt.

## 2.2 Überschussschlammqualität

Von dem Überschussschlamm wurde am 09.07.2024 eine Probe genommen. Die genommene Probe wurde auf Stabilität und Entwässerbarkeit untersucht. Die Probe wies einen TS-Gehalt von 1,22 % auf.

### 2.2.1 Stabilisierungsgrad

Für einen optimalen Betrieb der Klärschlammvererdung ist es erforderlich, dass der aufgebrauchte Klärschlamm ausreichend stabilisiert wird. Bei unzureichender Stabilisierung führt eine hohe Sauerstoffzehrung mitunter zu einer starken Beeinträchtigung des Schilfpflanzenwachstums. Eine dynamische Bodenmechanik zur Aufrechterhaltung eines lockeren Bodengefüges und ausreichendem Sauerstoffeintrag ist jedoch nur durch eine gesunde Durchwurzelung des Veredungskörpers gewährleistet. Bei einer ausreichenden Stabilisierung wird sowohl der Gehalt an geruchsbildenden Stoffen weitgehend minimiert als auch die Entwässerbarkeit des Klärschlammes verbessert. Zur Ermittlung des Stabilisierungsgrades werden u. a. der Anteil an organischer Trockenmasse (Glühverlust), die Atmungsaktivität und der  $\text{NH}_4$ -Gehalt bestimmt.

Der Glühverlust mit 62,9 % zum Zeitpunkt der Probenahme weist zunächst auf einen ausreichend stabilisierten Schlamm hin. In den zur Verfügung gestellten Analysen der letzten drei Jahre ergeben der gemittelten Glühverluste der Wintermonate einen leicht erhöhten, aber dennoch guten Wert unter 70 %. Die Gasbildung und die Atmungsaktivität des Schlammes sind Anzeiger, dass der Überschussschlamm als stabilisiert zu bewerten ist.

Der Ammoniumgehalt liegt mit 0,46 % in der Trockenmasse in Bereich eines aerob gut stabilisierten Überschussschlammes.

Der Stabilisierungsgrad des untersuchten Überschussschlammes zeigt im Gesamtüberblick einen ausreichenden Stabilisierungsgrad. Der Gehalt an lipophilen Stoffen befand sich zum Zeitpunkt der Probenahme in einem guten Bereich. Aufgrund des fehlenden Fettfangs können Veränderungen und Fetteintrag nicht kompensiert werden. Hier ist der zukünftige Verlauf zu beobachten. Bei dauerhafter, negativer Veränderung jeglicher Parameter sind Gegenmaßnahmen einzuleiten, um die Qualität des Schlammes der Kläranlage Haag am Hausruck hinsichtlich der Vererdung aufrecht zu erhalten.

### 2.2.2 Entwässerungsverhalten

Zusätzlich zu dem Stabilisierungsgrad wird das Entwässerungsverhalten des Klärschlammes bei der Dimensionierung der Klärschlammvererdungsanlage und der Festlegung der Beschickungsintervalle berücksichtigt. Das Entwässerungsverhalten hat direkten Einfluss auf die Auflandung des Klärschlammes und den TS-Gehalt des in die Beete gegebenen Schlammes. Dies wird bei der Dimensionierung und Anlagentechnik der EKO-PLANT Klärschlammvererdungsanlage zugrunde gelegt. Der Stabilisierungsgrad des Schlammes wird beschrieben durch chemisch/biologischen Parameter. Zur Ermittlung der Entwässerbarkeit werden u. a. die Fließfähigkeit, die Wasserdurchlässigkeit, das Absetzverhalten und die Auflandung untersucht.

Die Untersuchungen des Schlammes zeigen beim Absetzverhalten und der Fließfähigkeit ein gutes Entwässerungsverhalten. Die Wasserdurchlässigkeit befindet sich in einem hinreichenden Bereich.

Insgesamt ist der Schlamm für die Vererdung geeignet. Auch hier sollten bei Verschlechterung der Parameter Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.

### 2.2.3 Schadstoffbelastung

Zur Bewertung der stofflichen Belastung des Klärschlammes werden die Überschussschlamm-Analysen der Kläranlage Haag am Hausruck aus den Jahren 2022 – 2024 nach Bodenschutzgesetz ausgewertet.

Die Tabelle 2 zeigt die Schadstoffgehalte der analysierten Klärschlammproben. Diese Schadstoffgehalte wurden nach den zulässigen Grenzwerten aus dem Bodenschutzgesetz bewertet. In allen Jahren wurden jegliche Grenzwerte, die für die landwirtschaftliche Verwertung eingehalten werden müssen, unterschritten.

Die organische Belastung wurde bei den vorliegenden Untersuchungen nur für AOX geprüft. Hier liegt die mittlere Konzentration bei rd. 42 % des Grenzwertes.

Damit ist der Überschussschlamm nach aktueller Gesetzgebung hinsichtlich der geprüften Schadstoffe für die Verwertung in der Landwirtschaft geeignet.

**Tabelle 2: Schadstoffbelastung der Klärschlammproben der Kläranlage Haag am Hausruck**

| Untersuchungsparameter | Untersuchungsdatum |            |            | Grenzwert gemäß § 3 Abs. 2 Bodenschutzgesetz |
|------------------------|--------------------|------------|------------|--|
|                        | 22.03.2022         | 15.03.2023 | 15.03.2024 |  |
| TS [%]                 | 3,1%               | 2,8%       | 2,8%       | -  |
| pH                     | 7                  | 7          | 6,8        | -  |
| GV [%]                 | 68,6%              | 66,9%      | 65,7%      | -  |
| Pb (mg/kg TS)          | 34,0               | 31,0       | 31,0       | 400  |
| Cd (mg/kg TS)          | 0,6                | 0,6        | 0,6        | 5  |
| Cu (mg/kg TS)          | 350,0              | 350,0      | 340,0      | 400  |
| Ni (mg/kg TS)          | 30,0               | 30,0       | 33,0       | 80   |
| Hg (mg/kg TS)          | 0,9                | 0,6        | 0,6        | 7  |
| Zn (mg/kg TS)          | 1000,0             | 1000,0     | 1200,0     | 1600   |
| Cr (VI) (mg/kg TS)     | 39,0               | 41,0       | 51,0       | 400  |
| AOX (mg/kg TS)         | 190,0              | 230,0      | 210,0      | 500  |

## 2.3 Klärschlammengenermittlung

Um eine EKO-PLANT Klärschlammvererdungsanlage für die Kläranlage Haag am Hausruck zu dimensionieren, dient die Trockensubstanzfracht der Jahresschlammmenge als Bemessungsgrundlage. Zur Bestimmung dieser Jahrestrockensubstanzmenge wird auf die durch die Auftraggeberin zur Verfügung gestellten Betriebstagebücher und Anlagenkennwerte zurückgegriffen. Die Schlammengenermittlung erfolgt anhand der Schlammliste nach Imhoff (2007)<sup>3</sup>.

### 2.3.1 Rechnerischer Überschussschlammanfall nach Einwohnerwerten

Die Kläranlage Haag am Hausruck ist auf eine Belastung durch 4.700 EW ausgelegt. Derzeit liegt die Auslastung der Kläranlage bei 3.500 EW.

Daraus ergibt sich nach Imhoff (2007) bei 60 g/EW\*d aus der Summe der angeschlossenen EW **ein rechnerischer Überschussschlammanfall von rd. 77 t TS/a.**

### 2.3.2 Überschussschlammanfall nach Belastung im Zulauf

Es wird der Zufluss von CSB, BSB<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub>-N und PO<sub>4</sub>-P ausgewertet und damit die angeschlossenen Einwohnerwerte sowie der Überschussschlammanfall nach Imhoff (2007) mit 60 g/EW\*d errechnet.

Die Daten wurden dem Betriebstagebuch der Kläranlage Haag am Hausruck für die Jahre 2021 bis 2024 entnommen und ausgewertet. Sie zeigen einen rechnerischen Überschussschlammanfall von rd. 30 bis 54 t TS/a. Auf der Kläranlage Haag am Hausruck sind demnach in den letzten Jahren **durchschnittlich rd. 45 t TS/a Überschussschlamm nach Auswertung der Belastung im Zulauf** angefallen.

**Tabelle 3: Überschussschlammanfall nach Zulaufbelastung der Kläranlage Haag am Hausruck**

| Parameter                      | Einheit | 2021 | 2022 | 2023 | Mittelwert |
|--------------------------------|---------|------|------|------|------------|
| über CSB-Fracht                | EW      | 2211 | 2272 | 2312 | 2265       |
|                                | t TS/a  | 48   | 50   | 51   | 50         |
| über BSB <sub>5</sub> -Fracht  | EW      | 2396 | 2428 | 2532 | 2452       |
|                                | t TS/a  | 52   | 53   | 55   | 53         |
| über NH <sub>4</sub> -N Fracht | EW      | 1328 | 1361 | 1478 | 1389       |
|                                | t TS/a  | 29   | 30   | 32   | 30         |
| über P <sub>ges</sub> Fracht   | EW      | 2203 | 2053 | 2031 | 2096       |
|                                | t TS/a  | 48   | 45   | 44   | 46         |

<sup>3</sup> Karl und Klaus Imhoff (2007): „Taschenbuch der Stadtentwässerung“, 30. verbesserte Auflage, Oldenbourg Industrieverlag, München

### 2.3.3 Klärschlammengen dokumentiert aus Entwässerung und Vererdung

Nach Angaben der Kläranlage Haag am Hausruck fielen in den Jahren 2021 bis 2024 zwischen 696 m<sup>3</sup>/a und 756 m<sup>3</sup>/a an eingedicktem Überschussschlamm an. Nach den Angaben der uns zugeschickten Erfassung der Klärschlammengen liegt der TS-Gehalt des eingedickten Überschussschlammes bei 2,8 % bis 5,8 %. Daraus ergibt sich ein **Trockensubstanzanfall von rd. 21,2 t TS/a bis 40,4 t TS/a**.

Tabelle 4: Überschussschlammfall nach Schlammengendokumentation der Kläranlage Haag am Hausruck

|                                  |                   | 2021                  | 2022                  | 2023                  | Mittelwert            |
|----------------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Anfallender<br>Überschussschlamm | m <sup>3</sup> /a | 696 m <sup>3</sup> /a | 720 m <sup>3</sup> /a | 756 m <sup>3</sup> /a | 724 m <sup>3</sup> /a |
|                                  | %                 | 5,80%                 | 3,10%                 | 2,80%                 | 3,90%                 |
|                                  | t TS/a            | 40,4 t TS/a           | 22,3 t TS/a           | 21,2 t TS/a           | 28,0 t TS/a           |

### 2.3.4 Zusammenfassung und Festlegung des Klärschlammfalls

Für die Bestimmung des Klärschlammfalls auf der Kläranlage Haag am Hausruck sind unterschiedliche Grundlagen betrachtet worden. Folgende Mengen an aktuellem Klärschlammfall pro Jahr werden für die Kläranlage Haag am Hausruck festgestellt.

- Rechnerischer Anfall nach angeschlossenen Einwohnern: 77 t TS/a
- Klärschlammfall nach Zulaufbelastung: 30 bis 54 t TS/a
- Klärschlammfall nach Dokumentationen auf der KA: 21 bis 40 t TS/a

Durch die bei den verschiedenen Erfassungsmethoden auftretenden Schwankungen ist die genaue Festlegung einer Schlammmenge nur begrenzt möglich. Für die Auslegung der Klärschlammvererdung wird eine Schlammmenge von **65 t TS/a** angesetzt.

### 3 Darstellung der Bemessungsvarianten

Um die Wirtschaftlichkeit des Baus einer EKO-PLANT Vererdungsanlage aufzuzeigen, wird diese Variante mit der mobilen Entwässerung und der landwirtschaftlichen Verwertung des anfallenden Klärschlamm verglichen. Die beiden Optionen, die in Betracht kommen, wurden in Absprache mit dem Kunden festgelegt.

#### 3.1 EKO-PLANT Klärschlammvererdungsanlage

##### 3.1.1 Verfahren der Klärschlammvererdung

Die Klärschlammvererdung ist ein Entwässerungsverfahren, das analog zu einer maschinellen Entwässerung die Flüssigphase des Klärschlamm (in der Regel 98 – 99 % Wassergehalt) von dem Feststoffanteil abtrennt. Dies erfolgt zum einen durch eine statische Eindickung/Entwässerung (Abtrennung des freien Wassers über ein Filter- und Drainagesystem durch Schwerkrafteinwirkung), zum anderen durch die hohe Verdunstungsleistung der Schilfpflanzen, die in der Lage sind, das Doppelte der Jahresniederschlagsmenge an Wasser zu verdunsten.

Dadurch ist eine hohe Entwässerungsleistung der Klärschlammvererdungsanlage gegeben, die dazu führt, dass nur rd. 30 – 70 % der Restmenge einer maschinellen Entwässerung (z. B. Kammerfilterpresse, Dekanter) zur Verwertung gelangen. Die durch die Vererdungsbeete erreichbare Volumenreduktion kann je nach Qualität des aufgegebenen Schlamm bis zu 97 % betragen.

In schilfbepflanzten Vererdungsbeeten wirken Mechanismen, die die Entwässerung ausdauernd fördern. Diese sind im Wesentlichen an spezielle Eigenschaften der Bepflanzung geknüpft (Höhe der Verdunstungsleistung des Schilfs, Sauerstoffeintrag durch das Wurzelgeflecht usw.). Endprodukt ist ein humoses, krümeliges, braun gefärbtes, erdiges Substrat, das gegenüber entwässertem Klärschlamm aus konventionellen Verfahren völlig neue Eigenschaften aufweist und von seiner Struktur her mit natürlichem Boden bzw. Kompost verglichen werden kann.

Die Klärschlammvererdungsanlage ist über feste Rohrleitungen für die Klärschlammzufuhr und Filtratrückführung mit der Kläranlage verbunden. Die Entnahme erfolgt direkt aus dem Schlammvorlagebehältnis der Kläranlage. Der Nassschlamm gelangt von dort über eine Pumpstation zur Vererdungsanlage. Das über das Drainagesystem der Klärschlammvererdungsanlage abgezogene Filtratwasser wird über ein Pumpwerk zurück zur Kläranlage befördert und dort gereinigt.

Eine Klärschlammvererdungsanlage besteht aus mit Kunststoffdichtungsbahnen abgedichteten Erdbecken. Als Einfassung wird der anstehende, verbaubare Boden des Baufeldes verwendet. Die Anlage ist eingezäunt.

Die Kunststoffdichtungsbahn wird durch einen nach WHG zertifizierten Fachbetrieb verlegt und verschweißt. Jede einzelne Schweißnaht wird druckgeprüft, um die Dichtheit zu gewährleisten. Die Außenböschungen und die Dammkrone werden mit Gras eingesät.

Auf der Kunststoffdichtungsbahn wird ein Drainagekörper aufgebaut, über den das anfallende Filtratwasser gesammelt und abgeleitet wird. Auf den Drainagekörper folgt Pflanzsubstrat, das die speziell gezüchteten und für Klärschlamm adaptierten Schilfpflanzen aufnimmt.

Die bepflanzten Vererdungsbeete werden in Intervallen mit Klärschlamm über spezielle Einlaufbauwerke beschickt. Der Klärschlamm muss vor der Beschickung einen Trockensubstanzgehalt aufweisen, der ein leichtes Fließen ermöglicht, so dass sich der Schlamm gleichmäßig ausbreiten kann. Der Feststoff des aufgebracht Klärschlamm verbleibt während der Beetpassage in den Vererdungsbeeten, während das Schlammwasser durch das Beet sickert, dabei gefiltert wird, bevor es über das Drainagesystem abgezogen in einem Pumpensumpf gesammelt und in die Kläranlage zurückgeführt wird. Während der Passage des Filterkörpers findet, ähnlich wie bei einem bewachsenen Bodenfilter, eine Vorreinigung des Sickerwassers statt. Dadurch wird die Rückbelastung der Kläranlage gegenüber einer maschinellen Schlammmentwässerung hinsichtlich z. B. CSB und Stickstoff deutlich reduziert. Gleichzeitig treten durch den kontinuierlichen Rückfluss geringerer Mengen keine hydraulischen Stoßbelastungen auf.

Je nach Konzeption und Dimensionierung der Vererdungsanlage erfolgt die Beschickung mit Nassschlamm über ca. 6 – 10 Jahre. Ermöglicht wird dies durch eine spezifische Eigenschaft der Schilfpflanze: mit steigender Schlammsäule wird in den überstauten Halmknoten (Nodien) das Wachstum von Seitenwurzeln induziert. Dadurch wird eine „nach oben“ gerichtete, dem aufgelandeten Schlamm folgende Durchwurzelung sichergestellt. Auf die mehrjährige Beschickungsphase folgt eine halb- bis einjährige Trocknungs- und Nachvererdungsphase, während der das Material zum einen weiter entwässert und gleichzeitig eine verstärkte Mineralisation ausgelöst wird, in der organisches Material abgebaut wird.

