



Kunde: Zweckverband Abfallverwertung Südhessen (ZAS)

Projekt: Machbarkeitsstudie Klärschlammbehandlungsanlage

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Autor  
Dr. Andrea Stooß, Bernd Neumann, Hauke Ketels,  
Sebastian Rattey, Sarah Bornholdt, Nina Peci

Datum  
29/10/2020

Adresse  
AFRY Deutschland GmbH  
Borsteler Chaussee 51  
22453 Hamburg

Kunde  
Zweckverband Abfallverwertung Südhessen (ZAS)

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Machbarkeitsstudie Klärschlammverwertung

# Erläuterungsbericht Vorplanung

## Inhalt

1	Einleitung .....	8
2	Grundlagenermittlung .....	10
2.1	Klärschlammengen und -qualitäten.....	10
2.2	Standortbeschreibung .....	11
	2.2.1 Standort 1: Zentralklärwerk (ZKW).....	12
	2.2.2 Standort 2: Müllheizkraftwerk (MHKW).....	13
2.3	Bewertungsmethodik .....	15
3	Anlagentechnologien und -bewertung .....	16
4	Vorplanung der Vorzugsvarianten .....	18
4.1	Klärschlammannahme (allgemein) .....	18
	4.1.1 Klärschlamm Lagerung .....	19
	4.1.2 Fördertechnik zwischen Klärschlammannahme und Trocknung .....	23
	4.1.3 Trocknung .....	25
	4.1.4 Brüdenkondensation .....	28
	4.1.5 Brüdenkondensataufbereitung .....	30
4.2	Vorplanung – Vorzugsvariante am ZKW .....	32
	4.2.1 Standortbedingungen.....	32
	4.2.2 Klärschlammannahme ZKW .....	33
	4.2.3 Fördertechnik zwischen KBA-Schlammannahme und ZKW-Schlammbehandlung .....	35
	4.2.4 Wirbelschichtfeuerung.....	35
4.3	Vorplanung – Vorzugsvariante MHKW .....	45
	4.3.1 Standortbedingungen.....	45
	4.3.2 Klärschlammannahme MHKW .....	47
	4.3.3 Wirbelschichtfeuerung.....	50
	4.3.4 Drehrohrofen (EuPhoRe-Verfahren).....	56
5	Gesetzliche Randbedingungen .....	64
5.1	Standort 1 (ZKW).....	65
5.2	Standort 2 (MHKW) .....	66
6	Bewertung der Vorzugsvarianten .....	67
6.1	Verkehrssituation .....	67
6.2	Phosphorrecycling .....	68
6.3	Energieeffizienz (R1-Faktor).....	70
7	Schlussfolgerungen und Ausblick .....	71

## Erläuterungsbericht Vorplanung

7.1	Schlussfolgerungen.....	71
7.2	Ausblick .....	74
8	Quellen .....	75

# Erläuterungsbericht Vorplanung

## Anhang

- A1 Grundfließbilder
- A2 Lagepläne
- A3 Aufstellungspläne
- A4 Verbrennungsrechnung
- A5 Energiebilanzen
- A6 Kostenschätzung
- A7 E-Verbraucherlisten
- A8 Verkehrsaufkommen
- A9 Diskussionspapier
- A10 Bewertungsmatrix
- A11 Aufstellungsvarianten
- A12 Abfallkessel Kapazitätserhöhung
- A13 Genehmigungsrechtliche Einschätzung
- A14 Rahmenterminplan

# Erläuterungsbericht Vorplanung

## Abbildungen und Tabellen

Abbildung 1: Lageplan des ZKW mit möglichem Baufeld für die Klärschlammbehandlung ..	13
Abbildung 2: Lageplan des MHKW mit möglichen Baufeldern für die Klärschlammbehandlung .....	14
Abbildung 3: Querschnitt Lagerbunker mit Annahmestelle (2).....	20
Abbildung 15: Brüdenkondensation Variante 1 .....	29
Abbildung 16: Brüdenkondensation Variante 2 .....	29
Abbildung 17: Brüdenkondensation Variante 3 .....	30
Abbildung 19: Klärschlammannahmekonzept ZKW .....	33
Abbildung 22: Aufstellungsplan mit der Ebene +0,00m und Ebene +8,25m .....	44
Abbildung 23: Verlauf der Fernwärmeleitung am Standort MHKW.....	45
Abbildung 24: Alternative Aufstellungsvariante der Klärschlammannahme mit den Silos auf der Schlacke-Insel .....	46
Abbildung 25: KS- Annahmekonzept MHKW .....	50
Abbildung 26: Schnittansicht Variante Wirbelschicht.....	54
Abbildung 27: Grundriss Variante Wirbelschicht.....	54
Abbildung 29: Größe des DRO abhängig von Rauchgasmenge des Abfallkessels .....	59
Abbildung 31: Schnittdarstellung des MHKWs mit Drehrohrofen .....	63
Abbildung 32: Grundriss der Aufstellungsvariante Drehrohrofen.....	63
Abbildung 41: Energieeffizienzfaktor (R1-Faktor) der Vorplanungsvarianten (CFF = Klimakorrektureffizienzfaktor).....	70
Tabelle 1: Betrachtete Klärschlammengenvarianten.....	8
Tabelle 2: Klärschlammengenvarianten nach Herkunft .....	10
Tabelle 3: Durchschnittliche Klärschlammzusammensetzung .....	11
Tabelle 4: Grundlegende Informationen zu den betrachteten Standorten, die im Rahmen der Machbarkeitsstudie von Interesse sind. ....	12
Tabelle 5: Grundlegende Informationen zu den Verbrennungslinien des MHKW. ....	15
Tabelle 6: Bewertungsmatrix der Anlagentechnologie und -bewertung am Standort ZKW..	17
Tabelle 7: Bewertungsmatrix der Anlagentechnologie und -bewertung am Standort MHKW	18
Tabelle 8: Auslegung Lagerbunker.....	20
Tabelle 9: Auslegung Lagersilos .....	22
Tabelle 10: Gegenüberstellung der Abluftvolumenströme und der benötigten Verbrennungsluft für die Wirbelschichtverbrennung.....	23
Tabelle 11: Auslegungsparameter für die Förderung zwischen Lagerung und Trocknung ...	25
Tabelle 12: Vergleich der Trocknersysteme .....	25
Tabelle 13: Auslegungsgrundlagen und Ergebnisse der Trocknungsberechnung .....	27
Tabelle 14: Mögliche Zusammensetzung der Brüdenkondensate aus einer Klärschlamm-trocknung. ....	31
Tabelle 15: Verbrauchsdaten der Brüdenkondensatreinigung .....	32
Tabelle 16 KS- Annahmekonzept ZKW .....	34
Tabelle 17: Eckdaten der Wirbelschichtfeuerung für die verschiedenen Varianten am ZKW. ....	38
Tabelle 18: Ergebnisse der Verbrennungsberechnung der WSF am Standort ZKW.....	40

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Tabelle 19: Betriebsmittelbedarf und Reststoffanfall für die beiden Varianten der WSF am Standort ZKW. ....	40
Tabelle 20: Emissionsgrenzwerte der 17. BImSchV (Bezogen auf das Abgasvolumen im Normzustand (Temperatur 273,15 K; Druck 101,3 kPa nach Abzug des Feuchtegehalts).....	41
Tabelle 21: KS- Annahmekonzept MHKW.....	48
Tabelle 22: Eckdaten der Wirbelschichtfeuerung für die verschiedenen Varianten am MHKW. ....	51
Tabelle 23: Ergebnisse der Verbrennungsberechnung der WSF am Standort MHKW .....	52
Tabelle 24: Betriebsmittelbedarf und Reststoffanfall für die Varianten der WSF am Standort MHKW.....	52
Tabelle 25: Gegenüberstellung der Emissionsgrenzwerte der 17. BImSchV und der genehmigten Grenzwerte der Bestandsanlage MHKW (Bezogen auf das Abgasvolumen im Normzustand (Temperatur 273,15 K; Druck 101,3 kPa nach Abzug des Feuchtegehalts).....	53
Tabelle 26: Zusammenstellung einiger technischer Daten des Drehrohrprozess als Vorschaltanlage. ....	57
Tabelle 27: Betriebsmittelbedarf und Reststoffanfall der DRO am Standort MHKW .....	60
Tabelle 28: Zusätzliches Verkehrsaufkommen am Standort ZKW.....	68
Tabelle 29: Zusätzliches Verkehrsaufkommen am Standort MHKW .....	68
Tabelle 30: Bewertungsmatrix der Vorplanungen .....	71

# Erläuterungsbericht Vorplanung

## Abkürzungsverzeichnis

AbfKlärV	Abfall-Klärschlammverordnung
AZB	Ausgangszustandsbericht
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BSK	Brandschutzkonzept
BVT	Beste verfügbare Technik
CCF	Klimakorrekturfaktor
DRO	Drehrohrofen
DüMV	Düngemittelverordnung
ECO	Economiser
FW	Fernwärme
GRZ	Grundflächenzahl
HD	Hochdruck
HMW	Halbstundenmittelwert
HOK	Herdofenkoks
HTC	Hydrothermale Carbonisierung
IED	Industrieemissionsdirektive
KBA	Klärschlammbehandlungsanlage
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
LK	Landkreis
MHKW	Müllheizkraftwerk
OS	Originalsubstanz
RG	Rauchgas
RGR	Rauchgasreinigung
RRA	Rauchgasreinigungsanlage
SCR	Selective Catalytic Reduction
SNCR	Selective Non Catalytic Reduction
TMW	Tagesmittelwert
TS	Trockensubstanz
UIW	Unterirdische Wirtschaft
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
WDK	Wasser-Dampf-Kreislauf
WSF	Wirbelschichtfeuerung
ZKW	Zentralklärwerk



# Erläuterungsbericht Vorplanung

## 1 Einleitung

Ziel dieser Machbarkeitsstudie ist eine technisch-wirtschaftliche Untersuchung über die Machbarkeit der Errichtung einer Klärschlammbehandlungsanlage im Raum Darmstadt für das Recycling von Phosphor aus den kommunalen Klärschlämmen der Region Südhessen.

Im Rahmen der Analyse und Bewertung technischer Anlagenkonzepte für die Klärschlammbehandlung bis hin zur Rückgewinnung von Phosphor erfolgte die Identifizierung und Vorplanung je einer Vorzugsvariante für die folgend genannten Standorte:

- Standort 1: Zentralklärwerk (ZKW) der ENTEGA Abwasserreinigung
- Standort 2: Müllheizkraftwerk (MHKW) des ZAS

Für die beiden Standort wurden die in Tabelle 1 dargestellten Mengenvarianten betrachtet.

*Tabelle 1: Betrachtete Klärschlammengenvarianten*

	<b>ZKW</b>	<b>MHKW</b>	<b>Mengen</b>
Variante 1	-	X	43.000 t/a
Variante 2	X	X	60.000 t/a
Variante 3	X	X	78.000 t/a

Für die Klärschlammbehandlung zur Rückgewinnung des Phosphors wurden im Rahmen dieser Studie die folgende Anlagentechnologien näher betrachtet:

- Mono-Klärschlammverbrennung ausgeführt als Wirbelschichtfeuerung (WSF). Die eigentliche Phosphorrückgewinnung erfolgt in einem nachgeschalteten Aufbereitungsverfahren.
- Thermische Mono-Klärschlammbehandlung ausgeführt als Drehrohrofen (DRO) und Nutzung des EuPhoRe-Verfahrens.
- Die Möglichkeit der Hydrothermalen Carbonisierung (HTC) wird anhand des HTCycle-Konzepts untersucht, da in diesem Phosphorprodukte aus Klärschlämmen erzeugt werden können.

Der Fokus der Machbarkeitsstudie wurde dabei auf die folgenden Punkte gelegt:

- Bewertung der technischen Machbarkeit an den jeweiligen Standorten.
- Identifizierung der Randbedingungen zur Integration der Verfahren in die bestehenden Standorte.
- Betrachtung genehmigungsrechtlicher Aspekte hinsichtlich des Genehmigungsverfahrens der Klärschlammbehandlungsanlage.
- Betrachtung von Investitions- und Behandlungskosten.
- Terminplanung des Projektablaufs unter Berücksichtigung von Fristen der gesetzlichen Regelungen insbesondere des Phosphorrecyclings.

Zur Bewertung und Identifikation einer Vorzugsvariante wurden diese betrachteten Anlagenkonzepte vergleichend gegenübergestellt und anhand vorab abgestimmter Bewertungskriterien verglichen.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Die Bearbeitung der Machbarkeitsstudie erfolgte in drei Phasen:

1. In der Grundlagenermittlung erfolgte die Zusammenstellung der Auslegungsgrundlagen, die Klärung standortspezifischer Rahmenbedingungen sowie die Identifizierung von Schnittstellen. Neben der Zusammenstellung aller standortspezifischen Informationen und Unterlagen erfolgte auch eine Standortbegehung zur Einschätzung der Standortsituation.
2. In der zweiten Phase wurden die verschiedenen Anlagentechnologien analysiert und bewertet. Als Ergebnis wurde ein Diskussionspapier anhand der folgenden Arbeitsschritte erstellt:
  - a. Auswertung der Unterlagen und Daten der Grundlagenermittlung.
  - b. Zusammenstellung und Festlegung der Auslegungsparameter.
  - c. Übersicht über die prinzipiell technischen und wirtschaftlich machbaren Varianten.
  - d. Entwicklung eines an den Standort abgestimmten Anlagenkonzept in enger Abstimmung mit dem Kunden.
  - e. Bewertung der möglichen Varianten, sowie Festlegung einer Vorzugsvariante je Standort.
3. In der dritten Phase erfolgte die Vorplanung der Vorzugsvarianten für jeden Standort. Im Rahmen der Vorplanung werden folgende Unterlagen ausgearbeitet:
  - a. Grobdimensionierung der Hauptanlagenkomponenten.
  - b. Erstellung von Energie- und Massenbilanzen.
  - c. Grobe Verfahrensbeschreibung.
  - d. Aufstellungsplanung unter Berücksichtigung bautechnischer Aspekte (Boden, UIW etc.) sowie der Standortlogistik.
  - e. Beschreibung der Schnittstellen für die Verfahrenstechnische Anbindung.
  - f. Prüfung der elektrotechnischen und leittechnischen Anbindung sowie Erstellung einer vorläufigen E-Verbraucherliste.
  - g. Erstellung einer Kostenschätzung zur Bewertung der Investitions- und Behandlungskosten.
  - h. Erstellung eines groben Rahmenterminplans für das Projekt Klärschlammbehandlungsanlage im Raum Darmstadt.

# Erläuterungsbericht Vorplanung

## 2 Grundlagenermittlung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Grundlagenermittlung in Kürze dargestellt.

### 2.1 Klärschlammengen und -qualitäten

Für die Machbarkeitsstudie werden 3 verschiedene Mengenvarianten zugrunde gelegt. Hintergrund ist, dass zum aktuellen Zeitpunkt noch keine Mengenvarianten festgelegt sind.

Für die 3 Mengenvarianten der Machbarkeitsstudien werden Mengen exemplarisch aus südheressischen Kläranlagen herangezogen. Diese Auswahl stellt noch keine Vorfestlegung von künftigen Partnerschaften dar.

