



Münchner  
Stadtentwässerung

**Münchner Stadtentwässerung  
Friedenstraße 40**

**81671 München**

**Management Summary**

**Studie**

**Zukünftiges Klärschlammbehandlungskonzept  
der Münchner Stadtentwässerung**

## Inhaltsverzeichnis

## Seite

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Planungsgrundlagen beispielhafte Neu-KVA .....</b>	<b>5</b>
2.1	Allgemein.....	5
2.2	Mengenprognose.....	6
2.3	Flächenpotential / Standort.....	7
<b>3</b>	<b>Anlagenkonzeption beispielhafte Neu-KVA.....</b>	<b>9</b>
3.1	Konfiguration Gesamtanlage .....	9
3.2	Pufferspeicher .....	10
3.3	Thermodynamische Auslegung.....	11
3.4	Energieauskopplung / Turbine .....	12
3.5	Haupt-Anlagendaten beispielhafte Neu-KVA .....	13
<b>4</b>	<b>Anlagenlayout.....</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Kostenbetrachtung.....</b>	<b>18</b>
5.1	Herangehensweise .....	18
5.2	Investitionskosten .....	18
5.3	Ansätze Kostenermittlung.....	22
5.4	Preissteigerung.....	27
5.5	Barwertmethode .....	36
5.6	Sensitivitätsanalyse .....	38
5.7	Interpretation / Hinweise zur Kostenbetrachtung.....	42
<b>6</b>	<b>Bewertung der Strategien .....</b>	<b>43</b>
6.1	Wertungskriterien.....	43
6.2	Bewertungsmatrix.....	44
6.3	Ergebnisdiskussion.....	46
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung / Schlussbetrachtung .....</b>	<b>48</b>

## 1 Einleitung

Die Münchner Stadtentwässerung (MSE) behandelt die anfallenden kommunalen Abwässer der Stadt München und einiger Regionsgemeinden im Klärwerk Gut Großlappen und Gut Marienhof. Dabei fallen jährlich rd. 30.000 bis 31.000 Mg<sub>TR</sub> Primär- und Überschussschlämme an, die bis dato am Standort Gut Großlappen und im Heizkraftwerk-Nord (HKWN) thermisch verwertet werden. Eine Mitverbrennung im HKWN wird an 2025 nur noch eingeschränkt möglich sein. Dies hat hauptsächlich rechtliche Gründe (Novelle der Klärschlammverordnung).

Die MSE hat im Vorfeld fünf Strategien zur zukünftigen Klärschlammverwertung entwickelt, die durch die Dr. Born - Dr. Ermel GmbH - Ingenieure in Bezug auf technische und wirtschaftliche Kriterien miteinander verglichen und gegebenenfalls ergänzt werden sollten. Der Neubau einer Klärschlammverbrennungsanlage (KVA) bildete in allen Strategien, außer der Strategie 5 – externe Entsorgung, die Grundlage für die zukünftige Klärschlammverwertung am Standort. Die Konzeption einer beispielhaften Neu-KVA erfolgt als standortoptimiertes Grobkonzept und spiegelt den derzeitigen Stand der Technik wieder.

Ziel der Aufgabenstellung war es zu ermitteln, welche Strategie die wirtschaftlichste und technisch sinnvollste darstellt. Dazu erfolgte neben der technischen Ausarbeitung und Bewertung der Strategien auch eine monetäre Strategiebewertung.

Die Studie soll der MSE als Entscheidungsgrundlage dienen, um die strategisch und wirtschaftlich optimale Lösung zum Umgang mit der Bestandsanlage und einem ggf. frühen oder späten Neubau einer Klärschlammverbrennungsanlage zu identifizieren.

Abbildung 1 stellt den Betrachtungsumfang der Studie dar.

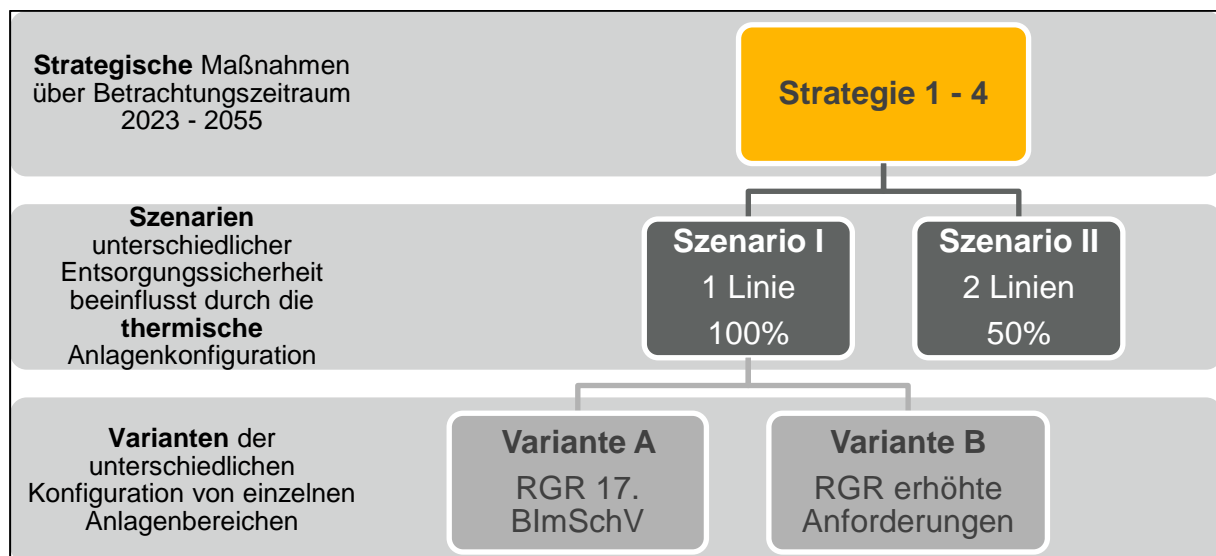


Abbildung 1: Übersicht Strategien/ Szenarien/ Varianten

### Strategien / Szenarien / Varianten

Von der MSE wurden im Vorfeld fünf Strategien entwickelt, die Möglichkeiten einer zukünftigen Klärschlammverwertung aufzeigen.

Im Falle von **Strategie 1** soll ein möglichst früher Neubau der KVA (2025 +/- 3 Jahre) erfolgen. Hierfür wird eine minimale Sanierung der Bestandsanlage und die Einrichtung einer Teilstromausschleusung für entwässerten Klärschlamm bis zum KVA-Neubau vorgesehen. Eine Teilstromausschleusung wird benötigt, da nur 2/3 des anfallenden Klärschlammes in der Bestandsanlage thermisch verwertet werden können. Die Bestandsanlage verfügt über zwei Verbrennungslinien, von denen aus technischen und kapazitiven Gründen derzeit nicht beide parallel betrieben werden können.

In **Strategie 2** erfolgt ein späterer Neubau der KVA (2035 +/- 3 Jahre). Für die längere Betriebsdauer müssen umfangreichere Sanierungen an der Bestandsanlage durchgeführt und ebenfalls eine Teilstromausschleusung für entwässerten Schlamm bis zum KVA-Neubau eingerichtet werden.

**Strategie 3** beinhaltet eine Umrüstung der Bestandsanlage auf Parallelbetrieb beider Verbrennungslinien (etwa ab dem Jahr 2023) und die vorgezogene Errichtung eines Pufferspeichers. So kann erreicht werden, dass die Bestandsanlage ca. ab 2023 100 % des Klärschlammes ohne externe Hilfe bis 2035 verwerten kann. Im Jahre 2035 erfolgt die Inbetriebnahme der Neuanlage. Diese soll den vorher errichteten Pufferspeicher mitnutzen.

In **Strategie 4** erfolgt ebenfalls die Umrüstung auf einen Parallelbetrieb beider Verbrennungslinien der Bestandsanlage (2023). Zudem erhält die Bestandsanlage einen Pufferspeicher, eine neue Entwässerung und Trocknung, die von der Neuanlage im Jahre 2035 weiter genutzt werden sollen.

In Falle von **Strategie 5** erfolgt eine Sanierung der bestehen Anlage im Rahmen eines Minimalpakets, sodass ein Weiterbetrieb der Altanlage bis 2025 möglich ist. Anschließend erfolgt die vollständige externe Entsorgung.

Die Konzipierung der Neuanlage erfolgt als ein- (**Szenario I**) und zwei-linige (**Szenario II**) Verbrennungsanlage. Zudem wird eine verfahrenstechnische Unterscheidung in der Rauchgasreinigung berücksichtigt.

**Variante A** umfasst eine Rauchgasreinigung, die die gesetzlichen Emissionsgrenzwerte nach der 17. BImSchV sicher einhält. **Variante B** soll darüber hinausgehen und die gesetzlichen Emissionsgrenzwerte deutlich unterschreiten. Als Orientierung dienen hierbei die Garantiewerte der Bestandsanlage.

## 2 Planungsgrundlagen beispielhafte Neu-KVA

### 2.1 Allgemein

- Die neue KVA muss eine Entsorgungssicherheit für 100 % des anfallenden Klärschlammes bieten, die einerseits durch eine hohe Anlagenverfügbarkeit erreicht werden soll, jedoch auch durch einen ausreichend dimensionierten Pufferspeicher und eine Notausschleusung.
- Die Anlagenverfügbarkeit soll 7.752 h/a (5 + 1 Woche Revision) betragen, unter den Voraussetzungen, dass alle Ersatzteile vorhanden und Wartungsfirmen bestellt sind.
- Als maximale Gesamtbauhöhe der Neuanlage ist eine Höhe von 30 m (entspricht der Höhe der Bestandsanlage – ausgenommen der Schornsteinhöhe) nicht zu überschreiten.
- Sollten zukünftig Klärschlammengen anfallen, die die Verbrennungskapazität der Neuanlage überschreiten (z.B. Fremdschlamm), ist eine Erweiterbarkeit der Verbrennungskapazität zu berücksichtigen. Als möglicher Standort für eine weitere Verbrennungslinie bietet sich auch der Standort der Bestandsanlage an.
- Eine Zentrat- und Brüdenaufbereitung entfällt, da die Abwässer aus der Entwässerung und Trocknung direkt an das Klärwerk Gut Großlappen (KLW I) abgegeben werden können. Diese Thematik wird gesondert behandelt.
- Eine Phosphor-Rückgewinnung aus der Asche oder sonstigen Stoffströmen wird in diesem Untersuchungsumfang nicht betrachtet.
- Es werden aktuell keine extern angelieferten Fremdschlammengen berücksichtigt, jedoch soll eine Möglichkeit zur Fremdschlammannahme vorgesehen werden.
- Zur Realisierung einer neuen Verbrennungsanlage soll die Verfahrenstechnik der Abwasserreinigung nicht verändert werden, auch eine Co-Vergärung oder Desintegration wird aktuell nicht vorgesehen.

- Die MSE gehört keinem Entsorgungsverbund an, somit steht dieser Entsorgungsweg für eine Risikoabdeckung und Überbrückung von Revisionszeiten nicht zur Verfügung.

## 2.2 Mengenprognose

Zukünftig ist eine Zunahme der Klärschlammengen aufgrund des Bevölkerungswachstums zu erwarten. Laut einer Schlammprognose der MSE auf Basis verschiedener Quellen für die Entwicklung der Einwohner der LHM, des Umlands, der Pendler, der Touristen und der Industrie, wird eine Zunahme der Bevölkerung für die Stadt München und den Umlandgemeinden von 6 % bis 28 % bis 2030 erwartet. Daraus ergibt sich eine zu erwartende Klärschlammmenge von 32.900 bis 39.900 Mg<sub>TR</sub> im Jahr 2030 (min./max. Prognoseergebnis - siehe Abbildung 2).

Zur Dimensionierung der KVA, wird ein konservativer Ansatz von 35.500 Mg<sub>TR</sub>/a gewählt, der dem mittleren Prognoseergebnis entspricht. Im Falle, dass die mittlere Prognose nicht eintrifft, sondern die maximale (39.900 Mg<sub>TR</sub>/a) oder minimale (32.900 Mg<sub>TR</sub>/a) Prognose, soll die neue KVA dies durch eine Fahrweise im Überlast- und Teillastbetrieb ausgleichen können.

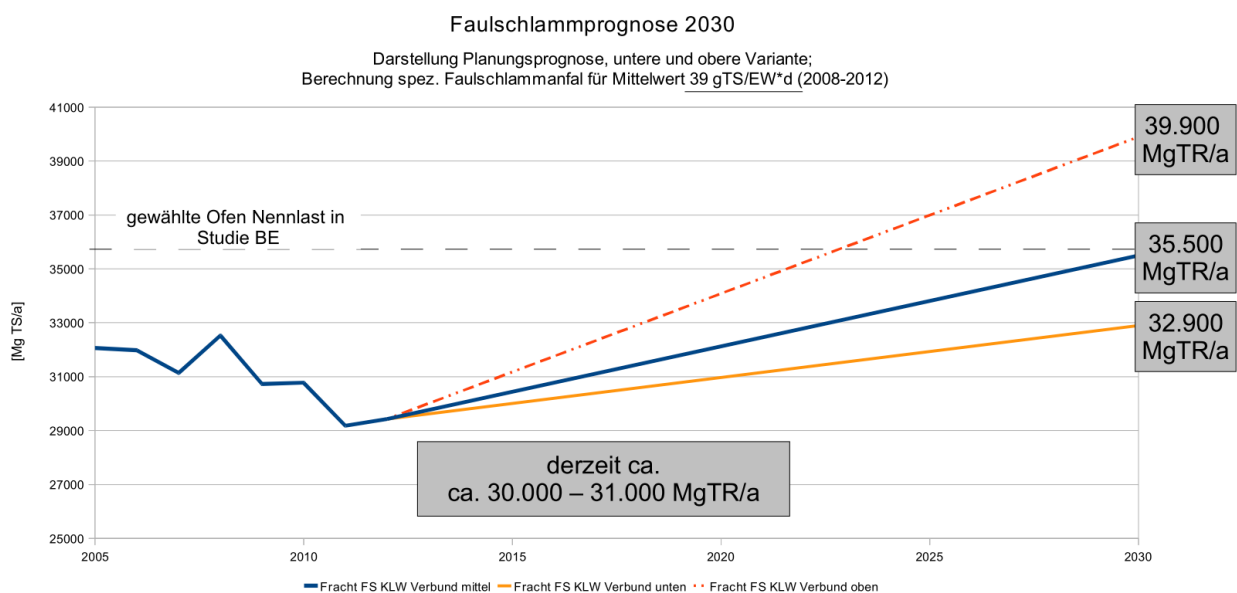


Abbildung 2: Faulschlammprognose 2030 (Quelle: MSE)

Im Rahmen der Schlammprognose wird ein zukünftiger zu erwartender TR-Gehalt von 2,8 % festgelegt. Da die Prognose voraussichtlich im Jahre 2030 eintrifft, wird für die weiteren Betrachtungen der Ansatz gewählt, dass die Klärschlammengen von 2015 bis 2030 von derzeit rd. 31.000 Mg<sub>TR</sub>/a auf 35.500 Mg<sub>TR</sub>/a linear ansteigen. Ab dem Jahr 2030 wird dann ein konstanter Wert von 35.500 Mg<sub>TR</sub>/a angenommen. Im Rahmen der weiteren Planung sind die Prognosen zu überprüfen und anzupassen.



## 2.3 Flächenpotential / Standort

Für den Neubau einer KVA am Standort Gut Großlappen kommen zwei potentielle Freiflächen in Frage. Freifläche 1 neben der bestehenden KVA (Abbildung 3) und Freifläche 2 bei den Belebungsbecken (Abbildung 4).



Abbildung 3: Übersicht Freifläche 1 (Quelle: Google Earth)

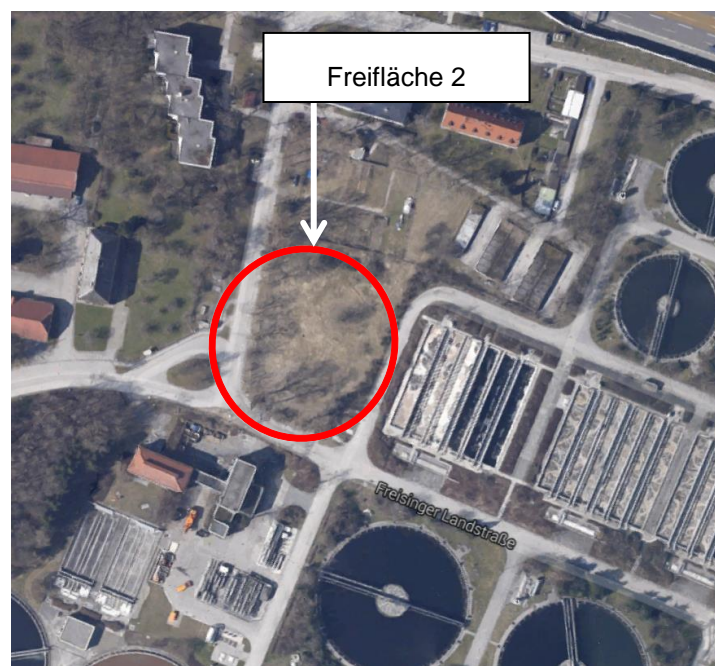


Abbildung 4: Übersicht Freifläche 2 (Quelle: Google Earth)



---

Die Betrachtungen zeigten, dass als einziger Aufstellungsort für eine Neuanlage die Freifläche neben der Bestandsanlage in Frage kommt. Denn in unmittelbarer Nähe befinden sich die Bestandsanlage und das Hauptschlammumpwerk (HSPW), das als Schnittstelle für den zukünftigen Betrieb der Neuanlage wichtig ist.

Die Fläche eignet sich daher als potentielle Aufstellungsfläche für eine neue KVA. Ein weiterer Vorteil ist die schon vorhandene Infrastruktur. Neben der Zuwegung befindet sich unter der Straße, zwischen der Bestandsanlage und dem Nachklärbecken hin zu den Faultürmen, ein großzügiger Installationskanal.