Nach der Vererdungsphase wird das Material entnommen und je nach Qualität bzw. Belastung der landwirtschaftlichen oder thermischen Verwertung zugeführt. Diese erfolgt nach den dann gültigen gesetzlichen Bestimmungen. Sofern möglich, wird meist eine landwirtschaftliche Verwertung angestrebt, da das Endprodukt aufgrund seiner humosen Struktur und hohen Phosphatgehalte von Landwirten als Düngerersatz geschätzt wird.

Während der Räumung nehmen die übrigen Vererdungsbeete weiterhin den Nassschlamm der Kläranlage auf, so dass jederzeit die Abnahme der kompletten Klärschlammmenge gewährleistet ist.

Das geräumte Beet wird anschließend wieder in Betrieb genommen, wobei das Schilf aus den im Beet verbleibenden Rhizomen neu austreibt. Eine Neubepflanzung der Beete ist in der Regel nicht erforderlich.

### 3.1.2 Planungsgrundlagen

Die Dimensionierung der Klärschlammvererdungsanlage für die Kläranlage Haag am Hausruck ist auf 65 t TS/a Überschussschlamm festgelegt. Dies entspricht nach der statischen Eindickung einem TS-Gehalt von 2 % und einer Nassschlammmenge von 3.250 m<sup>3</sup>/a.

Für den Bau der Klärschlammvererdungsanlage wird die beim Ortstermin vorgeschlagene Fläche nördlich der Kläranlage vorgesehen. Die Entfernung zwischen der Kläranlage und dem Baufeld beträgt etwa 150 m. Die Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt aus den Übersichtsplan. Hier wird der für die Planung und Kalkulation angenommene Anlagenaufbau dargestellt. Bei der Umsetzung wird die Anlage durch Mitteldämme in drei Einzelbeete unterteilt. Dies ermöglicht einen kontinuierlichen Weiterbetrieb der Anlage bei Stilllegung Räumung eines Einzelbeetes.



Abbildung 3: Ausschnitt auf Übersichtsplan mit Baufeld

Tabelle 5: Annahmen für das Baufeld der Klärschlammvererdungsanlage Haag am Hausruck

|  | Annahmen  |
|--|---|
| Altlasten und Kampfmittel*                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Altlasten/Kampfmittel auf der Fläche bekannt, die den Bauablauf stören bzw. behindern</li> </ul>   |
| Leitungen  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Zu- und Ableitungen (Strom, Wasser, Abwasser, Gas etc.) im Baufeld oder in der Trasse, die den Bauablauf beeinträchtigen</li> </ul>  |
| Vermessung**                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Maximaler Höhenunterschied von 2 m</li> <li>Bau im Massenausgleich</li> <li>Keine Terrassierung notwendig</li> </ul>   |
| Baugrund***                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Untergrund tragfähig</li> <li>Keine Bodenstabilisierungsmaßnahmen</li> <li>Keine Wasserhaltung</li> <li>Weniger als 20 cm Oberboden, der genutzt oder auf dem Gelände verbleiben kann</li> <li>Tagwasserhaltung</li> </ul> |
| Zufahrt zur Anlage                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Über die Zufahrt zur Kläranlage (Straße: Niedernhaag und Dorf) oder über die Ortschaft Dorf nördlich de Kläranlage</li> </ul>  |
| Zuleitung  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Etwa 200 m Zuleitung für Klärschlamm, Filtrat, Strom</li> <li>Die Trasse wird in offener Bauweise verlegt.</li> </ul>  |
| Zuwegung zur Anlage und den einzelnen Beeten**** | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zufahrt erfolgt über die direkt anliegende Asphaltstraße.</li> <li>Die KSV befindet sich innerhalb eines eingezäunten Bereichs</li> </ul>  |

\* Eine Altlasten- und Kampfmittelabklärung hat nicht stattgefunden und ist im weiteren Planungsverlauf vorzunehmen.

\*\* Eine Vermessung der beplanten Fläche liegt nicht vor.

\*\*\* Eine Baugrunduntersuchung der beplanten Fläche liegt nicht vor.

\*\*\*\* Eine Abklärung mit dem Besitzer zur Nutzung der Fläche zur möglichen Anlagenerweiterung hat nicht stattgefunden.

Im Rahmen der Kostenermittlung werden folgende Schnittstellenzugrunde gelegt:

- **Klärschlamm:** Die Übergabestelle für den Klärschlamm ist der Vorschacht des westlichen Schlammstapelbehälters. An dieser Stelle wird eine trocken aufgestellte Schlammförderpumpe angeschlossen, um den Klärschlamm von der Kläranlage zur Klärschlammvererdungsanlage zu fördern.
- **Filtrat:** Das in den Vererdungsbeeten anfallende Filtratwasser wird über die Filtratsammelleitung dem Filtratpumpenschacht zugeführt. Die Druckleitung der Filtratwasserpumpe leitet das Filtrat in die Druckleitung des Trübwasserabzuges des Stapelbehälters, welche in den Zufluss der Belebung führt.
- **Strom:** Die Stromabnahme für die Versorgung der Verbraucher (Pumpen, Motorschieber, etc.) auf der Klärschlammvererdungsanlage erfolgt nach erster Absprache am Anschlusskasten an der Ostseite der Stapelbehälter.
- **Steuerung:** Die Klärschlammvererdungsanlage wird mit einer vollautomatischen Steuerung ausgestattet. Der Zugriff auf die Steuerung erfolgt verschlüsselt über einen geschützten Internetkanal und Webbrowser<sup>4</sup>. Die Elektrotechnik und eine Bedieneinheit für die Klärschlammvererdungsanlage werden in einem wettergeschützten Freiluftschrank auf dem Gelände der Klärschlammvererdungsanlage untergebracht. Die Kosten für die vollautomatische Steuerung sind im Investitionspreis enthalten.

### 3.1.3 Genehmigungsrechtliche Besonderheiten

Ein Behördenvorgespräch zur grundsätzlichen Genehmigungsfähigkeit des Umbaus der Vererdungsanlage auf der beplanten Fläche war nicht Umfang der beauftragten Machbarkeitsstudie und hat deswegen nicht stattgefunden.

Der Bau der Klärschlammvererdungsanlage betrifft das Grundstück 695/1. Derzeit ist für dieses Grundstück die Nutzungsart „Acker, Wiese oder Weidefläche“ eingetragen. Zur Prüfung der Genehmigungsfähigkeit fand eine erste Online-Abklärung statt. Hierbei wurden keine Informationen gefunden, welche einer grundsätzlichen Genehmigungsfähigkeit entgegenstehen. Eine gesicherte Aussage zur Genehmigungsfähigkeit der Anlage an dem gewählten Standort und zu etwaigen genehmigungsrechtlichen Auflagen kann erst nach einer Behördenabstimmung erfolgen.

Die Online-Abklärung gibt an, dass sich das Baufeld der Vererdungsanlage im Bezirk 408 der Gemeinde Haag am Hausruck befindet. Es liegen keine Schutzgebiete vor. Auch im Wirkungsradius sind keine Naturschutzgebiete vorhanden. Am Umsetzungsort liegt ein Gebiet „Gespanntes Grundwasser gemäß WRG“ vor.

---

<sup>4</sup> Prinzipiell ist eine Einbindung in das Prozessleitsystem möglich. Die Kosten sind von den örtlichen Gegebenheiten abhängig. In der Investitionsrechnung ist die Einbindung in das vorhandene Prozessleitsystem nicht berücksichtigt

### 3.1.4 Investitionskosten

Die Investitionskosten für den Bau der EKO-PLANT-Klärschlammvererdungsanlage für die Kläranlage Haag am Hausruck bei o. g. Grundlagen liegen in einer Höhe von 910.000,00 € (netto) inkl. Planungs- und Baunebenkosten. Die Nutzungszeit einer Vererdungsanlage beträgt 30 – 40 Jahre nach DWA (2012).

Die angegebenen Investitionskosten enthalten alle Leistungen, die für die Planung und den Bau der Klärschlammvererdungsanlage nötig sind, inkl. Anschluss an die Kläranlage.

In den Investitionskosten enthalten sind:

- Sämtliche Planungsleistungen
- Lieferung und Bau einer EKO-PLANT-Klärschlammvererdungsanlage
  - Klärschlamm- und Filtratwasserpumpe
  - Klärschlamm- und Filtrat-Mengenmessung
  - Verrohrung, Strom- und Steuerungsleitung zwischen Kläranlage und Klärschlammvererdungsanlage
  - Vollautomatische Steuerung inkl. Einbindung der Motorschieber, Pumpen usw.
  - Aufbau der Steuerungstechnik im Betriebsgebäude der Kläranlage
  - Pumpenschacht für die Klärschlammpumpe neben dem Schlammstapelbehälter
  - Aufbau einer Zaunanlage um die Klärschlammvererdungsanlage
  - Dokumentation und Inbetriebnahme

Mögliche Grunderwerbskosten sind definitionsgemäß nicht im dargestellten Investitionspreis und der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung enthalten. Grundstückskosten fließen nicht in die Wirtschaftlichkeitsanalyse ein<sup>5</sup>, da Grundstücke generell keiner Nutzungsdauerbeschränkung unterliegen und einen bleibenden Wert darstellen.

### 3.1.5 Betriebskosten

Für den Betrieb einer EKO-PLANT-Klärschlammvererdungsanlage fallen jährliche Kosten für Energie, Wartung, Reparatur, Rückstellung für den Ersatz der EMSR-Technik, Personal und Klärschlammanalytik an. In den ersten fünf Jahren ist eine Betriebsbetreuung der Klärschlammvererdung (Betriebsbegleitendes Engineering, BBE) durch die Auftragnehmerin enthalten.

---

5 Vgl. DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrgs.) (2012): „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)“, 8. überarbeitete Auflage.

Räumungen und Verwertungen stehen nicht jährlich an. Die Räumungs- und Verwertungskosten hierfür werden daher nicht zu den Jahreskosten aufsummiert, sondern als Kosten je Beeträumung aufgeführt. Die Zeitpunkte sind in den grafischen Darstellungen zur Projektkostenbarwertermittlung („Kostenreihen“) im Anhang zu finden. Erläuterungen zu den einzelnen Positionen sind im Folgenden dargestellt:

### Basisbetrieb

Die Basisbetriebskosten fallen in jedem Betriebsjahr an und enthalten: Energiekosten, die Beschickung der Klärschlammvererdungsanlage, Erstellung von Beschickungsplänen und Betriebsauswertung, Begehungen und Wartung der Anlage, Geländepflege, Rückstellung für Reparatur und Ersatz inkl. Wartung der automatischen Steuerung, Bedienung der Pumpen und Schieber, Führung des Betriebstagebuches sowie jährliche Klärschlammanalysen.

In den Betriebskosten für den Basisbetrieb der Anlage sind Aufwendungen für die Pflege der Außen-dämme und Randbereiche (Mahd) enthalten. Die Schilfflächen bedürfen keiner Pflege- oder Schnittmaßnahmen. Das Schilf stirbt im Herbst/Winter ab, die Stängel werden zusammen mit dem weiter aufgelandeten Klärschlamm kompostiert/mineralisiert und dienen als Strukturmaterial. Aus den Rhizomen treiben im Frühjahr neue Schilfpflanzen aus.

### Betriebsbegleitendes Engineering

Für den optimalen Einfahrbetrieb und das Bekanntmachen mit der neuen Technik der Klärschlammvererdungsanlage ist in den ersten fünf Jahren eine mehrstufige Betriebsbetreuung (BBE) enthalten.

Damit wird der Grundstein für die gesamte Anlagenentwicklung und ein bestmögliches Vererdungsergebnis gelegt. Das betriebsbegleitende Engineering übernimmt mehrere Aufgaben, die eigentlich dem Basisbetrieb zugeordnet sind. Die Kosten dieser Positionen des Basisbetriebes fallen in den Jahren mit betriebsbegleitendem Engineering für die Auftraggeberin nicht an. Die gesamt kalkulierten laufenden Kosten beinhalten einen fünfjährigen Engineering-Vertrag (BBE-Vertrag).

Das Engineering beinhaltet Begehungen durch das Personal der Auftragnehmerin vor Ort, Kontrolle der Pflanzen und des technischen Zustandes der Gesamtanlage, Nivellements, Erfassung und Erstellung von Beschickungsdaten, Fotodokumentation, Anlagenüberwachung, Protokollwesen und Datenauswertung, Abstimmung der Beschickung mit der Kläranlage, Optimierung und Betriebsberichte.

**Tabelle 6: Übersicht laufender Kosten der EKO-PLANT Klärschlammvererdungsanlage Haag am Hausruck**

| Position   | Laufende Kosten |
|--|-----------------|
| <b>Basisbetrieb</b><br>(Personalkosten, Energiekosten, Betriebsmittel, Wartung und Reparatur, Rückstellungen etc.) | 6.661,88 €/a    |
| <b>Betriebsbegleitendes Engineering</b><br>Jahr 1 – 3  | 22.992,02 €/a   |
| Jahr 4 – 5   | 21.992,02 €/a   |

## Räumungs- und Verwertungskosten

Räumungs- und Verwertungskosten fallen nicht jährlich an. Die Räumungs- und Verwertungskosten hierfür werden daher nicht zu den Jahreskosten aufsummiert, sondern als Kosten je Beeträumung aufgeführt. Die Zeitpunkte sind in den grafischen Darstellungen zur Projektkostenbarwertermittlung („Kostenreihen“) im Anhang und Erläuterungen zu den einzelnen Positionen im Folgenden zu finden.

Die Räumungskosten fallen nur in den Jahren an, in denen die Vererdungsbeete geräumt werden. Sie beinhalten die Beetöffnung sowie die im Jahr der Verwertung anfallenden Analysekosten, die Entnahme der Klärschlammmerde und das Schließen des Beetes sowie die Wiederinbetriebnahme. Die Verwertungskosten sind für die landwirtschaftliche Verwertung mit 75 €/t Klärschlamm angesetzt. Auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse der Klärschlammmerde ist eine landwirtschaftliche Verwertung möglich. Unter der Annahme, dass sich die Parameter verschlechtern oder die gesetzlichen Beschränkungen weiter verschärft werden und eine landwirtschaftliche Verwertung nicht mehr möglich ist, wird ein Verwertungspreis von 120 €/t angenommen.

Die Räumung und Verwertung des Vererdungsbeetes kann variabel gestaltet werden und zu Zeiten erfolgen, in denen auf den für die landwirtschaftlichen Verwertung zur Verfügung stehenden Flächen Kapazitäten bestehen. Durch die Errichtung von drei Vererdungsbeeten und einem angepassten Beschickungsmodell lässt es sich einrichten, dass immer nur eines der drei Beete stillgelegt und geräumt wird, während die übrigen Beete weiter beschickt werden. Alternativ kann für die Klärschlammvererdungsanlage eine Nachlagerfläche errichtet werden. Dadurch ist eine weitere Mengenreduktion der Klärschlammmerde zu erreichen. Die Entscheidung hierüber ist nicht zum Bau der Vererdungsanlage notwendig, kann jedoch in die Planung einbezogen werden. Beide Aspekte sind in der nachfolgenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht mit einbezogen worden.

Die aufgeführten Verwertungskosten sind auf die Menge bezogen, die bei der Räumung und der direkten Verwertung des Materials anfallen. Ausgangsbasis ist die Beschickungsmenge von 65 t TS/a und eine Massenreduktion durch Entwässerung und Abbau der organischen Bestandteile. Beide Effekte werden durch das TR-Äquivalent beschrieben. Die TR-Äquivalente liegen erfahrungsgemäß zwischen 30 – 50 % bei aerob stabilisiertem Klärschlamm. Das TR-Äquivalent wird über die Leistung bei Entwässerung, Organik-Abbau und verringerter Dichte des Materials zwischen Input- und Output-Menge errechnet. Die tatsächlichen TR-Gehalte der Klärschlammmerde bei der Räumung liegen darunter. Für die die Machbarkeitsanalyse wurde ein kalkulatorischer Ansatz von 45 % gewählt.