*Tabelle 2: Klärschlammengen nach Herkunft*

	<b>Einheit</b>	<b>Variante 1</b>	<b>Variante 2</b>	<b>Variante 3</b>
<b>Jahresmengen</b>	tOS/a	<b>43.000</b>	<b>60.000</b>	<b>78.000</b>
<b>Jahresmengen (trocken)</b>	tTS/a	10.979	15.120	20.556

Die Klärschlammzusammensetzung, ist die für die Machbarkeitsstudie abgestimmte Inputqualität der Anlagen zur Verwertung (Tabelle 3). Diese wurde aus Analysedaten der Klärschlämme aus den verschiedenen Kläranlagen Südhessens abgeleitet. Da die genauen Klärschlammengen noch nicht fixiert sind und somit auch nicht definiert ist aus welchen Kläranlagen die Klärschlamm kommen werden, wird für diese Machbarkeitsstudie eine durchschnittliche Klärschlammzusammensetzung angesetzt. Die Abweichung der Varianten zur durchschnittlichen Klärschlammzusammensetzung liegt im Bereich von wenigen %-Punkten. Für den Zweck der Studie ist diese Genauigkeit ausreichend.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Tabelle 3: Durchschnittliche Klärschlammzusammensetzung

Klärschlamm	Einheit	Klärschlammzusammensetzung	
		roh	TS
TS-Gehalt	%	25,0%	100,0%
Wasser	%	75,0%	
Asche	%	10,00%	40,0%
<b>C</b>			
C	%	7,50%	30,00%
<b>H</b>			
H	%	1,18%	4,70%
<b>O</b>			
O	%	5,05%	20,18%
<b>S</b>			
S	%	0,23%	0,90%
<b>N</b>			
N	%	1,03%	4,10%
<b>Cl</b>			
Cl	%	0,03%	0,10%
<b>F</b>			
F	%	0,01%	0,02%
Summe		100,00%	100,00%
<b>Aluminium (Al)</b>			
Aluminium (Al)	mg/kg	k.A.	k.A.
<b>Antimon (Sb)</b>			
Antimon (Sb)	mg/kg	0,48	1,90
<b>Arsen (As)</b>			
Arsen (As)	mg/kg	2,13	8,50
<b>Blei (Pb)</b>			
Blei (Pb)	mg/kg	11,35	45,40
<b>Cadmium (Cd)</b>			
Cadmium (Cd)	mg/kg	0,25	1,00
<b>Chrom (Cr)</b>			
Chrom (Cr)	mg/kg	8,83	35,30
<b>Kobalt (Co)</b>			
Kobalt (Co)	mg/kg	1,23	4,90
<b>Kupfer (Cu)</b>			
Kupfer (Cu)	mg/kg	128,70	514,80
<b>Mangan (Mn)</b>			
Mangan (Mn)	mg/kg	141,38	565,50
<b>Molybdän (Mo)</b>			
Molybdän (Mo)	mg/kg	0,00	0,00
<b>Nickel (Ni)</b>			
Nickel (Ni)	mg/kg	5,85	23,40
<b>Quecksilber (Hg)</b>			
Quecksilber (Hg)	mg/kg	0,18	0,70
<b>Selen (Se)</b>			
Selen (Se)	mg/kg	0,28	1,10
<b>Thallium (Tl)</b>			
Thallium (Tl)	mg/kg	0,03	0,10
<b>Vanadium (V)</b>			
Vanadium (V)	mg/kg	5,23	20,90
<b>Zink (Zn)</b>			
Zink (Zn)	mg/kg	318,13	1.272,50
<b>Zinn (Sn)</b>			
Zinn (Sn)	mg/kg	6,15	24,60
<b>Phosphor (P2O5)</b>			
Phosphor (P2O5)	mg/kg	18.750,00	75.000,00
<b>Heizwert</b>			
Heizwert		roh	TS
Analysewerte	MJ/kg	1,17	12,00
Dulong	MJ/kg	1,40	12,91
Boie	MJ/kg	1,43	13,03

## 2.2 Standortbeschreibung

Im Rahmen dieser Studie wird die Machbarkeit der Errichtung einer Klärschlammbehandlung an zwei verschiedenen Standorten betrachtet. Grundlegende Informationen zu den beiden Standorten, das Zentralklärwerk (ZKW) der ENTEGA Abwasserreinigung und das Müllheizkraftwerk (MHKW) des ZAS, sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Tabelle 4: Grundlegende Informationen zu den betrachteten Standorten, die im Rahmen der Machbarkeitsstudie von Interesse sind.

	<b>Standort 1: ZKW</b>	<b>Standort 2: MHKW</b>
Anlieferzeiten	Mo-Fr 7:00 bis 16:00	Mo-Fr 6:00 bis 16:00
Klärschlamm Lagerung	Silos bzw. Bunker	Silos
Pufferzeiten	5 bzw. 10 Tage	5 Tage
Anlieferungsmengen	Gesamtmenge – 10.500 t/a	Gesamtmenge
Vorhandene Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Waage (kann von jedem PC des ZKW bedient werden)</li> <li>– Betriebsgebäude inkl. Sozialräumen (Kapazitätsprüfung erforderlich)</li> <li>– Anschluss an Stromnetz</li> <li>– FW-Anschluss: bestehende Ringleitung am Ende der Kapazität; direkte Anbindung an FW-Netz (80°C) möglich</li> <li>– Möglichkeiten der Abwassereinleitung gegeben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Waage inkl. Personal</li> <li>– Betriebsgebäude inkl. Sozialräumen</li> <li>– Anschluss an FW- und Stromnetz</li> <li>– Abluftsystem Müllbunker</li> <li>– Abluftreinigungssystem</li> <li>– Leitsystem</li> <li>– Stromversorgung</li> </ul>
Logistische Anbindung	Zufahrt über Gräfenhäuser Straße und Mainzer Straße	Zufahrt über Haupttor / Waage (Otto-Röhm-Straße)

### 2.2.1 Standort 1: Zentralklärwerk (ZKW)

Die Randbedingungen am Standort des Zentralklärwerk (ZKW) der ENTEGA Abwasserreinigung stellen sich wie folgt dar:

- Aufgrund der großzügigen Platzverhältnisse am Standort ist eine Errichtung einer Klärschlammbehandlungsanlage in jedem Fall möglich. Als Baufeld bietet sich die freie Fläche neben der biologischen Klärstufe an (Abbildung 1).
- Zudem gibt es eine Zwischenlagerfläche für Klärschlamm (Eigenmengen) für die ggf. die Genehmigung für die Lagerung von Fremdschlämmen erweitert werden kann. In diesem Fall ist voraussichtlich dann eine Einhausung inkl. Abluffterfassung zu ergänzen.
- Weitere nutzbare Flächen sind im Gebäude der Schlammbehandlung vorhanden. Hier steht der Bereich der ehemaligen Klärschlamm-trocknung und der Bereich der Trockenschlamm-silos ggf. zur Verfügung.
- Ein weiterer Vorteil ist die bestehende Möglichkeit der Abwassereinleitung ins Klärwerk. Hier ist die Kapazität des Klärwerks bei der Planung zu berücksichtigen.
- Anders als am Standort des MHKW ist keine Feuerungsanlage mit nachgeschalteter Abgasreinigung sowie Energieerzeugung am Standort vorhanden.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

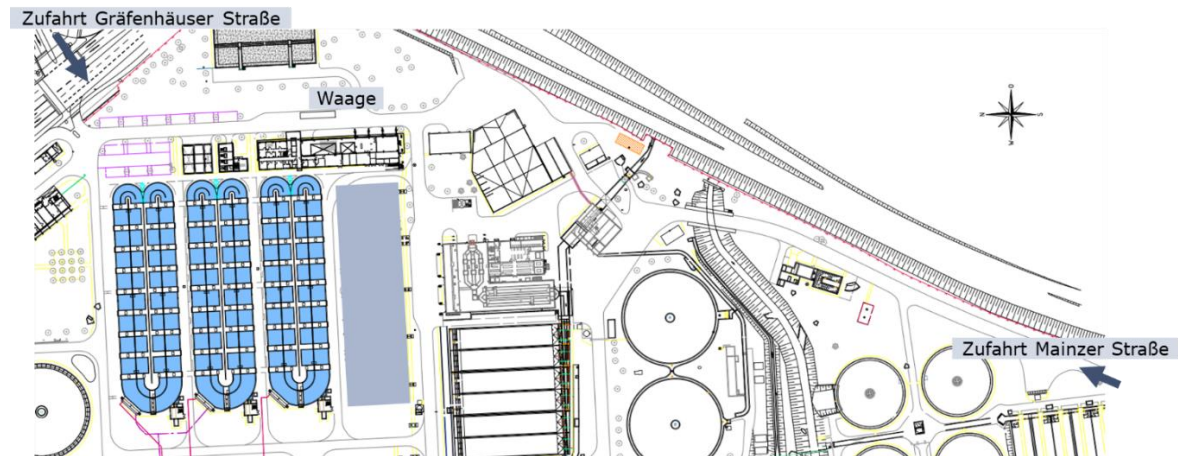


Abbildung 1: Lageplan des ZKW mit möglichem Baufeld für die Klärschlammbehandlung

### Bestandsangaben zur Elektro- und Leittechnik

Nach erster Einschätzung ist ausreichend Reserve zur Anbindung neuer Elektrotechnik und für die Aufstellung von Schaltschränken vorhanden. Bei Bedarf können Räume im Bestand zur Verfügung gestellt werden.

Am Standort sind die folgenden Spannungsebenen vorhanden:

- 20 kV
- 0,4 kV

Am Standort des Klärwerks wird die Leittechnik WinCC-System mit unterlagerten S7-Steuerungen genutzt. Hier gibt es einen einsträngigen Ring, an den die S7-Steuerungen angeschlossen werden. Es ist ein klassischer Industriestandard vorhanden und es werden keine erhöhten Projektstandards gefordert.

### 2.2.2 Standort 2: Müllheizkraftwerk (MHKW)

Die Randbedingungen am Standort des Müllheizkraftwerk des ZAS stellen sich wie folgt dar:

- In der Planung wird ein Neubau auf bzw. über Verkehrsflächen und in Bestandsgebäuden angestrebt. Als nutzbar wurden folgende Flächen identifiziert (Abbildung 2):
  - Auf dem Parkplatz bzw. anstelle der derzeit in der Planung befindlichen neuen Lagerhalle.
  - Lagerraum im Bereich der ehemaligen Müllanlieferungskontrolle (Sperrmüllbunker).
  - Im Kesselhaus bei Stilllegung und Rückbau einer der drei Abfallverbrennungslinien.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

- Da Feuerung, Abgasreinigung sowie Energieerzeugung vor Ort vorhanden sind, wird erwartet, dass sich ein hohes Synergiepotenzial zwischen der vorhandenen Abfallverbrennungsanlage und der geplanten Klärschlammbehandlungsanlage ergeben. In Tabelle 5 sind wesentliche Daten zu den Verbrennungslinien des MHKW zusammengestellt.
- Zudem ist zu erwarten, dass aufgrund des Baujahres der Verbrennungslinien 1 und 2 in den nächsten 5 bis 10 Jahren umfangreiche Sanierungen dieser beiden Linien erforderlich werden.
- Bezüglich der Baugrundverhältnisse ist darauf hinzuweisen, dass stellenweise ungünstige Baugrundverhältnisse bestehen, da mächtige Schichtpakete künstlicher Auffüllungen und Lehme am Standort vorliegen. Diese Erkenntnisse entstammen dem Baugrundgutachten vom 15.10.2012. Eine Pfahlgründung scheint somit in bestimmten Bereichen am Standort erforderlich zu sein. Nach Festlegung eines potenziellen Baufeldes ist eine Überprüfung der Gründungsverfahren im Rahmen einer vertiefenden Planung sinnvoll.

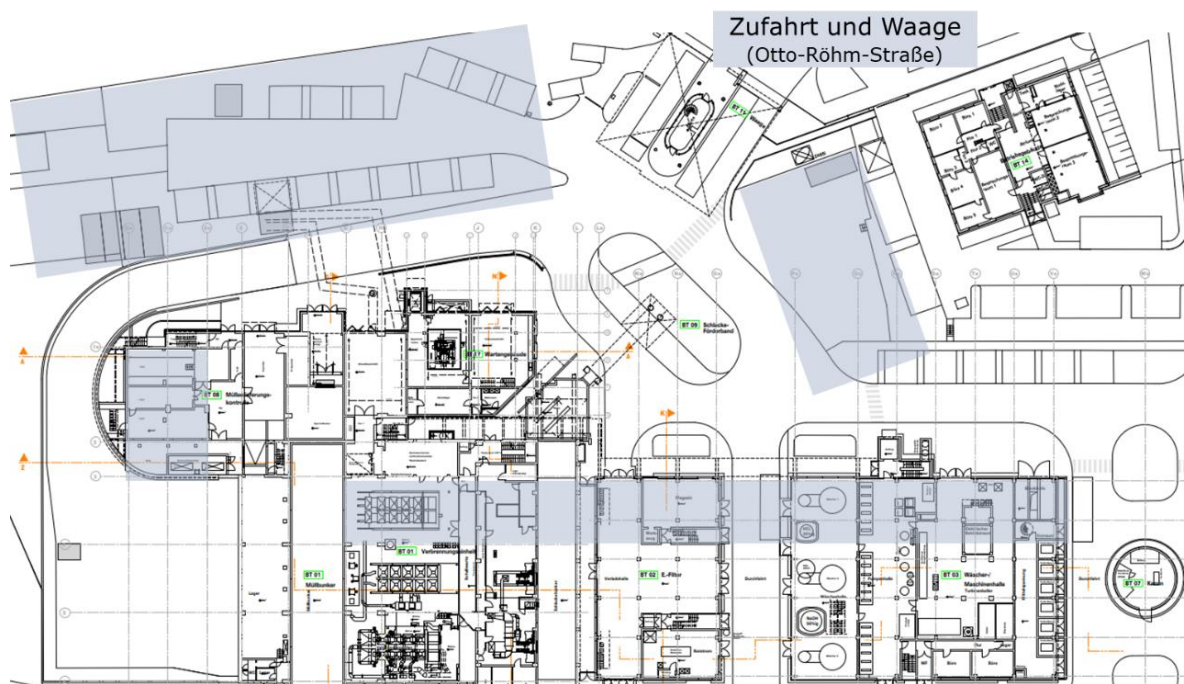


Abbildung 2: Lageplan des MHKW mit möglichen Baufeldern für die Klärschlammbehandlung

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Tabelle 5: Grundlegende Informationen zu den Verbrennungslinien des MHKW.

	Einheit	Kessel 1	Kessel 2	Kessel 3
Baujahr		1989	1990	1998
Abfallkapazität	t/h	9,7	7,2	11,3
Dampfparameter	°C/bar(a)	350/41	350/41	350/41
Dampfmenge (100%)	t/h	29,0	21,0	34,0
Rauchgasmenge (Kesselaustritt)*	Nm <sup>3</sup> /h	60.000	43.000	70.000
Feuerraumtemperatur	°C	1.000	980	1.000
Verweilzeit 850 °C	s	0,4	0,3	2
Temperatur hinter Eco	°C	220-260	240-270	240-260
Speisewassertemperatur	°C	123	123	123

### Bestandsangaben zur Elektro- und Leittechnik

Im Bereich der Bestands-Elektrotechnik sind die Reserven zur Anbindung weiterer Elektrotechnik sehr begrenzt vorhanden. Dies gilt sowohl für den energetischen, als auch räumlichen Bereich.

Zudem sind für die Elektro- und Leittechnik neue Räumlichkeiten (inkl. Notwarte) und Prozessräume wie z.B. für eine Dampfturbine erforderlich.

Am Standort sind folgende Spannungsebenen vorhanden:

- 20 kV
- 0,7 kV
- 0,4 kV

Die Leittechnik des MHKWs basiert auf dem ABB-System AC450. Eine Umstellung auf ABB Melody Kraftwerksleitsystem ist in Planung bzw. teilweise (Turbine 1) bereits erfolgt. Es gibt betreiberangepasste Ausführungen in Hard- und Software. Diese ist auch bei der Neuanlage anzuwenden. Für die Projektstandards gilt Kraftwerksniveau ohne betreiberspezifische Anforderungen.

### 2.3 Bewertungsmethodik

Für die Bewertung der Anlagentechnologien sowie der Vorplanungsvarianten und zur Unterstützung der Entscheidungsfindung wird bereits im Rahmen der Grundlagenermittlung eine Bewertungsmatrix erstellt.

- Hierzu werden die Oberkriterien mit zugehörigen Unterkriterien definiert und zwischen AFRY und ZAS abgestimmt.
- Die Gewichtung der Kriterien erfolgt anhand der Interessenschwerpunkte des ZAS.
- Für die detaillierte Bewertung wird ein Punktsystem erstellt, in dem die Punktevergabe definiert wird.



## Erläuterungsbericht Vorplanung

Für die Bewertungsmatrix wurden im Rahmen der Grundlagenermittlung die folgenden Ober- und Unterkriterien definiert.

- Gesetzliche Randbedingungen
  - Genehmigungsfähigkeit / Genehmigungsrisiko
  - P-Recycling der Produkte nach AbfKlärV, Berücksichtigung der Fristen
- Technik / technischen Ausrüstung
  - Technologiereife
  - Komplexität der Anlage
  - Integrierbarkeit in die Standorte (Hauptmedienanbindungen, Flächenbedarf)
  - Verwertung / Entsorgung der Reststoffe (ggf. direkte Verwertung, Deponierung)
- Betrieb
  - Betriebssicherheit (Ausfall-, Revisionszeiten / Überwachungsaufwand)
  - Zuwegungen / Logistik
  - Einfluss auf Bestandsanlage
  - Personalkonzept / zusätzlicher Personalaufwand
- Ökonomie
  - Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (statische Berechnung erfolgt erst in der Vorplanung der Vorzugsvariante)
  - Umsetzungszeitraum (Vorplanung bis Übergabe der Anlage)
- Ökologie
  - energetische Betrachtung
  - mweltrelevante Emissionen

### 3 Anlagentechnologien und -bewertung

Ziel der Betrachtung verschiedener Anlagentechnologien und deren Bewertung ist es, die Möglichkeiten der Klärschlammbehandlung mit dem Fokus auf der Rückgewinnung des Phosphors systematisch zu untersuchen und unter Berücksichtigung der gegebenen Standortverhältnisse des ZAS ein geeignetes Verfahren zu identifizieren bzw. aufgrund der Randbedingungen ungeeignete Verfahren begründet auszuschließen. Die Ergebnisse dieser systematischen Betrachtung sind in einem separaten Diskussionspapier zusammengestellt worden (Anhang A9). In diesem werden die Verfahren beschrieben und hinsichtlich der oben definierten Kriterien bewertet. Das Ergebnis der Bewertung wird anhand der Bewertungsmatrix (Tabelle 6 und Tabelle 7) präsentiert. Die vollständige Bewertungsmatrix ist ebenfalls in Anhang A9 beigefügt. Die Bewertung der

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Anlagentechnologien erfolgt hierbei jeweils für einen Standort. In der Bewertung wird jeweils die Klärschlammbehandlung bis hin zum Phosphorrecyclingprodukt betrachtet. Dies bedeutet, dass für die Wirbelschichtfeuerung auch die Weiteraufbereitung der Aschen in die Bewertung mit einfließt.