### 3 Anlagenkonzeption beispielhafte Neu-KVA

#### 3.1 Konfiguration Gesamtanlage

In Abbildung 5 ist schematisch dargestellt, wie eine neue KVA aufgebaut sein könnte. Der Klärschlamm gelangt zunächst in die Entwässerung und anschließend in die Trocknung. Nach Einstellung des entsprechenden Wassergehaltes für eine autotherme Verbrennung gelangt der Schlamm in den Verbrennungsofen. Anschließend durchströmt das Rauchgas den Kessel zur Energieauskopplung und gelangt dann in die Vorentstaubung und anschließend in die Rauchgasreinigung. Danach wird das gereinigte Abgas dem Kamin zugeführt.

Für Variante B (erweiterte Abgasreinigung) kommt zusätzlich ein Wäscher zum Einsatz. In der Rauchgasreinigung wird Calciumhydroxid und Aktivkohle als Sorbens eingesetzt. Der Wäscher wird zusätzlich mit Natronlauge gespeist.

Um die Revisionszeit zu überbrücken wurde ein Pufferspeicher für entwässerten Klärschlamm vorgesehen.

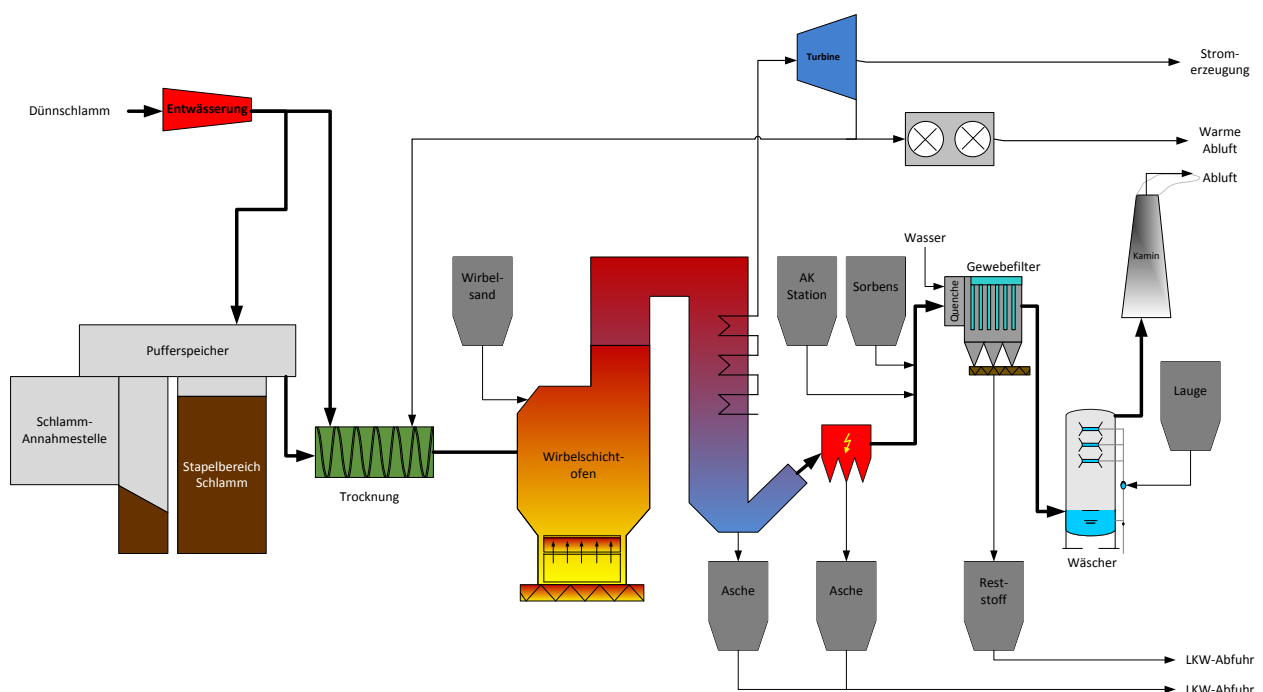


Abbildung 5: Konfiguration Gesamtanlage

### 3.2 Pufferspeicher

Da im Falle einer Revision oder eines Anlagenausfalls der KVA kein Entsorgungsverbund zur Verfügung steht, muss ein Konzept entwickelt werden, um den Klärschlamm zwischen zu speichern.

Als Möglichkeit der Zwischenspeicherung wird ein Bunkersystem für entwässerten Klärschlamm gewählt. Im Gegensatz zu den Silos ist einer der Vorteile, dass als Förderperipherie nur ein Kransystem zum Einsatz kommt. Es zeichnet sich ferner durch einen geringen elektrischen Verbrauch und Wartungs- und Instandhaltungsaufwand aus. Ein weiterer Vorteil ist die geringe Störanfälligkeit und der hohe Automatisierungsgrad der Krananlage.

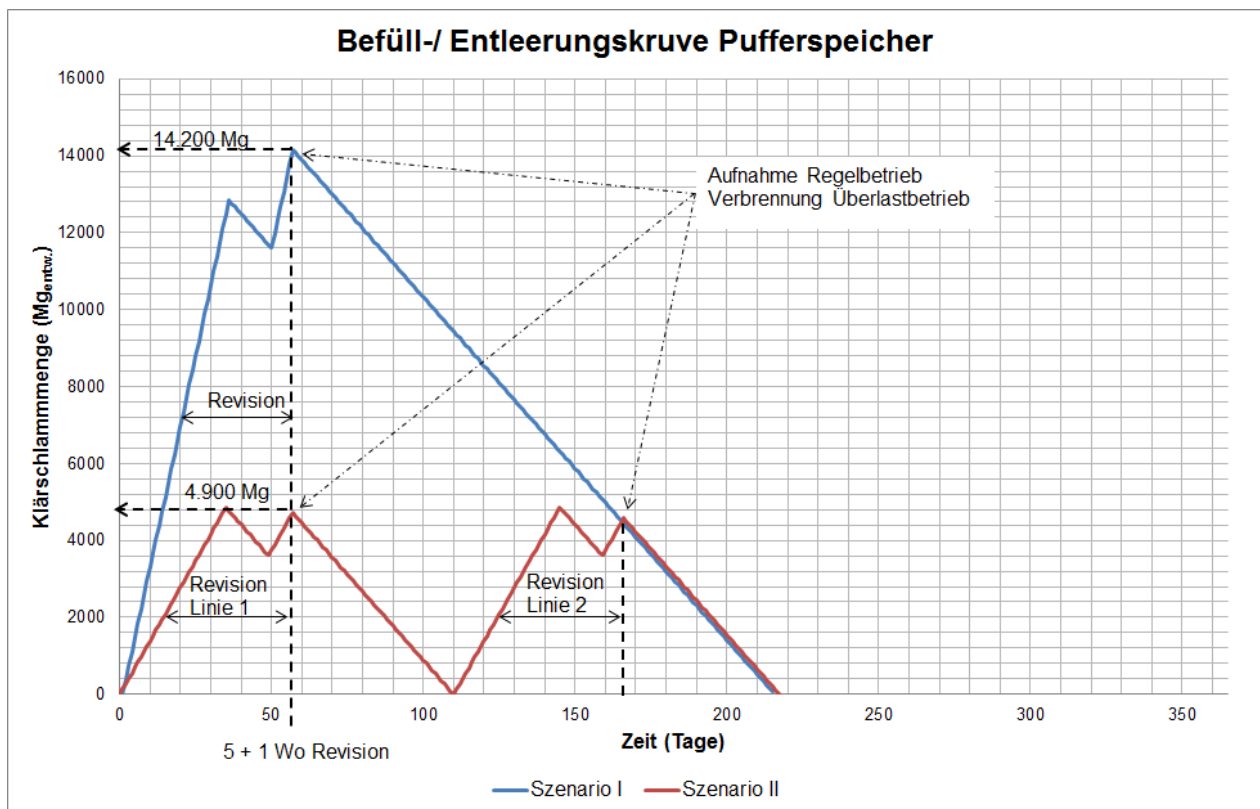


Abbildung 6: Befüll-/ Entleerungskurve Pufferspeicher

Auf Basis dieser Kapazitätsanforderungen wurde ein Bunker dimensioniert. Für die Entleerung des Bunkers nach einer Revision werden für Szenario I 172 Tage und Szenario II 67 Tage benötigt. In dieser Zeit enthalten ist die ein-wöchige Revisionszeit für Restarbeiten.

Für die Dimensionierung des Pufferspeichers wird ein Lagervolumen für Szenario I von 13.500 m<sup>3</sup> und für Szenario II von 5.000 m<sup>3</sup> benötigt.

### 3.3 Thermodynamische Auslegung

In einer Verfahrensauswahl wurde der zwei-stufige Wirbelschichtofen gewählt. Dieser zeichnet sich durch eine „weiche“ Verbrennung und geringere NO<sub>x</sub>-Konzentrationen im Rauchgas aus.

Bei einem Durchsatz von 10,2 Mg/h teilgetrockneten Klärschlamm (TR-Gehalt 45%) erreicht der Ofen eine Feuerungswärmeleistung für das Szenario I von 13,5 MW<sub>th</sub>. Für Szenario II erreicht jeder Ofen eine Wärmeleistung von 6,7 MW<sub>th</sub>.

Das nachstehende Feuerungsleistungsdiagramm (siehe Abbildung 7) zeigt die Lastbereiche und Trocknungsgehalte, die zum Betrieb des Ofens eingehalten werden müssen. Eine Unterschreitung des Trocknungsgehaltes von 40 % hat eine Verringerung des Heizwertes zur Folge, wodurch keine autotherme Verbrennung mehr erreicht werden kann.

Des Weiteren wird aufgezeigt, dass bspw. auch bei einer geringeren Durchsatzleistung durch Einstellen eines höheren Trocknungsgehaltes eine gleichbleibende Feuerwärmeleistung erzielt werden kann. Der Ofen in Kombination mit der Trocknung bietet somit eine hohe Flexibilität in der Durchsatzleistung.

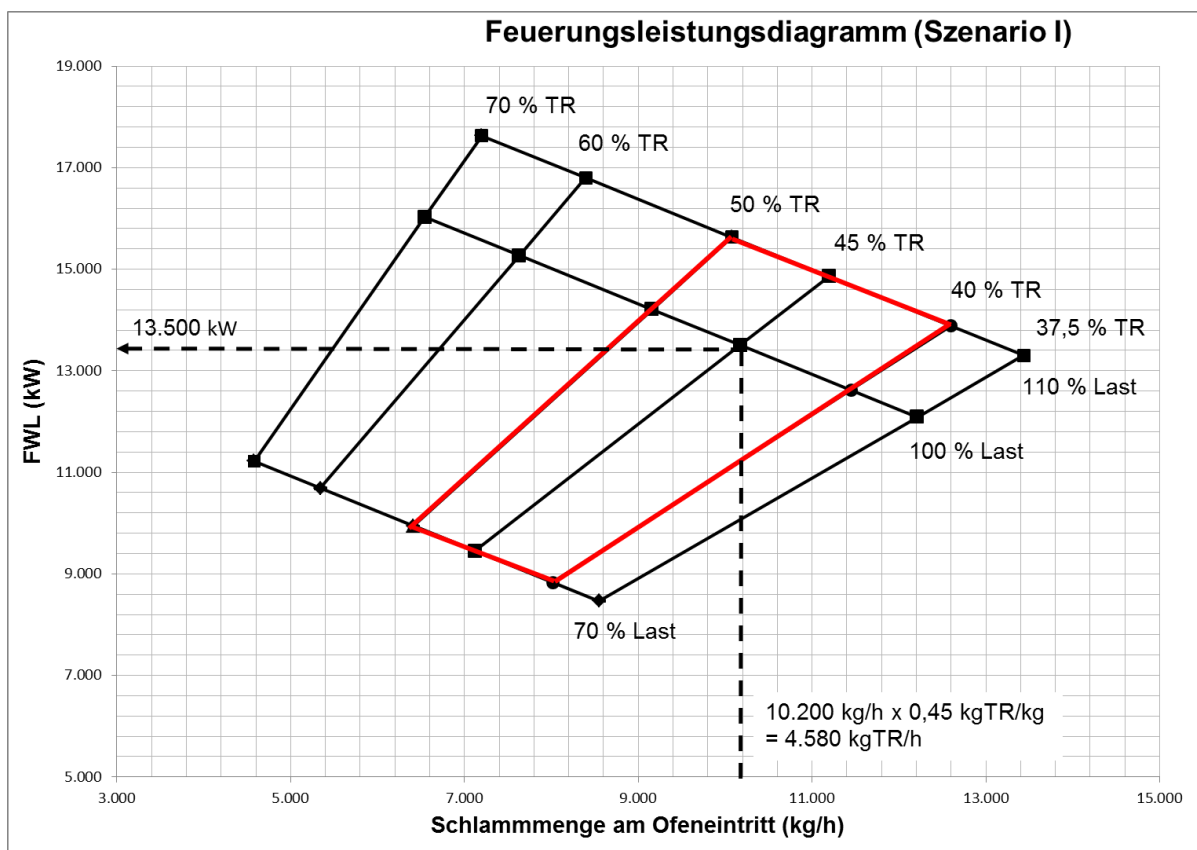


Abbildung 7: Feuerungsleistungsdiagramm (Szenario I)

### 3.4 Energieauskopplung / Turbine

Die Energieauskopplung erfolgt über eine Kondensationsturbine. Von den 15,2 t/h Dampf (400 °C/ 40 bar) werden auf der Niederdruckschiene 12,4 t/h (200°C/ 6 bar) abgeführt und der Trocknung und Luftvorwärmung zugeführt. Der übrige Dampf wird in der Turbine weiter entspannt und im Luft-Kondensator vollständig auskondensiert. An der Turbine liegt eine Klemmleistung von ca. 2.000 kW<sub>el</sub> an, wodurch eine Stromerzeugung von rd. 15,2 GWh/a erreicht werden kann.

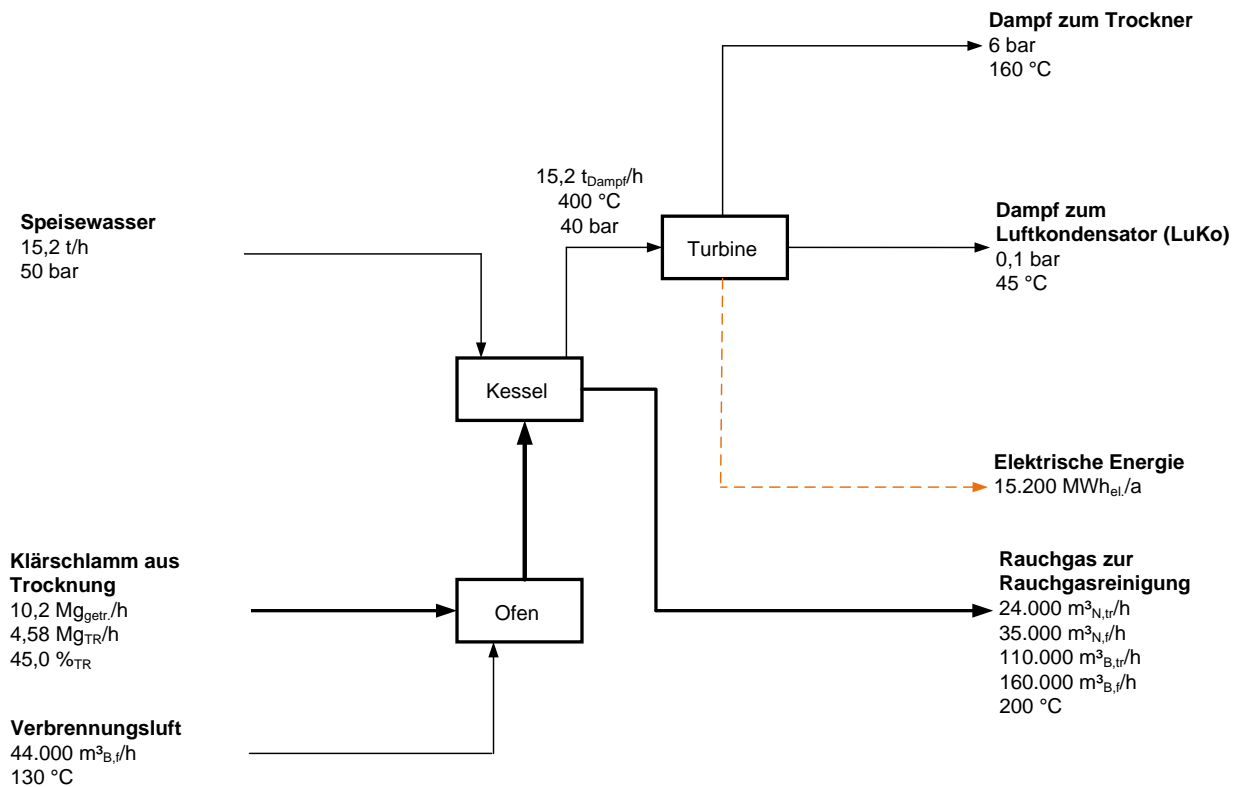


Abbildung 8: Massen-/ Energiebilanz Ofen und Wasser-Dampf-Kreislauf (Szenario I)

Die Wärme aus der Brüdenkondensation (Brüden = mit Wasserdampf gesättigte Luft, die beim Trocknen von Klärschlamm entsteht) befindet sich auf einem noch hohen Temperaturniveau (ca. 100°C) und kann zur Vorwärmung des Dünnschlammes verwendet werden.