**Tabelle 7: Übersicht Kosten Räumung und Verwertung EKO-PLANT Klärschlammvererdungsanlage Haag am Hausruck**

| Position  | Laufende Kosten  |
|---|------------------|
| <b>Räumungskosten</b> pro Beeträumung inkl. Analytik  | 35.210,53 €/Beet |
| <b>Verwertungskosten bei landwirtschaftlicher Verwertung</b> pro Beeträumung (520 t/Beeträumung zu 75,00 €/t) | 39.000,00 €/Beet |
| <b>Verwertungskosten bei thermischer Verwertung</b> (520 t/a zu 120 €/t)                                      | 62.400,00 €/a    |

### 3.1.6 Filtratbeschaffenheit

Das bei der Klärschlammvererdung anfallende Filtrat wird über die Drainage aus dem Vererdungskörper abgeleitet und in einen Filtratsammelschacht eingeleitet. Die Druckleitung der Filtratwasserpumpe führt wieder zurück zum Stapelbehälter, an dem auch der Klärschlamm entnommen wird. Hier wird das Filtratwasser entweder in den Vorschacht eingeleitet oder direkt in die Trübwasser-Pumpleitung eingeleitet. Die Pumpe für die Filtratrückführung wird über die vollautomatische Steuerung gesteuert. Die Rückführung des Filtrats kann zeit- und mengenautomatisch vorgegeben werden (z. B. je volle Stunde für 10 min oder zu bestimmten Zeiten eine bestimmte Menge). Das Filtrat aus den Vererdungsbeeten hat eine mit häuslichem Abwasser in Mischkanalisation vergleichbare Qualität. Aufgrund der zeit- und mengengesteuerten Rücknahme des Filtrats und der im Vergleich zum Zentratwasser einer maschinellen Entwässerung niedrigeren Ammoniumwerte, ist die absolute Belastung der Kläranlage bei einer Vererdungsanlage deutlich geringer.

### 3.1.7 Einfahrbetrieb

Die schilfbepflanzte Klärschlammvererdungsanlage ist ein biologisches Entwässerungssystem. Deswegen muss bei der Inbetriebnahme ein gezieltes und besonderes Augenmerk auf den Anwuchserfolg der Schilfpflanzen gelegt werden. Hierbei beginnt zusätzlich zur Aufzucht der Pflanzen in der hauseigenen Gärtnerei die Etablierung des dichten und flächendeckenden Schilfbestandes. Diese Leistung wird im Rahmen des BBE-Vertrages von der THE PAULY GROUP GmbH & Co. KG übernommen. Zu beachten ist, dass während des Einfahrbetriebes nicht die gesamte Klärschlammmenge abgenommen werden kann. Die Dauer des Einfahrbetriebes ist abhängig von verschiedenen Faktoren (Klärschlammqualität, Witterung, Jahreszeit) und kann unterschiedlich lange dauern. In dieser Zeit muss eine Teilmenge des Klärschlammes anderweitig entwässert und verwertet werden (z. B. über eine mobile Entwässerung).

## 3.2 Mobile Entwässerung und Zwischenlagerung des Schlammes mit anschließender Landwirtschaftlicher Verwertung

### 3.2.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten für den Bau einer Schlammagerfläche zur Zwischenlagerung des entwässerten Klärschlammes betragen 110.00,00 € netto inkl. Planung und Umsetzung.

Die angegebenen Investitionskosten enthalten alle Leistungen, die für die Planung und den Bau der Schlammagerfläche anfallen.

Im Investitionspreis enthalten sind:

- Sämtliche Planungsleistungen
- Vorbereitung und Durchführung
  - Anlieferung aller Maschinen und Arbeitsgeräte
  - Errichtung einer abgedichteten Lagerfläche
  - Errichtung einer Ableitung von Sickerwasser und Niederschlagswasser
  - Errichtung einer Zufahrt zur Lagerfläche

### 3.2.2 Betriebskosten

Neben den Investitionskosten für die Errichtung eines Schlammagerplatzes fallen nach dieser Maßnahme Kosten für die Entwässerung des Klärschlammes an.

Die in Tabelle 8 aufgeführten Kosten orientieren sich an den Angaben, die zuletzt für eine mobile Entwässerung in der Region aufgebracht werden mussten.

**Tabelle 8: Übersicht laufende Kosten Bestandsanlage Haag am Hausruck**

| Position  | Laufende Kosten |
|---|-----------------|
| <b>Mobile Klärschlamm-entwässerung</b><br>(Angenommene Schlammmenge von 3.250 m <sup>3</sup> /a bei 2 % TS) | 39.000,00 €/a   |
| <b>Energiekosten</b>  | 1.300,00 €/a    |
| <b>Analytikskosten</b>  | 2.000,00 €/a    |
| <b>Transport und Verwertungskosten in landwirtschaftlicher Verwertung</b><br>(339 t/a zu 75 €/t)            | 25.425,00 €/a   |
| <b>Transport und thermische Verwertung</b><br>(339 t/a zu 120 €/t)  | 40.680,00 €/a   |

Erläuterungen zu den einzelnen Positionen sind im Folgenden aufgeführt.

### **Mobile Klärschlamm-Entwässerung**

Die Kosten für die mobile Entwässerung fallen jedes Jahr an und setzen sich aus der angenommenen Jahresschlammmenge von 65 t TS/a bei einem TS-Gehalt von 2 % und einem Leistungspreis von 12 €/m<sup>3</sup> zusammen. Steigt die jährlich zu verwertende Schlammmenge an, ist dieser Wert dementsprechend anzupassen. Die Entwässerungskosten von 12 €/m<sup>3</sup> ist eine geschätzte Preisannahme der mittleren Kosten in den kommenden 36 Jahren.

### **Energiekosten**

Die Energiekosten beschreiben die Kosten, die jährlich durch eine mobile Entwässerungsanlage anfallen.

### **Kosten für Analytik**

Die Kosten für die Analytik umfassen die Leistungen der Probenahme und Laboranalytik des abzupressenden Klärschlammes. Diese wird im Zuge der mobilen Entwässerung unternommen, um die Qualität und den Verwertungsweg des Klärschlammes festzulegen. Diese Kosten beziehen sich auf eine Analytik. Sollten mehrere Analysen unternommen werden, sind diese Kosten aufzustocken.

### **Transport und landwirtschaftliche Verwertung**

Die Entscheidung über die Ausbringung des abgepressten Materials erfolgt auf Grundlage einer Beprobung des Materials und der zu dem Zeitpunkt zu Verfügung stehenden Flächen in der Landwirtschaft. Die Entscheidung über den Verwertungsweg geben die durch das Bodenschutzgesetz vorgegebenen Grenzwerte vor. Nach derzeitigen Analysen ist keine Grenzwertüberschreitung gegeben. Somit kann das anfallende Material in der Landwirtschaft verwertet werden. Im angenommenen Verwertungspreis ist der Transport und die Ausbringung des Materials enthalten.

### **Transport und thermische Verwertung**

Im Falle der thermischen Verwertung wird das Material nach der mobilen Entwässerung zur thermischen Verwertung transportiert und verwertet.

## 4 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

### 4.1 Vergleich der EKO-PLANT Klärschlammvererdung auf der Kläranlage Haag am Hausruck mit einer mobilen Entwässerung

In beiden Betrachtungsvarianten erfolgt die Verwertung des Materials in der Landwirtschaft. In der ersten Betrachtungsvariante wird eine EKO-PLANT Klärschlammvererdungsanlage gebaut. In der zweiten Variante erfolgt der Bau einer Schlammfläche auf dem Gelände der Kläranlage mit anschließender mobiler Entwässerung des anfallenden Klärschlammes.

Bei der mobilen Entwässerung fallen zum Zeitpunkt der Baumaßnahmen deutlich geringere Kosten an, da hier kein Bau einer vollständigen Klärschlammbehandlung (maschinelle Entwässerung, Klärschlammvererdung) stattfindet. Wie in den letzten beiden Kapiteln dargestellt werden die Gesamtkosten dieses Verfahrens durch die höhere zu verwertende Schlammmenge die Gesamtkosten der Vergleichsvariante überschreiten. Bei einer EKO-PLANT Klärschlammvererdung ist eine Betreuung durch THE PAULY GROUP inbegriffen, wodurch in Zusammenarbeit mit der Auftraggeberin ein erfolgreiches Vererdungsergebnis erzielt wird. Die Verwertung der Klärschlammmerde kann in dieser Variante in einem flexiblen Zeitraum geplant werden und somit zu einem Zeitpunkt stattfinden, an dem die Verwertungspreise gering sind und die Ausbringung ohne Zwischenlagerung möglich ist.

### 4.2 Dynamische Kostenvergleichsrechnung (KVR)

Um im Bereich wasserwirtschaftlicher Investitionsmaßnahmen die Wirtschaftlichkeitsberechnungen in hoher Qualität mit standardisierter Methodik und wissenschaftlich abgesicherter Vorgehensweise zu erstellen, sind diese auf der Grundlage der Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien, DWA 2012) durchzuführen. Zukünftige Jahresaufwendungen für die Behandlung und Verwertung des Klärschlammes sind auch bei gleichbleibenden Preisen nicht jenen gleichzusetzen, die gegenwärtig zu kalkulieren sind. Der Projektkostenbarwert ist der Wert, den zukünftig zu erbringende Zahlungen derzeit besitzen. Er wird durch Abzinsung dieser Zahlungen auf den heutigen Zeitpunkt und anschließendes Summieren ermittelt. Hierfür sind Kostenreihen für die zu leistenden Zahlungen erstellt. Der Investitionsbetrag wird dabei berücksichtigt. Zur Abzinsung wird der Realzinssatz nach Empfehlung der DWA (2012) mit 3,0 % angesetzt. Berücksichtigt sind in dem Zins sowohl der Nominalzinssatz als auch die Inflationsrate.

Im Rahmen dieser Machbarkeitsanalyse wird entsprechend der Empfehlung der DWA (2012) eine dynamische KVR unter Berücksichtigung der Investitions-, Betriebs- und Verwertungskosten durchgeführt. Die Differenzen der Projektkostenbarwerte werden als kapitalisierte Kostenersparnisse bezeichnet und absolut oder in Prozenten (%) ausgedrückt.

Die Grundlagenermittlung für die dynamische KVR ist in den vorangegangenen Kapiteln aufgeführt. Die detaillierte Berechnung der Projektkostenbarwerte sowie der dazugehörigen Kostenreihen sind dem Anhang zu entnehmen.

Die Projektkostenbarwerte werden einer Sensitivitätsprüfung unterzogen. Hierfür werden Preissteigerungen bei den Verwertungspreisen gesondert betrachtet. Auf die Preise beim landwirtschaftlichen Verwertungsverfahren wird eine jährliche Preissteigerung von 2 % angesetzt.

Der Nutzungszeitraum von Klärschlammvererdungsanlagen beträgt nach DWA (2012) 30 – 40 Jahre. Ausgehend von den erwarteten Räumzyklen der Klärschlammbeete wird für die Wirtschaftlichkeitsanalyse ein Betrachtungszeitraum von 36 Jahren zugrunde gelegt.

Die Parameter für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind:

- **Überschussschlammanfall:**
  - 65 t TS/a bzw. 3.250 m<sup>3</sup>/a bei 2,0 % TS
- **Entwässerungstechnik** (im Vergleich):
  - a. EKO-PLANT Klärschlammvererdung
  - b. Mobile Klärschlammmentwässerung
- **Verwertung:**
  - Landwirtschaft: 75 €/t Klärschlamm
  - Thermik: 120 €/t Klärschlamm

Die Annahme der landwirtschaftlichen Verwertung beruht auf den vorliegenden Schlammanalysen. Diese besagen, dass zu keinem Zeitpunkt der vergangenen 3 Jahre eine Schadstoffüberschreitung stattgefunden hat. Diese Annahme ist selbstverständlich nur dann weiter vertretbar, wenn die gesetzlich geforderten Grenzwerte weiterhin unterschritten werden, und die Vorgaben zum Verwertungsweg eine landwirtschaftliche Verwertung weiterhin zulassen. Sollte es dazu kommen, dass die landwirtschaftliche Verwertung durch die thermische Verwertung abgelöst wird, ist mit deutlich höheren Verwertungspreisen in beiden Betrachtungsvarianten zu rechnen. Zu jetzigen Zeitpunkt liegt die Annahme des Preises für die thermische Verwertung bei 120 €/t.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der dynamischen KVR in Form des Projektkostenbarwertes und der dynamischen Jahreskosten aufgeführt und diskutiert. Die jeweils spezifischen Daten der KVR sind dem Anhang zu entnehmen.

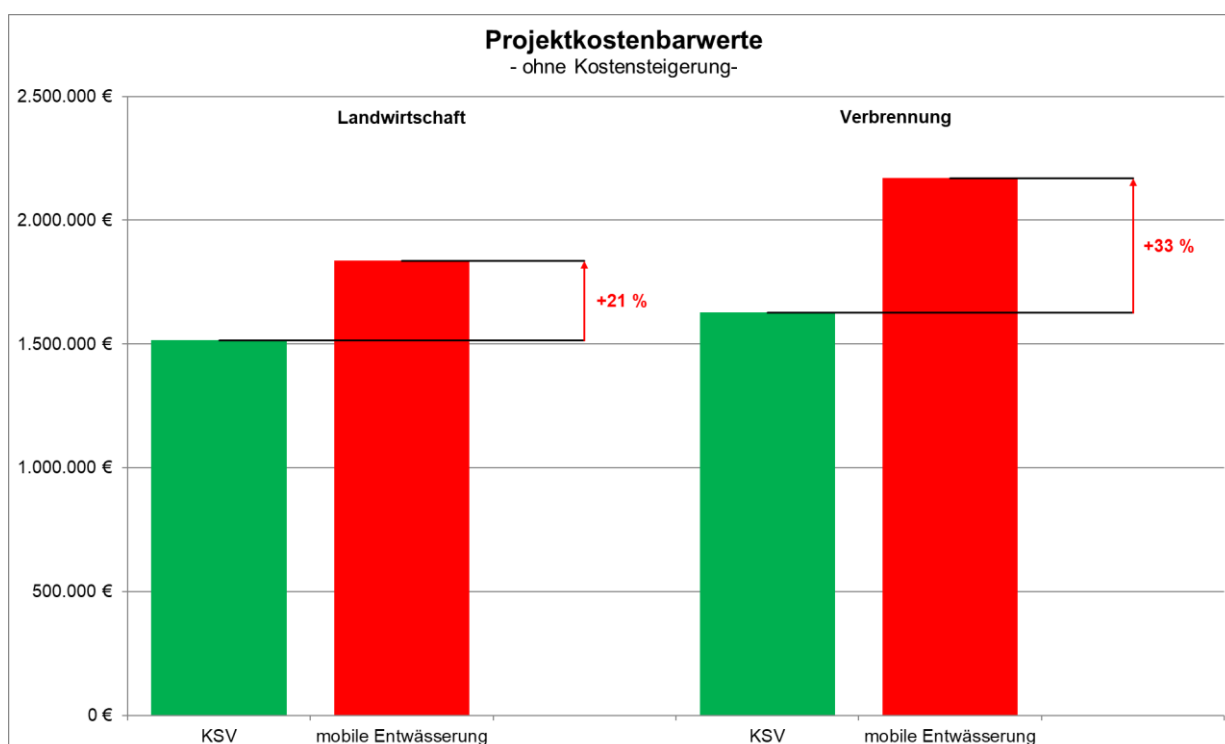
Es zeigt sich, dass die Variante der EKO-PLANT Klärschlammvererdungsanlage für den betrachteten Verwertungsweg die geringeren Projektkostenbarwerte aufweist. Über den Betrachtungszeitraum von 36 Jahren ist die Investition in eine EKO-PLANT Klärschlammvererdungsanlage die wirtschaftlichste Lösung der Klärschlammmentwässerung für die Kläranlage Haag am Hausruck.

**Tabelle 9:** Projektkostenbarwerte (PKBW) und dynamische Jahreskosten (dyn. JK) der Klärschlamm-entwässerung für die Kläranlage Haag am Hausruck

| Verfahren                       | Verwertung         | PKBW        | Dyn. JK    |
|---------------------------------|--------------------|-------------|------------|
| EKO-PLANT Klärschlammvererdung  | landwirtschaftlich | 1.515.766 € | 69.382 €/a |
| Mobile Klärschlamm-entwässerung |                    | 1.836.131 € | 84.102 €/a |
| EKO-PLANT Klärschlammvererdung  | thermisch          | 1.627.097 € | 74.527 €/a |
| Mobile Klärschlamm-entwässerung |                    | 2.169.182 € | 99.357 €/a |

Der **Projektkostenbarwert (PKBW)** für den des Einsatzes einer mobilen Entwässerung ist um 21,2 % (Abbildung 4) höher als im vergleichbaren Szenario des Baus einer EKO-PLANT Klärschlammvererdung mit landwirtschaftlicher Verwertung. Der Kostenbedarf bei Bau der Klärschlammvererdungsanlage mit landwirtschaftlicher Verwertung ist im Betrachtungszeitraum um 321.284 € niedriger als derjenige der zweiten Betrachtungsvariante mit mobilem Entwässerungsverfahren (vgl. Tabelle 9). Bei thermischer Verwertung liegt die Differenz der Projektkostenbarwerte bei 542.085 €. Dies entspricht einem prozentualen Unterschied von 33 %.