Tabelle 6: Bewertungsmatrix der Anlagentechnologie und -bewertung am Standort ZKW.

Standort ZKW	HTCycle am Standort ZKW	DRO - autarke Anlage am Standort ZKW	WSF am Standort ZKW + separate Rückgewinnung
Gesetzliche Randbedingungen	37%	40%	70%
Technik / technischen Ausrüstung	35%	54%	60%
Betrieb	38%	55%	57%
Ökonomie	46%	46%	42%
Ökologie	24%	30%	42%
<b>Gesamt</b>	<b>38%</b>	<b>47%</b>	<b>53%</b>

Für den Standort ZKW zeigt das Ergebnis der Bewertung, dass die Wirbelschichtverbrennung an diesem Standort am höchsten bewertet wird. Insbesondere der Stand der Technik, umfangreiche Betriebserfahrungen in großtechnischen Anlagen sowie kalkulierbare Behandlungskosten führen dazu, dass dieses Verfahren die höchste Bewertung erhält.

Die geringe bzw. nicht vorhandene Betriebserfahrung mit großtechnischen Anlagen des HTCycle-Konzepts und der autarken Drehrohranlage führen zu einer niedrigeren Bewertung dieser Verfahren.

Für den Standort MHKW sind sowohl die Klärschlammbehandlung in einem Drehrohrfen, welches einem Abfallkessel vorgeschaltet ist, als auch die Substitution einer Abfallverbrennungslinie durch eine Mono-Klärschlammverbrennung in Form einer Wirbelschichtfeuerung interessant. Die Variante einer zusätzlichen Abfallbehandlungsanlage am Standort wird aufgrund der sehr begrenzten Platzverhältnisse, als nur bedingt sinnvoll erachtet. Zudem wird, erwartet, dass eine zusätzliche Verbrennungslinie am Standort zu Protesten in der Öffentlichkeit führen könnte, da der Standort sich innerhalb des Stadtgebiets befindet.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Tabelle 7: Bewertungsmatrix der Anlagentechnologie und -bewertung am Standort MHKW

Standort MHKW	DRO-Vorschaltanlage am Standort MHKW	WSF Substitution am Standort MHKW + separate Rückgewinnung	WSF zusätzliche Linie am Standort MHKW + separate Rückgewinnung
Gesetzliche Randbedingungen	73%	70%	57%
Technik / technischen Ausrüstung	59%	61%	57%
Betrieb	62%	69%	57%
Ökonomie	67%	39%	42%
Ökologie	58%	60%	42%
<b>Gesamt</b>	<b>64%</b>	<b>56%</b>	<b>50%</b>

## 4 Vorplanung der Vorzugsvarianten

Im Rahmen der Vorplanungsphase werden die folgenden drei Vorzugsvarianten betrachtet:

- Standort ZKW: Vorplanung einer Wirbelschichtfeuerung
- Standort MHKW: Vorplanung eines Drehrohrofens als Vorschaltanlage sowie
- Standort MHKW: zusätzliche Vorplanung einer Wirbelschichtfeuerung

### 4.1 Klärschlammannahme (allgemein)

Die Klärschlammannahme und Lagerung besteht aus einem Annahmehbereich und einem Klärschlamm-Lager und ist für die betrachteten Vorzugsvarianten ähnlich.

Die Klärschlammannahme wird für beide, potentiellen Standorte untersucht, wobei die drei Mengenvarianten an vorentwässerten Klärschlamm-mengen berücksichtigt werden. Die Klärschlammannahme besteht aus

- Schlamm-Annahme und Lagerung
- Schlamm-trocknung (nur bei der Wirbelschichtfeuerung)
- Brüdenkondensation (nur bei der Wirbelschichtfeuerung)
- Brüdenkondensataufbereitung (nur bei der Wirbelschichtfeuerung)

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Die Anlieferung der entwässerten Klärschlämme erfolgt mittels LKW. Für die Auslegung der Klärschlammannahme wird die Anzahl der benötigten Annahmestellen, der durchschnittliche tägliche Lieferverkehr sowie benötigtes Lagervolumen ermittelt.

### 4.1.1 Klärschlamm Lagerung

Die Lagerung von entwässerten Klärschlämmen erfolgt in Lagersilos oder in Bunkern. Dabei ist zu beachten, dass mit einer gewissen Methanbildung durch noch nicht vollständig ausgefaulte Schlämme zu rechnen ist. Im Gegensatz zu einer Silolagerung bietet ein Klärschlamm bunker mit Krananlage die Möglichkeit, durch das Mischen der Klärschlämme unterschiedlicher Zusammensetzung zu homogenisieren. Dadurch können Schwankungen im Prozessinput reduziert werden. Durch die Annahme von Klärschlämmen aus einer Vielzahl von Kläranlagen sind Schwankungen in den Zusammensetzungen zu erwarten. Ist keine gleichmäßige Zusammensetzung der angelieferten Klärschlämme zu erwarten, wird der Einsatz eines Bunkers mit automatisierter Krananlage empfohlen. Für die Technologie des Drehrohrens (EuPhoRe-Verfahren) und der Wirbelschichtfeuerung ist eine solche Homogenität nicht unbedingt erforderlich. Die Entscheidung für einen Bunker oder Silos wird häufig durch die Standortbedingungen (zur Verfügung stehender Platz, Bodenbeschaffenheit) getroffen.

#### Bunker

Ein Klärschlamm bunker besteht in der Regel aus einem Annahme- und einem Stapelbereich. Über separate Abkippstellen werden die Klärschlämme im Annahmebereich in den Abkippbunker abgekippt. Die angelieferten Klärschlämme rutschen über Schurren in den Abkippbunker. Über einen bzw. zwei Automatikkräne kann der Schlamm vom Annahmebereich in den Stapelbereich umgelagert und gemischt werden. Aus dem Stapelbunker wirft der Automatikkran den Klärschlamm in einen Aufgabetrichter. Der Klärschlamm wird über Gleitrahmen sowie Schlamm pumpen der Behandlungsanlage (z.B. Trockner oder WSK) direkt zugeführt. Bei einer Bunkervariante ist zu beachten, dass sich durch die offene Lagerung das umzuwälzende Luftvolumen erheblich erhöht, welches erforderlich ist, um Geruchsemissionen und Methanansammlungen zu vermeiden.

Anders als bei einer Silolagerung, bei der die Silos für eine Lagerzeit von etwa 5 Tagen dimensioniert werden, wird das Bunkervolumen für eine Lagerzeit von etwa 10 Tagen ausgelegt. Dies hat den Vorteil, dass Schwankungen in der Anlieferung besser ausgeglichen werden bzw. abgepuffert werden können.

In Tabelle 8 ist die Lagerbunkerauslegung für die unterschiedlichen Varianten an Klärschlamm aufkommen dargestellt. In Abbildung 3 ist beispielhaft der mögliche Querschnitt eines Lagerbunkers inkl. der Annahmestellen skizziert.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Tabelle 8: Auslegung Lagerbunker

	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Umzuschlagende Menge Fremdschlamm (gesamt)	tOS/a	43.000	60.000	78.000
Durchsatz bei 7.500 Betriebsstunden	tOS/h	5,73	8,00	10,40
Nutzvolumen Annahmebehälter, mind.	m <sup>3</sup>	40	40	40
Förderleistung Schlammtransport zum Lagerbunker	m <sup>3</sup> /h	60	60	60
Mindestvorhaltezeit im Bunker	d	10	10	10
Benötigtes Stapelvolumen	m <sup>3</sup>	1375	1920	2496
Querschnitt Bunker	m x m	30 x 9,5	30 x 11,5	30 x 13,5
Stapelhöhe	m	9	9	9
Zur Verfügung stehendes Stapelvolumen nach Querschnittsfläche (bezogen auf 9m Stapelhöhe)	m <sup>3</sup>	1476	2016	2556

Aus den aufgeführten Querschnitten geht hervor, dass die Klärschlamm Lagerung in Bunkern einen großen Platzbedarf aufweist und von daher, vor allem für den Standort am MHKW, keine geeignete Option ist.

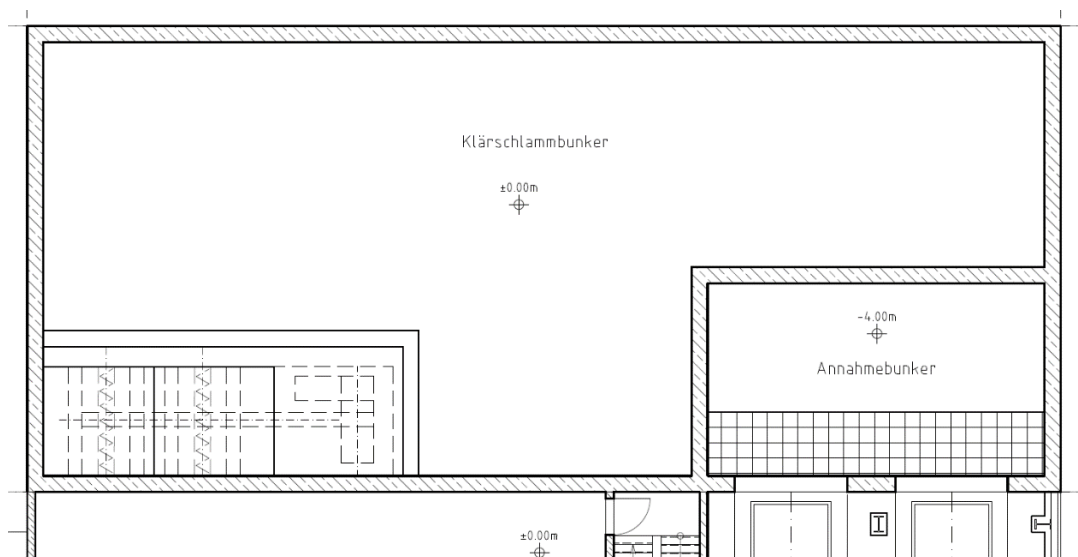


Abbildung 3: Querschnitt Lagerbunker mit Annahmestelle (2)

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Ein weiterer Aspekt, der zu beachten ist, ist die benötigte Abluftfassung und das Ablufthandling (zus. Bunkerstillstandsentslüftung) für den Lagerbereich. Alle Anlagen in denen Klärschlämme gelagert oder behandelt werden unterliegen dem Risiko der Bildung von explosionsfähigen Gemischen aus Methan und Luft. Daher sind Abluftanlagen zur Erfassung und dem sicheren Abtransport dieser Abluft erforderlich.

Folgende min. Luftwechselraten sind nach VGB M 116 vorgeschrieben:

- Normalbetrieb: 2-facher Luftwechsel
- Bei 20% UEG (Untere Explosionsgrenze): 6-facher Luftwechsel

Die Bezugsgrößen sind das Leervolumen der abgesaugten Bereiche (Erfahrungswerte an anderen Anlagen haben ergeben, dass es empfehlenswert ist, im Normalbetrieb einen 3-fachen Luftwechsel und bei 20% UEG einen 10-fachen Luftwechsel anzusetzen). Der Normalbetrieb ist so definiert, dass kontinuierlich die Abluft aus den Bereichen mit beispielsweise einem 2-fachen Luftwechsel abgesaugt wird. Wird trotz der Absaugung im Normalbetrieb ein Grenzwert von 20 %UEG erreicht, ist der Luftwechsel auf den 6-fachen Wert anzuheben oder ein zusätzliches Notfallgebläse mit einer Auslegung auf den 6-fachen Luftwechsel ist zusätzlich zu installieren. Nach Unterschreitung des UEG wird wieder auf den Normalbetrieb umgestellt. Im Bereich der Bunkervarianten fallen die erforderlichen Anlagen deutlich größer aus (Faktor ca. 2), als die Abluftanlagen für die Annahmesilos, da der notwendige Verfah- und Wartungsraum des Kranes innerhalb des Bunkers in etwa der Größe des netto nutzbaren Stapelvolumens entspricht. Gemäß Vorgabe der 17.BImSchV ist ein Bunker einer Abluftanlage für den Anlagenstillstand auszurüsten. Es müssen daher Biofilter bzw. Aktivkohlefilter vorgesehen werden, die neben den zusätzlichen Investitionskosten auch weitere Wartungskosten verursachen. Das Bio-/Aktivkohlefilter ist für den Normalbetrieb (2-facher Luftwechsel) auszulegen.

### Silos

Eine Alternative zu den Bunkern ist eine Lagerung des Klärschlammes in Silos. Die Siloanlage besteht aus Annahmebehältern und Lagersilos. Die Anlieferung erfolgt wie bei einem Klärschlamm-Bunker über separate Abkipfstellen in einen Annahmebehälter. Aus diesem wird der Klärschlamm über Pumpen in die geschlossenen Silos gefördert und dort für den Prozess vorgehalten. Der Klärschlamm aus dem Klärschlamm-Silo wird durch geschlossene Förderorgane der Behandlungsanlage zugeführt.

Silos haben einen geringeren Platzbedarf und bauen in die Höhe, während bei Verwendung eines Bunkers in der Regel in die Tiefe gebaut wird.

In Tabelle 9 ist die Silo-Auslegung für die drei Varianten an Klärschlammaufkommen aufgezeigt. Die Silos wurden für eine Mindestvorhaltezeit von 5 Tagen ausgelegt. Falls eine höhere Vorhaltezeit gewünscht ist, kann die Höhe der Silos entsprechend angepasst werden.

Der Klärschlamm wird aus den Annahmebehältern in die Lagersilos gefördert. Die Lagerung der Klärschlämme erfolgt in Stahlsilos mit Flachboden. Im Flachboden sind Austragsorgane wie Gleitrahmen, Schubboden und Austragschnecken integriert. Über diese wird der Klärschlamm aus dem Silo ausgetragen und der Fördertechnik zur Trocknung zugeführt. Beispiele für Silo, Annahmebehälter und Förderorgane. Nachteile einer Silolagerung ist der geringere Lagerzeitraum, der lediglich 5 statt 10 Tage beträgt, sowie die fehlende Möglichkeit den Klärschlamm vor Aufgabe in die Trockner bzw. in die Wirbelschichtfeuerung sinnvoll zu mischen.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Prinzipiell ist es möglich Lagersilos mit beliebigem Durchmesser zu bauen. Bis zu einem Durchmesser von 5 m ist eine Fertigung des Silos beim Lieferanten möglich. Ab 5 m ist das Silo vor Ort modular zusammenzubauen. Einige Lieferanten geben zudem 8 m als maximal üblichen Durchmesser an. Daher wird ein Durchmesser von 8 m als Auslegungsgrundlage festgelegt.

Tabelle 9: Auslegung Lagersilos

	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Umzuschlagende Menge Fremdschlamm (gesamt)	tOS/a	43.000	60.000	78.000
Durchsatz bei 7.500 Betriebsstunden	tOS/h	5,73	8,00	10,40
Nutzvolumen Annahmebehälter, mind.	m <sup>3</sup>	40	40	40
Förderleistung Schlammtransport zum Stapelsilo	m <sup>3</sup> /h	60	60	60
Mindestvorhaltezeit im Stapelsilo	d	5	5	5
Anzahl Silos	Stück	1	2	2
Erforderliches Nutzvolumen je Stapelsilo	m <sup>3</sup>	688	480	624
Durchmesser	m	8	8	8
Höhe über Siloboden	m	19	15	18

### Ablufferfassung und Behandlung

Die Abluft aus Bunker bzw. Silos und dem eingehausten Annahmehereich ist durch eine Abluftabsaugung zu erfassen und zu behandeln, bevor diese an die Umgebung abgegeben werden kann. Zu beachten ist dabei, dass das Abluftvolumen bei einer Bunkerlagerung deutlich größer ist, als bei Lagersilos (siehe Tabelle 10).