Die Verbrennungsluftvorwärmung erfolgt mit dem aus dem Trockner abströmenden noch heißen Niederdruckdampf. Lediglich die Überschusswärme aus dem Rückkühler/ Luftkondensator kann nicht weiter verwendet werden. Sie befindet sich auf einem sehr geringen Temperaturniveau (45 °C) und eignet sich nicht für die Nutzung in einem Nah- oder Fernwärmenetz. Nutzungspotentiale wie z.B. Treibhäuser oder Schwimmbäder etc., stehen in unmittelbarer Umgebung nicht zur Verfügung.

### 3.5 Haupt-Anlagendaten beispielhafte Neu-KVA

Tabelle 1: Haupt-Anlagendaten beispielhafte Neu-KVA

Parameter	Einheit	Szenario I	Szenario II
Eingangsmenge Klärschlamm	Mg <sub>OS</sub> /a	1.280.000	
	Mg <sub>TR</sub> /a	35.500	
	% TR	2,78	
Nach Entwässerung	Mg <sub>entw./a</sub>	134.000	
	% TR	26,5	
Nach Trocknung	Mg <sub>getr./a</sub>	79.000	
	% TR	45	
Revisionszeit	Wochen	5 + 1	5 + 1
durchschnittl. Schlammanfall	Mg <sub>TR</sub> /h	4,1	
Nennlast	Mg <sub>TR</sub> /h	4,6	2 x 2,3
Überlast	Mg <sub>TR</sub> /h	5,1	2 x 2,5
<b>Entwässerung</b>			
Anzahl Aggregate	Stk.	3 + 2	
Leistung Aggregate	m <sup>3</sup> /h	60	
Zulauf	Mg <sub>OS</sub> /h	146	
Ablauf	Mg <sub>entw./h</sub>	15,3	
Flockungsmittel	kg/h	48,6	
<b>Brüdenkondensation</b>			
Wärmeleistung	kW	4.400	
Dünnschlamm ein	°C	30	
Dünnschlamm aus	°C	55	
<b>Pufferspeicher</b>			
Volumen	m <sup>3</sup>	13.500	5.000
<b>Trocknung</b>			
Anzahl Aggregate	Stk.	2 + 2	
Verdampfungsleistung	kW	6.500	
Zulauf	Mg <sub>entw./h</sub>	17,3	
Ablauf	Mg <sub>getr./h</sub>	10,2	
Brüden	Mg <sub>H2O</sub> /h	7,1	
<b>Ofen</b>			
Zufuhr	Mg <sub>getr./h</sub>	10,2	2 x 5,1
Feuerungswärmeleistung	MW	13,5	2 x 6,7
Rezigas-Volumenstrom	m <sup>3</sup> /h <sub>i.N.f</sub>	3.000	2 x 1500
Rauchgas-Volumenstrom	m <sup>3</sup> /h <sub>i.N.f</sub>	34.700	18.500
Rauchgastemperatur	°C	200	
<b>elektrische Energie</b>			
Eigenbedarf	GWh/a	12,7	13
Überschuss	GWh/a	2,5	2,2

## 4 Anlagenlayout

Auf Basis der vorher getroffenen Dimensionierungen wurde eine mögliche Aufstellungskonzeption entwickelt. Die Aufstellung der Betriebseinheiten wurde dabei so gewählt, dass der Schlammfad möglichst energieeffizient durchlaufen werden kann. Die Entwässerungsmaschinen befinden sich auf der höchsten Ebene, sodass der Schlammfluss durch das „freie Gefälle“ unterstützt wird.

Die Aufstellung des Pufferspeichers erfolgt in unmittelbarer Nähe zur Bestandsanlage, um im Falle von Strategie 3 und 4 eine Anbindung zu ermöglichen. Die Aufstellung der Rauchgasreinigung ist linear vorgesehen, so kann der Druckverlust im Abgaskanal möglichst gering gehalten werden und das Saugzuggebläse hat einen geringeren Energiebedarf. Zudem können Ablagerungen im Rohrsystem verhindert werden.

Die Abbildungen 8, 9, 10, 11, 12 und 13 zeigen das einlinige Verbrennungskonzept. Die Reststoff- und Aschesilos sind mittels LKW unterfahrbar und der Kamin ist im Gebäude integriert.

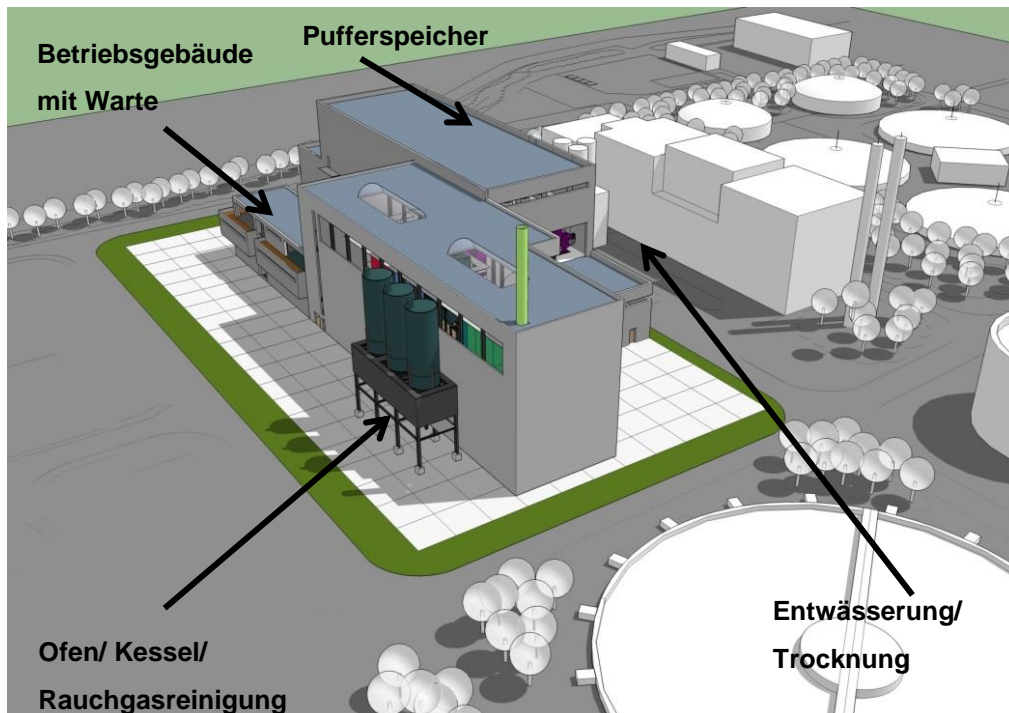


Abbildung 9: 3-D-Modell Szenario I - Sicht Rauchgasreinigung und Silos



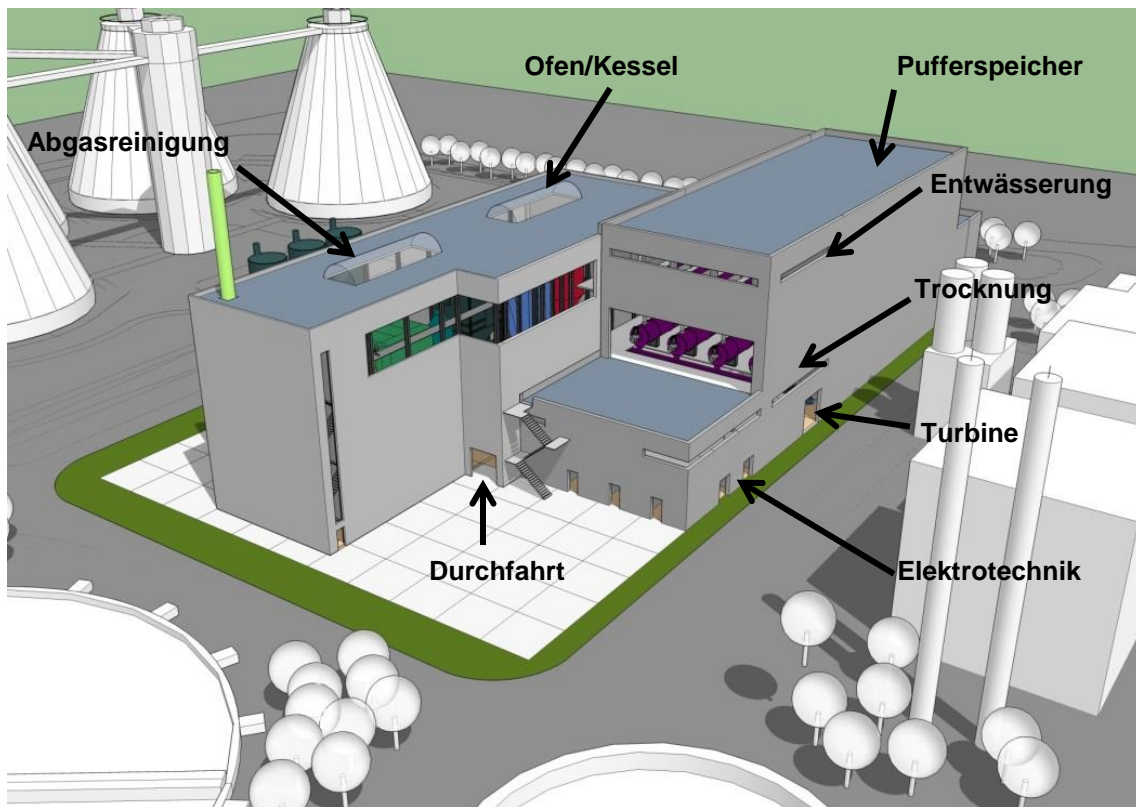


Abbildung 10: 3-D-Modell Szenario I - Sicht Rauchgasreinigung und Trockner

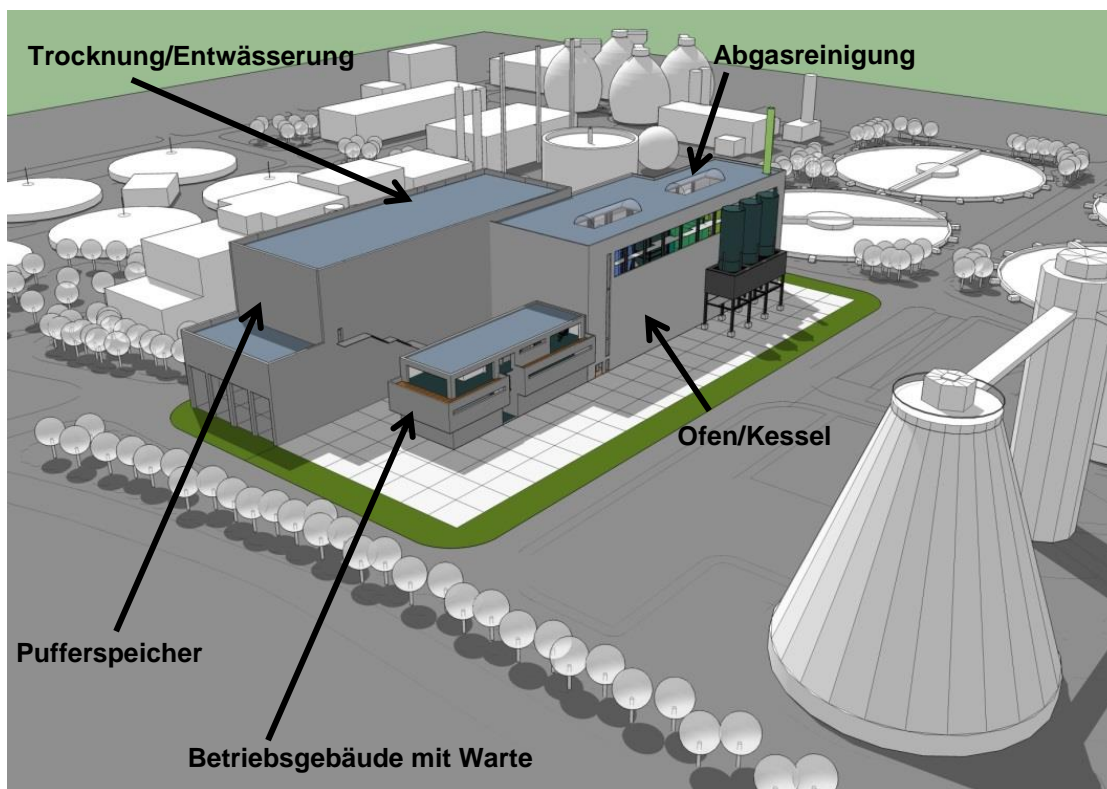


Abbildung 11: 3-D-Modell Szenario I - Sicht Rauchgasreinigung und Betriebsgebäude

In der Draufsicht der Anlage (Abbildung 12) sind die Segmentierung des Pufferspeichers und die Krananlagen zu erkennen. Im hinteren Teil des Bunkers befinden sich die orange gefärbten Trocknervorlagebehälter und dahinter die fünf Zentrifugen. Dem Pufferspeicher rechts anliegend, schließt sich die Verbrennungs- und Rauchgasreinigungshalle an. Im vorderen Bereich befindet sich der rot markierte zwei-stufige Wirbelschichtofen, an den sich die Kesselanlage (hellblau) anschließt. In dunkelgrün ist der E-Filter und in hellgrün der Gewebefilter eingezeichnet. Abschließend folgen Wäscher und Kamin.

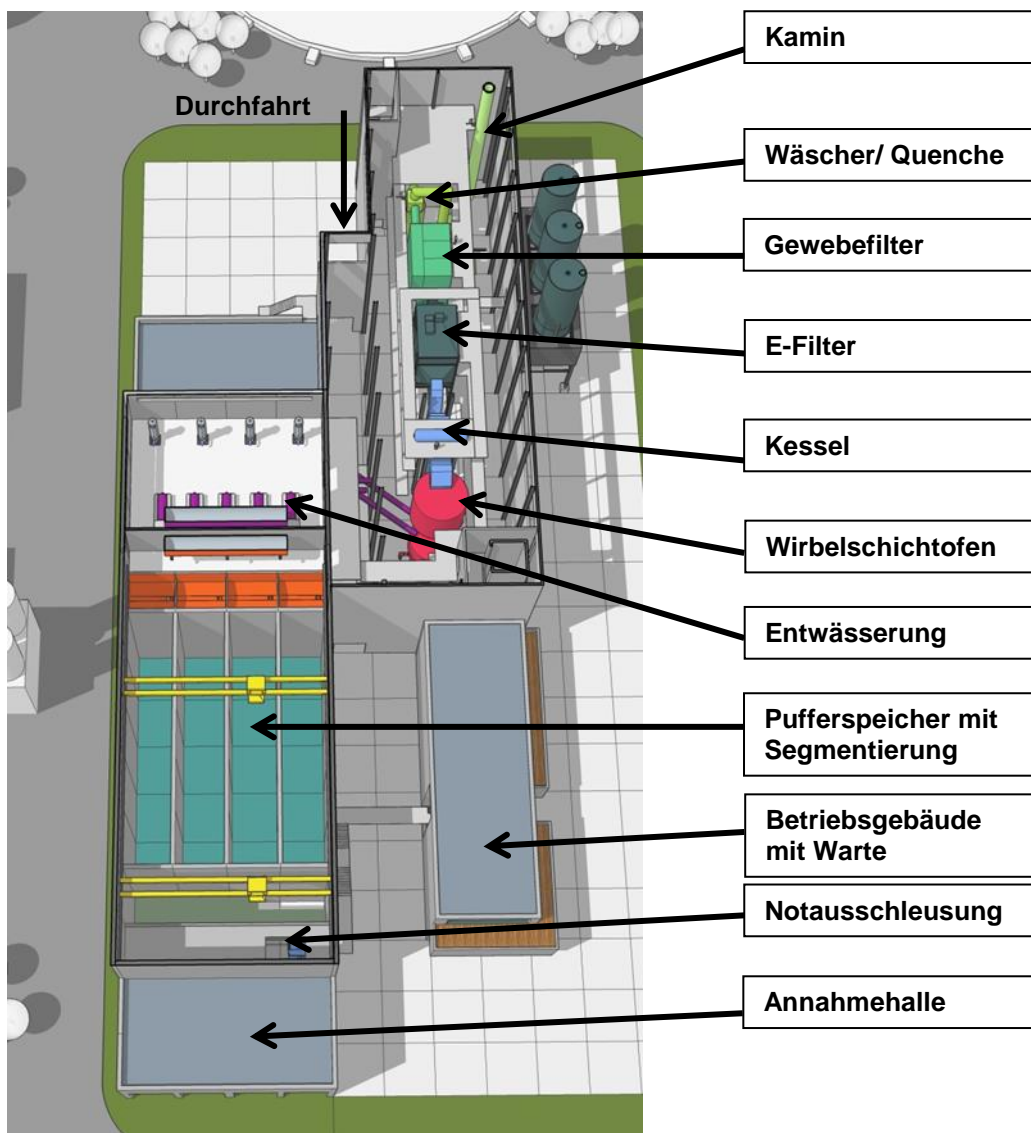


Abbildung 12: 3-D-Modell Szenario I – Draufsicht

Die Abbildung 13 zeigt schematisch die Annahmehalle und den Annahmehalle. Im linken Teil des Gebäudes befinden sich im obersten Stockwerk die Entwässerung und darunter die Trockner mit der Trocknervorlage. In den unteren Stockwerken befinden sich die Turbine, die Druck-

luftstation, die Vollentsalzungsanlage, der Speisewassertank, das Notstromaggregat und sämtliche elektrotechnischen Komponenten.