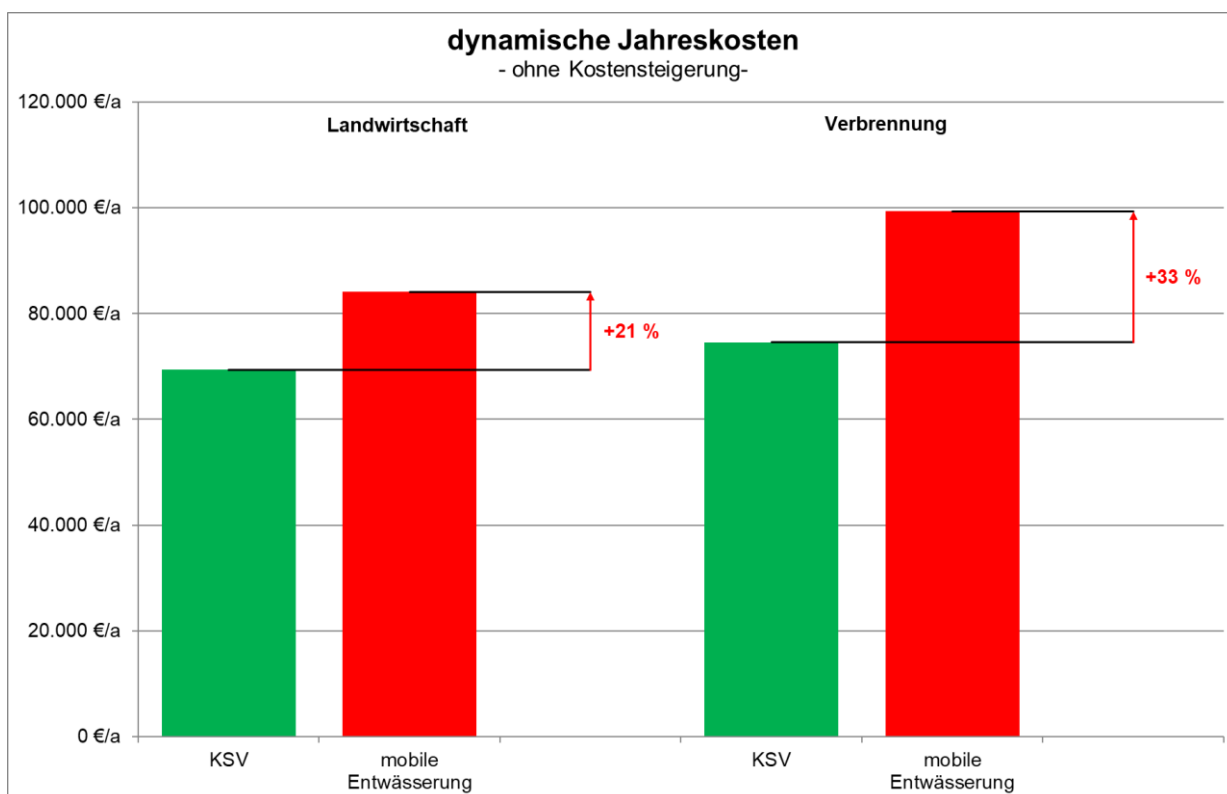
Dieser Kostenvorteil wird in der Abbildung 4 grafisch dargestellt.



**Abbildung 4:** Prozentualer Vergleich der Projektkostenbarwerte der Klamm-entwässerung der Kläranlage Haag am Hausruck

Die aus den Projektkostenbarwerten anhand des Kapitalwiedergewinnungsfaktors<sup>6</sup> berechneten **dynamischen Jahreskosten** zeigen die gleichen prozentualen Kostenunterschiede zugunsten der Klärschlammvererdung im Vergleich zur mobilen Entwässerung (Abbildung 5).

Berechnet man die Differenz der dynamischen Jahreskosten, so sind die Kosten einer EKO-PLANT Klärschlammvererdung mit landwirtschaftlicher Verwertung erkennbar niedriger als bei der Vergleichsvariante. Die Differenz beträgt 14.720 €/a. Bei thermischer Verwertung liegt die Jahresdifferenz sogar bei 24.830 €/a.



**Abbildung 5:** Prozentualer Vergleich der dynamischen Jahreskosten der Klärschlammvererdung der Kläranlage Haag am Hausruck

Die ermittelten Ergebnisse der Projektkostenbarwertbetrachtung werden einer **Sensitivitätsprüfung hinsichtlich des Verwertungspreises** unterzogen. Damit werden die **Auswirkungen von Kostensteigerungen** untersucht. Gewählt wird eine Kostensteigerung auf die Verwertungskosten. Die Basis bilden die zugrunde gelegten Preise für die thermische Verwertung. Wenn eine **jährliche reale Kostensteigerung von 2 %** auf die oben genannten **Verwertungskosten** eingesetzt wird, steigen die Projektkostenbarwerte der Varianten entsprechend (vgl. Tabelle 10).

In der Sensitivitätsprüfung hat der Bau der EKO-PLANT Klärschlammvererdung verglichen zur mobilen Entwässerung bei landwirtschaftlicher Verwertung einen Projektkostenbarwertvorteil von 438.921 €. Dies entspricht einem relativen Vorteil von 27,3 %. Bei thermischer Verwertung liegt die Differenz in der Sensitivitätsanalyse bei 730.174 €. Dies entspricht 41 %.

<sup>6</sup> Bei 3 % Realzinssatz und 36 Jahren Betrachtungszeitraum beträgt der KFAKR = 0,045803794

Die dynamischen Jahreskosten bei landwirtschaftlicher Verwertung zeigen einen Vorteil der EKO-PLANT Klärschlammvererdung von 20.104 €/a bei jährlicher Verwertungskostensteigerung von 2 %. Bei thermischer Verwertung liegt die Differenz bei 33.445 €/a.

**Tabelle 10:** Projektkostenbarwerte (PKBW) und dynamische Jahreskosten (dyn. JK) der Klärschlammvererdung Haag am Hausruck mit Verwertungskostensteigerung um 2 % je Jahr

| Verfahren                      | Verwertung         | PKBW        | Dyn. JK     |
|--------------------------------|--------------------|-------------|-------------|
| EKO-PLANT Klärschlammvererdung | landwirtschaftlich | 1.610.204 € | 73.753 €/a  |
| Mobile Entwässerung            |                    | 2.049.125 € | 93.858 €/a  |
| EKO-PLANT Klärschlammvererdung | thermisch          | 1.779.799 € | 81.522 €/a  |
| Mobile Entwässerung            |                    | 2.509.973 € | 114.966 €/a |

Aus der Mengenreduktion in der Klärschlammvererdung (neben Entwässerung auch Abbau organischer Substanz) resultieren deutlich geringere Mengen an zu verwertendem Klärschlamm. Daher steigen die Projektkostenbarwerte für das Verfahren der Klärschlammvererdung geringer an.

Die EKO-PLANT Klärschlammvererdung reagiert weniger sensitiv auf Kostensteigerungen in den Verwertungskosten. Dies zeigt sich in den Projektkostenbarwerten wie auch den dynamischen Jahreskosten, wie sie in Tabelle 10 dargestellt sind, sehr deutlich. Eine Nachlagerung der Klärschlammvererdung nach einer Räumung kann die Verwertungsmenge nochmals reduzieren. Dieser Effekt ist nicht im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung berücksichtigt, würde diese aber wiederum positiv beeinflussen.

Zusätzlich wird untersucht, wie sich der Projektkostenbarwert in Bezug auf den Betrachtungszeitraum von 36 Jahren bei unterschiedlichen Verwertungskosten verhält. Dabei wird keine Änderung der Betriebskosten oder mögliche Preissteigerungen berücksichtigt. Abbildung 6 stellt den Einfluss unterschiedlicher Verwertungskosten auf den Projektkostenbarwert dar.

Der Grafik ist zu entnehmen, dass die Projektkostenbarwerte der Vergleichsvarianten in Abhängigkeit von steigenden Verwertungspreisen immer stärker voneinander abweichen. Diese ist durch die Volumenreduktion bei der Klärschlammvererdung begründet. Bei einem Verwertungspreis von 60 €/t liegt der Unterschied bei 17 %. Steigt der Verwertungspreis beispielsweise auf 140 €/t, steigt die prozentuale Differenz zwischen den beiden Varianten bereits auf 38 % an.

Verwertungspreise unterliegen Schwankungen. Zukünftig ist zu erwarten, dass sich die Gesetzeslage in Hinsicht auf die zulässigen Verwertungswege verändern wird. Zum Schutz des Rohstoffs Phosphor, wird die P-Rückgewinnung bei der Klärschlammverwertung stärker in den Vordergrund rücken. Dies bedeutet für die Betreiber von Kläranlagen, dass sich Verfahrensweisen ändern und somit auch Preise neu kalkuliert werden müssen. In der Fachzeitschrift der DWA wird dazu in einem Artikel eine Abschätzung der zukünftigen Verwertungspreise für Klärschlamm unternommen. Der Artikel „Aktuelle Preise sowie zukünftige Kosten der Klärschlamm Entsorgung“ findet sich in der Ausgabe: „Korrespondenz Abwasser, Abfall 2024 (71) Nr. 10“. Der Artikel befindet sich in den Anlagen dieser Studie. Demnach können ab 2029 Verwertungspreise zwischen 125 €/t bis 230 €/t erwartet werden. Die Massenreduzierung durch eine Klärschlammvererdungsanlage trägt bei Eintreten dieser Entwicklung also enorm zur Reduzierung der aufkommenden Kosten bei.

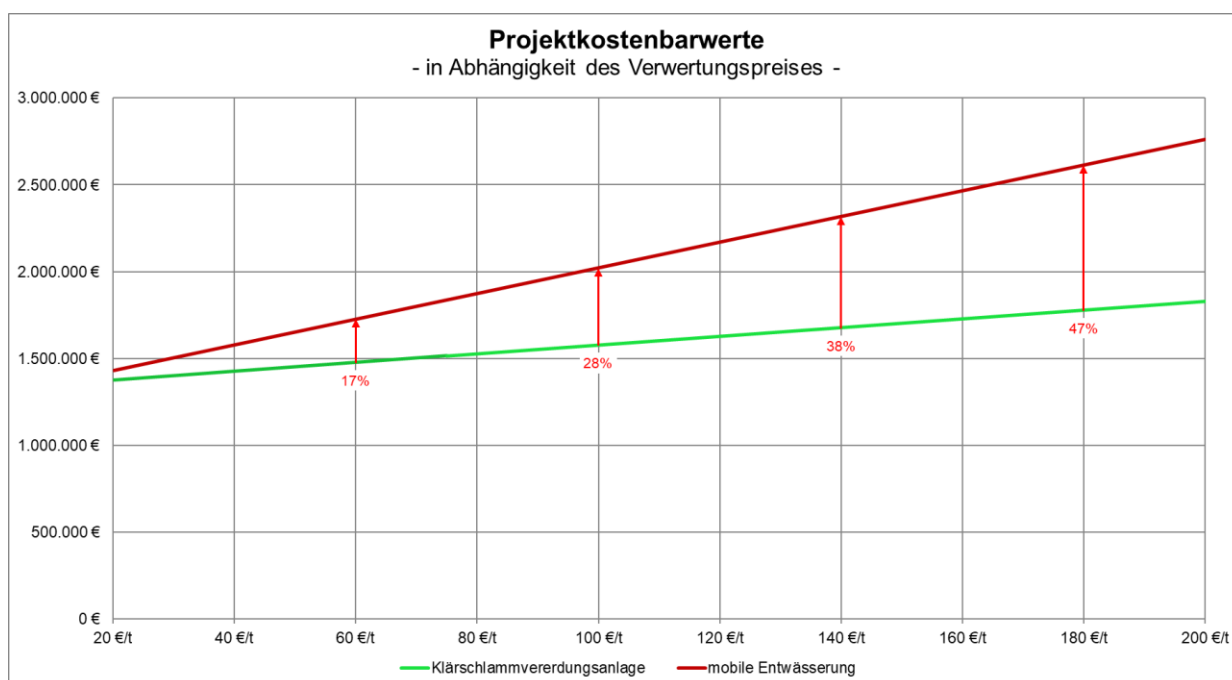


Abbildung 6: Projektkostenbarwerte in Abhängigkeit der Verwertungskosten für die Klärschlamm entwässerung auf der Kläranlage Haag am Hausruck

### 4.3 Liquiditätsbetrachtung

Die EKO-PLANT Klärschlammvererdung zeigt bei der durchgeführten dynamischen KVR eine deutlich bessere Wirtschaftlichkeit im Vergleich zur mobilen Entwässerung. Im Folgenden werden in einem statischen Vergleich die Auswirkungen auf die Liquidität bei dem Bau und Betrieb der beiden Entwässerungsverfahren betrachtet. Grundlage sind die ermittelten und aufgeführten Investitions-, Betriebs- und Verwertungskosten.

Die Finanzierung der Investitionen ist mit einem Zinssatz von 2,0 % auf eine Finanzierungsdauer von 25 Jahren kalkuliert. Der Betrachtungszeitraum beider Vergleichsvarianten entspricht dem Untersuchungszeitraum der Wirtschaftlichkeit und beträgt 36 Jahre.

Die jährlichen Aufwendungen setzen sich aus der Finanzierung der Investitionen und den Kosten für Betrieb, Räumung und mobiler Entwässerung zusammen. Neben diesen Kosten sind in der Betrachtung ebenfalls die Kosten für die Verwertung der geräumten Klärschlammmerde enthalten. Die jährlichen Kosten der EKO-PLANT Klärschlammvererdung übersteigen die Kosten der mobilen Entwässerung trotz der höheren Investitionskosten nicht. Dies begründet sich durch die hohen jährlichen Aufwendungen der mobilen Entwässerung. Lediglich in den Jahren, in denen die Einzelbeete geräumt werden, liegen die Jahreskosten der EKO-PLANT Vererdungsanlage über denen der Vergleichsvariante.

Der Kostenunterschied, der zwischen den beiden Varianten besteht, ergibt sich durch die Investitionskosten zum Bau der EKO-PLANT Klärschlammvererdungsanlage und der mobilen Entwässerung. Auffällig wird der Kostenaufwand für die mobile Entwässerung ab dem 6. und 26. Jahr, da ab hier zuerst die Kosten für das Betriebsbegleitende Engineering und anschließend der Finanzierung der EKO-PLANT-Vererdungsanlage entfallen. In der Regel werden Klärschlammvererdungsanlagen über 25 Jahre (oder weniger) finanziert. Das heißt, nach Beendigung der Finanzierung liegen die Jahreskosten der EKO-PLANT Klärschlammvererdung deutlich unterhalb der Jahreskosten für die Vergleichsvariante.

Die EKO-PLANT Klärschlammvererdung ist, wenn die statischen Jahreskosten im Betrachtungszeitraum gemittelt werden, bei landwirtschaftlicher Verwertung um 18.119 €/a günstiger als die Bestandsanlage (s. Tabelle 11). Dies entspricht einer Kostenreduktion durch die EKO-PLANT Klärschlammvererdung von 28 % in den gemittelten statischen Jahreskosten bei landwirtschaftlicher Verwertung gegenüber der Vergleichsvariante. Bei thermischer Verwertung ist die KSV liegt die Differenz bei 27.524 €/a also 39,1 %.

Die Abbildung 7 zeigt die Liquiditätsverläufe der Varianten bei den voraussichtlich anfallenden Kostenströmen ohne Preissteigerungen. Hier wird von der Verwertungsoption der landwirtschaftlichen Verwertung ausgegangen. Abbildung 8 zeigt die ebenfalls die Kostenströme, jedoch bei thermischer Verwertung.