- Am Standort des ZKW sind hierzu Abluftbehandlungsanlagen in Form von Bio- oder Aktivkohlefilter zu errichten. Am Standort ist ein Biofilter vorhanden, dessen Kapazität nicht vollständig ausgenutzt wird. Auf Basis der Leistung der nicht genutzten Abluftgebläse können vermutlich etwa 24.000 m<sup>3</sup>/h (bei einer Druckdifferenz von 33 mbar behandelt werden. Die Abluftleitungen und Gebläse sollten allerdings erneuert werden.
- Am Standort des MHKWs kann die Abluft als Verbrennungsluft in die Verbrennungslinien oder ggf. in den Abfallbunker abgegeben werden. Hierbei ist zu prüfen, inwieweit diese zusätzlichen Abluftströme vom bestehenden Bunkerablufterfassungssystem aufgenommen werden können.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

*Tabelle 10: Gegenüberstellung der Abluftvolumenströme und der benötigten Verbrennungsluft für die Wirbelschichtverbrennung.*

	Einheit	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
		Silo	Bunker	Silo	Bunker	Silo	Bunker
Abluft (Normalbetrieb)	Nm <sup>3</sup> /h	7.950	15.900	8.750	18.140	9.590	20.380
Anlieferhalle	Nm <sup>3</sup> /h	5.790	5.790	5.790	5.790	5.790	5.790
Annahmebehälter / -bunker	Nm <sup>3</sup> /h	150	150	150	150	150	150
Lagersilo / Stapelbunker	Nm <sup>3</sup> /h	1.270	9.220	1.770	11.160	2.310	13.100
Brüdenabluft (pro Trockner)	m <sup>3</sup> /h	370	370	520	520	670	670
<hr/>							
Abluft (Notentlüftung)	Nm <sup>3</sup> /h	21.632	45.470	23.140	51.290	24.740	57.120
Anlieferhalle	Nm <sup>3</sup> /h	17.380	17.380	17.380	17.380	17.380	17.380
Annahmebehälter / -bunker	Nm <sup>3</sup> /h	440	440	440	440	440	440
Lagersilo / Stapelbunker	Nm <sup>3</sup> /h	3.812	27.650	5.320	33.470	6.920	39.300
<hr/>							
Benötigte Verbrennungsluft der WSF	Nm <sup>3</sup> /h	6.270		8.770		11.480	

### Störstoffabscheidung

Zur Abtrennung von Störstoffen sind den Klärschlammumpfen Störstoffabscheider nachgeschaltet, die im Klärschlamm enthaltene Störstoffe, wie Steine, Holz und Metallstücke vor Eintrag in die Silos bzw. Trockner oder Wirbelschichtfeuerung abtrennen.

Zudem sind die Annahmestellen mit einer Absturzsicherung in Form eines Gitterrostes ausgestattet. Sehr grobe Störstoffe bleiben bereits vor dem Annahmehunker an diesem Gitterrost hängen.

#### 4.1.2 Fördertechnik zwischen Klärschlammannahme und Trocknung

Im Annahmehbereich und im Bereich der Trocknung besteht die Fördertechnik hauptsächlich aus Pumpen und Förderschnecken. Bei der Silovariante wird der angelieferte Schlamm nach Einwurf in die Annahmehbunker mittels Schubboden und Austragsschnecke in die nachstehende Feststoffpumpe gefördert. Bei der Bunkervariante wird eine Schurre mit einem nachstehenden Behälter errichtet. Aus diesem Behälter bedient sich die Krananlage und transportiert den Klärschlamm in die Stapelbunkeranlage.

Die Platten des Schubbodens werden mittels Hydraulikzylinder nach vorne und hinten bewegt. Durch die Vorbewegung wird der Schlamm über das nächste Segment geschoben und wird bei der Rückwärtsbewegung nicht mitgezogen. Somit entsteht eine schrittweise Förderung des Schlammes. Diese Schubböden sind zusammen mit einer Austragsschnecke in den Annahmehbunkern verbaut.



## Erläuterungsbericht Vorplanung

- Als Feststoffpumpen können prinzipiell Dickstoffpumpen oder Exzentrerschneckenpumpen zum Einsatz kommen. Dickstoffpumpen (Hydraulikkolbenpumpen) sind robuster, weniger verschleißempfindlich und erzeugen deutlich höhere Drücke. In den Investitionskosten sind diese allerdings deutlich teurer und durch das Hydraulikaggregat technisch aufwändiger. Eine Vorpressschnecke füllt den zurückgezogenen Kolben mit Klärschlamm. Durch das anschließende Zurückdrücken des Kolbens wird der Klärschlamm komprimiert und durch den entstandenen Druck weitergefördert.
- Exzentrerschneckenpumpen sind günstiger in der Anschaffung. Dafür sind diese deutlich anfälliger gegenüber stark schleißenden Störstoffen. Die Schlammzufuhr erfolgt wie bei der hydraulischen Dickstoffpumpe über Vorpressschnecken. In der Pumpe wird der Schlamm kontinuierlich durch wandernde Förderräume zwischen Stator und Rotor transportiert.

Jeder Annahmebereich wird mit einem eigenen Schubboden mit Austragschnecke sowie einer Dickstoffpumpe zur Förderung in das Silo vorgesehen. Bei der Bunkervariante kann auf Dickstoffpumpen verzichtet werden. Vor der Zuführung des Schlammes in die Silos sind Störstoffabscheider vorzusehen.

Die Förderung des Klärschlammes aus dem Silo erfolgt mittels Gleitrahmen, Austragsschnecke und Vorpressschnecke. Der Gleitrahmen befördert durch seine Bewegung innerhalb des Silos den Klärschlamm in die Austragsschnecke. Die Bewegung des Gleitrahmens erfolgt auch hier mittels Hydraulik.

Die Förderung direkt zu den Trocknern bzw. zum Drehrohrofen ist ebenfalls mit einer Feststoffpumpe vorgesehen, wie bereits oben erwähnt. In Tabelle 11 sind die wesentlichen Auslegungsparameter für die Förderung zwischen Lagerung und Trocknung dargestellt.

Für die Förderung zwischen Klärschlamm Lagerung und Drehrohrofen sind wesentlich höhere Betriebsdrücke der Pumpen zu erwarten, da die Förderstrecke zwischen Lagerung und Klärschlammbehandlung deutlich länger ist. Ähnliches gilt für die Förderung zwischen Trocknung und Wirbelschichtverbrennung. Die Ausgestaltung dieser Förderung ist in den weiteren Planungsstufen detaillierter zu betrachten.

Bei den Investitionskosten sind die Kosten für die Pumpen hoch, für die Rohrleitungen jedoch gering. Bei Bandförderern fallen die Antriebe weniger ins Gewicht, jedoch sind die Kosten für die Stützkonstruktion und Einhausung des Förderwegs relativ hoch. Dies gilt auch für Trogkettenförderer, wobei hier die Kosten höher sind als bei Bandförderern.

Der Stromverbrauch liegt bei der Förderung mit Pumpen wegen der höheren Druckverluste deutlich höher. Dem steht jedoch ein relativ hoher Verschleiß beim Einsatz von Trogkettenförderern, insbesondere wenn Umlenkungen vorzusehen sind, gegenüber. Wenn hingegen Bänder zur Förderung eingesetzt werden können, sollten die Betriebskosten niedriger sein.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Tabelle 11: Auslegungsparameter für die Förderung zwischen Lagerung und Trocknung

Auslegungsparameter	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Schlammengen zur Trocknung	t/h	5,7	8,0	10,4
-Trockenanteil Schlamm	tTS/h	1,4	2,0	2,6
-TS-Gehalt Schlamm	% TS	25,0	25,0	25,0
Anzahl Pumpen	Stück	1	1	1
Schüttdichte	t/m <sup>3</sup>	1,1	1,1	1,1
Schlammumsatz je Pumpe	t/h	1,4	1,9	2,5

### 4.1.3 Trocknung

Die Trocknung von Klärschlamm erfolgt im Allgemeinen durch Zugabe eines Wärmeträgers. Der Eintrag der Wärme in den Schlamm erzeugt die Verdampfung eines Teils des enthaltenen Wassers. Durch den Wasserentzug im Klärschlamm (Ausgangs-TS-Gehalt ca. 25%) wird eine Gewichtsreduktion erzielt, aber vor allem auch eine Steigerung des Heizwertes für eine bessere Brennbarkeit. Übergreifend unterscheidet man verfahrenstechnische Trocknungsarten:

- Trocknung mittels indirekter Wärmeübertragung durch Kontaktflächen
- Trocknung mittels Konvektion mit direkter Wärmeübertragung zum Wärmeträgerstrom
- Trocknung mittels Strahlung (Sonderform der Trocknung mittels Konvektion)

#### 4.1.3.1 Varianten der Trocknung

Die Klärschlamm-trocknung wird technisch mit verschiedenen Trocknersystemen, wie beispielsweise Trommeltrocknung, Wirbelschichttrocknung, Bandtrocknung, Scheibentrocknung und Dünnschichttrocknung realisiert. Als Übersicht der verschiedenen Trocknertypen dient nachfolgend Tabelle 12, die einige Trocknungssysteme gegenüberstellt.

Tabelle 12: Vergleich der Trocknersysteme

	Trommel-trockner	Wirbel-schicht-trockner	Band-trockner	Schne-cken-trockner	Scheiben-trockner	Dünnschicht-trockner
Wärmebedarf (WV = 1 t/h)	ca. 900 kW	ca. 900 kW	ca. 825 – 1.500 kW	ca. 850 kW	ca. 850 kW	ca. 850 kW
Abwärmee-nutzung	nein	< 280 °C	ja	< 150 °C	< 150 °C	< 150 °C
Elektrischer Energiebe-darf (WV = 1 t/h)	70 kW	70 kW	65 kW	60 kW	60 kW	60 kW
Betriebsmit-telbedarf	Stickstoff zur Inerti-sierung	Stickstoff zur Inerti-sierung	nicht nötig	nicht nötig	nicht nötig	nicht nötig
Platzbedarf	mittel	mittel	hoch	gering	sehr gering	sehr gering

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Bei Trommel-, Wirbelschicht- und Bandtrockner sind zwei wesentliche Nachteile zu nennen, die gleichzeitig die entscheidenden Kriterien darstellen, die zum Ausschluss der Systeme aus der weiteren Betrachtung führten:

- sehr hohe Abluftmengen, daraus resultierend aufwändige Brüdenbehandlung
- vergleichsweise hoher Platzbedarf

Somit wurde im Rahmen der Trocknervariantenuntersuchung ein Vergleich zwischen Scheibentrocknern und Dünnschichttrocknern durchgeführt, sowie eine Untersuchung hinsichtlich der zu installierenden Trockneranzahl.

Dünnschichttrockner tragen mithilfe spezieller Wischerelemente über den gesamten Umfang des Heizmantels eine dünne Schicht des Ausgangsmaterials, Klärschlamm, auf. Der Heizmantel wird mit Dampf durchströmt und trocknet somit den aufgetragenen Schlamm an den mit Dampf beheizten Flächen.

Die Trocknung des Klärschlammes via Scheibentrockner erfolgt ebenfalls mit Dampf. Der Unterschied zum Dünnschichttrockner besteht darin, dass mit Dampf durchströmte Scheiben den Klärschlamm in einer Art Schnecke durch den Trockner transportieren und somit eine Trocknung des Schlammes erreichen.

Aufgrund von Erfahrungswerten können allgemein folgende Unterschiede zwischen den beiden Trocknerarten genannt werden:

- größere Baulänge des Dünnschichttrockners
- längerer Montageraum für das Ziehen der Wellen benötigt bei Dünnschichttrocknern

Der zusätzliche Platzbedarf neben der eigentlichen Baulänge ergibt sich für

- Dünnschichttrockner exkl. Wellenlänge:
  - 1,6 m Arbeitsbereich auf der Motorseite für Ausfahrwagen
  - 4 m Arbeitsbereich für Demontage des Trocknerdeckels auf der Produktseite
- Scheibentrockner exkl. Wellenlänge
  - 2 m Arbeitsbereich auf der Motorseite
  - 1,2 m Arbeitsbereich für Demontage des Trocknerdeckels auf der Produktseite

Aufgrund der Platzverhältnisse am Standort des MHKW liegen hier die Vorteile eindeutig beim Scheibentrockner.

Ein weiterer Unterschied der beiden Trockner liegt im elektrische Leistungsbedarf. Hier benötigen die Dünnschichttrockner ca. die doppelte elektrische Leistung gegenüber dem Scheibentrockner.

Der dritte Unterschied zwischen den beiden Trocknervarianten besteht im Füllvolumen. Aufgrund der oben beschriebenen Auftragsweise des Schlammes innerhalb der Dünnschichttrockner, werden deutlich geringere Mengen in den Trockner geführt, was einerseits zu einem geringeren Arbeitsaufwand bei einer Entleerung (Wartung / Störung) führt, aber auch zu einem Vorteil in

## Erläuterungsbericht Vorplanung

der Regelbarkeit. Durch das geringere Füllvolumen sinkt die Trägheit des Trockners in Bezug auf die Regelfähigkeit.

In Abwägung aller Vor- und Nachteile wurde als Vorzugsvariante der Scheibentrockner ausgewählt.

Das Ergebnis der Betrachtung der Trockneranzahl ergibt, dass bei den zuvor genannten Schlamm- und Dampfmenen, aber auch aufgrund der räumlichen Situation in der Brennstoffannahme, eine 3 x 50% (ZKW) und 2x 100% (MHKW) Trocknerkonzeption sinnvoll ist, da dieses räumlich realisierbar ist und zudem die erforderlichen Redundanzen aufweist. Bei den Scheibentrocknern ist zu berücksichtigen, dass aufgrund des speziellen Anwendungsbereiches die Anzahl der potenziellen Lieferanten gering ist. Hinsichtlich der Investitionskosten liegen die Kontakttrockner in einer sehr ähnlichen Größenordnung. Allerdings ist der Stromverbrauch bei Dünnschichttrocknern höher, was höhere Betriebskosten verursacht.

### 4.1.3.2 Trocknungsberechnung

Für die Vorplanung der Trocknung wurde eine Trocknungsberechnung durchgeführt. Die zugrunde liegenden Annahmen sowie die wesentlichen Ergebnisse sind in Tabelle 13 zusammengestellt.

Tabelle 13: Auslegungsgrundlagen und Ergebnisse der Trocknungsberechnung

Parameter	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Schlammengen zur Trocknung	tOS/h	5,7	8,0	10,4
Trockenanteil Schlamm	tTS/h	1,4	2,0	2,6
TS-Gehalt vor Trocknung	% TS	25	25	25
Schlammengen nach Trocknung	tOS/h	3,4	4,78	6,2
TS-Gehalt nach Trocknung	% TS	42	42	42
<b>Brüdenkondensat</b>				
Brüdenkondensat	t/h	2,30	3,21	4,17
Druck	bar(a)	1,0	1,0	1,0
Temperatur	°C	100	100	100
<b>Heizdampfbedarf</b>				
Heizdampfbedarf	t/h	3,29	4,58	5,96
	MW	2,02	2,82	3,67
Druck max.	bar(a)	6	6	6
Temperatur	°C	164	164	164
<b>Heizdampfkondensat</b>				
Heizdampfkondensat	t/h	3,29	4,58	5,96
Druck	bar(a)	3	3	3
Temperatur	°C	131	131	131
Falschlufansaugung	%	10	10	10
Wärmeverluste Trockner	%	6,5	6,5	6,5

## Erläuterungsbericht Vorplanung

### 4.1.4 Brüdenkondensation

Beim Trocknungsprozess des Klärschlammes entstehen Brüden. Am Standort des MHKW können diese Brüden teilweise bzw. vollständig in die am Standort vorhandenen Verbrennungslinien zu-geführt werden. Wenn dieser Entsorgungsweg nicht möglich ist, sind die Brüden zu kondensieren. Diese Kondensation kann je nach Möglichkeiten am Standort unterschiedlich ausgeführt werden. Bei zusätzlicher Wärmenutzung kann eine 2-stufige Brüdenkondensation vorgesehen werden.

Bei dieser Variante wird in der ersten Stufe ein Mischkondensator für die Vorwärmung von Dünn-schlamm eingesetzt. Hier ist eine Vorwärmung des Schlammes von bis zu 60°C möglich, was nachfolgend zu einer Verbesserung der Entwässerbarkeit führt. In der zweiten Stufe erfolgt durch die Verschaltung eines Einspritzkondensators mit einem Wärmetauscher die Erzeugung von Heiß-wasser zur Beheizung des Faulraumes und/oder für zusätzlichen Wärmeverbrauch.

Eine weitere Möglichkeit der Brüdenkondensation ist die 1-stufige Kondensation. Hier entfällt die vorherige Mischkondensatstation, sodass keine Mischung zwischen Trocknerbrüden und Roh-schlamm/Faulschlamm erfolgt. Die Brüden werden mittels eines Wärmetauschers abgekühlt, in den Einspritzkondensator eingespritzt und die kondensierten Brüden in das Klärwerk zurückge-leitet.

Diese Variante der 1-stufigen Brüdenkondensation wurde als Vorzugsvariante ausgewählt. Die Kondensatkühlung erfolgt mit einem Wärmetauscher und einem Rückkühlwerk. Für die Brüden-kondensation wird das identische Redundanzkonzept (3 x 50% bzw. 2 x 100%), wie bei den Trocknern angesetzt, wodurch die Trocknerkapazität als Auslegungsgröße herangezogen werden kann. Jeder Trockner erhält demzufolge einen eigenen Kreislauf, bestehend aus Einspritzkon-densator, Pumpe und Wärmetauscher.