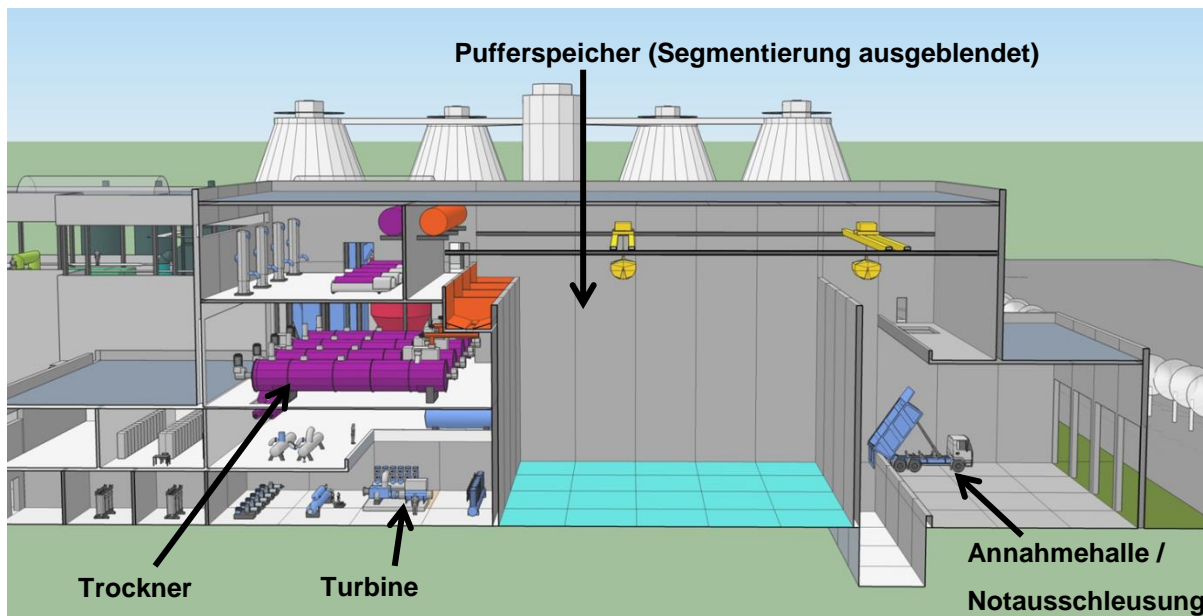


Abbildung 13: 3-D-Modell Szenario I - Seitenansicht Pufferspeicher

In Abbildung 14 sind Ofen und Kessel sowie die einzelnen Komponenten der Rauchgasreinigung dargestellt. Hier sind auch die Reaktionsstrecke und der Saugzug zu erkennen.

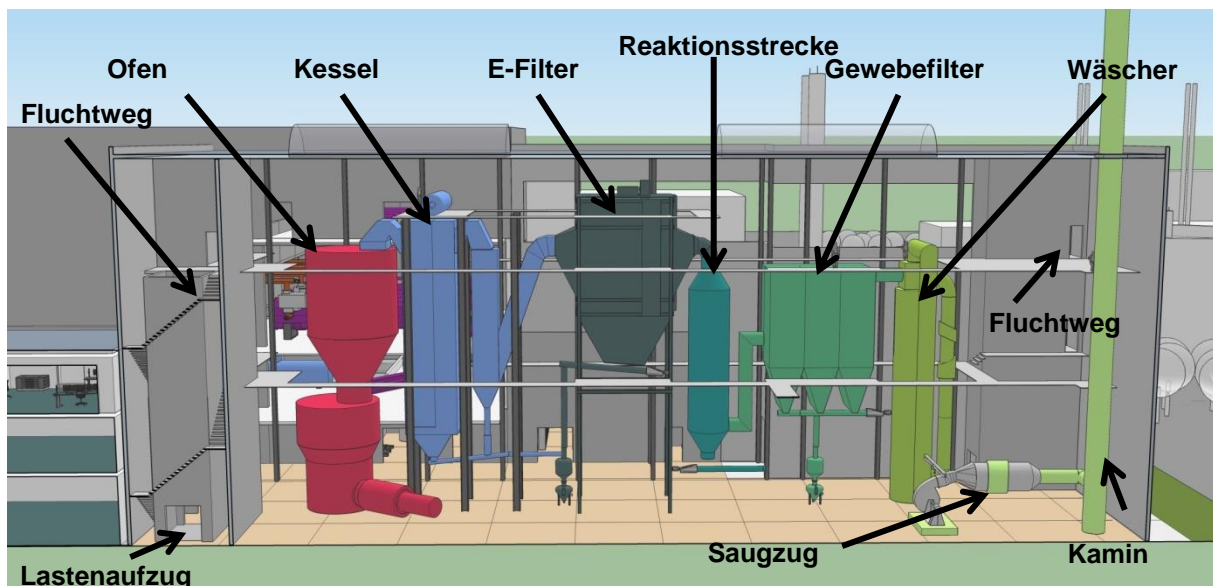


Abbildung 14: 3-D-Modell Szenario I - Seitenansicht Rauchgasreinigung

## 5 Kostenbetrachtung

### 5.1 Herangehensweise

Ziel der monetären Bewertung war es, eine Aussage über die wirtschaftlichste Strategie treffen zu können. Dafür wurden zunächst die Investitionskosten der einzelnen Strategien ermittelt und mit Hilfe von inflationsbereinigten Kostensteigerungsfaktoren auf das jeweilige Startjahr der Anlagentechnik extrapoliert.

Im nächsten Schritt wurden die jährlichen Betriebskosten (Energie, Betriebsmittel, Entsorgung, etc.) bestimmt. Mit diesen Daten konnte eine jährliche Kostenbetrachtung durchgeführt werden. Dafür wurden zu den berechneten Investitions- und Betriebsmittelkosten ebenfalls die Sanierungs- bzw. die Kosten für die Umrüstung zum Parallelbetrieb und Betriebsmittelkosten aus dem 2. Anlagen-Check für die Bestandsanlage benötigt.

Mit Hilfe der Mittelwertbildung über die Behandlungskosten je Strategie wurde eine Vorauswahl getroffen.

Eine Schwäche der jährlichen Kostenbetrachtung ist es, dass Strategien, bei denen Investitionen später anfallen (z.B. Strategie 2) benachteiligt werden, da der Zinseszins bei der Jahreskostenbetrachtung nicht berücksichtigt wird. Aus diesem Grund wurde daher für die zwei kostengünstigsten Strategien die Barwertmethode (nach LAWA) angewendet, da durch die Berücksichtigung des Zinseszinses eine methodische Gleichstellung der Strategien herbeigeführt werden konnte.

Mit Hilfe des Barwertes konnte die wirtschaftlichste Strategie identifiziert werden.

Die Ergebnisse wurden anschließend nochmals durch eine Sensitivitätsanalyse verifiziert.

### 5.2 Investitionskosten

Zunächst wurden die Brutto-Investitionskosten für die Errichtung einer neuen KVA ermittelt. Dafür erfolgte eine kostenmäßige Unterteilung in die Kategorien Maschinenteknik, E-MSR- und Leittechnik, Bautechnik und Nebenkosten.

Die Maschinenteknik wurde zudem in einzelne Betriebseinheiten (Entwässerung, Pufferspeicher, Trocknung, etc.) weiter unterteilt. Da für die Aufstellung der Maschinenteknik Kosten für die Baustelleneinrichtung anfallen, wurden diese mit 5 % der Herstellkosten abgeschätzt.

Die Kosten für die Bautechnik wurden auf Basis der BKI-Werte (Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern) aus dem 1. Quartal 2015 ohne Regionalfaktor abgeschätzt. Da an die Bautechnik hohe Anforderungen gestellt werden und dies ebenfalls die Erfahrungen der MSE widerspiegelt, wurden realistische BKI-Werte für umbauten Raum gewählt (siehe Tabelle 2). Die Berücksichtigung des Regionalfaktors entfiel, da dieser für die Errichtung einer solchen verfahrenstechnischen Einrichtung nicht realistisch ist.

Tabelle 2: BKI-Werte für umbauten Raum (BKI)

Kostenansätze Bautechnik	Ansatz	Anmerkungen
Zentrifugenraum	260 €/m <sup>3</sup>	umbauter Raum für verschiedene Raumkategorien/ hohe architektonische Anforderungen berücksichtigt
Bunker	260 €/m <sup>3</sup>	
Trocknerhalle	260 €/m <sup>3</sup>	
Verbrennungsgebäude/ Kesselhaus	200 €/m <sup>3</sup>	
Turbinenhalle	200 €/m <sup>3</sup>	
Halle Rauchgasreinigung	200 €/m <sup>3</sup>	
Halle/ Gebäude allgemein	282 €/m <sup>3</sup>	

Tabelle 3: Umbauter Raum

Bauteil	Einheit	Volumen umbauter Raum	
		Szenario I	Szenario II
Anlieferungshalle (Bunker)	m <sup>3</sup>	8.200	
Bunker	m <sup>3</sup>	26.400	9.900
Entwässerungs-, Trockner- und Turbinenhalle	m <sup>3</sup>	18.200	
Kessel- und Rauchgasreinigungshaus	m <sup>3</sup>	40.300	25.500
Betriebsgebäude/ Warte	m <sup>3</sup>	6.000	

Zusätzlich zu den Baukosten fallen Kosten für die Erschließung und für Außenanlagen an. Da bereits ein Großteil der Infrastruktur (Straßen, Installationskanal, etc.) am Standort besteht,



wurde für die Erschließung ein Kostenfaktor von 1,50 % der Baukosten gewählt. Für die Errichtung und Gestaltung der Außenanlagen wurde ein Faktor von 8,50 % gewählt.

Die Nebenkosten für Planung, Detail-Engineering und Genehmigungen wurden in Höhe von 20 % der Herstellkosten abgeschätzt. Dies ist ein konservativer, vergabeunabhängiger (GU/ TU, GP, GÜ)<sup>1</sup> Ansatz.

In Tabelle 4 sind die Investitionskosten einer Neuanlage dargestellt. Eine detailliertere Aufstellung befindet sich im Anhang der Langfassung des Berichtes (Anlage 6, Investitionskosten-schätzung).

Tabelle 4: Investitionskosten Neuanlage (Stand 2015)

Investitionskosten	Einheit	Szenario I		Szenario II	
		Variante A	Variante B	Variante A	Variante B
Maschinentechnik	€, brutto	37.716.000	39.221.000	43.933.000	45.839.000
E-MSR-/ Leittechnik	€, brutto	4.400.000	4.400.000	6.564.000	6.564.000
Bautechnik	€, brutto	25.256.000	25.256.000	17.286.000	17.286.000
Nebenkosten	€, brutto	13.474.000	13.775.000	13.557.000	13.938.000
<b>Gesamtsumme</b>	<b>€, brutto</b>	<b>80.846.000</b>	<b>82.652.000</b>	<b>81.340.000</b>	<b>83.627.000</b>

Neben den Investitionskosten für die Neuanlage wurden weitere Kosten für die erweiterte Teilstromausschleusung (Strategie 2: 2023 bis 2034) und die vollständige externe Entsorgung (Strategie 5) abgeschätzt. Für die erweiterte Teilstromausschleusung sind Kosten für eine Zentrifuge (60 m<sup>3</sup>/h) und ein entsprechendes Gebäude abzuschätzen. In der nachfolgenden Tabelle 30 werden die Investitionskosten für die erweiterte Teilstromausschleusung der Strategie 2 dargestellt.

<sup>1</sup> GU: Generalunternehmer, TU: Totalunternehmer, GP: Generalplaner, GÜ: Generalübernehmer

Tabelle 5: Investitionskosten erweiterte Teilstromausschleusung Strategie 2 (2023 – 2035)

Investitionskosten	Einheit	erweiterte Teilstromausschleusung
Maschinentechnik	€, brutto	562.800
E-MSR-/ Leittechnik	€, brutto	-
Bautechnik	€, brutto	167.000
Nebenkosten	€, brutto	146.000
<b>Gesamtsumme</b>	<b>€, brutto</b>	<b>876.000</b>

Die Kosten für den Betrieb der Teilstromausschleusung in Strategie 1 wurden von der MSE abgeschätzt. Die Mietkosten für eine mobile Zentrifuge und die Entsorgungskosten für den Klärschlamm belaufen sich auf 470 €/MgTR für den Zeitraum 2015 bis 2022 und auf 500 €/MgTR für 2023 bis 2024.

Für die externe Entsorgung in Strategie 5 wurden ebenfalls Kosten für Entwässerungsmaschinen, Gebäude und Bunker abgeschätzt (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Investitionskosten Strategie 5, vollständige externe Entsorgung

Investitionskosten	Einheit	Strategie 5 Vollständige externe Entsorgung
Maschinentechnik	€, brutto	2.756.000
E-MSR-/ Leittechnik	€, brutto	-
Bautechnik	€, brutto	1.906.000
Nebenkosten	€, brutto	932.000
<b>Gesamtsumme</b>	<b>€, brutto</b>	<b>5.594.000</b>

In Abstimmung mit der MSE wurden die folgenden mittleren Investitionskosten aus dem 1. und 2. Anlagen-Check für die Sanierung sowie zur Umrüstung der Bestandsanlage auf Parallelbetrieb (Strategie 3 und 4) gewählt (siehe auch Tabelle 7).



Tabelle 7: Sanierungs-/ bzw. Umrüstkosten Bestandsanlage

	Einheit	Sanierungskosten	Umrüstkosten Parallelbetrieb	Bemerkung
Strategie 1	€, brutto	8.000.000	-	Sanierung (minimal)
Strategie 2	€, brutto	22.000.000	-	erweiterte Sanierung
Strategie 3	€, brutto	8.000.000	20.000.000	ohne Kosten für den Puffer- speicher
Strategie 4	€, brutto	8.000.000	10.000.000	ohne Sanierung Entwässerung, Trocknung und ohne Pufferspeicher
Strategie 5	€, brutto	8.000.000	-	

### 5.3 Ansätze Kostenermittlung

Um die einzelnen Strategien miteinander monetär zu vergleichen, wurden Jahreskosten für den Zeitraum von 2015 bis 2064 ermittelt. Der benannte Zeitraum ergab sich aus den gewählten Abschreibungszeiten der einzelnen Bauteile (siehe Tabelle 8) und aus dem jeweiligen Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Neuanlage (2025/ 2035).

Alle nachfolgend beschriebenen Kostenansätze wurden mit der MSE abgestimmt.

Für die Erstellung des Kostenvergleichs, wurden die folgenden Ansätze gewählt. Die Abschreibungszeiten der Bauteile bzw. Anlagentechniken ergeben sich aus den Ansätzen der LAWA (siehe Tabelle 8) und beziehen sich auf einen Betrachtungszeitraum der Gesamtanlage von 30 Jahren.

Zudem wurde für den Kapitaldienst ein Zinssatz von 3,0 % nach den KVR-Richtlinien gewählt.

Tabelle 8: Übersicht Kapitalaufwendungen

Kapitalaufwendungen	Ansatz
Abschreibungszeitraum für Investition Bautechnik/ Infrastruktur/ Erschließung	30 Jahre
Abschreibungszeitraum für Investition Maschinenteknik	15 Jahre
Abschreibungszeitraum für Investition E-MSR- und Automatisierungs-/ Leiteteknik	10 Jahre
Zinssatz für Kapitalaufwendungen	3,0 %

Des Weiteren wurden Kostenansätze für Wartung, Instandhaltung und sonstige Fremdleistungen gewählt. Um eine gleichbleibende Anlagenverfügbarkeit (35.500 Mg<sub>TR</sub>/a) der Neuanlage zu erreichen, wurde ein höherer Kostenansatz für die Maschinenteknik gewählt.

Tabelle 9: Kostenansätze Wartung und Instandhaltung

<b>Wartungs-, Reparatur-, Instandhaltungs- und sonstige Fremdleistungen</b>	<b>Ansatz<sup>1)</sup></b>
Prozentualer Ansatz von Investition Bautechnik/ Infrastruktur/ Erschließung	1 %
Prozentualer Ansatz von Investition Maschinenteknik	5 %
Prozentualer Ansatz von Investition E-MSR- und Automatisierungs-/ Leittechnik	2 %

<sup>1)</sup> BE: Erfahrungswerte ausgeführter Anlagen

Für Verwaltungs-, Versicherungs- und Personalaufwendungen wurden die Ansätze aus Tabelle 10 gewählt. Die Personalkosten basieren auf Daten der MSE.

Tabelle 10: Kostenansätze Verwaltung, Versicherung und Personal

<b>Verwaltungs-, Versicherungs- und Administrationsaufwendungen</b>	<b>Ansatz<sup>1)</sup></b>	<b>Anmerkungen</b>
Prozentualer Ansatz für Versicherung	0,3 %	Bezug auf Gesamtinvestition
Prozentualer Ansatz für Asche-Analytik	1,5 %	Bezug auf Entsorgungskosten
<b>Personalaufwendungen</b>	<b>Kosten</b>	
MSE - Ansatz	2.420.000 €/a	Umlagenbereinigte tatsächlich anfallende Personalkosten

<sup>1)</sup> BE: Erfahrungswerte ausgeführter Anlagen

Als weiteres wurden die Kosten für die Betriebsmittel abgeschätzt. Zu den Betriebsmitteln gehören neben den Stoffen für die Rauchgasreinigung und Verbrennung ebenfalls der Strom- und Erdgasbezug. Der spezifische Preisansatz für Strom, Erdgas und Stadtwasser wurde von der MSE benannt und enthält alle gesetzlichen Auflagen und Zusatzkosten (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Kostenansätze Betriebsmittelaufwendungen

Betriebsmittelaufwendungen	spezifischer Preisansatz (brutto)	Anmerkungen
Strombezug	0,20 €/kWh	MSE - Wert, inkl. aller gesetzlichen Auflagen + Zusatzkosten
Erdgas	0,069 €/kWh	MSE - Wert
Flockungsmittel	3.500 €/t	BE - Ansatz
Wirbelsand	30 €/t	BE - Ansatz
Natronlauge (50 %ig)	225 €/t	BE - Ansatz
Calciumhydroxid (95 %ig)	145 €/t	BE - Ansatz
Aktivkoks	400 €/t	BE - Ansatz
Stadtwasser	3,12 €/m <sup>3</sup>	MSE – Wert
Sonstiges wie Öl, Fett etc.	1 €/Mg <sub>TR</sub>	pauschaler BE - Ansatz
Ammoniakwasser (25 %ig)	160 €/t	BE - Ansatz

Während der Verbrennung fallen Asche und Reststoffe an, die extern entsorgt werden müssen. Dafür wurden die nachstehenden Kostenansätze gewählt. Zudem wird für Strategie 1 eine Teilstromausschleusung benötigt, die kostenmäßig erfasst wurde (siehe Tabelle 12).