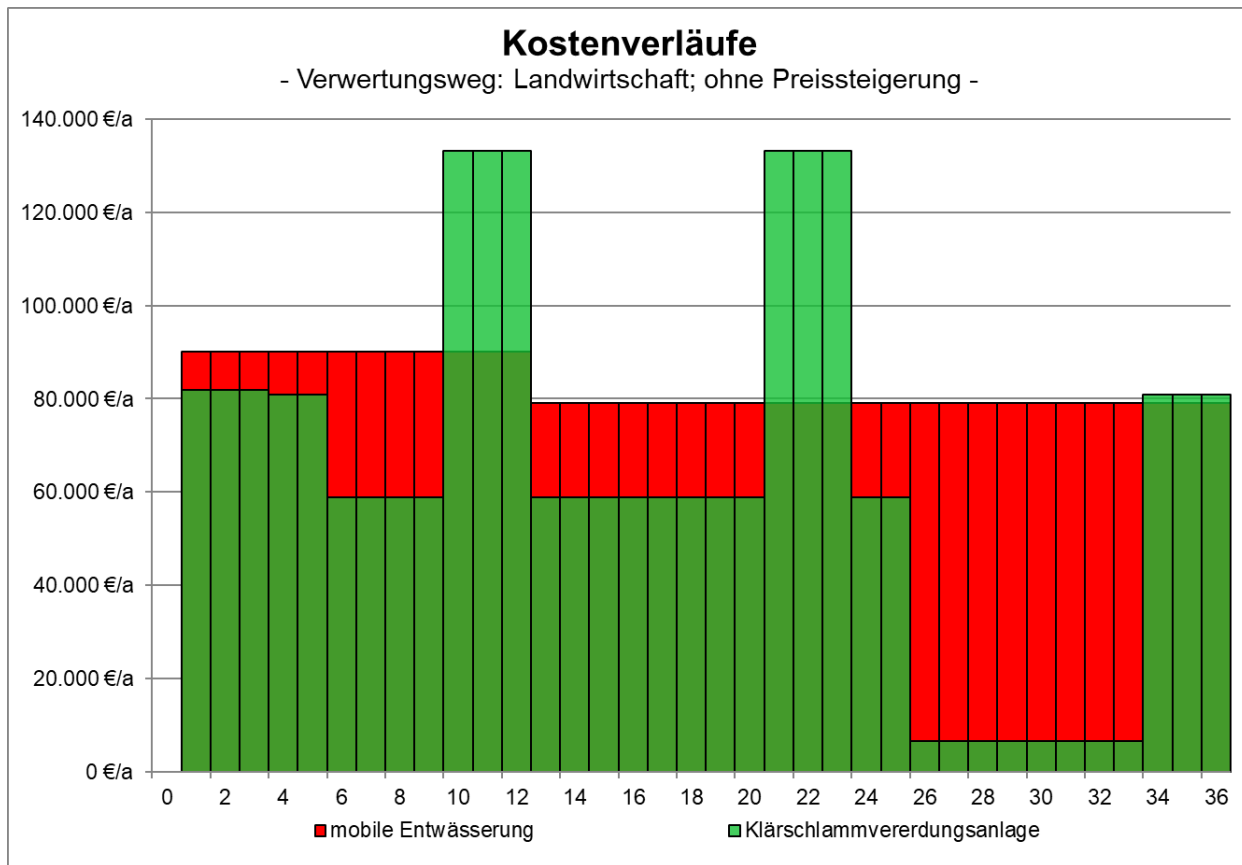
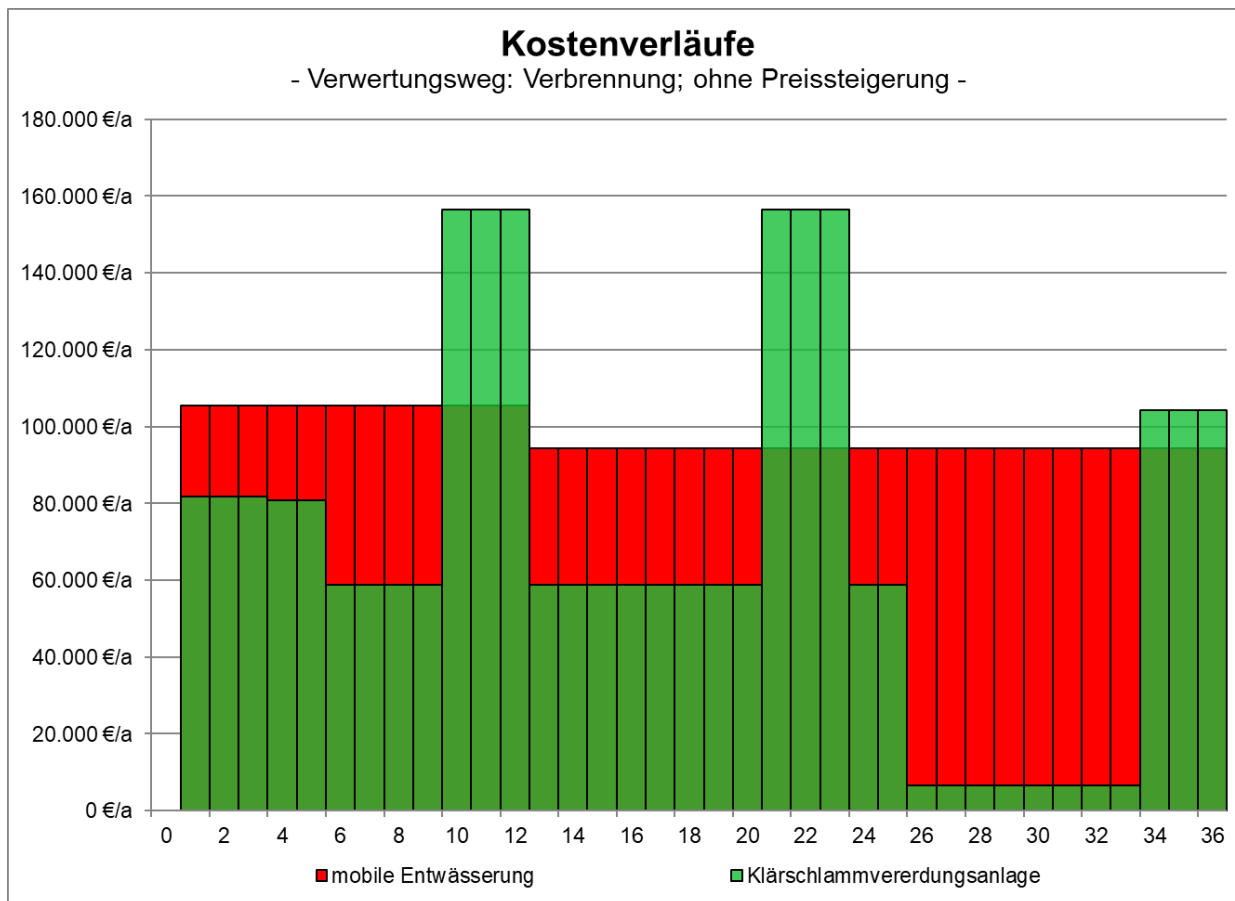


Abbildung 7: Liquiditätsverläufe für die Klärschlammmentwässerung auf der Kläranlage Haag am Hausruck, ohne Preissteigerung bei landwirtschaftlicher Verwertung



**Abbildung 8:** Liquiditätsverläufe für die Klärschlammmentwässerung auf der Kläranlage Haag am Hausruck, ohne Preissteigerung bei thermischer Verwertung

Die Verwertungskosten werden in der Liquiditätsbetrachtung ebenfalls einer **Sensitivitätsprüfung** unterzogen. Wiederum werden die Verwertungspreise bzw. die Betriebskosten mit einer jährlichen Kostensteigerung von jeweils 2 % unterlegt. Die Entwicklungen der Liquiditätsverläufe sind in Abbildung 9, Abbildung 10, Abbildung 11 und Abbildung 12 dargestellt.

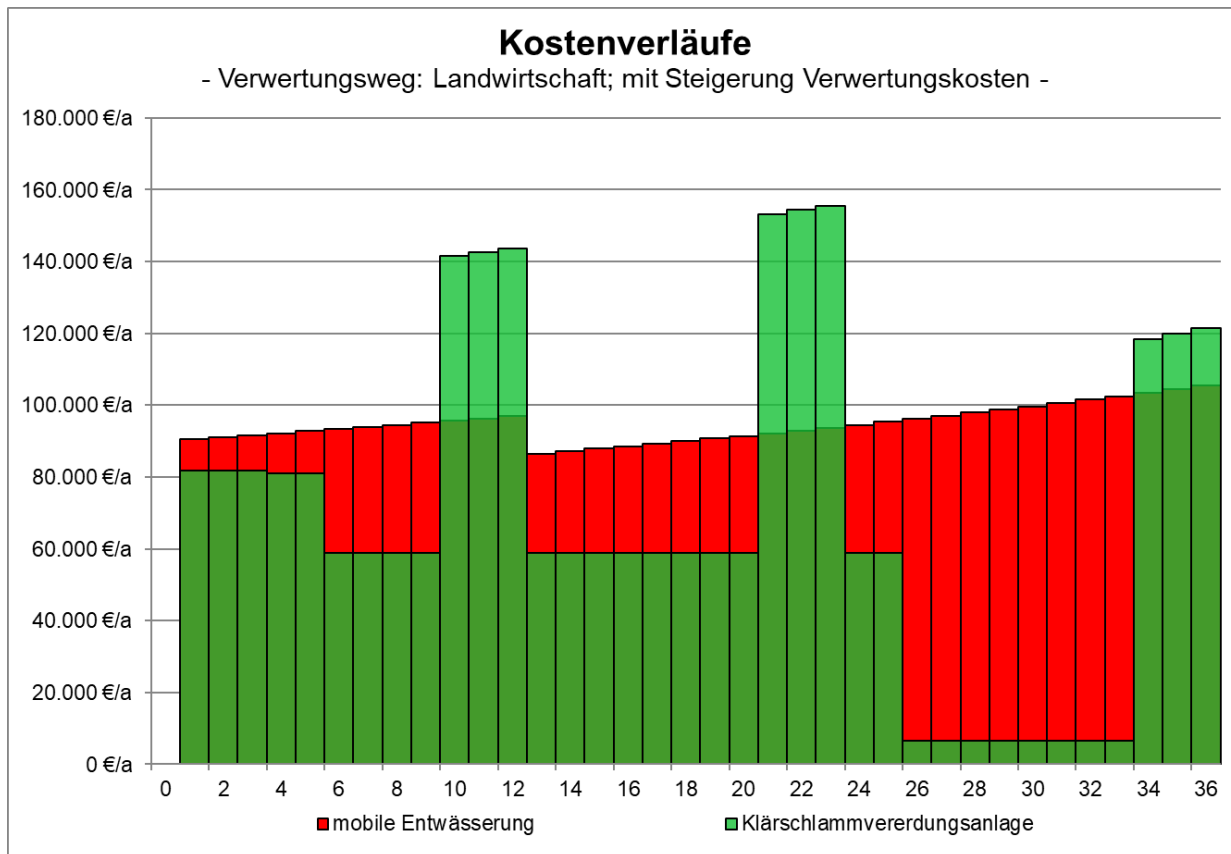


Abbildung 9: Liquiditätsverläufe für die Klärschlammmentwässerung auf der Kläranlage Haag am Hausruck, mit Preissteigerung bei landwirtschaftlicher Verwertung

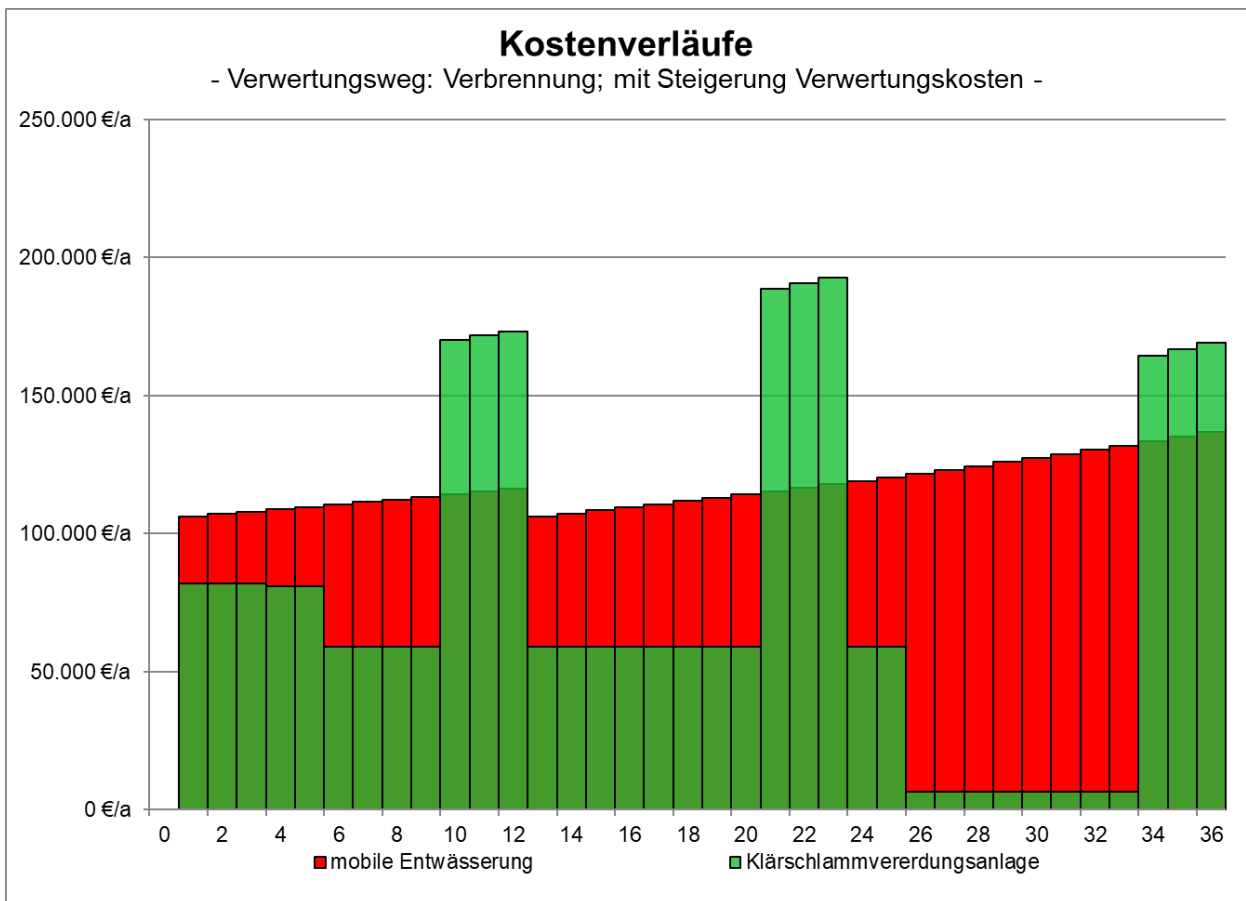


Abbildung 10: Liquiditätsverläufe für die Klärschlammmentwässerung auf der Kläranlage Haag am Hausruck, mit Preissteigerung bei thermischer Verwertung