Es könnte sinnvoll sein, eine 2-stufigen Brüdenkondensation einzusetzen, wenn ein Klärwerks-prozess als Wärmesenke zur Verfügung steht. Dies ist ggf. bei einer weitergehenden Planung am Standort ZKW zu betrachten.

Eine 2-stufigen Brüdenkondensation ist sinnvoll, wenn z. B. ein Klärwerksprozess als Wärme-senke zur Verfügung steht. Dies ist ggf. bei einer weitergehenden Planung am Standort ZKW zu betrachten.

Die Bilanzdaten für eine 3-Trocknervariante (3x50%) mit Scheibentrockner ist in Abbildung 4, Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellt. Die dargestellten Bilanzschemata beziehen sich auf die 1-stufige Brüdenkondensation und die unterschiedlichen 3 Varianten.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

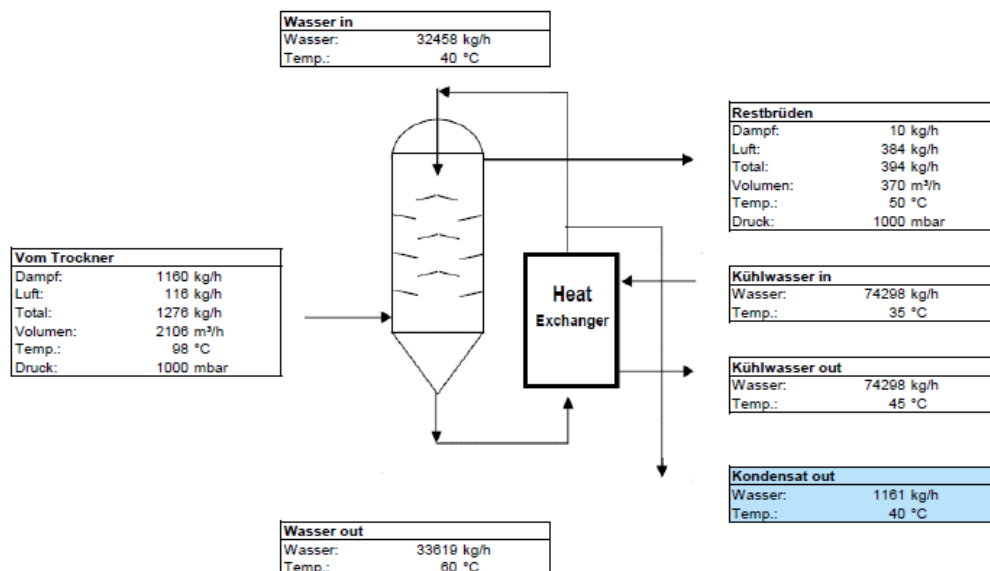


Abbildung 4: Brüdenkondensation Variante 1

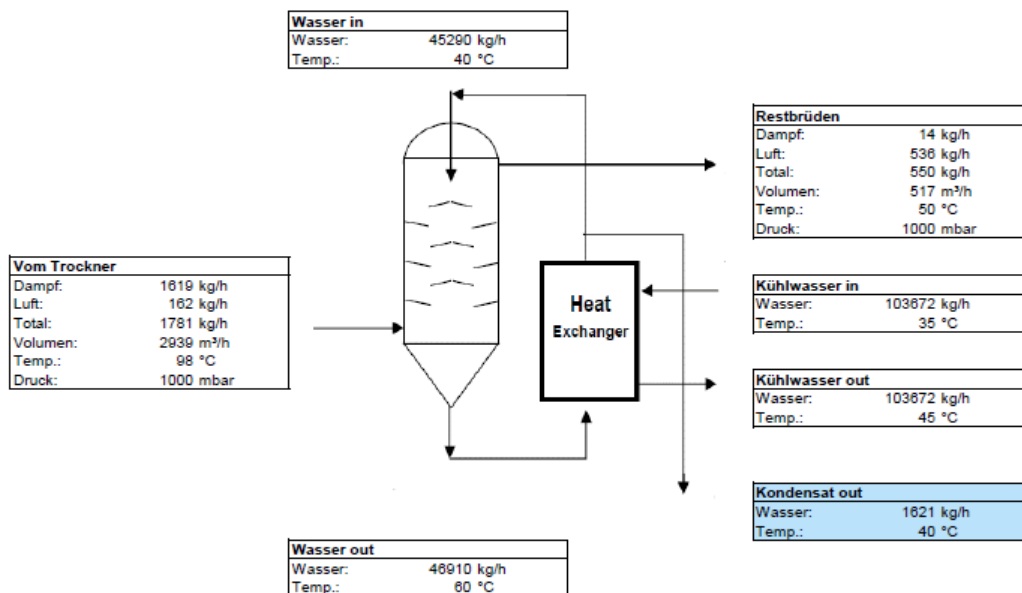


Abbildung 5: Brüdenkondensation Variante 2

## Erläuterungsbericht Vorplanung

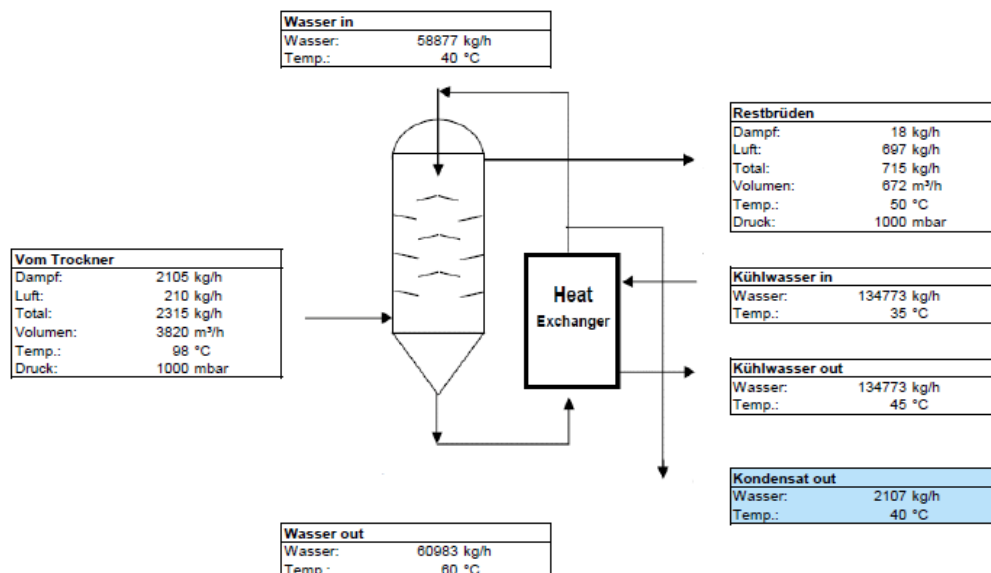


Abbildung 6: Brüdenkondensation Variante 3

### 4.1.5 Brüdenkondensataufbereitung

Zur Einschätzung, ob eine Brüdenkondensataufbereitung erforderlich ist, wurde die erwartete Zusammensetzung der Brüdenkondensate (Tabelle 14) mit der Aufnahmekapazität des ZKW abgeglichen. Daraus ergeben sich die folgenden Schlussfolgerungen:

- Bezüglich der Einleitung von CSB und BSB5 werden keine Probleme erwartet.
- der Einleitung von Stickstoff kann jedoch im ungünstigsten Fall, bei voller Auslastung der Trocknung und der Kläranlage, zu einer Mehrbelastung der Biologie von etwa 10 - 15% führen. Hierzu wurde seitens des ZKW eine Frachtberechnung durchgeführt.
- Weiterhin ist im Zuge der EU-WRRL eine weitere Absenkung der Stickstoff- Überwachungswerte im Ablauf von Seiten der Aufsichtsbehörde geplant.

Es ist daher eine Vorbehandlungsanlage zur Reduktion der Konzentration von Ammonium im Brüdenkondensat zu realisieren.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Tabelle 14: Mögliche Zusammensetzung der Brüdenkondensate aus einer Klärschlamm-trocknung.

Parameter	Einheit	Erwartungsbe- reich	Maximale Angabe
BSB <sub>5</sub>	mg/l	200 - 1.100	< 2.500
CSB	mg/l	1.400 -2.400	< 7.000
NH <sub>3</sub> (als N)	mg/l	400 - 1.500	< 2.500
pH		7,8-9,0	

Ein bewährtes Verfahren ist die Ammoniakstrippung. Bei dieser Aufreinigung des Brüdenkondensats wird der enthaltene Ammoniumanteil in einem geschlossenen Luftkreislauf in einen Luftstripper ausgetrieben und anschließend mit Schwefelsäure zu einer Ammoniumsulfatlösung in der Absorptionskolonne umgesetzt. Die zirkulierende Luft wird dabei mit Ammonium be- und entladen.

Wesentliche Komponenten des Verfahrens sind:

- Vorbehälter für die Speicherung des Brüdenkondensats
- Vorfilter zur Reduzierung der Trübstoffe mit Rückspülung
- Strippkolonne (gesättigte Luft nimmt Ammonium aus dem Brüdenkondensat im Gegenstrom auf)
- Absorptionskolonne (Gaswäscher wäscht und fällt Ammonium aus der beladenen Luft zu Ammoniumsulfat in möglicher Düngerqualität aus)
- Gebläse für Zirkulation der Trägerluft
- Dosier-, Verlade- und Umwälzpumpen, Verrohrung und Mess-, Steuer- und Regelungstechnik
- Reinigungsstation zur Spülung und Reinigung der Kolonnen und Füllkörper je nach Bedarf
- Behälter für Betriebsmittel wie Natronlauge, Schwefelsäure und Ammoniumsulfat



## Erläuterungsbericht Vorplanung

Für die Aufbereitung entsprechend der durchzusetzenden Mengen sind folgende Ein- und Ausgangsprodukte anzusetzen:

Tabelle 15: Verbrauchsdaten der Brüdenkondensatreinigung

Parameter	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Betriebszeit	h/a	7.500	7.500	7.500
Durchsatz Brüdenkondensat	m <sup>3</sup> /h	2,32	3,24	4,21
NH <sub>4</sub> -N Gehalt im Zulauf:	mg/l		1.000	
NH <sub>4</sub> -N Gehalt im Ablauf:	mg/l		150	
Feststoffgehalt Zulauf < 0,5 %	% TS		< 0,5 %	
Abscheidegrad Kolonne NH <sub>4</sub> -N:	%		95	
Betriebsdruck	bar		1	
Betriebstemperatur	°C		75	
Zulauftemperatur	°C		75	
Zulauf pH - Wert	-		7,8-9	
Platzbedarf ca in m	LxBxH		7,5 x 5,5 x 8	
pH-Wert-Anhebung NaOH 50 %	kg/h	12,5	17,4	22,7
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - Verbrauch 96%	kg/h	8,5	11,8	15,4
ASL-Produkt 38-40 %	kg/h	25,9	36,2	47,0
Frischwasserverbrauch	l/h	19,1	26,7	34,7
Einsatzmittel Reinigung	-		Spülsäure 100 l HCL	
Einsatz Frischwasser Reinigung	m <sup>3</sup>		ca 3-4	

## 4.2 Vorplanung – Vorzugsvariante am ZKW

### 4.2.1 Standortbedingungen

Bei der Planung der Verkehrswege am Standort ZKW sind die folgenden Randbedingungen zu den am Standort herrschenden Straßenverhältnisse zu berücksichtigen:

- Die Straßen, besonders die gepflasterten sind 4-5 m breit, so dass nicht 2 LKW aneinander vorbeifahren können. Ein Ausweichen ist daher nicht möglich.
- Die gepflasterten Straßen sollten für das zusätzlich erwartete Verkehrsaufkommen am Standort erneuert und geteert werden, wenn diese im Bereich der geplanten Hauptverkehrswege liegen. Dies gilt insbesondere für die Straße am Belebungsbecken und für die Straße am Zaun entlang der Nachklärbecken.
- Der Hochkanal ist teilweise nur bis zu einer Höhe von 4,10 m befahrbar. Den Aufwand für eine Verkleidung als Anfahrschutz wird als zu hoch eingeschätzt, so dass auf eine konsequente Unterweisung der Fahrzeugführer für den Standort zu achten ist.
- Der Wendepunkt und Punkt zur Anlieferung ist etwas klein, hier kann der Platz in Richtung des Biofilters erweitert werden um Behinderungen durch Staus bei der Anlieferung zu vermeiden.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

### 4.2.2 Klärschlammannahme ZKW

Die neue Klärschlammannahmestelle am Standort ZKW ist auf der freien Fläche neben der biologischen Behandlungsstufe vorgesehen. Der über Lieferverkehr angelieferte Schlamm wird über die Zufahrten Gräfenhäuser Straße und Mainzer Straße zu der Annahmestelle transportiert. Dabei werden die Transporter vor und nach dem Abladen über die LKW- Waage geleitet. Der Fahrtweg sowie die Annahmestelle sind in Abbildung 7 dargestellt.



Abbildung 7: Klärschlammannahmekonzept ZKW [Bildquelle: Google, Bilder © 2020 AeroWest, GeoBasis-DE/BKG, GeoContent, Maxar Technologies, Kartendaten © 2020 GeoBasis-DE/BKG (©2009)]

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Der Klärschlamm wird mit Hilfe von Sattelschleppern, Muldenkippern und Abrollern aus den entsprechenden Klärwerken angeliefert. Das zusätzliche Verkehrsaufkommen ist von der Menge des anfallenden Klärschlammes abhängig und wird in Tabelle 16 aufgeführt.

Tabelle 16 KS- Annahmekonzept ZKW

<b>Klärschlammanlieferung</b>		<b>Variante 2</b>	<b>Variante 3</b>
Schlammmenge (ohne 10.500 t/a ZKW-Mengen)	t/a	49.500	67.500
TS-Gehalt	m% v. OS	25	25
TS-Menge	tTS/a	15.000	19.500
Betriebsstunden	h/a	7.500	7.500
Durchschnittlicher Klärschlammbedarf pro Stunde	tOS/h	8,0	10,4
Anliefertage pro Jahr	d	250	250
Durchschnittliche Tagesmenge	tOS/d	240	312
Kapazität Sattelschlepper	t/Fahrzeug	25	25
Kapazität Muldenkipper	t/Mulde	8	8
Mulden pro Gespann	Stk	3	3
Kapazität Abroller	t/Fahrzeug	18	18
<b>Anlieferzuwege</b>			
von A5	t OS/a	38.464	56.464
durch DA (MainzerStr.)	t OS/a	11.036	11.036
<b>Anlieferzuweg Fahrzeuge pro Jahr (Zahlen aufgerundet)</b>			
von A5	1/a	1.850	2.790
durch DA (MainzerStr.)	1/a	531	545
Fahrzeuge gesamt	1/a	2.381	3.335
<b>Anlieferzuweg Fahrzeuge pro Tag (Zahlen aufgerundet)</b>			
von A5	1/d	8	12
durch DA (MainzerStr.)	1/d	3	3
Fahrzeuge gesamt	1/d	11	15
<b>Betriebsmittel und Reststoffe WSF</b>		<b>Variante 2</b>	<b>Variante 3</b>
Ca(OH) <sub>2</sub>	LKW/a	9	12
Adsorbens / Aktivkohle	LKW/a	12	15
NaOH (50%ig)	LKW/a	8	10
Asche gesamt	LKW/a	240	312
Reststoff / Trockenrückstände	LKW/a	25	32
<b>Fahrzeuge gesamt</b>	<b>LKW/a</b>	<b>294</b>	<b>381</b>
<b>Fahrzeuge zum ZKW gesamt</b>	<b>LKW/a</b>	<b>2.675</b>	<b>3.716</b>
	<b>LKW/d</b>	<b>12</b>	<b>17</b>

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Berechnet auf 250 Annahmetage im Jahr kann mit einem zusätzlichen Verkehr zwischen 12 und 17 Fahrzeugen am Tag gerechnet werden. Die Gesamtmenge an Fahrzeugen beinhaltet sowohl die Klärschlammanlieferung, als auch die Versorgung durch Betriebsmittel und der Abtransport von Reststoffen.

Es werden zwei redundante Annahmestellen für die Klärschlammannahme geplant, um bei Ausfall einer Annahmestelle die Klärschlammanlieferung weiterhin sicher stellen zu können.

### 4.2.3 Fördertechnik zwischen KBA-Schlammannahme und ZKW-Schlammbehandlung

Die Klärschlämme des ZKW sind von der Schlammbehandlung zur Schlammannahme und -lagerung der Wirbelschichtfeuerung zu transportieren. Hierzu ist eine Strecke von etwa 200-250 m zu überwinden.

Neben der oben beschriebenen Förderung mittels Dickstoffpumpen besteht die Möglichkeit eine Gurtförderung einzusetzen.

Der Aufbau eines Gurtförderbandes besteht hauptsächlich aus dem Förderband, den Rollen, der Antriebsstation und einer Spannstation. Vorteil einer solchen Förderanlage ist, dass das Fördergut einen geringen Verschleiß an der Anlage erzeugt. Zudem bleibt die Beschaffenheit des Klärschlammes weitestgehend erhalten. Bei der Förderung mit Dickstoffpumpen wird der Schlamm stark komprimiert und es ist in bestimmten Abständen Gleitmittel zuzufügen.