Hierzu wurden bereits von der MSE erste Kostenabschätzungen getätigt. Für den Zeitraum von 2015 bis 2023 kann die bestehende Teilstromausschleusung zum HKWN genutzt werden. Hierfür wurde der gleichbleibende Kostenansatz von 470 €/ Mg<sub>TR</sub> angesetzt.

Für die Teilstromausschleusung bei Strategie 1 (2023 bis 2024) wurde ein höherer Ansatz gewählt, da ein anderer externer Dienstleister als das HKWN für die Entsorgung bestellt werden muss. Zudem fallen Mietkosten für eine mobile Zentrifuge an. Die MSE hat hierfür die Kosten in Höhe von 500 €/Mg<sub>TR</sub> abgeschätzt. In diesen Ansätzen sind sowohl Betriebs- als auch Entsorgungskosten enthalten (siehe Tabelle 12).

Die Kosten für die Entsorgung und den Betrieb einer stationären Zentrifuge im Falle der erweiterten Teilstromausschleusung (Strategie 2, 2023 bis 2034) wurden in den folgenden Betrachtungen ermittelt (siehe dazu Abbildung 15).

Tabelle 12: Kostenansätze Entsorgungskosten

<b>Entsorgungsaufwendungen</b>	<b>spezifischer Preisansatz (brutto)</b>	<b>Anmerkungen</b>
Ascheverwertung	70 €/t	MSE - Ansatz
Reststoffe aus Rauchgasreinigung	100 €/t	BE - Ansatz
Sonstiges wie Altöl, Isoliermaterial etc.	0,20 €/MgTR	Pauschalansatz
externe Schlamm Entsorgung HKWN (2015-2022)	470 €/MgTR	Teilstromausschleusung Strategie 1
externe Schlamm Entsorgung externer Dienstleister (2023-2024)	500 €/MgTR	Teilstromausschleusung Strategie 1

Der Überschussstrom, den die neue KVA erzeugt, wird an das Klärwerk Gut Großlappen abgegeben. Hierfür wurde dem Überschussstrom eine Vergütung zugeschrieben in Höhe der Strombezugskosten, abzüglich der EEG-Umlage. Grund dafür ist, dass für den Überschussstrom Kosten für die EEG-Umlage anfallen. Die Preissteigerung der EEG-Umlage ist im Strompreis und in der Preissteigerung der Energiekosten enthalten und wird nicht mehr gesondert aufgeführt (siehe Tabelle 13).

Bei einer weiterführenden Ermittlung der Kosten für den in der KVA selbst erzeugten Strom, müssen bei der weiteren Planung die rechtlichen Entwicklungen des EEG, des KWKG und des StromStG beachtet werden.

Eine Vergütung der Wärme wurde nicht vorgesehen, da am Standort ein Wärmeüberschuss besteht und kein angrenzendes Fernwärmenetz zur Verfügung steht.

Tabelle 13: Kostenansätze Erlöse/ Aufwendungen/ Energie

<b>Erlöse/ Aufwendung/ Energie</b>	<b>spezifischer Preisansatz (brutto)</b>	<b>Anmerkungen</b>
Abgabe Überschussstrom an KLV I - Verbundnetz	0,15 €/kWh	ist gleich Bezug, abzüglich EEG-Umlage
Fern-/Wärmeabgabe	0 €/MWh	keine Vergütung der Wärme
EEG-Umlage	5 Cent/kWh	Ansatz MSE

Die bisher genannten Kostenansätze, ausgenommen der Entsorgungskosten für die Teilstromausschleusung 2015 bis 2024, beziehen sich auf das Jahr 2015. Da über den Betrachtungszeitraum bis 2064 Kostensteigerungen zu erwarten sind, wurden Preissteigerungsfaktoren gewählt.

Für die Entsorgung von Klärschlamm durch einen externen Dienstleister (nicht HKWN) wurde der folgende Ansatz gewählt. Für die externe Schlammentsorgung wurde ein Startwert (Stand 2015) von 80 €/ Mg<sub>OS</sub> (320 €/ Mg<sub>TR</sub>) angenommen. Dies spiegelt die derzeitigen Erfahrungswerte von BE und MSE wider.

Um eine Aussage zur zukünftigen Preisentwicklung der externen Klärschlammentsorgung treffen zu können, wurde von BE eine Umfrage des VKU vorgestellt, in der über ein Drittel der derzeitigen Mono-KVA-Verwerter eine Preissteigerung in den nächsten Jahren von 100 % erwarten (Voraussetzung, Novellierung AbfklärV bis Ende 2015).

Ausgehend von dieser Aussage wurde im Rahmen dieser Studie eine lineare Preissteigerung der externen Klärschlammentsorgungskosten bis 2025 (Frist-Ende Mitverbrennung/ Startpunkt neue KVA) von 80 €/Mg<sub>OS</sub> (320 €/ Mg<sub>TR</sub>) auf 160 €/Mg<sub>OS</sub> (640 €/ Mg<sub>TR</sub>) angenommen. Ab 2025 wurde dann eine moderatere Preissteigerung von 3,5 % jährlich angesetzt.

Abbildung 15 stellt die Entwicklung der externen KS-Entsorgungskosten unter Zugrundelegung der gewählten Ansätze dar. Die Kurve gilt für die Strategien 2, 3 und 4. Der Ansatz für Strategie 1 wird in Tabelle 14 dargestellt.

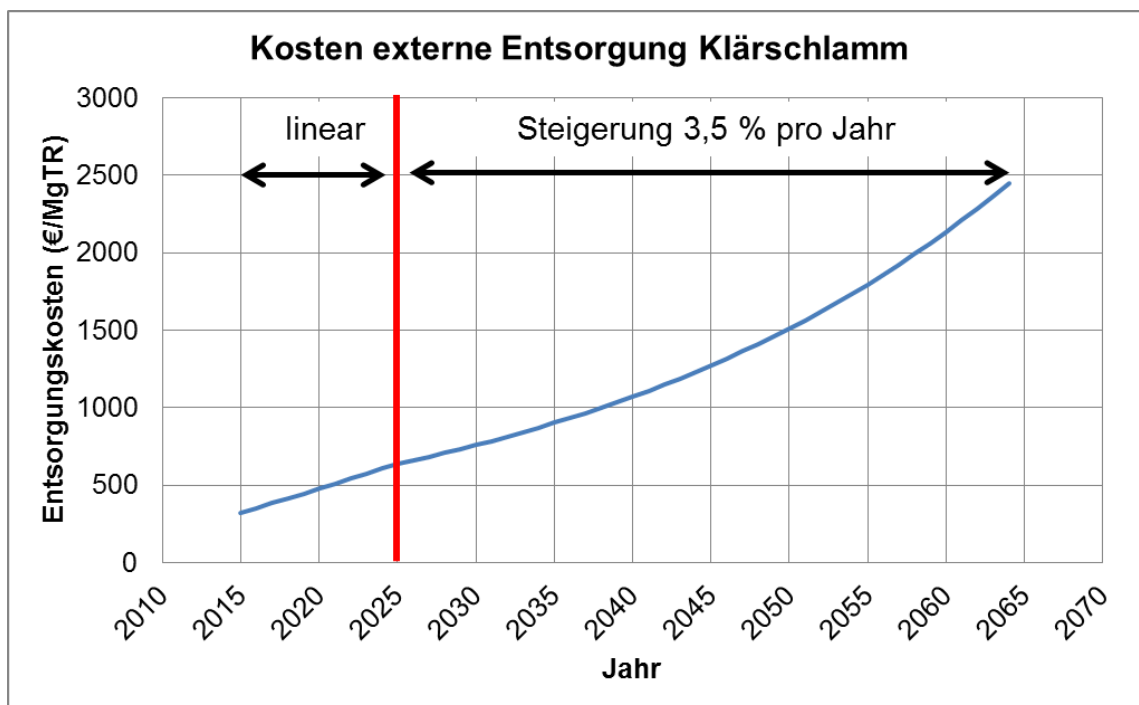


Abbildung 15: Annahme für die Entwicklung der externen KS-Entsorgungskosten

Um aktuellen Entwicklungen Rechnung zu tragen, wurden neben den Ansätzen für die externen KS-Entsorgungskosten weitere inflationsbereinigte Preissteigerungsfaktoren angesetzt. Ansätze für eine allgemeine Preissteigerung und Preissteigerungsfaktoren für Energie, Entsorgung und Investitionskosten werden in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Ansätze mittlere Kostensteigerung

Mittlere Kostensteigerung	Ansatz
Preis externe Schlamm Entsorgung (25 % TR-Gehalt, 2015)	80 €/Mg <sub>OS</sub> (320 €/Mg <sub>TR</sub> )
Preis externe Schlamm Entsorgung (2025, lineare Zunahme)	160 €/Mg <sub>OS</sub> (640 €/Mg <sub>TR</sub> )
Preissteigerungsfaktor nach 2025 externe Schlamm Entsorgung	3,5 %
Preissteigerungsfaktor Allgemein (Betriebsmittel, Versicherung, Instandhaltung, etc.) (inflationsbereinigt)	1,0 %
Preissteigerungsfaktor Energie (inflationsbereinigt)	3,5 %
Preissteigerungsfaktor Entsorgung (Asche, Reststoffe) (inflationsbereinigt)	1,0 %
Preissteigerungsfaktor Investitionskosten (Bau-, Maschinen, E-Technik) (inflationsbereinigt)	1,0 %

## 5.4 Preissteigerung

### Investitionskosten

Aufgrund des zeitlichen Ablaufs der Strategien wurden die zuvor ermittelten Investitionskosten (Stand 2015) mit inflationsbereinigten Preissteigerungsfaktoren hinterlegt. Dadurch wurde aktuellen Entwicklungen (z.B. steigende ext. KS-Entsorgungskosten, steigende Energiekosten, etc.) Rechnung getragen. So lassen sich die zu erwartenden Investitionskosten für das jeweilige Investitionsjahr ermitteln (siehe Tabelle 15 bis Tabelle 17).

Die folgenden Betrachtungen wurden nur für die Variante B (erweiterte Rauchgasreinigung) durchgeführt. Die Kosten für Variante A (Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte) würden für Strategie 1 bis 4 etwas geringer ausfallen

Die Tabellen zeigen, dass Strategie 5 die geringsten Investitionskosten aufweist. Dies liegt daran, dass keine neue KVA gebaut wird. Werden nur die Strategien mit einem Neubau betrachtet, weist Strategie 1 die niedrigsten Investitionskosten auf.

Tabelle 15: Investitionskosten (Strategie 1 und 2, Szenario I und II) unter Zugrundelegung inflationsbereinigter Preissteigerungsfaktoren

INVESTITIONS- KOSTENSCHÄTZUNG brutto	Münchner Stadtentwässerung			
	Strategie 1		Strategie 2	
	Szenario I - Variante B	Szenario II - Variante B	Szenario I - Variante B	Szenario II - Variante B
<b>2015</b>	Minimale Sanierung	Minimale Sanierung	Umfangreiche Sanierung	Umfangreiche Sanierung
Bautechnik	-	-		
Maschinentechnik	4.800.000	4.800.000	18.000.000	18.000.000
E-Technik	3.200.000	3.200.000	3.200.000	3.200.000
<b>2023</b>			erweiterte Teilstrom- ausschleusung	erweiterte Teilstrom- ausschleusung
Bautechnik	-	-	181.000	181.000
Maschinentechnik	-	-	609.000	609.000
E-Technik	-	-	-	-
Planung, Detail-Engineering, Genehmigung	-	-	158.000	158.000
<b>2025</b>	Neubau KVA	Neubau KVA		
Bautechnik Puffer	-	-	-	-
Maschinentechnik Puffer	-	-	-	-
Bautechnik	27.898.000	19.094.000	-	-
Maschinentechnik	43.324.000	50.635.000	-	-
E-Technik	4.860.000	7.251.000	-	-
Planung, Detail-Engineering, Genehmigung	15.216.000	15.396.000		
<b>2035</b>			Neubau KVA	Neubau KVA
Bautechnik	-	-	30.817.000	21.092.000
Maschinentechnik	-	-	47.857.000	55.932.000
E-Technik	-	-	5.369.000	8.009.000
Planung, Detail-Engineering, Genehmigung	-	-	16.808.600	17.006.600
<b>Summe Investitionskosten</b>	<b>99.298.000</b>	<b>100.376.000</b>	<b>122.999.600</b>	<b>124.187.600</b>
Bemerkung				



Tabelle 16: Investitionskosten (Strategie 3 und 4, Szenario I und II) unter Zugrundelegung inflationsbereinigter Preissteigerungsfaktoren

INVESTITIONS- KOSTENSCHÄTZUNG brutto	Münchener Stadtentwässerung			
	Strategie 3		Strategie 4	
	Szenario I - Variante B	Szenario II - Variante B	Szenario I - Variante B	Szenario II - Variante B
<b>2015</b>	Minimale Sanierung	Minimale Sanierung	Minimale Sanierung	Minimale Sanierung
Bautechnik				
Maschinentechnik	4.800.000	4.800.000	4.800.000	4.800.000
E-Technik	3.200.000	3.200.000	3.200.000	3.200.000
<b>2023</b>				
Bautechnik	-	-	-	-
Maschinentechnik	-	-	-	-
E-Technik	-	-	-	-
Planung, Detail-Engineering, Genehmigung	-	-	-	-
<b>2025</b>	Umrüstung Parallelbetrieb	Umrüstung Parallelbetrieb	Umrüstung Parallelbetrieb	Umrüstung Parallelbetrieb
Bautechnik Puffer	9.395.916	9.395.916	16.462.184	16.462.184
Maschinentechnik Puffer	1.622.635	1.622.635	13.817.332	13.817.332
Bautechnik	-	-	-	-
Maschinentechnik	16.237.945	16.237.945	8.118.973	8.118.973
E-Technik	6.627.733	6.627.733	3.313.866	3.313.866
Planung, Detail-Engineering, Genehmigung	6.777.000	6.777.000	8.342.000	8.342.000
<b>2035</b>	Neubau KVA	Neubau KVA	Neubau KVA	Neubau KVA
Bautechnik	20.438.183	15.947.884	12.632.627	8.142.328
Maschinentechnik	48.457.529	55.153.078	32.593.716	43.766.673
E-Technik	5.368.836	8.009.327	5.368.836	8.009.327
Planung, Detail-Engineering, Genehmigung	14.853.000	15.822.000	10.119.000	11.984.000
<b>Summe Investitionskosten</b>	<b>137.778.777</b>	<b>143.593.518</b>	<b>118.768.534</b>	<b>129.956.683</b>
Bemerkung	übergeordnete EMSR- Technik wird mit dem Neubau zusammen eingebaut	übergeordnete EMSR- Technik wird mit dem Neubau zusammen eingebaut; Bunker aus Szenario I	übergeordnete EMSR- Technik wird mit dem Neubau zusammen eingebaut	übergeordnete EMSR- Technik wird mit dem Neubau zusammen eingebaut; Bunker aus Szenario I

Tabelle 17: Investitionskosten (Strategie 5) unter Zugrundelegung inflationsbereinigter Preissteigerungsfaktoren

<b>INVESTITIONS- KOSTENSCHÄTZUNG brutto</b>	<b>Münchener Stadtentwässerung</b>
	<b>Strategie 5</b>
<b>2015</b>	<b>Minimale Sanierung</b>
Bautechnik	
Maschinentechnik	4.800.000
E-Technik	3.200.000
<b>2023</b>	
Bautechnik	-
Maschinentechnik	-
E-Technik	-
Planung, Detail-Engineering, Genehmigung	-
<b>2025</b>	<b>externe Entsorgung</b>
Bautechnik Puffer	-
Maschinentechnik Puffer	-
Bautechnik	2.105.410
Maschinentechnik	3.044.615
E-Technik	-
Planung, Detail-Engineering, Genehmigung	1.030.000
<b>2035</b>	
Bautechnik	-
Maschinentechnik	-
E-Technik	-
Planung, Detail-Engineering, Genehmigung	-
<b>Summe Investitionskosten</b>	<b>14.180.025</b>
Bemerkung	übergeordnete EMSR-Technik wird mit dem Neubau zusammen eingebaut

### Jahreskosten

Da eine Betrachtung der nur mit Preissteigerungsfaktoren hinterlegten Investitionskosten keine ausreichende Aussage über die wirtschaftlichste Strategie zulässt, wurden Jahreskosten für jede Strategie ermittelt (siehe Abbildung 16). Bei Ermittlung der Jahreskosten wurden ebenfalls die Preissteigerungsansätze aus Tabelle 39 zugrunde gelegt.

Voraussetzung für die Kostenermittlung war, dass nach jeder Außerbetriebnahme einer Anlage/ eines Anlagenteils dieser abgeschrieben ist. Zum Ende des Betriebes verbleiben somit keine Restbuchwerte.