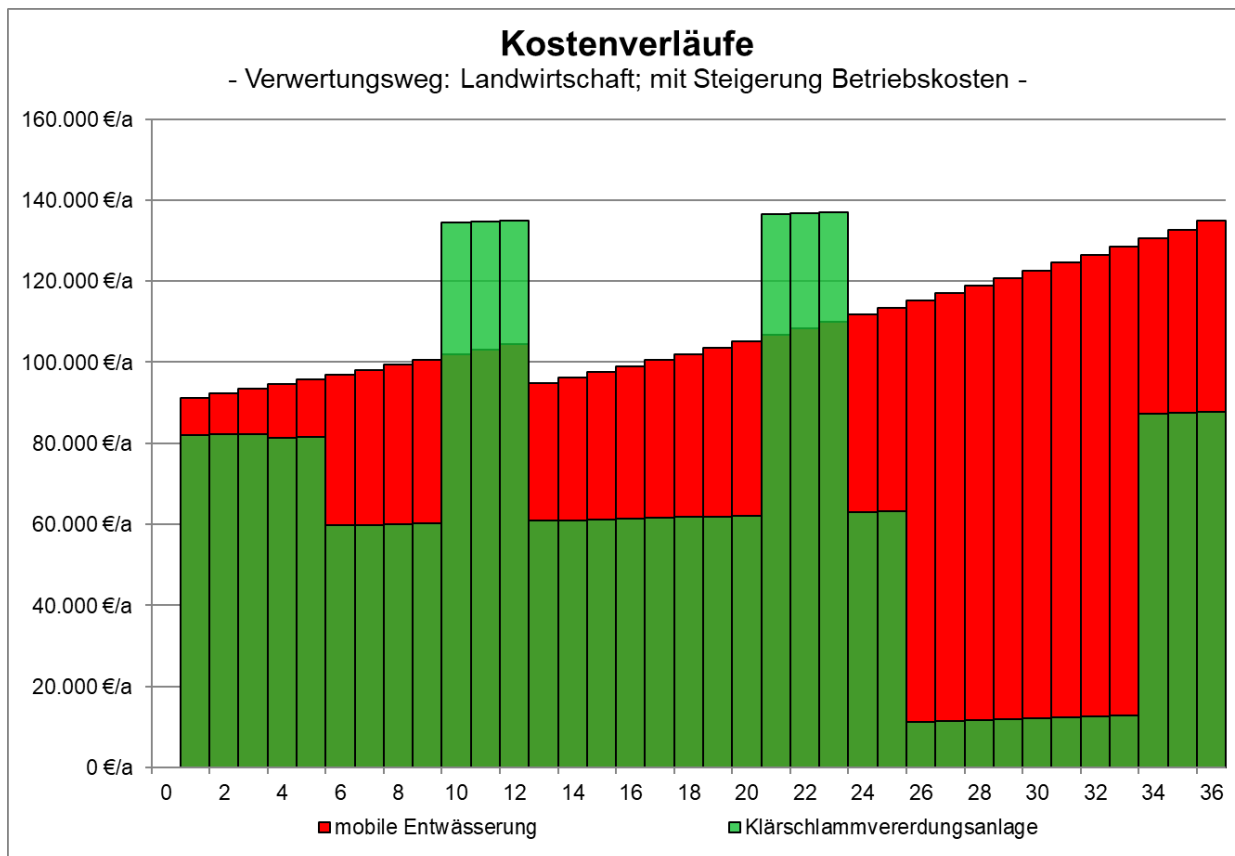
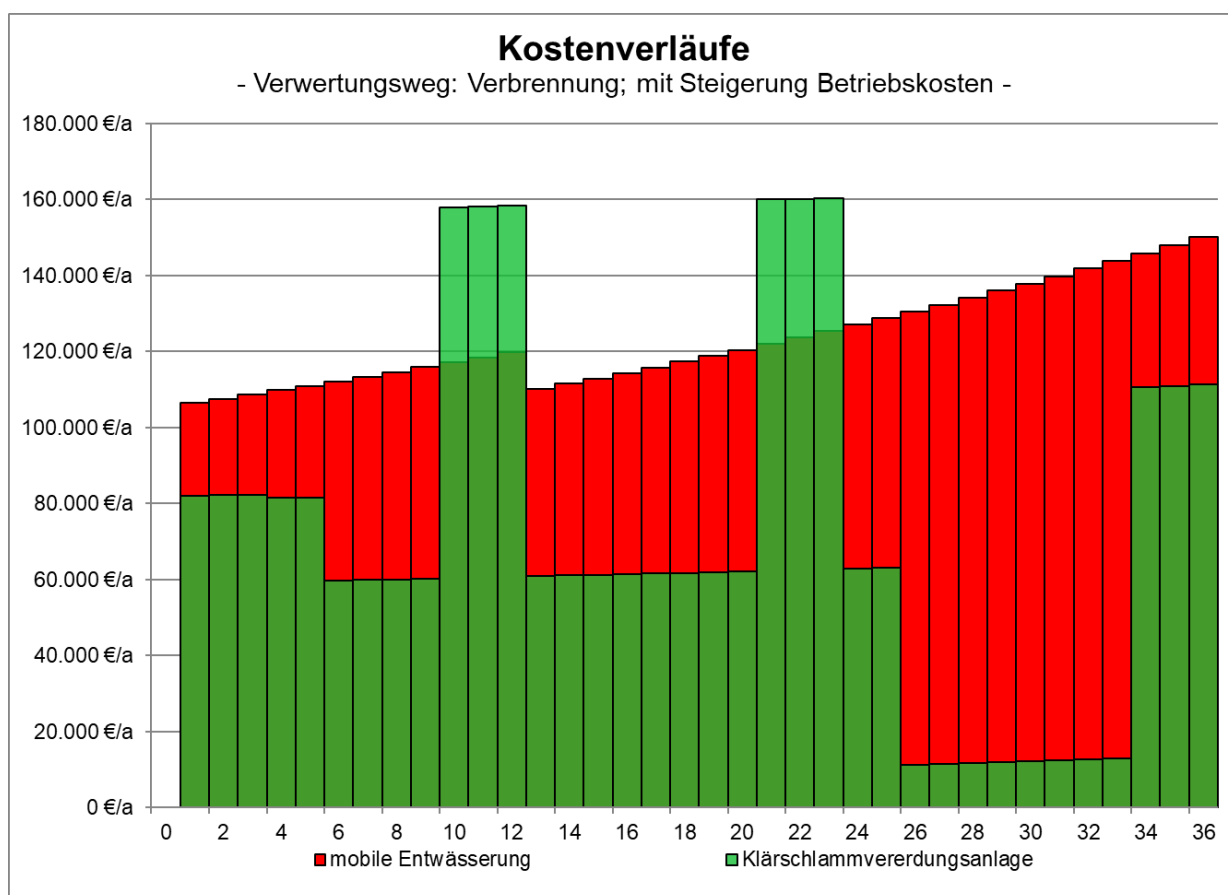


Abbildung 11: Liquiditätsverläufe für die Klärschlammmentwässerung auf der Kläranlage Haag am Hausruck, mit Preissteigerung der Betriebskosten bei landwirtschaftlicher Verwertung



**Abbildung 12:** Liquiditätsverläufe für die Klärschlammmentwässerung auf der Kläranlage Haag am Hausruck, mit Preissteigerung der Betriebskosten bei thermischer Verwertung

Durch die EKO-PLANT Klärschlammvererdung können, wenn die jährliche Verwertungskostensteigerung unterstellt wird, bei landwirtschaftlicher Verwertung 24.332 €/a und bei thermischer Verwertung 37.465 €/a im Durchschnitt des Betrachtungszeitraumes gegenüber der maschinellen Entwässerung eingespart werden. Bei Steigerung der Betriebskosten liegt der Kostenvorteil einer EKO-PLANT Klärschlammvererdung bei landw. Verwertung bei 40.347 €/a, bei thermischer Verwertung bei 49.752 €/a.

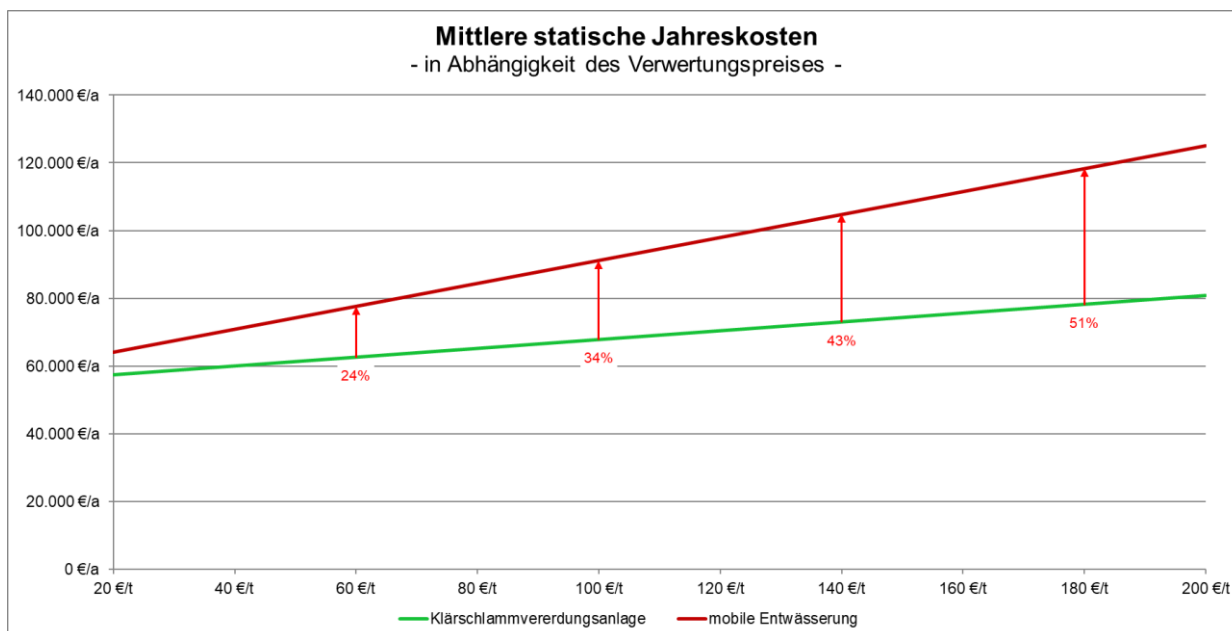
Die Unterschiede in den dargestellten Liquiditätsverläufen werden bei der Mittelwertbildung über den 36-jährigen Betrachtungszeitraum deutlich. Vergleichbar zu den dynamischen Jahreskosten ist auch bei den statischen mittleren Jahreskosten, wie dargestellt, eine Kostenreduktion durch die EKO-PLANT Klärschlammvererdung auszumachen. Die oben grafisch dargestellten Kostenunterschiede zwischen den Verfahren sind in Tabelle 1Tabelle 11 noch einmal zusammengefasst.

**Tabelle 11: Mittlere Jahreskosten über 36 Jahre bei statischer Kostenbetrachtung für die Kläranlage Haag am Hausruck bei der Klärschlammverwertung**

|                                |                    | Mittlere Jahreskosten (statisch über 36 Jahren) |                                 |                              |
|--------------------------------|--------------------|---|---------------------------------|------------------------------|
| Entwässerungssystem            | Verwertung         | ohne Kostensteigerung                           | mit Verwertungskostensteigerung | Mit Betriebskostensteigerung |
| EKO-PLANT Klärschlammvererdung | landwirtschaftlich | 64.627,96 €/a                                   | 70.445,04 €/a                   | 67.780,19 €/a                |
| mobile Entwässerung            |                    | 82.746,94 €/a                                   | 94.777,39 €/a                   | 108.127,19 €/a               |
| EKO-PLANT Klärschlammvererdung | thermisch          | 70.477,96 €/a                                   | 79.785,29 €/a                   | 73.630,19 €/a                |
| mobile Entwässerung            |                    | 98.001,94 €/a                                   | 117.250,65 €/a                  | 123.382,19 €/a               |

Wie auch bei der dynamischen Kostenvergleichsrechnung zeigt sich bei der Ermittlung der statischen Kostenverläufe, dass die EKO-PLANT Klärschlammvererdung mit landwirtschaftlicher Verwertung niedrigere Jahreskosten verursacht als die Variante mit mobiler Entwässerung, sowohl bei landwirtschaftlicher als auch bei thermischer Verwertung!

Abbildung 13 zeigt die mittleren statischen Jahreskosten in Abhängigkeit zum Verwertungspreis. Ebenso wie der Projektkostenbarwert hängen sie stark von der Verwertungspreisen ab.



**Abbildung 13: Durchschnittliche statische Jahreskosten der Klärschlammverwertung der Kläranlage Haag am Hausruck über 36 Jahre in Abhängigkeit der Verwertungskosten**

## 5 Fazit

Im Rahmen der Studie wird die Möglichkeit einer Verbesserung der Klärschlammverwertung auf der Kläranlage Haag am Hausruck mittels des Baus einer Klärschlammvererdungsanlage anhand von zwei Betrachtungsvarianten untersucht. In der ersten Variante wird auf einer Grünlandfläche eine EKO-PLANT Klärschlammvererdungsanlage errichtet. In der zweiten Variante wird der auf der Kläranlage anfallende Klärschlamm durch eine mobile Entwässerung entwässert und anschließend landwirtschaftlich verwertet. Zusätzlich wird in dieser Variante der Bau einer Schlammagerfläche einkalkuliert. Dabei zeigen sich folgende Ergebnisse:

Der Klärschlamm der Kläranlage Haag am Hausruck ist entsprechend einer Beprobung und Schlammanalysen als ausreichend stabilisiert zu betrachten. Für den Betrieb einer Klärschlammvererdungsanlage sollten Parameter, die den Vererdungsprozess negativ beeinflussen können, beobachtet und bei Bedarf korrigiert werden. Dies dient dazu, ein Absterben des Schilfbestandes und den Umschlag des Beetes in ein anaerobes Milieu zu verhindern. Die durch den Kunden durchgeführten Klärschlammanalysen weisen in allen Betriebsjahren eine Einhaltung, der durch das Bodenschutzgesetz vorgegebenen Grenzwerte, auf. Dieses Ergebnis lässt eine landwirtschaftliche Verwertung des Materials zu.

Die Dimensionierung der neuen Klärschlammvererdungsanlage erfolgt mit einem ÜSS-Anfall von 65 t TS/a. Daraus ergibt sich eine Gesamtanlagenfläche von rd. 6.400 m<sup>2</sup>.

Im Vergleich der beiden Betrachtungsvarianten besteht landwirtschaftlicher Verwertung ein prozentualer Unterschied von 21,2 % bei den **Projektkostenbarwerten**. Das entspricht einem Kostenvorteil von 321.284 € im Betrachtungszeitraum von 36 Jahren. Bei thermischer Verwertung liegt die Differenz bei 542.085 € und 33 %.

Betrachtet man die **dynamischen Jahreskosten** zeigt sich der gleiche prozentuale Kostenunterschied zugunsten der EKO-PLANT Klärschlammvererdung mit landwirtschaftlicher Verwertung. Die Differenz der dynamischen Jahreskosten liegt bei 14.720 €/a. Bei thermischer Verwertung bei 24.830 €/a

Nach Betrachtung aller zu erfassenden und abschätzbaren Investitionen und Folgekosten bei beiden Varianten ergibt sich ein Vorteil für die Variante des Umbaus zur EKO-PLANT Klärschlammvererdung. Dieser finanzielle Vorteil ergibt sich trotz der hohen Investitionskosten.

Neben den finanziellen Aspekten, die für die Variante der Klärschlammvererdung sprechen, bestehen noch betriebliche Vorteile, die durch die Klärschlammvererdungsanlage geboten werden. Durch die Errichtung von drei abgetrennten Vererdungsbeeten besteht die Möglichkeit einer **ununterbrochenen Beschickung** der Vererdungsbeete auch während einer Beeträumung. Dadurch wird künftig keine mobile Entwässerung oder Nassschlammverwertung notwendig sein. Zusätzlich zählt ein **vollumfängliches Betreuungsangebot** während des Einfahrens und in den ersten 5 Betriebsjahren der Anlage zum Preis dazu.

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass der Bau einer EKO-PLANT Klärschlammvererdungsanlage technisch möglich und sowohl wirtschaftlich und betrieblich sinnvoll ist.

## 6 Anhang

### 6.1 Gegenüberstellung der betrachteten Entwässerungssysteme

Tabelle 12: Gegenüberstellung der Entwässerungssysteme für die Kläranlage Haag am Hausruck

|  | <b>EKO-PLANT-Klärschlammvererdung</b>  | <b>mobile Entwässerung</b>   |
|--|--|--|
| <b>Kläranlagenrückbelastung</b>                  | <b>gering</b> (Qualität des Filtrats entspricht häuslichem Abwasser und keine Belastungsspitzen (gesteuerte Rücknahme Filtratwasser über Zeitfenster der Steuerung))   | <b>hoch</b> (Konzentration von Nährstoffen, v. a. Ammonium im Zentrat hoch)  |
| <b>Kalkzugabe</b>                                | <b>nein</b>  | <b>Ja</b>  |
| <b>Flockungshilfsmittel</b>                      | <b>nein</b>  | <b>ja</b>  |
| <b>Hygienisierung</b>                            | <b>ja</b>  | <b>ja (bei Zugabe von Kalk)</b>  |
| <b>Betriebskosten</b>                            | <b>gering</b> (Geringer Personalaufwand, geringer Bedarf an Zuschlagstoffen, geringer Wartungs- und Reparaturaufwand, flexible Verwertung bei geringerer Verwertungsmenge – bei Inbetriebnahme ist jedoch eine mehrjährige Betriebsbegleitung durch erfahrenes Fachpersonal anzuraten) | <b>erhöht</b> (Bedarf an Dienstleistungen von Fremdfirmen, Höhere Verwertungsmenge – die Betriebskosten sind hoch und kaum verringerbar) |
| <b>Betriebsstabilität</b>                        | <b>hoch</b> (Geringer Personalbedarf bei Beschickung und geringer wartungs- und reparaturarmer Betrieb)  | <b>hoch</b> (Behebung von Ausfällen liegen in Verantwortung der Fremdfirmen)   |
| <b>Verwertungsmengen</b>                         | <b>gering</b> (Hohe Volumenreduktion durch Mineralisierung und Verzicht auf Kalkzugabe – die Verwertungsmengen können weiter reduziert werden durch eine Nachlagerung (in PKBW unberücksichtigt))  | <b>hoch</b> (Durch ausbleibenden Organik Abbau bei mobil entwässertem Schlamm)   |
| <b>Zeitliche Flexibilität bei der Verwertung</b> | <b>ja</b> (Räumung der Vererdungsbeete kann an die Annahmekapazitäten bei der Verwertung angepasst werden)   | <b>teilweise</b> (Abfuhr des mobil entwässerten Schlamms kann durch die Nutzung der Betriebseigenen Nachlagerfläche angepasst werden)    |

|   | <b>EKO-PLANT-Klärschlammvererdung</b>   | <b>mobile Entwässerung</b>   |
|---|---|--|
| <b>Abhängig von Verwertungspreisen</b>        | <b>gering</b> (Durch ein entsprechendes Räumungsmanagement können die Verwertungszeitpunkte der Klärschlammvererdung im Vorfeld abgestimmt werden. Aufgrund dieser Flexibilität ist mit günstigeren Konditionen zu rechnen zzgl. der insgesamt geringeren Verwertungsmengen bezogen auf die Jahresschlammmenge) | <b>mittel</b> (Regelmäßige Schlammabfuhr notwendig, trotz Lagerplatz. Die Verwertungskosten unterliegen stark den Preisschwankungen aufgrund der relativ geringen Entwässerungsleistung (= größere Restmengen) |
| <b>Investition</b>                            | <b>hoch</b>   | <b>gering</b>  |
| <b>Flexibilität in der Liquidität</b>         | <b>groß</b> (Aufgrund des langjährigen Vererdungsprozesses erfolgt die Verwertung nach mehreren Jahren. Die Kosten fallen verzögert an. Die finanziellen Mittel können für andere Projekte verwendet werden)  | <b>gering</b>  |
| <b>Genehmigungsaufwand</b>                    | <b>niedrig</b> (Im Falle der Beeterweiterung erhöhter Genehmigungsaufwand)  | <b>niedrig</b>   |
| <b>CO<sub>2</sub>-Produktion</b>              | <b>niedrig</b>  | <b>hoch</b>  |
| <b>ökologische Vorzüglichkeit</b>             | <b>groß</b> (Sehr geringer Energieverbrauch und so reduzierte Produktion des Treibhausgas CO <sub>2</sub> ; deutliche Verringerung von Zuschlagstoffen; Schaffung eines Schilf-Feuchtbiotops mit guter Integration der Anlage in die Landschaft)  | <b>hoch</b>  |
| <b>Abbau organischer Schadstoffe</b>          | <b>ja</b> (Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde nachgewiesen, dass es zu einem deutlichen Abbau von organischen Schadstoffen (z. B. DEHP, Triclosan) im Rahmen des Vererdungsprozesses kommt <sup>7</sup> )  | <b>nein</b>  |
| <b>P-Rückgewinnung</b>                        | <b>ja</b> (Klärschlammvererdung als P-Lagerstätte und Speicherung im Beet; Wertstoff verbleibt beim Kunden)   | <b>nein</b>  |
| <b>Anreicherung anorganischer Schadstoffe</b> | <b>bedingt</b> (Prozentual gegeben in geringem Maße, abhängig von zugeführter Klärschlammbeschaffenheit und dem spezifischen Schwermetall)  | <b>nein</b>  |
| <b>Flächenbedarf</b>                          | <b>hoch</b> (Bereitstellung der Flächen für die Vererdungsanlage)   | <b>gering</b>  |