Nachteil einer Gurtförderung ist hingegen, dass Feuchtigkeit bei Verwendung im Klärschlammbereich in das Band eindringen kann und die Förderbänder zur Reduzierung von Geruchsemissionen eine Umhausung benötigen. Wie bereits in Kapitel 4.1.2 erläutert, verursachen Einhausung und Stützkonstruktion für das Förderband einen wesentlichen Teil der Investitionskosten. Es kann nur für eine konkrete Ausführung ermittelt werden, ob die Investitionskosten günstiger sind, als bei Dickstoffpumpen. Die Betriebskosten sind hingegen geringer als beim Einsatz von Dickstoffpumpen, sofern der Verschleiß im üblichen Rahmen liegt.

### 4.2.4 Wirbelschichtfeuerung

Der grundlegende Verfahrensablauf ist im Grundfließbild „MFB010-0H-101-ZKW Grundfließbild WSF V2-3-01“ in Anhang A1 dargestellt.

Bei der Mono-Klärschlammverbrennung wird der teilgetrocknete Klärschlamm in einem Ofen verbrannt. Es muss eine Mindestverbrennungstemperatur von 850°C für 2 Sekunden eingehalten werden. Die heißen Rauchgase werden in einem Abhitzekeessel auf ca. 200 - 220°C abgekühlt. Anschließend werden die Schadstoffe in der Rauchgasreinigung mindestens so weit reduziert, dass sie die gesetzlichen Grenzwerte nicht überschreiten. Das gereinigte Rauchgas wird über einen Kamin in die Atmosphäre abgeleitet.

Im Abhitzekeessel wird Hochdruckdampf erzeugt, welcher in einer Turbine zur Stromerzeugung eingesetzt werden kann. Außerdem kann Prozessdampf und/oder Fernwärme erzeugt werden.

Als Produkt der Mono-Klärschlammverbrennung entsteht eine lagerfähige Asche, die einem Verfahren zur Phosphorrückgewinnung zugeführt werden kann. Daneben entsteht ein Rückstand der Rauchgasreinigungsanlage (RRA), der entsorgt werden muss.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Das Verfahren ist der Hausmüllverbrennung sehr ähnlich. Ein gewisser Unterschied entsteht durch die verschiedenen Brennstoffeigenschaften von Abfall und Klärschlamm. Während bei der Hausmüllverbrennung ganz überwiegend Rostfeuerungen zum Einsatz kommen, werden bei der Mono-Klärschlammverbrennung überwiegend Wirbelschichtöfen eingesetzt.

Bei der Rauchgasreinigung können für die Mono-Klärschlammverbrennung ähnliche Verfahren wie bei der Hausmüllverbrennung eingesetzt werden. Es muss jedoch der Tatsache Rechnung getragen werden, dass das Schadstoffinventar von Schwefel deutlich steigt, während das von Chlor sinkt. Der Chemismus der RGR verschiebt sich dadurch, auch für andere Schadstoffe.

In der Rauchgasreinigung wird zunächst die Flugasche in einem Vorentstauber abgeschieden. Anschließend werden die sauren Komponenten HCl und SO<sub>2</sub> aus dem Rauchgas weitestgehend entfernt. Ferner werden verbliebene organische Substanzen sowie Schwermetalle entfernt. Außerdem ist eine Feinentstaubung erforderlich.

Bei der genauen Reihenfolge der Anordnung der Abscheider gibt es verschiedene Möglichkeiten. Jedoch muss die Vorentstaubung vorangestellt sein, weil nur so eine mit Schadstoffen relativ unbelastete Asche entsteht.

Die entstandenen Rückstände der Rauchgasreinigung müssen getrocknet oder entwässert einer Entsorgung zugeführt werden.

### Anlieferung und Lagerung

Die Lagerung des angelieferten entwässerten Klärschlammes kann sowohl in einem Bunker als auch in Silos erfolgen. Am Standort des ZKW sind beide Varianten in den Aufstellungsplänen dargestellt (Anhang A3). Die Klärschlammannahme wird in Kapitel 4.1 beschrieben.

### Vorbehandlung

Aufgrund des hohen Wassergehalts des angelieferten Klärschlammes ist eine autotherme Verbrennung nicht möglich. Daher wird der Klärschlamm in der Regel (teil-)getrocknet. Die Trocknung erfolgt, in dem durch Wärmezufuhr ein Teil des Wassergehalts verdampft wird.

In einem Bereich von ca. 36-44% TS-Gehalt ist eine autotherme Verbrennung möglich, wenn die Verbrennungsluft vorgewärmt wird. Da der Klärschlamm in einem Bereich von ca. 45%-85% TS-Gehalt dazu neigt, eine Leimphase zu bilden, also sehr zäh zu werden, sollte dieser Bereich vermieden werden. Wird noch weiter getrocknet, liegt der Feststoff staubförmig vor, mit den damit verbundenen Nachteilen (z.B. aufwändigere Lagerung mit Inertisierung).

Dem zusätzlichen Energiebedarf für die weitergehende Trocknung steht kein äquivalenter Nutzen gegenüber, so dass üblicherweise nur die Teiltrocknung eingesetzt wird. Je nach Trocknungsverfahren kann es jedoch sein, dass ein Teil des Klärschlammes vollgetrocknet wird und dieser mit entwässertem Klärschlamm sinnvoll gemischt wird, so dass der gewünschte Gesamttrocknungsgrad entsteht.

Die Trocknung erfolgt in der Regel in der Nähe der Verbrennungsanlage, da an dieser Stelle die Wärme aus der Verbrennung genutzt werden kann. Häufig wird direkt oder aus einer Entnahme bzw. dem Gegendruck eines Dampfturbogenerators erzeugter Prozessdampf zur Trocknung eingesetzt. Die Klärschlamm-trocknung sowie Brüdenkondensation und Brüdenkondensataufbereitung wird in Kapitel 4.1 beschrieben.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Eine direkte Einleitung der Brüdenkondensate aus der Trocknung ins Klärwerk ist aufgrund der hohen Stickstoffwerte nicht möglich. Daher wird eine Brüdenkondensataufbereitung berücksichtigt (siehe Kapitel 4.1.5.).

### Verbrennung und Dampferzeugung

Die Verfahrenstechnik für die Feuerung ist im Grundfließbild (Anhang A1) dargestellt.

Die Verbrennung erfolgt in einem stationären Wirbelschichtofen. Die Brennkammer des Ofens ist ausgemauert. Der nachgeschaltete Abhitzeessel wird als Naturumlaufofen ausgeführt.

Der Düsenboden ist so gestaltet, dass Grobstoffe abgezogen werden können. Über dem Düsenboden befindet sich das Sandbett, das durch die Primärluft in der Schwebelage gehalten wird. Der Klärschlamm wird über Wurfbeschicker oder Schnecken auf das Bett aufgegeben. Da die Temperatur im Bett oberhalb von 650 °C liegt, verdampft das im Klärschlamm enthaltene Wasser schlagartig und sprengt die Klärschlammklumpen auf. Die Teile werden von den heißen Sandkörnern zerrieben und getrocknet, bis der Klärschlamm selbsttätig brennt. Der gesamte Vorgang ist exotherm, so dass keine weitere Energie zugeführt werden muss. Über dem Bett wird ggf. Sekundärluft zugegeben, sodass der Ausbrand bei Temperaturen zwischen 850 °C und 950 °C erfolgt. Die Regelung der Luftvorwärmung erfolgt über den Kessel-Luftvorwärmer. Eine Begrenzungsregelung bei drohender Temperaturüberschreitung erfolgt durch Wassereindüsung in die Brennkammer.

Ist die Temperatur zu gering (Verweilzeit von 2 Sekunden bei 850°C kann nicht eingehalten werden) erfolgt eine Stützfeuerung durch Erdgas oder Heizöl.

Um eine Stickoxidminderung zu ermöglichen, ist eine SNCR-Anlage vorgesehen. Eine SCR-Anlage, die bei der Hausmüllverbrennung häufig eingesetzt wird, ist nicht erforderlich. Die Stickoxid-Minderung, die meist auch nur in besonderen Betriebssituationen, wie dem Anfahren erforderlich ist, erfolgt durch Eindüsung von Harnstoff oder Ammoniakwasser im Temperaturfenster von 850 bis 900 °C über Zerstäuberlanzen. Daneben kann ein Teil des Rauchgases nach der Entstaubung rezirkuliert werden, insbesondere auch in Teillast.

Der Kessel ist mehrzueig ausgeführt. Die Berührungsheizflächen sind als Verdampfer und Überhitzer ausgeführt, nachgeschaltet sind Rauchgasluftvorwärmer sowie der Speisewasservorwärmer (ECO). Der Rauchgasluftvorwärmer erwärmt die Luft auf ca. 350 – 400°C, da dies erforderlich ist, um die Feuerraumtemperatur von min. 850 °C einzuhalten.

Zum Anwärmen und als Stützfeuerung bei Bedarf wird ein Brenner installiert, der mit Erdgas oder mit Heizöl betrieben werden kann. Ggf. kann ein Teil der Luftvorwärmung auch über einen dampfbeheizten Luftvorwärmer erfolgen. Für den Standort ZKW wird Erdgas als Hilfsbrennstoff eingesetzt.

Die Zufuhr des Sandes für die Bettasche erfolgt über ein Silo. Je nach Klärschlammqualität kann der Wirbelbettsand im Mittel leicht zu- oder abnehmen. Ein Teil des Sandes im Wirbelbett wird zerrieben und damit so fein, dass er mit dem Rauchgas ausgetragen wird. Mit dem Klärschlamm wird Sand eingetragen, der die für das Wirbelbett erforderliche Körnigkeit aufweist. Selbst bei leichtem Sandüberschuss wird ein Teil des Sandes gelegentlich zur Pflege abgezogen.

Die Zuführung des Kesselspeisewassers erfolgt über Pumpen aus einem Speisewasserbehälter/Entgaser über Speisewasserpumpen. Als Kesselspeisewasser wird vollentsalztes Wasser eingesetzt, welches alkalisiert und entgast werden muss. Die Alkalisierung erfolgt über

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Ammoniakwasser für die dampfförmige Phase und mit Natronlauge oder Natriumphosphat für das Trommelwasser. Die Entgasung erfolgt über Dampfzugabe im Speisewasserbehälter/ Entgaser. Für den Standort ZKW ist eine Wasseraufbereitungsanlage vorzusehen.

Im Vergleich zur Hausmüllverbrennung ist das Chlorkorrosionspotenzial für die Überhitzerrohre durch den geringeren Chlorgehalt im Brennstoff gemindert. Dagegen steigt tendenziell die Gefahr der Schwefelsäuretaupunktunterschreitung im Economizer, weil der Schwefelgehalt und die Feuchte deutlich höher sind als beim Abfall.

Die Auslegungsgrundlagen der Wirbelschichtfeuerung und Dampferzeugung am Standort ZKW sind in der nachfolgenden Tabelle 17 zusammengestellt. Die Auslegung der Rauchgasmengen und -zusammensetzung sowie der Dampferzeugung erfolgt anhand einer Verbrennungsrechnung, die im Anhang A4 beigefügt ist.

Tabelle 17: Eckdaten der Wirbelschichtfeuerung für die verschiedenen Varianten am ZKW.

Verbrennungsbedingungen	Einheit	Variante 2	Variante 3
Feuerung		stationäre Wirbelschicht	
Kesseltyp		Naturumlauf	
Verweilzeit bei 850°C		min. 2 Sekunden	
Feuerungswärmeleistung	MW	4,8	6,2
TS-Durchsatz	tTS/h	2,0	2,6
OS-Durchsatz (42 % TS)	tOS/h	4,8	6,2
Temperatur Luftvorwärmung Kessel-LuVo	°C	400	
Feuerraumtemperatur	°C	850 - 950	
Frischdampferzeugung	t/h	8,00	10,00
Hochdruckdampfdruck / -temperatur	bar (ü) / °C	40 / 400	
Hilfsbrennstoff		Erdgas / Heizöl EL	
SNCR		m. Harnstoff, für Anfahren	
Rauchgasvolumenstrom, feucht	Nm <sup>3</sup> /h	13.400	17.400
Rauchgasvolumenstrom, trocken	Nm <sup>3</sup> /h	8.900	11.600
O <sub>2</sub> -Gehalt RG hinter Kessel	Vol.%,tr.	6,5	
RG-Temperatur hinter Kessel	°C	220	

### Rauchgasreinigung

Wie bereits im Grundlagenbericht dargestellt, sind verschiedene Verfahren der Rauchgasreinigung einsetzbar. Bei der Hausmüllverbrennung sind in den letzten Jahren, aufgrund der deutlich geringeren Investitionskosten, tendenziell trockene bzw. quasitrockene Verfahren vermehrt realisiert worden. Bei älteren Anlagen sind viele verschiedene Ausführungen realisiert.

Bei den bestehenden Klärschlammverbrennungsanlagen dominieren klar Ausführungen, die auch eine Nasswäsche beinhalten. Wie bereits dargelegt, ist ein wesentlicher Unterschied der Klärschlammverbrennung zur Hausmüllverbrennung die annähernde Umkehrung des Chlor/Schwefel-Verhältnisses. Diese Umkehrung bewirkt unter anderem, dass das Quecksilber im Rauchgas mehr in metallischer Form als HgCl<sub>2</sub>-Ionen vorliegt. Tendenziell verschlechtert dies die

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Adsorptionsfähigkeit an Herdofenkoks/ Aktivkohle, welches die klassische Senke beim trockenen und quasitrockenen Verfahren ist. Da für den Einsatz dieser Verfahren noch nicht genügend Erfahrungen vorliegen, wird vom Einsatz von Wäschern ausgegangen.

Für diesen Bericht wird davon ausgegangen, dass ein nasses bzw. quasitrockenes Verfahren mit Nasswäsche eingesetzt wird. Diese ähnelt dem auf dem Standort MHKW realisierten Verfahren und stellt die Abwasserfreiheit sicher.

Es wird also folgende Schaltung angenommen:

- Elektrofilter
- Sprühtrockner (optional am ZKW)
- Adsorbenszugabe (HOK/Kalkhydrat)
- Gewebefilter
- HCl-Wäscher
- SO<sub>2</sub>-Wäscher oder Kombiwäscher mit NaOH oder Kalkhydrat
- Saugzuggebläse
- Kamin

Die Vorentstaubung als erste Reinigungsstufe ist zwingend, da die Flugasche komplett aus dem Wirbelschichtofen ausgetragen wird. Diese Asche beinhaltet den zu verwertenden Phosphor, darf also nicht mit Sorptionsmitteln verunreinigt werden.

Wegen des hohen Wassergehalts des Brennstoffs und der Nasswäsche als letzter RGR-Stufe entsteht unter nahezu allen Umgebungsbedingungen eine starke Dampffahne am Kamin. Diese kann durch Unterkühlung und Kondensation mit anschließender Wiedererwärmung des Reingases durch Rohgas vermieden werden. Da diese Dampffahne von vielen Laien als „Rauch“ wahrgenommen wird, erscheint dieser verfahrenstechnisch nicht erforderliche Schritt aus Akzeptanzgründen zumindest erwägenswert.

Aus der über die Verbrennungsrechnung ermittelten Rauchgaszusammensetzung (Tabelle 18) lassen sich für die oben genannte Rauchgasreinigung (ohne Sprühtrockner) der Betriebsmittelbedarf sowie Reststoffanfall (Tabelle 19) bestimmen. Am Standort ZKW sind die Grenzwerte der 17. BImSchV einzuhalten (Tabelle 20).



## Erläuterungsbericht Vorplanung

Tabelle 18: Ergebnisse der Verbrennungsberechnung der WSF am Standort ZKW

Parameter	Einheit	Variante 2	Variante 3
Brennstoffmassenstrom	tTS/h	2,00	2,60
TS-Gehalt	% TS	42	42
Heizwert	MJ/kg	3,624	3,624
Frischdampf (40 bar / 400 °C)	t/h	5,6	7,2
Rauchgasvolumenstrom, feucht	Nm <sup>3</sup> /h	13.400	17.400
N <sub>2</sub>	Vol%	53,8	53,8
O <sub>2</sub>	Vol%	4,0	4,0
CO <sub>2</sub>	Vol%	8,3	8,3
H <sub>2</sub> O	Vol%	33,8	33,8
Rauchgasvolumenstrom, trocken	Nm <sup>3</sup> /h	8.900	11600
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	228	228
HF	mg/Nm <sup>3</sup>	46,7	46,7
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	3.613	3.613
SO <sub>3</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	11,3	11,3
NH <sub>3</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	56,2	56,2
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	31,2	31,2
TOC	mg/Nm <sup>3</sup>	46,8	46,8
Asche	mg/Nm <sup>3</sup>	65.267	65.267
Hg	mg/Nm <sup>3</sup>	0,2	0,2
Cd, Tl	mg/Nm <sup>3</sup>	0,2	0,2
Sb, AS, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	mg/Nm <sup>3</sup>	250	250
As, Cd, Co, Cr, Benzoapyren	mg/Nm <sup>3</sup>	8,6	8,6

Tabelle 19: Betriebsmittelbedarf und Reststoffanfall für die beiden Varianten der WSF am Standort ZKW.