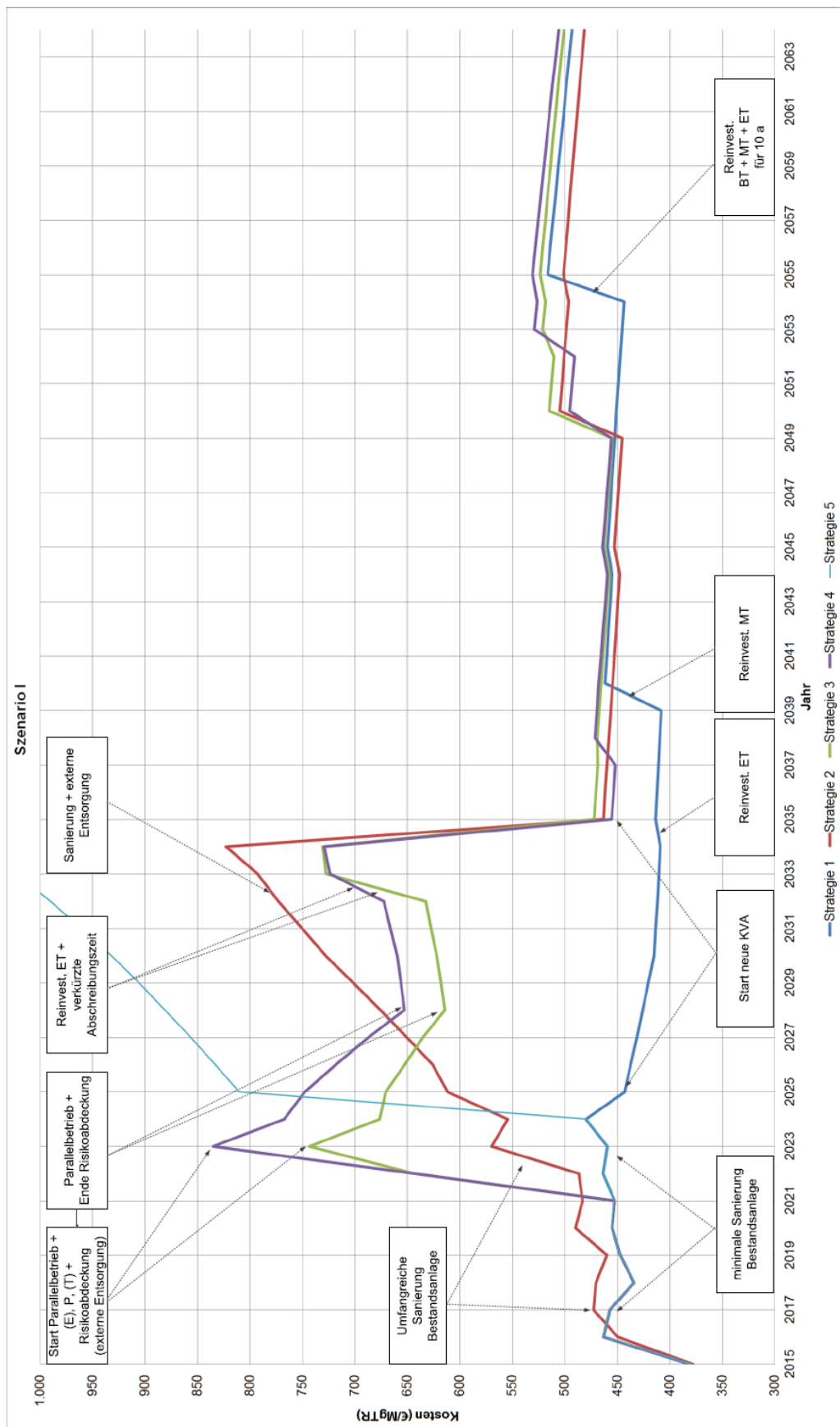


Abbildung 16: Jahreskostenentwicklung (Neubau Szenario I (1-Linie), Rauchgasreinigung Variante B)

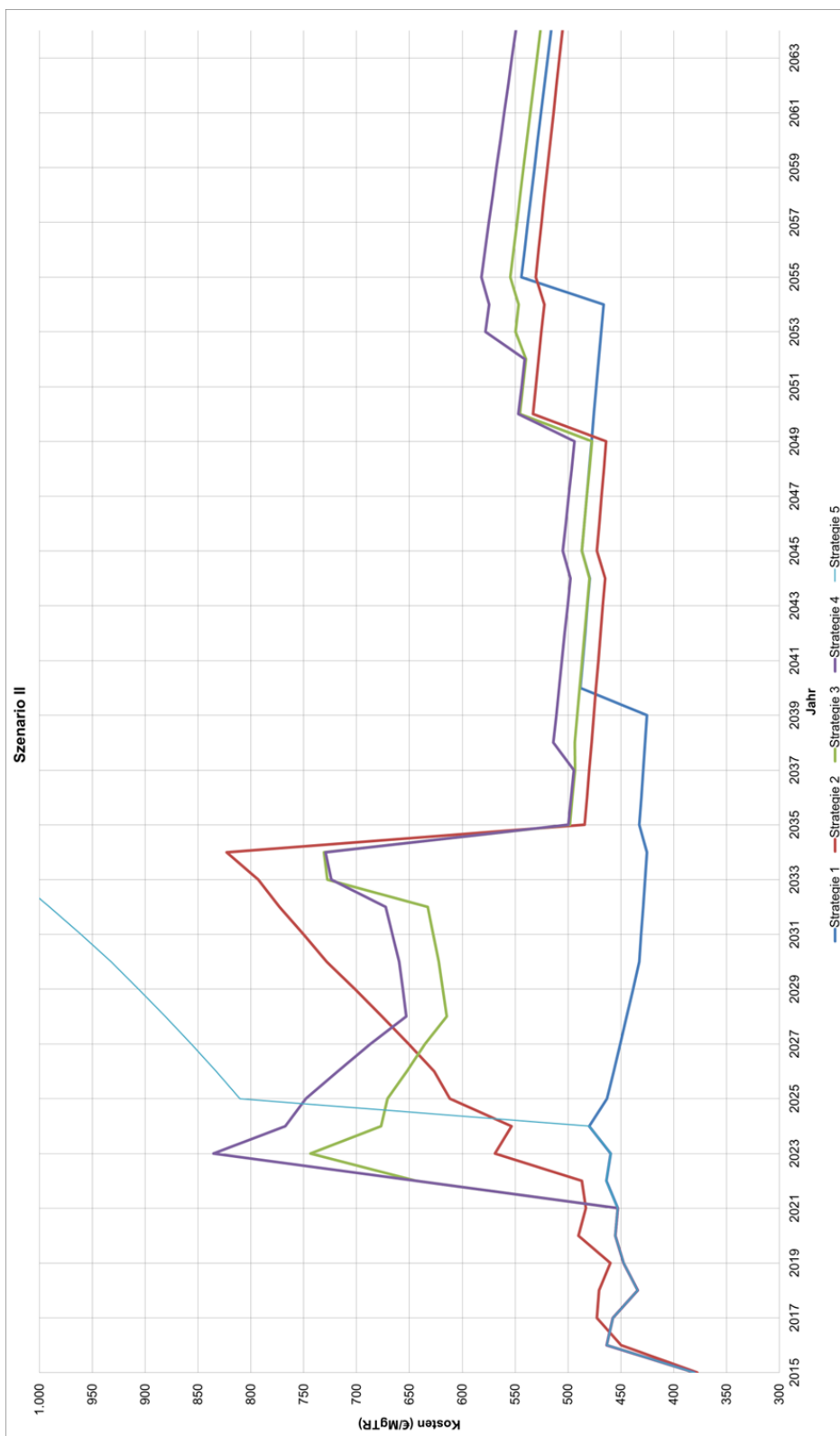


Abbildung 17: Jahreskostenentwicklung (Neubau Szenario II (2-Linien), Rauchgasreinigung Variante B)

### **Kostenermittlung Strategie 1**

Um eine Vergleichbarkeit zu erreichen, muss der Betrachtungszeitraum für alle Strategien gleich lang sein (2015 bis 2064). Da jedoch die neue KVA in Strategie 1 aufgrund des früheren Starts bereits 2054 abgeschlossen ist, wurde der folgende Ansatz gewählt.

Nachdem die neue KVA 2054 abgeschlossen ist, wurden Kosten für Sanierungsmaßnahmen so gewählt, sodass die Anlage noch bis 2064 weiter betrieben werden kann. Als Sanierungskosten wurden 1/3 der Investitionskosten für die Bautechnik (Stand 2055), 2/3 der Maschinenteknik und 3/3 der E-Technik gewählt. Die jeweiligen Abschreibungszeiten wurden ebenfalls auf 10 Jahre reduziert, sodass der Buchwert 2064 bei Null liegt.

In Abbildung 16 und Abbildung 17 ist dargestellt, wie sich die Jahreskosten im genannten Betrachtungszeitraum für jede Strategie entwickeln. Eine deutliche Unterscheidung zeigt sich in der Übergangsphase. Hier schwanken die Entsorgungskosten für Strategie 2 bis 4 erheblich, Strategie 1 (blaue Linie) hingegen zeichnet sich durch eine gleichbleibende Preisentwicklung aus. Grund dafür ist, dass im Jahre 2025 die Neuanlage bereits in Betrieb ist und keine Marktabhängigkeit aufgrund von externen Entsorgungskosten mehr besteht. Die Interpretation der Kurvenverläufe ist in Abbildung 16 durch entsprechende Erläuterungen hinterlegt.

Ebenfalls in den Abbildungen deutlich zu sehen, sind die Kostensprünge im Falle von Reinvestitionen bei Strategie 1. 2035 erfolgt die erste Reinvestition der E-Technik, 2040 die Reinvestition der Maschinenteknik und 2045 nochmals die Reinvestition der E-Technik. Im Jahre 2055 erfolgt dann die bereits beschriebene Teilreinvestition der Bau-, Maschinen und E-Technik.

Im Jahre 2064 endet der Betrieb der Anlage.

### **Kostenermittlung Strategie 2**

Strategie 2 unterscheidet sich von Strategie 1 in der Anfangsphase, da hier anstatt einer minimalen Sanierung eine umfangreiche durchgeführt wird. In der Übergangsphase steigen die Entsorgungskosten (rote Linie) deutlich an. Dies hängt mit der Marktentwicklung zusammen, da bis 2034 ein Teil des Klärschlammes noch extern entsorgt werden muss.

Nach Inbetriebnahme der neuen KVA sinken die Entsorgungskosten deutlich (keine externe Entsorgung). Auch für Strategie 2 sind die Kostensprünge aufgrund von Reinvestitionen zu erkennen. 2045 erfolgt die Reinvestition der E-Technik, 2050 die Maschinenteknik und 2055 nochmals die Reinvestition der E-Technik. Im Jahre 2064 endet der Betrieb der Anlage.

### **Kostenermittlung Strategie 3**

Zunächst erfolgt die Sanierung der Bestandsanlage in Form einer Minimalsanierung, anschließend wurde die Bestandsanlage auf Parallelbetrieb umgerüstet. Zudem wurde bereits in der Übergangsphase von Strategie 3 der Pufferspeicher der Neuanlage aus Szenario I vorgezogen, um einen Parallelbetrieb der Bestandsanlage zu ermöglichen.

Aufgrund der zu erwartenden hohen Störanfälligkeit in der Anfangsphase des Parallelbetriebs der Bestandsanlage, und des tiefen technischen Eingriffs im laufenden Betrieb, wurde angenommen, dass 60 % des Klärschlammes im ersten Jahr extern verwertet werden müssen (Risikoabdeckung). Die Menge an auszuschleusendem Klärschlamm nimmt linear bis zum 5. Jahr ab, sodass im 6. Jahr kein Klärschlamm mehr extern verwertet werden muss.

Der steile Anstieg der Kurve von Strategie 3 in Abbildung 16 ist insbesondere auf die hohen Kosten für die Maßnahmen zur Umrüstung auf Parallelbetrieb zurückzuführen sowie auf die anfangs hohen Mengen an extern verwerteten Klärschlamm.

Nach Inbetriebnahme der Neuanlage sinken die Entsorgungskosten ebenfalls deutlich.

### **Kostenermittlung Strategie 4**

Für die Strategie 4 erfolgt ebenfalls die minimale Sanierung der Bestandsanlage und die Umrüstung auf einen Parallelbetrieb. Zusätzlich zum Pufferspeicher fallen auch Kosten für den vorgezogenen Neubau der Entwässerung und der Trocknung an. Zuzüglich der Risikoabdeckung in den ersten fünf Jahren (analog zu Strategie 3, Annahme 60 % ext. KS-Verwertung im ersten Jahr, lineare Abnahme bis zum 6. Jahr), weist Strategie 4 in der Übergangsphase die zweithöchsten Kosten auf. Nach Inbetriebnahme der Neuanlage sinken die Kosten deutlich.

### **Kostenermittlung Strategie 5**

In Strategie 5 steigen die Kosten nach 2025 erheblich an. Dies liegt an den hohen zu erwartenden Entsorgungskosten aufgrund von geringen Marktkapazitäten.

### **Kostenübersicht der Strategien**

Für einen ersten monetären Vergleich der Strategien miteinander wurden gemittelte Entsorgungskosten für jeweils 10 Jahre gegenübergestellt (siehe folgende Abbildung 18 und Abbildung 19, sowie Tabelle 18 und Tabelle 19).

Es zeigte sich, dass Strategie 1 und 2 die geringsten mittleren Entsorgungskosten aufweisen. Beide Strategien haben zudem Zeiträume, in denen sie den kostengünstigsten Entsorgungsweg

darstellen. Die Kosten für Strategie 3 und 4 liegen hingegen etwas höher und die Kosten für Strategie 5 weichen deutlich von den übrigen ab.

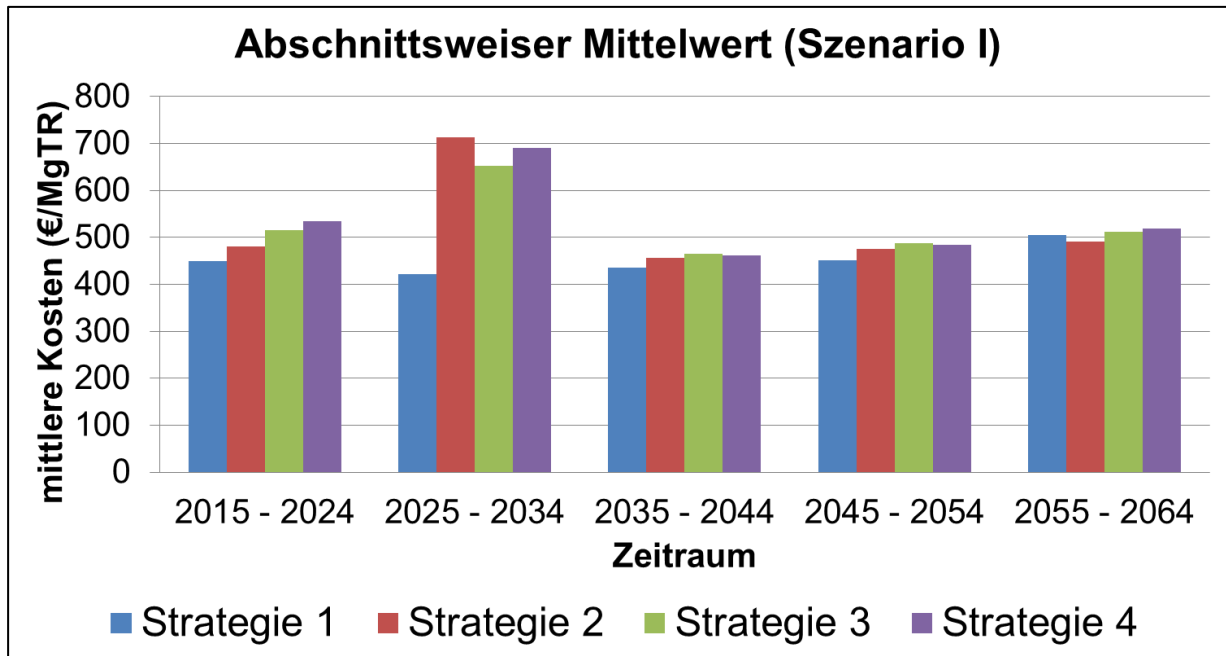


Abbildung 18: Abschnittswiseer Mittelwert Neubau Szenario I (1-Linie)

Tabelle 18: Abschnittswiseer Mittelwert Neubau Szenario I (1-Linie)

Jahr	Einheit	Strategie 1	Strategie 2	Strategie 3	Strategie 4	Strategie 5
2015 - 2024	€/Mg <sub>TR</sub>	449	482	516	534	449
2025 - 2034	€/Mg <sub>TR</sub>	422	713	653	691	924
2035 - 2044	€/Mg <sub>TR</sub>	435	456	466	462	1.255
2045 - 2054	€/Mg <sub>TR</sub>	452	475	487	483	1.720
2055 - 2064	€/Mg <sub>TR</sub>	505	491	512	519	2.374
<b>2015 - 2064</b>	<b>€/Mg<sub>TR</sub></b>	<b>453</b>	<b>523</b>	<b>527</b>	<b>538</b>	<b>1.344</b>



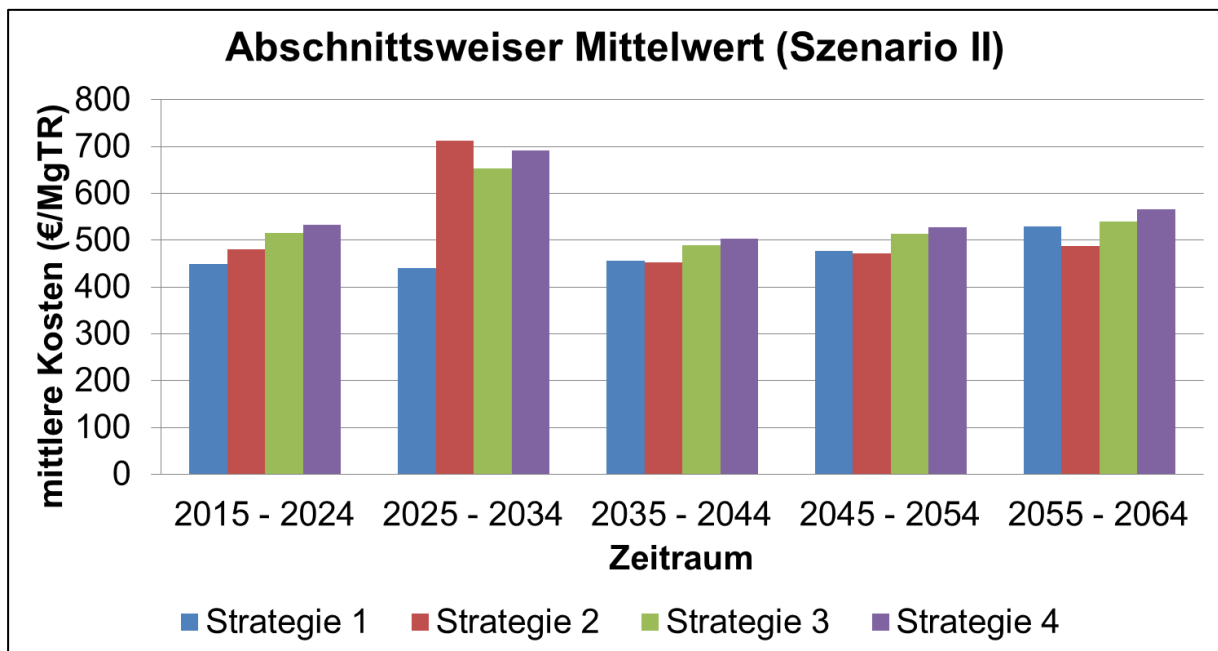


Abbildung 19: Abschnittsweiser Mittelwert Neubau Szenario II (2-Linien)

Tabelle 19: Abschnittsweiser Mittelwert Neubau Szenario II (2-Linien)

Jahr	Einheit	Strategie 1	Strategie 2	Strategie 3	Strategie 4	Strategie 5
2015 - 2024	€/Mg <sub>TR</sub>	449	481	516	534	449
2025 - 2034	€/Mg <sub>TR</sub>	440	713	653	691	924
2035 - 2044	€/Mg <sub>TR</sub>	456	453	489	503	1.255
2045 - 2054	€/Mg <sub>TR</sub>	477	472	513	528	1.720
2055 - 2064	€/Mg <sub>TR</sub>	530	487	540	566	2.374
<b>2015 - 2064</b>	<b>€/Mg<sub>TR</sub></b>	<b>470</b>	<b>521</b>	<b>542</b>	<b>564</b>	<b>1.344</b>

## 5.5 Barwertmethode

Wie bereits dargestellt, liegen die Entsorgungskosten für Strategie 1 und 2 relativ dicht beieinander, sodass eine eindeutige Aussage, welche Strategie wirtschaftlicher ist, so nicht getroffen werden kann. Mit Hilfe der Barwertmethode wurde nun auch sichergestellt, dass Strategien mit späteren Investitionszeitpunkten nicht benachteiligt werden.