<sup>7</sup> Abbau organischer Schadstoffe im Rahmen der Klärschlammvererdung, Kooperationsprojekt mit der Universität Duisburg-Essen (2006 – 2008).

|   | <b>EKO-PLANT-Klärschlammvererdung</b>  | <b>mobile Entwässerung</b>  |
|---|--|---|
| <b>Abhängigkeit von Klärschlammqualität</b> | <b>hoch</b> (Vererdungserfolg abhängig von Stabilität und Entwässerbarkeit des Klärschlammes. Die Klärschlammqualität sollte betriebsbegleitend weiter regelmäßig kontrolliert werden) | <b>mittel</b> (Schwankungen der Qualität und Quantität des Schlammes haben kaum Einfluss auf die Umsetzbarkeit des Entwässerungsverfahrens) |

## 6.2 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

**Tabelle 13:** Projektkostenbarwerte (PKBW), dynamische Jahreskosten (Dyn. JK) und dynamische Gesteigungskosten (Dyn. GK) für beide Entwässerungsszenarien bei jährlicher Steigerung der Verwertungskosten um 2 %

| Entwässerungsverfahren         | Verwertungsoption  | PKBW           | Dyn. JK        | Dyn. GK         |
|--------------------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|
| EKO-PLANT-Klärschlammvererdung | landwirtschaftlich | 1.610.204,37 € | 73.753,47 €/a  | 1.134,67 €/t TS |
| mobile Entwässerung            |                    | 2.049.125,17 € | 93.857,71 €/a  | 1.443,96 €/t TS |
| EKO-PLANT-Klärschlammvererdung | thermisch          | 1.779.799,11 € | 81.521,55 €/a  | 1.254,18 €/t TS |
| mobile Entwässerung            |                    | 2.509.972,89 € | 114.966,28 €/a | 1.768,71 €/t TS |

**Tabelle 14:** Projektkostenbarwerte (PKBW), dynamische Jahreskosten (Dyn. JK) und dynamische Gesteigungskosten (Dyn. GK) für beide Entwässerungsszenarien bei jährlicher Steigerung der Betriebskosten um 2 %

| Entwässerungsverfahren         | Verwertungsoption  | PKBW           | Dyn. JK        | Dyn. GK         |
|--------------------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|
| EKO-PLANT-Klärschlammvererdung | landwirtschaftlich | 1.570.574,54 € | 71.938,27 €/a  | 1.106,74 €/t TS |
| mobile Entwässerung            |                    | 2.285.478,57 € | 104.683,59 €/a | 1.610,52 €/t TS |
| EKO-PLANT-Klärschlammvererdung | thermisch          | 1.682.905,99 € | 77.083,48 €/a  | 1.185,90 €/t TS |
| mobile Entwässerung            |                    | 2.618.529,58 € | 119.938,59 €/a | 1.845,21 €/t TS |

### 6.3 Projektkostenbarwertrechnung

Die dynamische Kostenvergleichsrechnung dient dazu, die kostengünstigste Lösung unter den entscheidungsrelevanten Alternativen zur Erreichung einer definierten Leistung (kostengünstigstes Klärschlammmentwässerungsverfahren) zu ermitteln. Hierbei soll ein bestimmtes Ergebnis mit dem geringsten (finanziellen) Mitteleinsatz erreicht werden. Die dynamische Kostenvergleichsrechnung stellt ein einseitig, an der Kostenseite orientiertes, einfaches Verfahren mit leichter Interpretation der Ergebnisse dar. Indirekte und qualitative Vorteile gehen in den rechnerischen Vergleich der Alternativen nicht mit ein. Die stattfindende Gegenüberstellung monetär bewerteter kostenmäßiger Wirkungen der untersuchten Alternativen (Varianten) gibt Auskunft über ihre „relative Vorteilhaftigkeit“, d. h. darüber, in welchem Grad die eine Alternative kostengünstiger ist als die andere.

Die KVR kann verwendet werden, wenn:

- Eine normative Zielvorgabe (Klärschlammmentwässerung) zwingend zu vollbringen ist.
- Nutzungsgleichheit der Alternativen besteht.
- Gleichheit der monetär nicht bewertbaren Kostenwirkungen gegeben ist. Gegebenenfalls sind diese verbal-argumentativ zu bewerten.

Die KVR kann hier als ausreichende Entscheidungshilfe betrachtet werden, da sich die Alternativen in guter Näherung zur Lösung der Zielvorgabe als nutzungsgleich darstellen und über die Projektkosten hinausgehende Negativeffekte bei Dritten (z. B. Sozialkosten) nicht auftreten.

Die Alternativen unterscheiden sich in ihren Anschaffungskosten und auch in den laufenden Kosten sowie in der durchschnittlichen Nutzungsdauer. Um eine Vergleichbarkeit der betrachteten Alternativen zu ermöglichen, müssen Kalkulationsparameter wie Nutzungsdauer, Zinssatz, Bezugszeitpunkt der Betrachtung als gleiche Größen für die zu bewertenden Alternativen im Vorfeld festgesetzt werden. Der Betrachtungszeitraum orientiert sich an den Nutzungszeiträumen der betrachteten Alternativen. Bei unterschiedlich langen Nutzungszeiträumen ist der kleinste gemeinsame Nutzungszeitraum anzusetzen. Für die Alternativen mit kürzeren Nutzungszeiträumen, d. h. falls bei Alternativen innerhalb des festgelegten Bezugszeitraumes Reinvestitionen erforderlich sind, sind diese gleichfalls zu erfassen. Der so ermittelte Projektkostenbarwert wird als äquivalenter Projektkostenbarwert bezeichnet.

Folgende Kalkulationsparameter werden festgelegt:

- Basisuntersuchungszeitraum: 36 Jahre (als kleinster gemeinsamer Nenner der verschiedenen Nutzungszeiträume der Alternativen)
- Realzinssatz von 3,0 % (fix) (nach Empfehlung der DWA 2012); berücksichtigt sind damit sowohl der Nominalzinssatz als auch die Inflationsrate)
- Bezugszeitpunkt: Investitionsbeginn (Investition und Errichtung: Jahr 0; Betriebsbeginn: Jahr 1)

Die Kostenreihen der beiden untersuchten Entwässerungsverfahren sowie die sich daraus ergebenden Projektkostenbarwerttabellen zur Berechnung des Projektkostenbarwertes, sind im Folgenden aufgeführt.

Für die Berechnung der Kosten dienen unterschiedliche Faktoren:

- **Diskontierungsfaktor (DFAKE)** ermöglicht die Abzinsung einer nach n Jahren anfallenden einmaligen Kostengröße K unter Berücksichtigung von Zins und Zinseszins auf den Betrag X zum Zeitpunkt 0 bei einem Realzinssatz i.

$$DFAKE(i; n) = \frac{1}{(1 + i)^n}$$

- **Diskontierungsfaktor für eine gleichförmige jährliche Kostenreihe (DFAKR)** ermöglicht die Abzinsung einer Reihe jährlich gleichbleibender Kostengrößen K unter Berücksichtigung von Zins und Zinseszins auf den Betrag X zum Zeitpunkt 0 bei einem Realzinssatz i.

$$DFAKR(i; n) = \frac{(1 + i)^n - 1}{i * (1 + i)^n}$$

- **Kapitalwiedergewinnungsfaktor (KFAKR):** Umrechnung einer einmaligen Kostengröße K zum Zeitpunkt 0 unter Berücksichtigung von Zins und Zinseszins in eine Reihe gleichbleibender Kostengrößen X in n nachfolgenden Jahren (hier: Umrechnung des PKBW in dynamische Jahreskosten).

$$KFAKR(i; n) = \frac{i * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

- **Diskontierungsfaktor für eine Kostenreihe mit progressiver Steigerung (jährliche Steigerungsrate r) (DFAKRP):** Abzinsung von über n Jahren mit einer Steigerungsrate r zunehmenden Kostengrößen K unter Berücksichtigung von Zins und Zinseszins auf einen zum Zeitpunkt 0 fälligen Beitrag X

$$DFAKRP(i; n) = (1 + r) * \frac{(1 + i)^n - (1 + r)^n}{(1 + i)^n * (i - r)}$$

Die konkreten Faktoren, die in den nachfolgenden dargestellten Berechnungen der PKBW zum Tragen kommen, sind in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Faktoren für Projektkostenbarwertberechnung

| Faktor            | Wert        |
|-------------------|-------------|
| DFAKR (3; 36)     | 21,8322525  |
| DFAKR (3; 5)      | 4,579707187 |
| KFAKR (3; 36)     | 0,045803794 |
| DFAKRP (2; 3; 36) | 30,20961774 |

### 6.3.1 EKO-PLANT-Klärschlammvererdung für Bemessungsvariante Thermik (65 t TS/a)

Tabelle 16: Grundlegenden Daten und Projektkostenbarwertermittlung der EKO-PLANT-Klärschlammvererdung

| Klärschlammvererdung   |  |                                      |                                 |
|--|--|--------------------------------------|---------------------------------|
| Auslegung (KSV)  |  |                                      |                                 |
| Variante   | KSV  | Verwertungsweg 1                     | Landwirtschaft                  |
|  |  | Verwertungsweg 2                     | Verbrennung                     |
| Klärschlammmenge, nass, Beschickungsmenge                    | 3.250 m <sup>3</sup> /a  | TS-Äquivalent                        | 45 %                            |
| TS-Gehalt Nassschlamm  | 2,00 %   |                                      |                                 |
| Klärschlammmenge, trocken, Beschickungsmenge                 | 65 t TS/a  | voraussichtl. Beetanzahl             | 3                               |
|  |  | voraussichtl. Räumungszyklus (Jahre) | 11                              |
| Investitionskosten (IK KSV)                                  |  |                                      |                                 |
| Position   | Investitionskosten   | Finanzierungszeit                    | Nutzungsdauer                   |
| Investitionskosten KSV                                       | 909.610,11 €   | 25                                   | 36                              |
| <b>Summe Investitionskosten</b>                              | <b>909.610,11 €</b>  |                                      |                                 |
| Laufende Kosten (LK KSV)                                     |  |                                      |                                 |
| Position   | Beginn im Jahr   | Ende im Jahr                         | Betriebskosten                  |
| Betriebskosten ohne BBE (Jahre 1-36)                         | 1  | 36                                   | 6.661,88 €/a                    |
| BBE (Jahre 1-3)  | 1  | 3                                    | 22.992,02 €/a                   |
| BBE (Jahre 4-5)  | 4  | 5                                    | 21.992,02 €/a                   |
| gewichtetes Mittel BBE (Jahre 1-5) für PKBW-Berechnung       | 1  | 5                                    | 22.592,02 €/a                   |
| <b>Summe Betriebskosten mit BBE</b>                          |  |                                      | <b>29.253,89 €/a</b>            |
| <b>Summe Betriebskosten ohne BBE</b>                         |  |                                      | <b>6.661,88 €/a</b>             |
| Räumung & Verwertung (RVK KSV)                               |  |                                      |                                 |
| Position   | Stückkosten  | Menge                                | Kosten                          |
| Räumungskosten (inkl. Analytik)                              | 35.210,53 €/Räumung  | 1 Beet                               | 35.210,53 €/Beet+Räumung        |
| Verwertungskosten 1: Landwirtschaft                          | 75,00 €/t  | 520,00 t                             | 39.000,00 €/Beet+Räumung        |
| Verwertungskosten 2: Verbrennung                             | 120,00 €/t   | 520,00 t                             | 62.400,00 €/Beet+Räumung        |
| <b>Summe Räumung &amp; Verwertungsweg 1 (Landwirtschaft)</b> | Räumungskosten + Verwertungskosten 1 = 35.210,53 €/Beet+Räumung + 39.000,00 €/Beet+Räumung = |                                      | <b>74.210,53 €/Beet+Räumung</b> |
| <b>Summe Räumung &amp; Verwertungsweg 2 (Verbrennung)</b>    | Räumungskosten + Verwertungskosten 2 = 35.210,53 €/Beet+Räumung + 62.400,00 €/Beet+Räumung = |                                      | <b>97.610,53 €/Beet+Räumung</b> |