Parameter	Einheit	Variante 2	Variante 3
<b>Betriebsmittel</b>			
Wasser	t/a	16.500	21.450
Ca(OH) <sub>2</sub>	t/a	233	302
Adsorbens / Aktivkohle	t/a	9	12
NaOH (50%ig)	t/a	218	283
<b>Reststoffe</b>			
Asche	t/a	5.095	6.623
Bett-/Grobasche	t/a	900	1.170
Reststoff / Trockenrückstände	t/a	675	878
Abwasser zum ZKW	t/a	9.975	12.968

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Tabelle 20: Emissionsgrenzwerte der 17. BImSchV (Bezogen auf das Abgasvolumen im Normzustand (Temperatur 273,15 K; Druck 101,3 kPa nach Abzug des Feuchtegehalts))

Parameter	Einheit	17. BImSchV	
		HMW	TMW
Staub	mg/m <sup>3</sup>	20,00	10,00
SOx als SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	200,00	50,00
NOx als NO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	400,00	200,00
C <sub>ges</sub>	mg/m <sup>3</sup>	20,00	10,00
CO	mg/m <sup>3</sup>	100,00	50,00
HCl	mg/m <sup>3</sup>	60,00	10,00
HF	mg/m <sup>3</sup>	4,00	1,00
NH <sub>3</sub>	mg/m <sup>3</sup>	15,00	10,00
Hg	mg/m <sup>3</sup>	0,05	0,03
Cd, Tl	mg/m <sup>3</sup>	0,05	
Sb...Sn	mg/m <sup>3</sup>	0,50	
As...Benzo(a)pyren	mg/m <sup>3</sup>	0,05	
PCDD/F	ng/TEQ/m <sup>3</sup>	0,10	

### Energienutzung/ erforderliche Nebenanlagen

Wie bereits dargestellt, ist die Erzeugung von HD-Dampf im Abhitzeessel die übliche Art der Nutzung des Wärmeinhalts des Klärschlammes. Die direkte Erzeugung von Prozessdampf ist theoretisch möglich. Aufgrund des deutlich größeren erforderlichen Volumens für die Rohre bei niedrigeren Druckstufen tritt hier für den Kessel keine relevante Absenkung der Investitionskosten auf. Daher wird HD-Dampf erzeugt, der in einer Dampfturbine entspannt wird und dabei Strom erzeugt.

Wegen der oben beschriebenen Eigenschaften des Brennstoffs liegen die Dampfparameter bei vergleichbaren Anlagen häufig bei 40 bar/400°C für den HD-Dampf.

Die Dampfturbine kann als Gegendruckturbine ausgeführt werden, die ausschließlich auf den Prozessdampfdruck entspannt oder als Entnahme/Kondensationsmaschine. Bei letzterer wird nur ein Teilstrom des Dampfes als Prozessdampf aus der Turbine entnommen. Nachgeschaltet ist ein weiterer Turbinenteil, der auf einen luftgekühlten Kondensator geleitet wird, welcher ein Vakuum erzeugt. Das weitere Enthalpiegefälle ermöglicht eine zusätzliche Stromerzeugung. Es bietet zudem eine zusätzliche Flexibilität zur Dampfverwendung, denn Dampferzeugung und -verbrauch sind an einem gegebenen Standort nicht notwendigerweise im Gleichgewicht. Nachteil dieser Ausführung ist, dass stets ein Mindeststrom über den Kondensationsteil der Turbine als Kühldampf strömen muss. Der Stromanteil aus dem Kondensationsteil wird nicht als KWK-Strom gewertet und damit deutlich schlechter vergütet als der Stromanteil aus dem Turbinenteil vor der Entnahme.

Für den Standort ZKW wird eine Gegendruckturbine empfohlen. Die überschüssige Wärme kann ggf. dem FW-Netz zugeführt werden bzw. über das Rückkühlsystem des ZKW an die Umgebung

## Erläuterungsbericht Vorplanung

abgegeben werden. Auf diese Weise können die zusätzlichen Investitionskosten für einen Luftkondensator eingespart werden.

Aufgrund der Notwendigkeit der Trocknung des Klärschlammes sollte in jedem Fall eine Prozessdampferzeugung stattfinden. Dieser Prozessdampf wird zur Klärschlamm-trocknung eingesetzt. Eine kleine Dampfmenge wird zur Entgasung benötigt. Außerdem kann der Dampf zur Luftvorwärmung oder zu Heizzwecken eingesetzt werden.

Der kondensierte Dampf wird in den Wasserdampf-Kreislauf über den Speisewasserbehälter/Entgaser zurückgeführt. Die Reinigung mindestens eines Teilstroms des Rücklaufkondensats ist üblich, gerade auch beim Einsatz von dampfbeheizten Trocknern.

Wasserverluste durch Kesselabsatzung, Entgasung und Verluste müssen durch vollentsalztes Wasser ausgeglichen werden. Es ist daher die Neuerrichtung oder Erweiterung einer bestehenden Wasseraufbereitungsanlage erforderlich. Daneben wird Druckluft für pneumatische Förderungen und Instrumentenluft benötigt.

Weitere „Produkte“ sind die Stromerzeugung und die Dampferzeugung. Die Dampferzeugung kann überwiegend für den Eigenbedarf, die Teiltrocknung des Klärschlammes und die Entgasung des Speisewassers sowie ggf. für die Gebäudeheizung verwendet werden.

Die Stromerzeugung kann ebenfalls im Wesentlichen für den Eigenbedarf, d. h. für die Versorgung der Klärschlammverbrennung und -trocknung eingesetzt werden. Mit hoher Wahrscheinlichkeit reicht der erzeugte Strom nicht zur vollständigen Eigenbedarfsdeckung aus, jedenfalls wenn die Trocknung mitberücksichtigt wird.

In Anhang A5 ist die Energiebilanz der Varianten in Form einer Wärmekreislaufberechnung dargestellt.

### Asche

Das Hauptprodukt aus der Mono-Klärschlammverbrennung ist eine lagerfähige Asche. Sie besteht aus den mineralischen Anteilen des Klärschlammes, welche so grobkörnig sind, dass sie bei der Vorentstaubung abgeschieden werden können.

In dieser Asche ist der Phosphor in einer Form gebunden, dass er durch ein weiteres nasschemisches oder thermo-chemisches Verfahren nutzbar gemacht werden kann.

### Rückstände

Wesentliche, ständig anfallende Rückstände sind die im Sprühtrockner der RGR eingedampften und im Gewebefilter abgeschiedenen Rückstände der RGR. Diese Rückstände sind toxisch, da sie auch die angereicherten Schwermetalle und im Adsorbens abgeschiedenen organischen Komponenten enthalten. Die Rückstände müssen daher deponiert werden.

### Abwasser

Die Klärschlammverbrennung und die Abgasreinigung als solche können so konzipiert werden, dass keine Prozessabwässer anfallen. Am Standort ZKW kann auch ein abwassererzeugendes Verfahren der Rauchgasreinigung eingesetzt werden. Die Einleitbedingungen wären noch im Detail zu klären. Je nach Mengen- und Qualitätsbegrenzung kann der Aufwand zur Einhaltung nicht unerheblich sein. Die Machbarkeit ist aber grundsätzlich gegeben.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Kesselabsalzung, die eine leicht erhöhten Salzgehalt aufweist, als Prozesswasser oder Eingangswasser für die VE-Anlage eingesetzt werden kann.

Da die Rückstände aus der Rauchgasreinigung im Sprühtrockner eingedampft werden, entsteht hier kein zusätzliches Abwasser. Sollte eine Rauchgasunterkühlung mit Kondensatableitung realisiert werden, wird dieses vorrangig als Prozesswasser eingesetzt. Je nach Grad der Unterkühlung kann allerdings ein Wasserüberschuss entstehen, der abgeführt werden muss. Dieses Abwasser weist aber eine Qualität auf, die unbedenklich mit der Regenentwässerung abgeleitet werden kann.

Aus der Wasseraufbereitung entstehen, je nach der Qualität des Eingangswassers, gelegentlich Abwassermengen. Werden Ionenaustauscher zur Wasseraufbereitung eingesetzt, müssen diese, z. B. täglich, mit Säure bzw. Lauge regeneriert werden. Diese Regenerierabwässer werden gesammelt und neutralisiert. Das neutralisierte Abwasser muss abgeleitet werden. Das Abwasser weist einen erhöhten Salzgehalt auf, ist aber ansonsten unbedenklich, da ohne Schadstoffanreicherung. Gleiches gilt, wenn eine Umkehrosmose zur Wasseraufbereitung eingesetzt wird. Das Retentat weist einen erhöhten Wassergehalt auf, aber keine relevante Schadstoffanreicherung.

Am Standort ZKW wäre die Infrastruktur für Chemikalienanlieferung und -lagerung neu zu schaffen. Das Retentat kann in das Klärwerk zurückgeleitet werden, es treten diesbezüglich keine zusätzlichen Betriebskosten auf. Damit ist an diesem Standort eine Umkehrosmose tendenziell zu bevorzugen, wenn die Eingangsqualität relativ konstant ist.

Bei der Klärschlamm Trocknung entstehen Brüden durch das aus dem Schlamm ausgetriebene Wasser. Diese Brüden werden in einem Kreislauf niedergeschlagen. Die für die Niederschlagung erforderliche Kühlung kann über Kühlwasser oder eine Niedertemperaturwärmenutzung erfolgen. Je nach eingesetztem Trocknungsverfahren, und zwar mit zunehmender Trocknertemperatur, enthält dieses Wasser organische Substanzen, die nicht ohne weiteres abgeleitet werden können.

Das Brüdenkondensat ist eine separate Brüdenbehandlung zuzuführen und kann anschließend ins ZKW eingeleitet werden.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

### 4.2.4.1 Aufstellungen

Die vollständigen Lagepläne und Aufstellungspläne sind in Anhang A2 sowie A3 beigefügt. Im Folgenden werden Auszüge aus diesen Plänen präsentiert.

Aufstellung Bunker:

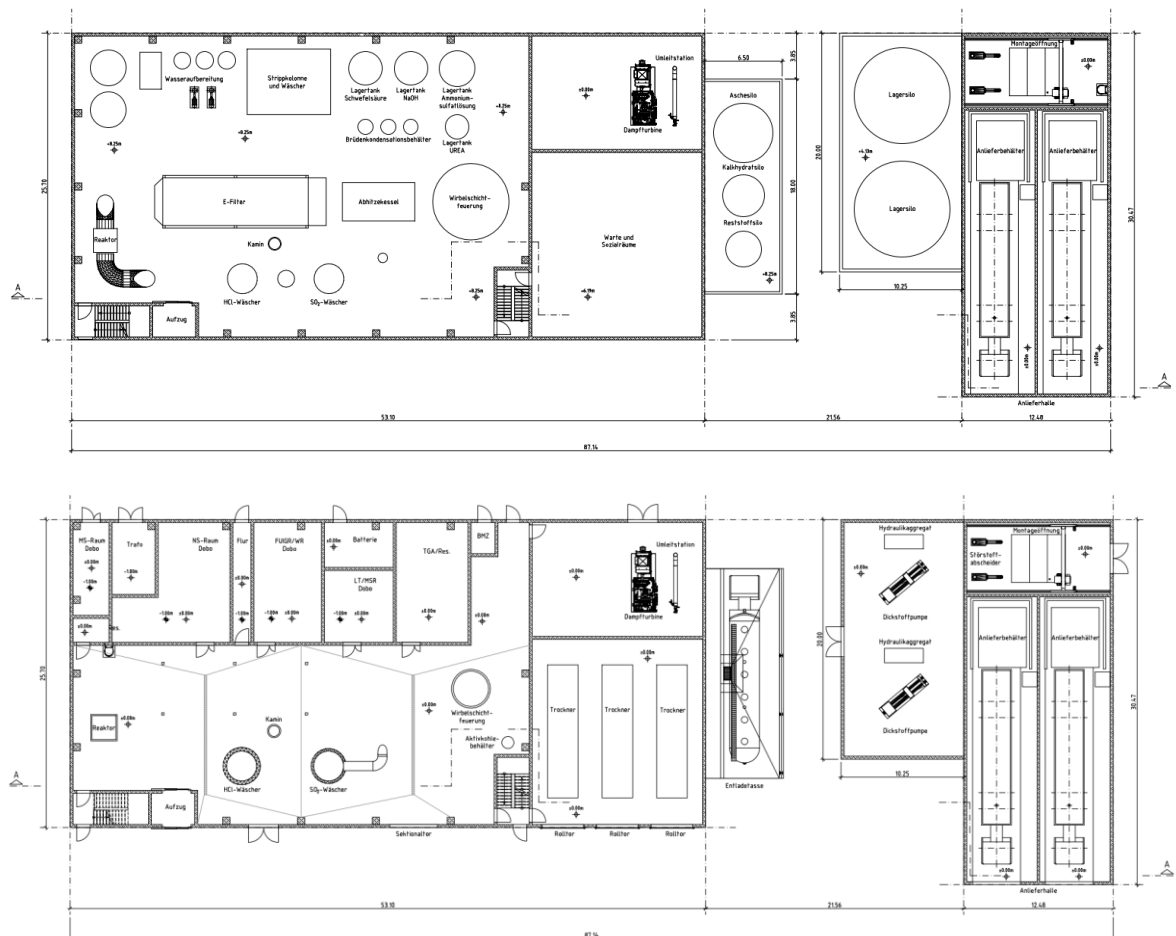


Abbildung 8: Aufstellungsplan mit der Ebene +0,00m und Ebene +8,25m

Im rechts dargestellten Gebäude (Annahmegebäude) befinden sich die Anlieferhalle, Bunker, Trockner, Brüdenkondensation, Brüdenkondensataufbereitung sowie Wasseraufbereitung. Zwischen Kesselhaus (links dargestelltes Gebäude) und Annahmegebäude befindet sich die Entlastetasse mit dem Aschesilo, Kalkhydratsilo und Reststoffsilo. Im Kesselhaus befindet sich die Kesselanlage mit Abgasreinigung, Dampfturbine, E-Räumen und den Sozialräumen. Im Anhang A3 sind die detaillierten Pläne im Maßstab 1:200 hinterlegt.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

### 4.2.4.2 Schnittstellen zum Bestand

Am Gelände des ZKWs sind folgende Schnittstellen zum Bestand zu berücksichtigen:

- Klärschlammleitung vom Klärwerk
- Brüdenkondensat zum Klärwerk zur Reinigung zurück
- Erdgasleitung zum WSK für die Verbrennung
- Wasserleitung zur Wasseraufbereitung vom Klärwerk
- Fernwärmeauskopplung bzw. Kopplung mit dem Kühlkreislauf des Klärwerks
- Restliche Abwässer zur Aufbereitung zum Klärwerk
- Elektro- und Leittechnik (siehe auch vorläufige Verbraucherliste in Anhang A7)

## 4.3 Vorplanung – Vorzugsvariante MHKW

### 4.3.1 Standortbedingungen

#### Fernwärmeleitung am Standort MHKW

Bei der Anordnung der Klärschlammannahme am Standort MHKW ist die über den Standort verlaufende Fernwärmeleitung (Abbildung 9) zu berücksichtigen. Eine Verlegung der unterirdisch verlaufenden Fernwärmeleitung ist technisch machbar. Allerdings ist diese Umverlegung sehr kompliziert und mit hohem Aufwand verbunden. Dieser Aufwand wird in dieser Machbarkeitsstudie monetär mit etwa 2.000 EUR pro umverlegten Meter bewertet. Im Rahmen der Vorplanungen wurden daher weitere Aufstellungsvarianten für die Klärschlammannahme betrachtet.