Aus diesem Grund wurden für die Strategien 1 und 2 (Szenario I und II) die Barwertmethode angewendet. Sie dient dazu, aufgrund von Abzinsungseffekten, die wirtschaftlichste Lösung zu identifizieren und berücksichtigt dabei auch den Zeitpunkt der Investition.

Zur Bildung des Barwertes wurde ein vereinfachter Mittelabflussplan für die Investitionskosten aufgestellt. Zusammen mit den jährlich anfallenden Kosten für die Betriebsmittel kann der kumulierte Barwert bestimmt werden. Die kumulierte Barwertdarstellung ist die gängigste Darstellungsform, da hier schnell ersichtlich ist, ob und wann eine Strategie wirtschaftlicher ist als die andere.

Zur Erstellung des Mittelabflussplans wurde der Ansatz gewählt, dass die Bauzeit der neuen KVA vier Jahre beträgt. In Tabelle 20 ist dargestellt, in welchem Baujahr, anteilmäßig von der Gesamtinvestitionssumme, welches Investitionsvolumen benötigt wird.

Tabelle 20: Mittelabflussplan

<b>Baujahr</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Mittelabfluss (Anteilmäßig von Gesamtinvestitionskosten)	5 %	30 %	55 %	10 %

In Tabelle 21 sowie in den Abbildung 20 und Abbildung 21 sind die kumulierten Barwerte für Strategie 1 und 2 aufgeführt. Es zeigt sich, dass die Strategie 1 (Szenario I und Szenario II) aufgrund des niedrigeren Barwertes die wirtschaftlichste Lösung darstellt.

Tabelle 21: kumulierter Barwerte für Strategie 1 und 2 von 2015 bis 2064

	<b>Einheit</b>	<b>Strategie 1</b>	<b>Strategie 2</b>
Szenario I	€, brutto	411 Mio.	486 Mio.
Szenario II	€, brutto	425 Mio.	491 Mio.

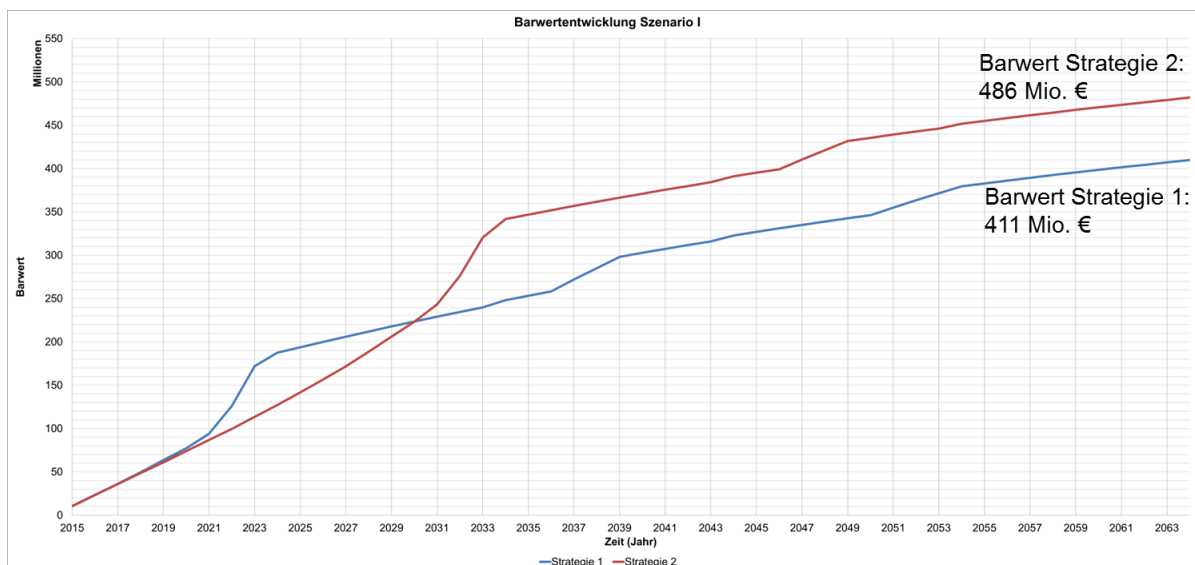


Abbildung 20: Barwertentwicklung der Strategien 1 und 2 im Falle von Neubau-Szenario I (1-Linie)

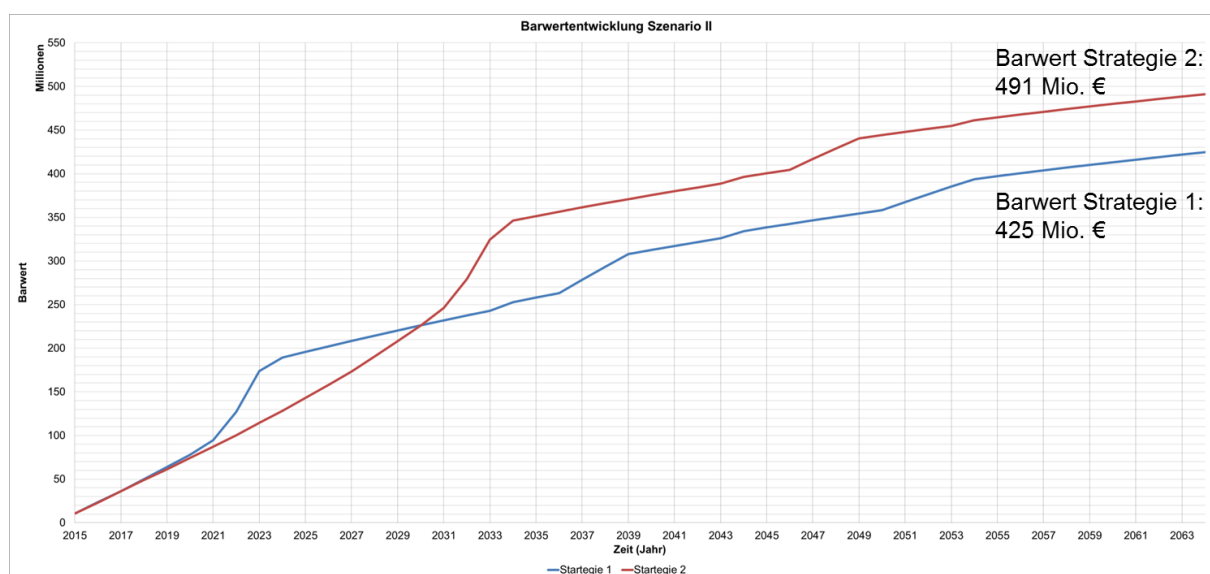


Abbildung 21: Barwertentwicklung der Strategien 1 und 2 im Falle von Neubau-Szenario II (2-Linien)

## 5.6 Sensitivitätsanalyse

Da eine Abschätzung der Preisentwicklung über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren nur begrenzt möglich ist, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

Mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse wurde überprüft, ob sich die Ergebnisse für Strategie 1 und 2 in ihrer Grundaussage bei Variation der angenommenen Preissteigerungsfaktoren verändern.

Als sensitive Parameter wurden die Entsorgungskosten für Klärschlamm, die Energiekosten, die Investitionskosten und der Zinssatz gewählt. Sie weisen den größten Einfluss auf die Barwertentwicklung auf (siehe Tabelle 22: Übersicht Parameter Sensitivitätsanalyse).

Tabelle 22: Übersicht Parameter Sensitivitätsanalyse

<b>Kostenansätze</b>	<b>Ansatz</b>
Preissteigerungsfaktor nach 2025 externe Schlamm Entsorgung	1 %; 2 %; 5 %
Preissteigerungsfaktor Energie	1 %; 2 %; 5 %
Preissteigerungsfaktor Investitionskosten	0 %; 2 %
Zinssatz	2,5 %; 3,5 %

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zeigten, dass auch bei Variation der vorher gewählten Parameter die Strategie 1 nach wie vor die kostengünstigste Lösung darstellt.

In Tabelle 23 und Tabelle 24 ist zu erkennen, dass trotz der steigenden Energiekosten, die Barwerte geringer werden. Dies hängt mit der Vergütung des Überschussstroms zusammen, der einen positiven Effekt auf die Barwerte hat.

Tabelle 23: Ergebnisse Sensitivitätsanalyse für Strategie 1 und 2 (Neubau Szenario I 1-Linie)

Parameter	Wert	Strategie 1	Strategie 2
	%	Mio. €	Mio. €
Energie	1	416	487
	2	414	487
	5	404	483
Entsorgung	1	411	478
	2	411	481
	5	411	491
Investitionskosten	0	385	459
	2	442	519
Zinssatz	2,5	448	530
	3,5	379	447

Tabelle 24: Ergebnisse Sensitivitätsanalyse für Strategie 1 und 2 (Neubau Szenario II 2-Linien)

Parameter	Wert	Strategie 1	Strategie 2
	%	Mio. €	Mio. €
Energie	1	431	492
	2	429	492
	5	417	488
Entsorgung	1	425	483
	2	425	486
	5	425	497
Investitionskosten	0	396	463
	2	460	527
Zinssatz	2,5	463	536
	3,5	391	451

Wie in Tabelle 23 und Tabelle 24 zu erkennen ist, liegt bei einem Zinssatz von 2,5 % der maximalste und bei einem Zinssatz von 3,5 % der minimalste Barwert vor. Die Variation des Zinssatzes hat somit den größten Einfluss auf die Kostenentwicklung, ändert jedoch nichts an dem Ergebnis, dass Strategie 1 die wirtschaftlichste Lösung ist.

Da der Zinssatz die obere und untere Grenze der Kostenentwicklung darstellt, sind in Abbildung 22 und Abbildung 23 die jeweiligen Barwertentwicklungen dargestellt.

In Abbildung 22 und Abbildung 23 liegt eine Überschneidung der beiden Graphen vor. Es ist zu beachten, dass dieser Fall so nicht eintreten kann, da zur selben Zeit nicht zwei unterschiedliche Zinssätze vorliegen können.

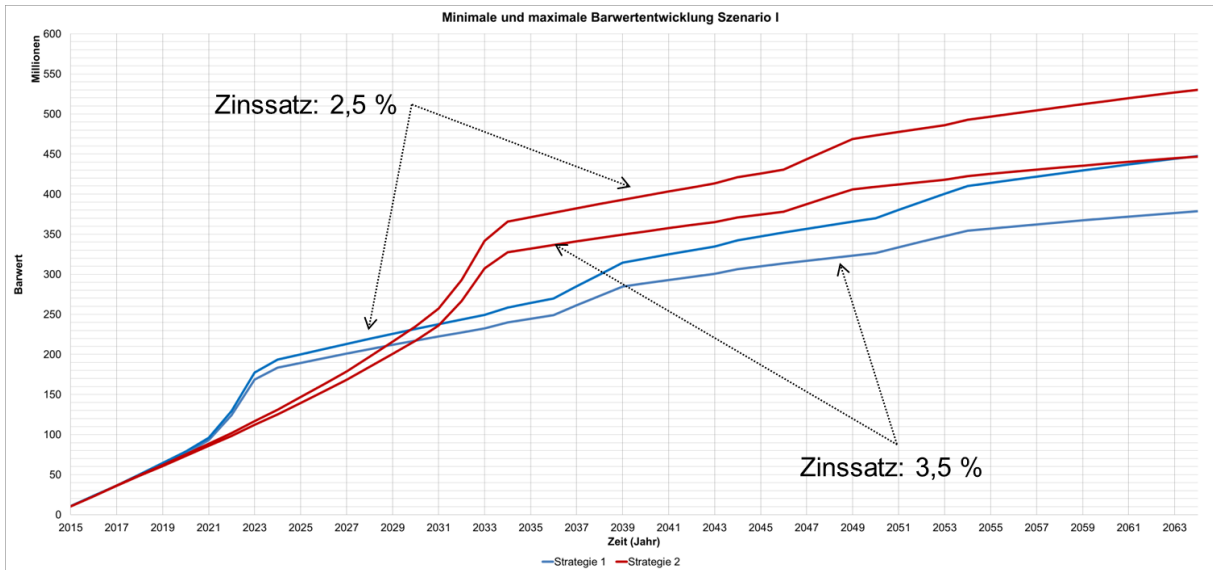


Abbildung 22: Minimale und maximale Barwertentwicklung für Strategie 1 und 2 (Neubau Szenario I 1-Linie)

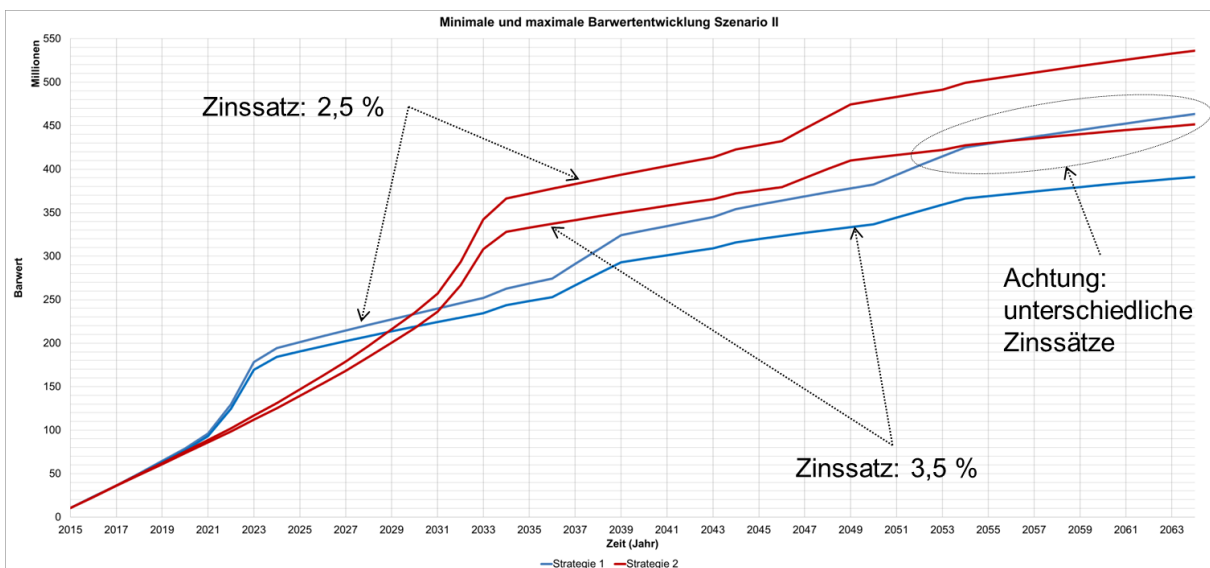


Abbildung 23: Minimale und maximale Barwertentwicklung für Strategie 1 und 2 (Neubau Szenario II 2-Linien)

## 5.7 Interpretation / Hinweise zur Kostenbetrachtung

Die Kostenbetrachtung hat ergeben, dass Strategie 1 die wirtschaftlichste Lösung darstellt. Sie beinhaltet die Vorteile, dass eine frühzeitige vollständige Eigenverwertung (ab 2025) erreicht wird, wodurch hohe externe Entsorgungskosten vermieden werden können. Zudem sind die Investitionskosten aufgrund der geringeren Preissteigerung (früher Neubau) niedriger. Ein weiterer Vorteil liegt an den geringen Instandhaltungskosten für die Bestandsanlage und dem weniger aufwendigen Ausbau der Teilstromausschleusung.