| Barwertberechnung                                     |      |   |                         |
|---|------|---|-------------------------|
| Position  | Jahr | Berechnung  | Barwerte                |
| Investitionskosten                                    | 0    | Barwert Erstinvestition=Erstinvestitionskosten  | 909.610,11 €            |
| Räumung   |      | $\Sigma$ Räumungskosten je Beet * DFAKE(3,Räumungsjahr) =   | 169.027,76 €            |
| Verwertung (Landwirtschaft)                           |      | $\Sigma$ Verwertungskosten 1 je Beet * DFAKE(3,Räumungsjahr) =  | 187.219,08 €            |
| Verwertung (Verbrennung)                              |      | $\Sigma$ Verwertungskosten 2 je Beet * DFAKE(3,Räumungsjahr) =  | 299.550,53 €            |
| Betriebskosten  |      | Betriebskosten * DFAKR(3,36) = 6.661,88 €/a * 21,8323 =   | 145.443,79 €            |
| BBE-Kosten  |      | BBE-Kosten * DFAKR(3,5) = 22.592,02 €/a * 4,5797 =  | 103.464,83 €            |
| <b>Projektkostenbarwert 1 (Landwirtschaft)</b>        |      | Bw. Investition + Bw. Räumung + Bw. Verwertung 1 + Bw. Betrieb + Bw. BBE =<br>909.610,11 € + 169.027,76 € + 187.219,08 € + 145.443,79 € + 103.464,83 € =    | <b>1.514.765,56 €</b>   |
| <b>dynamische Jahreskosten 1 (Landwirtschaft)</b>     |      | Projektkostenbarwert 1 * KFAKR(3,36) = 1.514.765,56 € * 0,0458 =  | <b>69.382,01 €/a</b>    |
| <b>dynamische Gesteungskosten 1 (Landwirtschaft)</b>  |      | dynamische Jahreskosten 1 / Beschickungsmenge je Jahr = 69.382,01 €/a / 65t TS/a =  | <b>1.067,42 €/ t TS</b> |
| <b>Projektkostenbarwert 2 (Verbrennung)</b>           |      | Bw. Investition + Bw. Räumung + Bw. Verwertung 2 + Bw. Betrieb + Bw. BBE =<br>909.610,11 € + 169.027,76 € + 299.550,53 € + 145.443,79 € + 103.464,83 € =    | <b>1.627.097,01 €</b>   |
| <b>dynamische Jahreskosten 2 (Verbrennung)</b>        |      | Projektkostenbarwert 2 * KFAKR(3,36) = 1.627.097,01 € * 0,0458 =  | <b>74.527,22 €/a</b>    |
| <b>dynamische Gesteungskosten 2 (Verbrennung)</b>     |      | dynamische Jahreskosten 2 / Beschickungsmenge je Jahr = 74.527,22 €/a / 65t TS/a =  | <b>1.146,57 €/ t TS</b> |
| Sensitivitätsprüfung Projektkostenbarwert             |      |   |                         |
| <b>Steigerung der Verwertungskosten um 2,00%</b>      |      |   |                         |
| Verwertung 1a (mit Kostensteigerung)                  |      | $\Sigma$ (Verwertungskosten 1a je Beet) * DFAKE(3,Räumungsjahr) =   | 282.657,90 €            |
| <b>Projektkostenbarwert 1a (Landwirtschaft)</b>       |      | Bw. Investition + Bw. Räumung + Bw. Verwertung 1a + Bw. Betrieb + Bw. BBE =<br>909.610,11 € + 169.027,76 € + 282.657,90 € + 145.443,79 € + 103.464,83 € =   | <b>1.610.204,37 €</b>   |
| <b>dynamische Jahreskosten 1a (Landwirtschaft)</b>    |      | Projektkostenbarwert 1a * KFAKR(3,36) = 1.610.204,37 € * 0,0458 =   | <b>73.753,47 €/a</b>    |
| <b>dynamische Gesteungskosten 1a (Landwirtschaft)</b> |      | dynamische Jahreskosten 1a / Beschickungsmenge je Jahr = 73.753,47 €/a / 65t TS/a =   | <b>1.134,67 €/ t TS</b> |
| Verwertungs 2a (mit Kostensteigerung)                 |      | $\Sigma$ (Räumungskosten + Verwertungskosten 2a je Beet) * DFAKE(3,Räumungsjahr) =  | 452.252,63 €            |
| <b>Projektkostenbarwert 2a (Verbrennung)</b>          |      | Bw. Investition + Bw. Räumung + Bw. Verwertung 2a + Bw. Betrieb + Bw. BBE =<br>909.610,11 € + 169.027,76 € + 452.252,63 € + 145.443,79 € + 103.464,83 € =   | <b>1.779.799,11 €</b>   |
| <b>dynamische Jahreskosten 2a (Verbrennung)</b>       |      | Projektkostenbarwert 2a * KFAKR(3,36) = 1.779.799,11 € * 0,0458 =   | <b>81.521,55 €/a</b>    |
| <b>dynamische Gesteungskosten 2a (Verbrennung)</b>    |      | dynamische Jahreskosten 2a / Beschickungsmenge je Jahr = 81.521,55 €/a / 65t TS/a =   | <b>1.254,18 €/ t TS</b> |
| <b>Steigerung der Betriebskosten um 2,00%</b>         |      |   |                         |
| Betriebskosten 1b (mit Kostensteigerung)              |      | Betriebskosten * DFAKR(2,3,36) = 6.661,88 €/a * 30,2096 =   | 201.252,77 €            |
| <b>Projektkostenbarwert 1b (Landwirtschaft)</b>       |      | Bw. Investition + Bw. Räumung + Bw. Verwertung 1 + Bw. Betrieb 1b + Bw. BBE =<br>909.610,11 € + 169.027,76 € + 187.219,08 € + 201.252,77 € + 103.464,83 € = | <b>1.570.574,54 €</b>   |
| <b>dynamische Jahreskosten 1b (Landwirtschaft)</b>    |      | Projektkostenbarwert 1b * KFAKR(3,36) = 1.570.574,54 € * 0,0458 =   | <b>71.938,27 €/a</b>    |
| <b>dynamische Gesteungskosten 1b (Landwirtschaft)</b> |      | dynamische Jahreskosten 1a / Beschickungsmenge je Jahr = 71.938,27 €/a / 65t TS/a =   | <b>1.106,74 €/ t TS</b> |
| Betriebskosten 2b (mit Kostensteigerung)              |      | Betriebskosten * DFAKR(2,3,36) = 6.661,88 €/a * 30,2096 =   | 201.252,77 €            |
| <b>Projektkostenbarwert 2b (Verbrennung)</b>          |      | Bw. Investition + Bw. Räumung + Bw. Verwertung 2 + Bw. Betrieb 2b + Bw. BBE =<br>909.610,11 € + 169.027,76 € + 299.550,53 € + 201.252,77 € + 103.464,83 € = | <b>1.682.905,99 €</b>   |
| <b>dynamische Jahreskosten 2b (Verbrennung)</b>       |      | Projektkostenbarwert 2b * KFAKR(3,36) = 1.682.905,99 € * 0,0458 =   | <b>77.083,48 €/a</b>    |
| <b>dynamische Gesteungskosten 2b (Verbrennung)</b>    |      | dynamische Jahreskosten 2b / Beschickungsmenge je Jahr = 77.083,48 €/a / 65t TS/a =   | <b>1.185,90 €/ t TS</b> |

### 6.3.2 Mobile Entwässerung für Bemessungsvariante Thermik (65 t TS/a)

Tabelle 17: Grundlegenden Daten und Projektkostenbarwertermittlung der mobilen Entwässerung

| mobile Entwässerung                             |   |                       |  |                      |
|---|---|-----------------------|--|----------------------|
| Auslegung                                       |   |                       |  |                      |
| Variante  | mobile Entwässerung                           |                       |  |                      |
| Klärschlammmenge, nass                          | 3.250 m³/a                                    |                       | Verwertungsweg 1   | Landwirtschaft       |
| TS-Gehalt Nassschlamm                           | 2,00 % TS-Gehalt                              |                       | Verwertungsweg 2   | Verbrennung          |
| Klärschlammmenge, trocken                       | 65 t TS/a                                     |                       |  |                      |
| Investitionskosten (IK mobile Entwässerung)     |   |                       |  |                      |
| Position  | Investitionskosten                            | Finanzierungszeitraum | Nutzungszeitraum   |                      |
| Invest mobile Entwässerung                      | - €   | 12                    | 12   |                      |
| <b>Summe Investitionskosten</b>                 | <b>110.000,00 €</b>                           |                       |  |                      |
| Laufende Kosten (LK mobile Entwässerung)        |   |                       |  |                      |
| Betriebskosten 1, Landwirtschaft                |   |                       |  |                      |
| Position  | Stückkosten                                   | Menge                 | Betriebskosten   |                      |
| Energiekosten                                   | 0,30 €/kWh                                    | 4.333,33 kWh/a        | 1.300,00 €/a   |                      |
| Reparatur, Wartung, Unterhalt                   | vom Invest                                    | 2%                    | 1.350,00 €/a   |                      |
| Kosten für Kalk                                 | 100,00 €/t                                    | 13 t/a                | 1.300,00 €/a   |                      |
| Analyse- und sonstige Kosten                    |   |                       | 2.000,00 €/a   |                      |
| Kosten für FHM                                  | 2,20 €/kg                                     | 1.733,33 kg/a         | 3.813,33 €/a   |                      |
| Personalkosten                                  | 45,00 €/h                                     | 108 h/a               | 4.875,00 €/a   |                      |
| Kosten für mob. Entwässerung o.ä.               | 3.250 m³                                      | 12,00 €/m³            | 39.000,00 €/a  |                      |
|   | <b>Summe Betriebskosten 1, Landwirtschaft</b> |                       | <b>53.638,33 €/a</b>   |                      |
| Summe Betriebskosten 2, Verbrennung             |   |                       |  |                      |
| Position  | Stückkosten                                   | Menge                 | Betriebskosten   |                      |
| Energiekosten                                   | 0,30 €/kWh                                    | 4.333,33 kWh/a        | 1.300,00 €/a   |                      |
| Reparatur, Wartung, Unterhalt                   | vom Invest                                    | 2%                    | 1.350,00 €/a   |                      |
| Kosten für Kalk                                 | 100,00 €/t                                    | 13 t/a                | 1.300,00 €/a   |                      |
| Analyse- und sonstige Kosten                    |   |                       | 2.000,00 €/a   |                      |
| Kosten für FHM                                  | 2,20 €/kg                                     | 1.733,33 kg/a         | 3.813,33 €/a   |                      |
| Personalkosten                                  | 45,00 €/h                                     | 108 h/a               | 4.875,00 €/a   |                      |
| Kosten für mob. Entwässerung o.ä.               | 3.250 m³                                      | 12,00 €/m³            | 39.000,00 €/a  |                      |
|   | <b>Summe Betriebskosten 2, Verbrennung</b>    |                       | <b>53.638,33 €/a</b>   |                      |
| Verwertung                                      | Stückkosten                                   | Menge                 | Verwertungskosten  | TS-Gehalt            |
| Verwertungskosten 1: Landwirtschaft             | 75,00 €/t                                     | 339,00 t/a            | <b>25.425,00 €/a</b>   | 23,00%               |
| Verwertungskosten 2: Verbrennung                | 120,00 €/t                                    | 339,00 t/a            | <b>40.680,00 €/a</b>   | 23,00%               |
| <b>Summe Laufende Kosten 1 (Landwirtschaft)</b> |   |                       | Betriebskosten 1 + Verwertungskosten 1 = 53.638,33 €/a + 25.425,00 €/a = | <b>79.063,33 €/a</b> |
| <b>Summe Laufende Kosten 2 (Verbrennung)</b>    |   |                       | Betriebskosten 2 + Verwertungskosten 2 = 53.638,33 €/a + 40.680,00 €/a = | <b>94.318,33 €/a</b> |

| Barwertberechnung                             |      |   |                     |
|---|------|---|---------------------|
| Position                                      | Jahr | Berechnung  | Barwerte            |
| Investitionskosten (erstmalig)                | 0    | <b>Barwert Erst-Investition=Erst-Investitionskosten</b> | <b>110.000,00 €</b> |
| Re-Invest mobile Entwässerung                 | 12   | Investitionskosten * DFAKE(3,12) = 0,00 € * 0,7014 =    | - €                 |
|   | 24   | Investitionskosten * DFAKE(3,24) = 0,00 € * 0,4919 =    | - €                 |
| Re-Invest Stapelbehälter bzw. Betriebsgebäude |      |   |                     |
| Re-Invest Schlammlager                        |      |   |                     |
| <b>Summe Barwert Re-Investitionen</b>         |      |   | <b>- €</b>          |

|  |   |                         |
|--|---|-------------------------|
| Betriebskosten 1 (Landwirtschaft)                      | Betriebskosten 1 = 53.638,33 €/a * 21,8323 =  | 1.171.045,64 €          |
| Verwertungskosten 1 (Landwirtschaft)                   | Verwertungskosten 1 * DFAKR(3,36) = 25.425,00 €/a * 21,8323 =   | 555.085,02 €            |
| <b>Projektkostenbarwert 1 (Landwirtschaft)</b>         | Bw. Investition + Bw. Re-Investition + Bw. Betrieb 1 + Bw Verwertung 1 =<br>110.000,00 € + 0,00 € + 1.171.045,64 € + 555.085,02 € = | <b>1.836.130,66 €</b>   |
| <b>dynamische Jahreskosten 1 (Landwirtschaft)</b>      | Projektkostenbarwert 1 * KFAKR(3,36) = 1.836.130,66 € * 0,0458 =  | <b>84.101,75 €/a</b>    |
| <b>dynamische Gesteigungskosten 1 (Landwirtschaft)</b> | dynamische Jahreskosten 1 / Beschickungsmenge je Jahr = 84.101,75 €/a / 65t TS/a =  | <b>1.293,87 €/ t TS</b> |

|   |   |                         |
|---|---|-------------------------|
| Betriebskosten 2 (Verbrennung)                      | Betriebskosten 2 = 53.638,33 €/a * 21,8323 =  | 1.171.045,64 €          |
| Verwertungskosten 2 (Verbrennung)                   | Verwertungskosten 2 * KFAKR(3,36) = 40.680,00 €/a * 21,8323 =   | 888.136,03 €            |
| <b>Projektkostenbarwert 2 (Verbrennung)</b>         | Bw. Investition + Bw. Re-Investition + Bw. Betrieb 2 + Bw Verwertung 2 =<br>110.000,00 € + 0,00 € + 1.171.045,64 € + 888.136,03 € = | <b>2.169.181,67 €</b>   |
| <b>dynamische Jahreskosten 2 (Verbrennung)</b>      | Projektkostenbarwert 2 * KFAKR(3,36) = 2.169.181,67 € * 0,0458 =  | <b>99.356,75 €/a</b>    |
| <b>dynamische Gesteigungskosten 2 (Verbrennung)</b> | dynamische Jahreskosten 2 / Beschickungsmenge je Jahr = 99.356,75 €/a / 65t TS/a =  | <b>1.528,57 €/ t TS</b> |

**Sensitivitätsprüfung Projektkostenbarwert**

|   |   |                         |
|---|---|-------------------------|
| <b>Steigerung der Verwertungskosten um 2,00%</b>        |   |                         |
| Verwertungskosten 1a (mit Kostensteigerung)             | Verwertungskosten 1 * DFAKR(2,3,36) = 25.425,00 €/a * 30,2096 =   | 768.079,53 €            |
| <b>Projektkostenbarwert 1a (Landwirtschaft)</b>         | Bw. Investition + Bw. Re-Investition + Bw. Betrieb 1a + Bw Verwertung 1a =<br>110.000,00 € + 0,00 € + 1.171.045,64 € + 768.079,53 € = | <b>2.049.125,17 €</b>   |
| <b>dynamische Jahreskosten 1a (Landwirtschaft)</b>      | Projektkostenbarwert 1a * KFAKR(3,36) = 2.049.125,17 € * 0,0458 =   | <b>93.857,71 €/a</b>    |
| <b>dynamische Gesteigungskosten 1a (Landwirtschaft)</b> | dynamische Jahreskosten 1a / Beschickungsmenge je Jahr = 93.857,71 €/a / 65t TS/a =   | <b>1.443,96 €/ t TS</b> |

|  |  |                         |
|--|--|-------------------------|
| Verwertungskosten 2a (mit Kostensteigerung)          | Verwertungskosten 2 * DFAKR(2,3,36) = 40.680,00 €/a * 30,2096 =  | 1.228.927,25 €          |
| <b>Projektkostenbarwert 2 (Verbrennung)</b>          | Bw. Investition + Bw. Re-Investition + Bw. Betrieb 2a + Bw Verwertung 2a =<br>110.000,00 € + 0,00 € + 53.638,33 € + 1.228.927,25 € = | <b>2.509.972,89 €</b>   |
| <b>dynamische Jahreskosten 2 (Verbrennung)</b>       | Projektkostenbarwert 2a * KFAKR(3,36) = 2.509.972,89 € * 0,0458 =  | <b>114.966,28 €/a</b>   |
| <b>dynamische Gesteigungskosten 2a (Verbrennung)</b> | dynamische Jahreskosten 2a / Beschickungsmenge je Jahr = 114.966,28 €/a / 65t TS/a =   | <b>1.768,71 €/ t TS</b> |

|   |  |                         |
|---|--|-------------------------|
| <b>Steigerung der Betriebskosten um 2,00%</b>           |  |                         |
| Betriebskosten 1b (mit Kostensteigerung)                | Betriebskosten 1 * DFAKR(2,3,36) = 53.638,33 €/a * 30,2096 =   | 1.620.393,55 €          |
| <b>Projektkostenbarwert 1b (Landwirtschaft)</b>         | Bw. Investition + Bw. Re-Investition + Bw. Betrieb 1b + Bw Verwertung 1 =<br>110.000,00 € + 0,00 € + 1.620.393,55 € + 555.085,02 € = | <b>2.285.478,57 €</b>   |
| <b>dynamische Jahreskosten 1b (Landwirtschaft)</b>      | Projektkostenbarwert 1b * KFAKR(3,36) = 2.285.478,57 € * 0,0458 =  | <b>104.683,59 €/a</b>   |
| <b>dynamische Gesteigungskosten 1b (Landwirtschaft)</b> | dynamische Jahreskosten 1b / Beschickungsmenge je Jahr = 104.683,59 €/a / 65t TS/a =   | <b>1.610,52 €/ t TS</b> |

|  |  |                         |
|--|--|-------------------------|
| Betriebskosten 2b (mit Kostensteigerung)             | Betriebskosten 2 * DFAKR(2,3,36) = 53.638,33 €/a * 30,2096 =   | 1.620.393,55 €          |
| <b>Projektkostenbarwert 2b (Verbrennung)</b>         | Bw. Investition + Bw. Re-Investition + Bw. Betrieb 2b + Bw Verwertung 2 =<br>110.000,00 € + 0,00 € + 1.620.393,55 € + 888.136,03 € = | <b>2.618.529,58 €</b>   |
| <b>dynamische Jahreskosten 2b (Verbrennung)</b>      | Projektkostenbarwert 2b * KFAKR(3,36) = 2.618.529,58 € * 0,0458 =  | <b>119.938,59 €/a</b>   |
| <b>dynamische Gesteigungskosten 2b (Verbrennung)</b> | dynamische Jahreskosten 2b / Beschickungsmenge je Jahr = 119.938,59 €/a / 65t TS/a =   | <b>1.845,21 €/ t TS</b> |