Auch bei der Durchführung einer Sensitivitätsanalyse hat sich Strategie 1 als optimalste Lösung dargestellt.

Die Strategien 2 bis 4 weisen besonders in der Übergangsphase hohe Entsorgungskosten auf, da eine hohe Marktabhängigkeit aufgrund eines externen Entsorgungsdienstleisters besteht. Im Gegensatz zur Strategie 1 sind die Strategien 2 - 4 insbesondere in der Übergangsphase (geprägt vom Umfang mit der Bestandsanlage) mit nicht kalkulierbaren Unwägbarkeiten behaftet. Dies sind:

- Tatsächliche Entwicklung des ext. Entsorgungsmarktes
- Tatsächlicher Kostenaufwand Sanierung und Parallelbetrieb
- Anlagenverfügbarkeit plus Betriebskosten Parallelbetrieb

Diese Unwägbarkeiten führen zu starken Ausschlägen im Kurvenverlauf der Strategien 2 - 4. Strategie 1 entgeht diesen Unwägbarkeiten möglichst früh. Der Kostenverlauf ist daher bei Strategie 1 viel gleichmäßiger. Dies hat zur Folge, dass die Einhaltung einer Gebührenstabilität bei Strategie 2 - 4 im Gegensatz zu Strategie 1 sehr fraglich ist.

Ebenfalls wirtschaftlich nicht darstellbar ist die Strategie 5. Durch die vollständige externe Entsorgung ab dem Jahre 2025 kommt es zu einer deutlichen und gleichbleibenden Kostensteigerung. Auch hier ist eine Gebührenstabilität nicht einzuhalten.

Ein weiteres Problem der externen Entsorgung bei Strategie 5 ist, einen oder mehrere externe Entsorger zu finden, die die hohen Klärschlamm-mengen der MSE verwerten können. Dies würde sich aller Voraussicht nach als nicht realisierbar herausstellen, da bereits jetzt Defizite an Verbrennungskapazitäten am Markt herrschen. Zudem könnten Entsorgungsverträge nur für maximal vier Jahre (VOL) abgeschlossen werden. Eine 100 %-ige dauerhafte Entsorgungssicherheit ist somit nicht gegeben.

## 6 Bewertung der Strategien

### 6.1 Wertungskriterien

Für die Strategiebewertung wurden die folgenden Kriterien von der MSE festgelegt:

- Entsorgungssicherheit
- Wirtschaftlichkeit
- Technische Umsetzbarkeit

Je Kriterium können null bis vier Punkte vergeben werden. Null Punkte entsprechen dabei der Zeichensetzung „-“ (sehr schlecht) und vier Punkte „++“ (sehr gut).

Aufgrund der unterschiedlichen Wichtung der einzelnen Kriterien werden Faktoren berücksichtigt, die die Relevanz der Aspekte widerspiegelt (siehe Tabelle 25).

Die Kriterien sind wie folgt gewichtet:

- Entsorgungssicherheit      35 %
- Wirtschaftlichkeit            35 %
- Technische Umsetzbarkeit    30 %

Die Gewichtung wurde im Vorfeld ausführlich diskutiert und mit der MSE abgestimmt.



## 6.2 Bewertungsmatrix

Tabelle 25: Bewertungsmatrix Strategien

Wertung:

- ++ (sehr gut) = 4 Punkte
- + (gut) = 3 Punkte
- o (mittel) = 2 Punkte
- (schlecht) = 1 Punkt
- (sehr schlecht) = 0 Punkte

Kriterium	berücksichtigte Aspekte	Wichtung	Strategie 1		Strategie 2		Strategie 3		Strategie 4		Strategie 5	
			Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte
1 Entsorgungssicherheit	- Betriebssicherheit - Zwischenspeicherkapazitäten - Marktabhängigkeit	35	++	4	o	2	-	1	o	2	--	0
			140		70		35		70		0	
2 Wirtschaftlichkeit	- Rangfolge der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	35	++	4	+	3	o	2	-	1	--	0
			140		105		70		35		0	
3 Technische Umsetzbarkeit	- technische Komplexität - Instandhaltungsaufwand - Übersichtlichkeit der Anlage	30	++	4	+	3	-	1	o	2	++	4
			120		90		30		60		120	
<b>Gesamtsumme Punkte</b>			400		265		135		165		120	
<b>Rangfolge</b>			1		2		4		3		5	

---

## **Erläuterungen zur Bewertungsmatrix**

### 1. Entsorgungssicherheit:

Die Entsorgungssicherheit berücksichtigt die Aspekte Betriebssicherheit, Zwischenspeicherkapazitäten und Marktabhängigkeit.

Strategie 1 entspricht diesem Kriterium im vollen Umfang, da der frühe Neubau eine hohe Betriebssicherheit herbeiführt und eine externe Entsorgung nur von kurzer Dauer ist. Die Marktabhängigkeit ist in diesem Fall am geringsten.

Strategie 2 hingegen entspricht diesem Kriterium nur mittelmäßig, da bis 2034 noch eine hohe Marktabhängigkeit für die externe Entsorgung besteht.

Strategie 3 erfüllt dieses Kriterium schlecht. Es ist eine verminderte Betriebssicherheit zu erwarten, aufgrund des störanfälligen Parallelbetriebs der Bestandsanlage. Es wird bei Strategie 3 aufgrund der tiefen technischen Eingriffe im laufenden Betrieb des alten Anlagenbestands von einer hohen Störanfälligkeit ausgegangen. Zudem besteht auch hier in den ersten fünf Jahren eine hohe Marktabhängigkeit aufgrund der Risikoabdeckung für den Parallelbetrieb, die eine externe Schlammverwertung vorsieht.

Mittelmäßig erfüllt Strategie 4 das Kriterium, da durch den vorzeitigen Neubau der Entwässerung und Trocknung eine verbesserte Anlagenverfügbarkeit gegenüber Strategie 3 erzielt werden kann, da hier nicht in einen alten Bestand eingegriffen wird. Jedoch stellt die Integration des vorgezogenen Neubaus (Entwässerung, Pufferspeicher, Trocknung) in die Bestandsanlage eine hohe technische Komplexität dar.

Am schlechtesten schneidet Strategie 5 ab. Hier herrscht die höchste Marktabhängigkeit, da der vollständige Klärschlamm extern verwertet werden muss. Aufgrund der fehlenden Entsorgungskapazitäten am Markt, kann eine 100 %-ige Entsorgungssicherheit nicht garantiert werden.

### 2. Wirtschaftlichkeit:

Die Wirtschaftlichkeit spiegelt die Rangfolge der Ergebnisse der monetären Strategiebewertung wider.

In die Bewertung fließt zum einen die Wirtschaftlichkeit der Strategie sowie die „Gleichmäßigkeit“ des Kostenverlaufs der Strategien ein.

### 3. Technische Umsetzbarkeit:

Die technische Umsetzbarkeit umfasst die Aspekte technische Komplexität, Instandhaltungsaufwand und Übersichtlichkeit der Anlage.

Auch in diesem Fall erfüllt Strategie 1 das Kriterium vollständig. Es zeichnet sich durch eine geringe technische Komplexität aus, da eine Verflechtung der Neuanlage mit der Bestandsanlage nicht erfolgt. Zudem werden der Betrieb der Teilstromausschleusung und die Sanierung der Bestandsanlage auf ein Minimales reduziert, wodurch die Komplexität der technischen Eingriffe gering gehalten wird und der Aufwand für Wartung, Instandhaltung und administrative Tätigkeiten auf ein Geringstes beschränkt wird.

Strategie 2 erfüllt dieses Kriterium eher gut, da es ebenfalls keine tiefgreifende Verzahnung zum Bestand aufweist, jedoch der Sanierungs- und Instandhaltungsaufwand für die Bestandsanlage deutlich erhöht ist.

Schlecht erfüllt Strategie 3 das Kriterium der technischen Umsetzbarkeit, da eine erhöhte Verzahnung der Neuanlage mit dem Bestand erfolgt. Dies liegt an der Umrüstung auf Parallelbetrieb und Errichtung eines vorgezogenen Pufferspeichers, der in einer Dimension nicht ideal an eine Neuanlage angepasst werden kann.

Die Strategie 4 erfüllt dieses Kriterium mittelmäßig, da im Gegensatz zu Strategie 3 die Entwässerung und Trocknung neu gebaut wird, wodurch die Sanierungsmaßnahmen der Bestandsanlage geringer ausfallen. Von Nachteil ist jedoch die hohe Verzahnung durch die vorgezogene Maßnahme mit dem Bestand, da im Falle von Strategie 4 bereits ein kompletter Teil einer Neuanlage vorab errichtet wird.

Den geringsten technischen Aufwand bereitet Strategie 5. Ein Neubau der Anlage ist nicht vorgesehen, lediglich der Betrieb einer Entwässerung muss realisiert werden.

## **6.3 Ergebnisdiskussion**

Strategie 1 erfüllt alle Kriterien vollständig und belegt somit Rang 1 (400 Punkte). Sie bietet die strategisch optimalste Lösung und sollte als zukünftige Strategie angestrebt werden. Die Vorteile dieser Strategie liegen am frühen Neubau und der damit verbundenen frühzeitigen vollständigen Eigenverwertung des Klärschlammes.

---

An zweiter Stelle liegt Strategie 2 (265 Punkte). Hier liegt der größte Nachteil an der externen Entsorgung während der Übergangsphase, zudem steigen die Investitionskosten für einen späteren Neubau stärker an.

Die dritte Position belegt Strategie 4 (165 Punkte). Sie weist ein deutliches Risiko, aufgrund des Parallelbetriebs der Bestandsanlage auf, jedoch ist der Instandhaltungsaufwand im Vergleich zu Strategie 3 etwas geringer.

Strategie 3 liegt an vierter Stelle (135 Punkte), da auch hier ein hohes Entsorgungsrisiko in der Übergangsphase besteht und der Wartungsaufwand ebenfalls hoch ist.

Die letzte Position belegt Strategie 5 (120 Punkte). Dies liegt an der sehr hohen Marktabhängigkeit und der damit verbundenen Preissteigerung für externe Klärschlamm Entsorgung und dem Risiko keine 100 %-ige Entsorgungssicherheit zu gewährleisten, da die Schlammengen der MSE so hoch sind, dass davon auszugehen ist, dass ein externer Entsorger nicht ohne weiteres gefunden wird. Ein weiteres Problem stellt bei Strategie 5 die sehr hohe Anzahl an LKW pro Tag dar (25 - 35 LKW/d).

## 7 Zusammenfassung / Schlussbetrachtung

Im Rahmen der Studie wurden fünf Strategien der Entsorgungsmöglichkeit am Standort des Klärwerks Gut Großlappen technisch und monetär betrachtet.

Strategie 1 umfasst dabei den frühen Neubau einer KVA (2025) und Strategie 2 den späteren Neubau (2035), mit der Konsequenz die Bestandsanlage umfangreich sanieren zu müssen und Klärschlamm lange Jahre zusätzlich extern zu entsorgen.

Strategie 3 und 4 beinhalten ebenfalls den späten Neubau (2035), jedoch soll die Bestandsanlage auf Parallelbetrieb der beiden Linien umgerüstet werden, um möglichst früh (etwa 2023) den anfallenden Klärschlamm vollständig thermisch verwerten zu können. Die Bestandsanlage verfügt über zwei Verbrennungslinien, ist jedoch aktuell nicht in der Lage, beide Linien parallel zu betreiben. Dieser Zustand soll durch die Strategien 3 und 4 verändert werden.

Eine vollständige externe Entsorgung beschreibt Strategie 5. In diesem Fall wird die MSE zukünftig keinen Klärschlamm thermisch verwerten, sondern beauftragt einen externen Dienstleister mit der Verwertung des entwässerten Schlammes.

Ein wesentlicher Bestandteil der Strategien ist der Neubau einer KVA, ausgenommen Strategie 5. Für einen KVA-Neubau wurden vier beispielhafte Anlagenkonzepte entwickelt, die sich sowohl in der Anzahl der Verbrennungslinien als auch in der Güte der Rauchgasreinigung unterscheiden. Die genaue Konzipierung einer neuen KVA war nicht Aufgabe der Studie und erfolgt daher in der weiteren Planung.

Die neue KVA wurde so dimensioniert, dass sie in der Lage ist, die prognostizierten Klärschlämme von 35.500 Mg<sub>TR</sub>/a thermisch zu verwerten. Zudem stellt sie ein energieautarkes System dar und erfüllt alle festgelegten Planungsrandbedingungen.

Ein Bestandteil der neuen KVA ist der Pufferspeicher, um im Revisionsfall Klärschlamm zwischenspeichern zu können. Hierzu wurden die verschiedenen Bauarten (Silo oder Bunker) und die Speicherung von entwässertem und vollgetrocknetem Klärschlamm betrachtet und bewertet. Es zeigte sich, dass die Speicherung von entwässertem Klärschlamm in einem Bunker die optimalste Lösung darstellt.

Als weiteres soll der Pufferspeicher in Strategie 3 und 4 von der Bestandsanlage mitgenutzt werden, um so einen Parallelbetrieb der beiden Verbrennungslinien der Bestandsanlage zu realisieren. Dazu wurden Aufstellungs- und vereinfachte Anbindungskonzepte entwickelt.

Für Strategie 1 und 2 ist die Einrichtung einer Teilstromausschleusung vorzusehen, um während der Übergangsphase (geprägt vom Umgang mit der Bestandsanlage) 100 %-ige Entsorgungssicherheit zu erzielen. Hierfür wurden Kosten, die aufgewendet werden müssen ermittelt, um die zukünftige Notausschleusung (2016) zu ergänzen.

Für eine überschlägige Kostenermittlung, wurde eine Investitionskostenschätzung (Stand 2015) durchgeführt und mit Preissteigerungsfaktoren hinterlegt. Es wurden Kosten für die neue KVA (Szenario I, Szenario II), für einen Pufferspeicher (groß, klein) und eine Teil- bzw. Vollstromausschleusung (Strategie 5) ermittelt.

Im nächsten Schritt wurden die Betriebskosten für den Betrieb der beispielhaften Neuanlage, die Teil- bzw. Vollstromausschleusung und die Risikoabdeckung für den Parallelbetrieb der beiden Linien der Bestandsanlage abgeschätzt. Auch diese Kosten wurden mit Preissteigerungsfaktoren hinterlegt.

Die Jahreskosten, die sich aufgrund der strategischen Vorgaben und Preissteigerungsfaktoren jährlich ändern, ergeben sich aus den Betriebs- und Abschreibungskosten sowie dem Kapitaldienst.

Die Betrachtungen zeigen, dass Strategie 1 und 2 die niedrigsten mittleren Jahreskosten aufweisen. Aus diesem Grund wurde für diese Strategien der Barwert ermittelt und eine Sensitivitätsprüfung durchgeführt.

Das Ergebnis des monetären Vergleichs zeigte, dass Strategie 1 die kostengünstigste Lösung darstellt.

Um die Strategien miteinander zu vergleichen, wurde eine Bewertungsmatrix erstellt. Diese beinhaltet die Kriterien Entsorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und technische Umsetzbarkeit. Nach Vergabe der Wertungen zeigte sich, dass Strategie 1 alle Kriterien vollständig erfüllt und so das bevorzugte Maßnahmenpaket darstellt.

Zur technischen Umsetzung der Strategie 1 wird ein Investitionsvolumen von rd. 100 Mio. € brutto benötigt. Die Entsorgungskosten betragen je nach Szenario im Mittel (über 50 Jahre) zwischen

453 und 470 €/Mg<sub>TR</sub>

Eine Auswertung zur Festlegung, welches Szenario (ein- oder zweilinig) und welches Rauchgasreinigungskonzept umgesetzt werden sollte, wurde im Rahmen dieser Studie von Dr. Born - Dr. Ermel GmbH -Ingenieure - nicht gefordert.

Für die weitere Planung wird eine vertiefte Betrachtung der Machbarkeit und des Betriebes eines derart großen Schlamm-lagers empfohlen. Mit dem Ziel der 100 %-igen Schlamm-entsorgung durch die MSE und dem aktuell nicht zur Verfügung stehenden Entsorgungsverbund ergibt sich eine sehr große Menge zwischen zu speichernden Klärschlamms. Diese Konstellation unterscheidet sich von den zuletzt geplanten und gebauten Anlagen. Dort erfolgt die Zwischenspeicherung separat bei den anliefernden Partnern. Im Lager vor Ort fällt daher weniger Schlamm an, als im Fall der MSE. Unter Umständen kann das Ergebnis dieser Untersuchung dann auch Einfluss auf die Konzipierung der Anlage (1- oder mehrlinig) haben.

Weiterhin basiert die verfahrenstechnische Konzeption der Neu-KVA auf den vorhergehend dargestellten Planungsrandbedingungen und den im Rahmen der Projektbesprechungen getroffenen Annahmen bzw. Vorgaben. Für weiterführende Planungsaktivitäten ist bei einer Veränderung von einzelnen Planungsgrundlagen die gewählte Anlagenkonzeption anzupassen.

Mit der gewählten Anlagenkonzeption für die Neu-KVA am Standort Gut Großlappen, kann eine Klärschlamm-entsorgung auch in Zukunft entsorgungssicher und wirtschaftlich durchgeführt werden.

Eine entsprechende Weichenstellung in den Gremien der MSE für die Realisierung einer Neu-KVA bis zum Jahr 2025 als Beginn zur Aufnahme des Regelbetriebes ist anzustreben, um die ermittelten betrieblichen und wirtschaftlichen Vorteile der Strategie 1 nutzen zu können.

Der verbleibende Zeitraum von neun Jahren vom heutigen Zeitpunkt bis zum Jahre 2025 ist für eine Umsetzung der Maßnahme bei zeitnaher Entscheidungsfindung ausreichend bemessen.

Aufgestellt: Dr. Born - Ermel GmbH,  
Achim, den 28.12.2015 EG/es

Geprüft: Achim, den 28.12.2015 ED