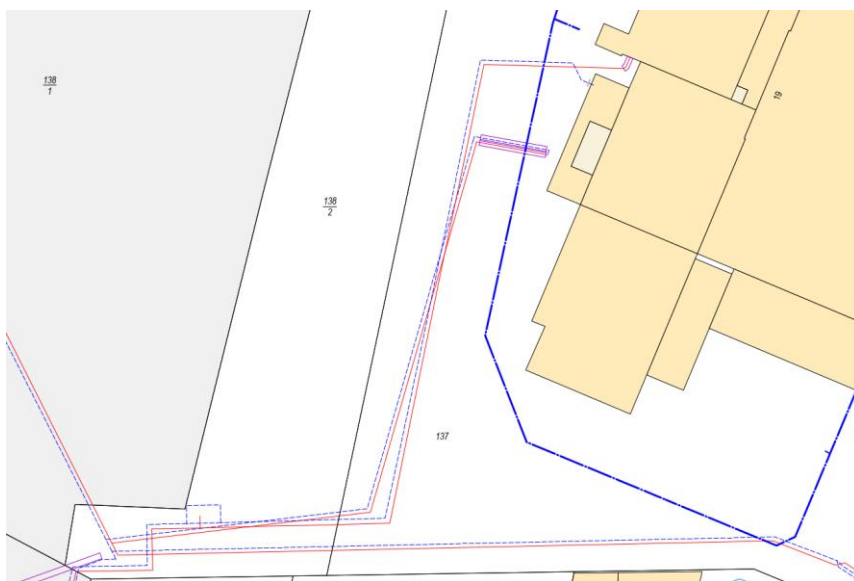


Abbildung 9: Verlauf der Fernwärmeleitung am Standort MHKW.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Eine denkbare Alternative ist die Aufstellung der Klärschlammannahme östlich der Waage mit den Silos auf der Schlacke-Insel (Abbildung 10). Bei dieser Variante ist dann allerdings eine weitere Standortausfahrt mit Waage zum Pfarrwiesenweg notwendig, da die LKW keinen Platz zum Wenden haben. Ob eine zweite Standortausfahrt zum Pfarrwiesenweg möglich ist, ist seitens des ZAS noch zu klären.

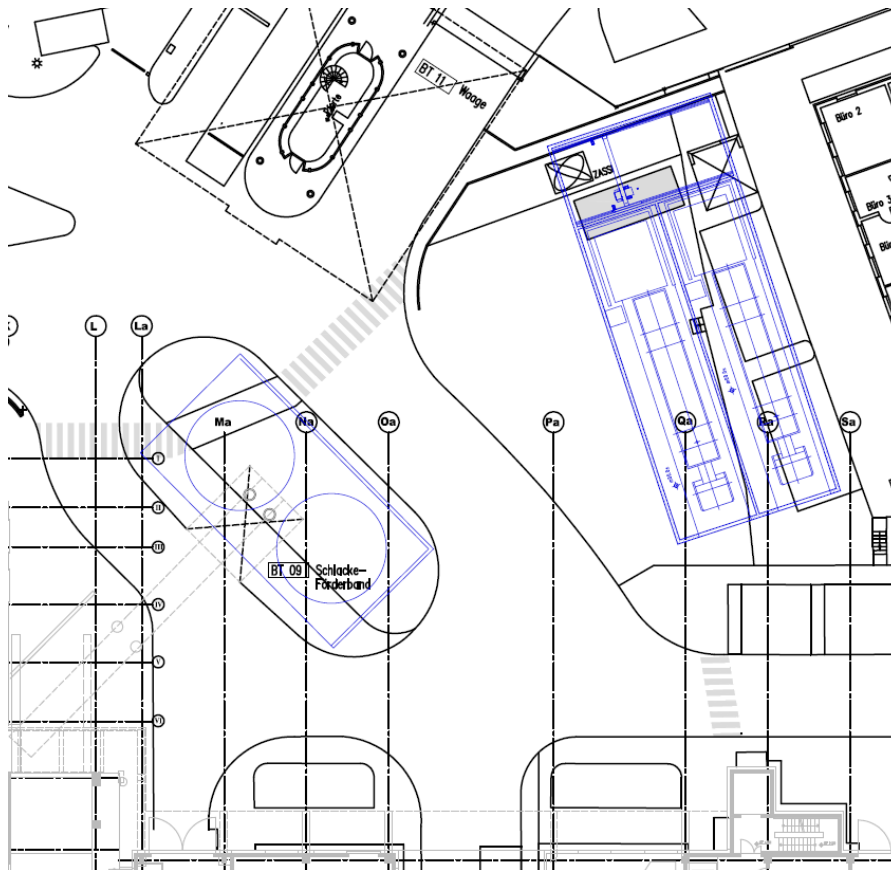


Abbildung 10: Alternative Aufstellungsvariante der Klärschlammannahme mit den Silos auf der Schlacke-Insel

Eine Übersicht aller Aufstellungsvarianten ist in Anhang A11 beigefügt. In der weiteren Planung sind diese Varianten ggf. detailliert zu prüfen, da zum Teil weitere Anpassungen am Standort erforderlich werden.

### Bestandsabfallkessel am Standort MHKW

Die Bewertung der Anlagentechnologien (Schritt 1 der Machbarkeitsstudie) zeigt, dass für den Standort MHKW zwei Technologien für die Klärschlammbehandlung interessant sind:

- Drehrohrofen als Vorschaltanlage zum MHKW (Kessel 2 bzw. Kessel 2 und Kessel 3)
- Substitution des Abfallkessel 1 durch eine Wirbelschichtfeuerung

Allerdings hat die Machbarkeitsanalyse ergeben, dass sowohl aufgrund der Platzverhältnisse am Standort als auch das benötigte Rauchgasvolumen für den Betrieb des Drehrohrofens eine

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Erneuerung und Kapazitätserhöhung des Kessel 2 notwendig wird. Für die prinzipielle Machbarkeit dieser Umbaumaßnahmen kann folgende überschlägige Einschätzung geben werden: Eine Erhöhung der Kesselkapazität am Standort MHKW ist prinzipiell möglich.

- Eine geringfügige Erhöhung auf 80.000 t/a ist realisierbar.
- Eine Erhöhung auf 90.000 t/a ist wahrscheinlich ebenfalls realisierbar.
- Eine Erhöhung auf bis zu 100.000 t/a ist im Detail zu prüfen, könnte aber auch realisierbar sein.
- Eine Erhöhung über 100.000 t/a unter der Voraussetzung, dass während der Umbauzeit der Kessel 1 weiterhin in Betrieb ist, wird als unwahrscheinlich angesehen.

In Anhang A12 ist eine Betrachtung der Abfallkesselgrößen dargestellt. Die Betrachtung erfolgte zunächst für den Neubau des Abfallkessel 1. Allerdings ist für die Umbauphase eine möglichst hohe Verbrennungskapazität in den beiden noch in Betrieb befindlichen Abfallkesseln zur Wahrung der Entsorgungssicherheit zu gewährleisten. Daher wird in der weiteren Planung davon ausgegangen, dass der Platz am Standort der Abfallverbrennungslinie 2 dem des Platzes der Abfallverbrennungslinie 1 entspricht und die gleichen Schlussfolgerungen gelten. Diese Annahme entspricht ebenfalls der Einschätzung des Betriebes des MHKW.

Bei einer deutlichen Kapazitätserhöhung der Abfallverbrennungslinie ist ebenfalls die Rauchgasreinigungsanlage zu erneuern, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Kapazität der bestehenden Anlage ausreicht um etwa 25 % höheres Rauchgasvolumen zu reinigen. Dies ist ebenfalls in einer separaten Planung der neuen Abfallverbrennungslinie zu betrachten. In diesem Rahmen sollte ebenfalls die Möglichkeit die Rauchgasreinigung hinsichtlich der Umstellung auf ein quasi-trockenes Verfahren untersucht werden.

### 4.3.2 Klärschlammannahme MHKW

Die neue Klärschlammannahmestelle am Standort MHKW ist südwestlich des bestehenden Lagerhauses als separates Gebäude vorgesehen. Aufgrund der erhöhten Zufahrt zum Müllbunker, muss der Zufahrtsbereich der Klärschlammannahmestelle auf die gleiche Ebene (Ebene +1, +3,60m) angepasst werden. Der via Lieferverkehr ankommende Schlamm wird über das Werkstor an der Otto-Röhm-Straße zu der Annahmestelle transportiert. Bei Werksein- und -ausfahrt wird der LKW gewogen. Der Fahrtweg sowie die Annahmestelle sind in Abbildung 11 dargestellt. Bezüglich weiterer Aufstellungsvarianten, die im Rahmen dieser Studie skizziert wurden, siehe auch Anhang A11.

Der Klärschlamm wird mit Hilfe von Sattelschleppern, Muldenkippern und Abrollern aus den entsprechenden Klärwerken angeliefert. Das zusätzliche Verkehrsaufkommen ist von der Menge des anfallenden Klärschlammes abhängig und wird in Tabelle 21 aufgeführt. Eine detaillierte Darstellung ist in Abbildung 11 und Anhang A8 beigefügt.



## Erläuterungsbericht Vorplanung

Table 21: KS- Annahmekonzept MHKW

<b>Klärschlammanlieferung</b>		<b>Variante 1</b>	<b>Variante 2</b>	<b>Variante 3</b>
Schlammmenge	t/a	43.000	60.000	78.000
TS-Gehalt	m% v. OS	25	25	25
TS-Menge	tTS/a	10.750	15.000	19.500
Betriebsstunden	h/a	7.500	7.500	7.500
Durchschnittlicher Klärschlammbe- darf pro Stunde	tOS/h	5,7	8,0	10,4
Anliefertage pro Jahr	d	250	250	250
Durchschnittliche Tagesmenge	tOS/d	172	240	312
Kapazität Sattelschlepper	t/Fahrzeug	25	25	25
Kapazität Muldenkipper	t/Mulde	8	8	8
Mulden pro Gespann	Stk	3	3	3
Kapazität Abroller	t/Fahrzeug	18	18	18
<b>Anlieferzuwege</b>				
AW (von A5)	t OS/a	10.500	10.500	10.500
von A5	t OS/a	14.464	38.464	56.464
durch DA (MainzerStr.)	t OS/a	18.036	11.036	11.036
<b>Anlieferzuweg Fahrzeuge pro Jahr (Zahlen auf- gerundet)</b>				
AW (von A5)	1/a	483	420	420
von A5	1/a	666	1.850	2.790
durch DA (MainzerStr.)	1/a	830	531	545
Fahrzeuge gesamt	1/a	1.979	2.801	3.755
<b>Anlieferzuweg Fahrzeuge pro Tag (Zahlen aufgerundet)</b>				
AW (von A5)	1/d	2	2	2
von A5	1/d	3	8	11
durch DA (MainzerStr.)	1/d	4	3	3
<b>Fahrzeuge gesamt</b>	<b>1/d</b>	<b>9</b>	<b>13</b>	<b>16</b>
<b>Betriebsmittel und Reststoffe WSF</b>		<b>Variante 1</b>	<b>Variante 2</b>	<b>Variante 3</b>
Ca(OH) <sub>2</sub>	LKW/a	13	18	24
CaO	LKW/a	2	3	4
Adsorbens / Aktivkohle	LKW/a	11	15	19
NaOH (50%ig)	LKW/a	3	4	5
Asche gesamt	LKW/a	172	240	312
Reststoff / Trockenrückstände	LKW/a	39	54	71
<b>Fahrzeuge gesamt</b>	<b>LKW/a</b>	<b>240</b>	<b>334</b>	<b>435</b>

## Erläuterungsbericht Vorplanung

<b>Betriebsmittel und Reststoffe DRO</b>		<b>Variante 1</b>	<b>Variante 2</b>	<b>Variante 3</b>	
Additiv	LKW/a	37	51	66	
Ca(OH) <sub>2</sub>	LKW/a	5	7	9	
CaO	LKW/a	2	3	4	
NaOH (50%ig)	LKW/a	7	10	13	
Asche gesamt	LKW/a	172	240	312	
Reststoff / Trockenrückstände	LKW/a	15	21	28	
Fahrzeuge gesamt		LKW/a	238	332	432
<b>Fahrzeuge zum MHKW gesamt</b>		<b>LKW/a</b>	<b>2.219</b>	<b>3.135</b>	<b>4.190</b>
		<b>LKW/d</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>18</b>

Berechnet auf 250 Annahmetage im Jahr kann mit einem zusätzlichen Verkehr zwischen 9 und 16 Fahrzeugen am Tag gerechnet werden. Um bei Ausfall einer Annahmestelle die Annahmen für die Klärschlammlieferung weiterhin sicherzustellen, werden zwei Annahmestellen eingeplant. Bei Ausfall einer Annahmestelle kann der Anlieferverkehr allerdings auch durch die verbleibende Annahmestelle abgewickelt werden.

Des Weiteren ist ein zusätzlicher Lieferverkehr im Bereich der Betriebsmittel bzw. Reststoffe zu berücksichtigen. Für Betriebsmittel und Reststoffe sind am MHKW pro Tag 1 bis 2 zusätzliche Fahrzeuge einzuplanen, sodass insgesamt (Anlieferung, Reststoffe und Betriebsmittel) mit einem zusätzlichen Verkehrsaufkommen von 10 bis 18 Fahrzeuge zu rechnen ist.

Zukünftig wird sich der Anlieferverkehr der Abfälle zur Abfallverbrennungsanlage durch die geplante Mengenreduktion von derzeit etwa 212.000 t/a auf zukünftig 180.000 t/a um ca. 10 LKW/d reduzieren. Daher wird die Zusatzbelastung durch den Verkehr am Standort MHKW sich nur geringfügig erhöhen.

Die Annahme besteht im Wesentlichen aus den folgenden Komponenten:

- 2x Annahmehunker inkl. Anlieferhalle und Förderaggregate
- 2x Klärschlammumpen zu Lagersilos (je Bunker 1x Pumpe)
- 2x Lagersilos inkl. Förderaggregate
- 2x Klärschlammumpen zu Trockner (Je Silo 1x Pumpe)

## Erläuterungsbericht Vorplanung

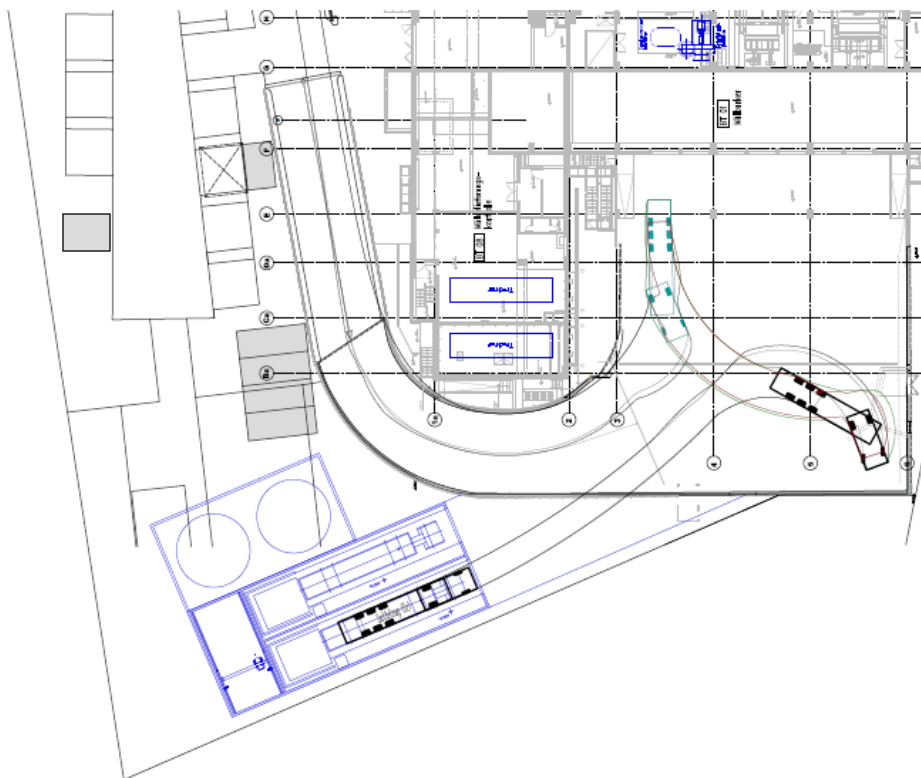


Abbildung 11: KS- Annahmekonzept MHKW

### 4.3.3 Wirbelschichtfeuerung

Der grundlegende Verfahrensablauf ist im Grundfließbild „MFB010-0H-001-MHKW Grundfließbild WSF V1-3-01“ in Anhang A1 dargestellt. Im Wesentlichen entspricht die Wirbelschichtfeuerungsanlage am MHKW in etwa der am ZKW.

#### Anlieferung und Lagerung

Die Klärschlammannahme wird in Kapitel 4.1 beschrieben.

#### Vorbehandlung

Die Klärschlammrocknung wird in Kapitel 4.1 beschrieben.

#### Verbrennung und Dampferzeugung

Durch das hohe Synergiepotenzial mit dem MHKW können einige Anlagenteile gemeinsam mit den bestehenden/ zu erneuernden Abfallverbrennungslinien genutzt werden. Insbesondere, da eine Abfallverbrennungslinie zukünftig entfallen wird. Folgende Komponenten entfallen durch gemeinsame Nutzung mit dem MHKW.

- Brüdenkondensation und Brüdenkondensatreinigung, sofern die Brüden in den Abfallkesseln des MHKW verbrannt werden können.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

- Wasseraufbereitung, da Speisewasser aus dem bestehenden Kondensatsystem gespeist werden kann.
- Dampfturbine, da Frischdampf ins Frischdampfnetz des MHKW gespeist wird. Für die Trocknung wird Prozessdampf aus dem Prozessdampfsystems des MHKW entnommen.

Die Auslegungsgrundlagen der Wirbelschichtfeuerung und Dampferzeugung am Standort MHKW sind in der nachfolgenden Tabelle 22 zusammengestellt. Die Auslegung der Rauchgasmengen und -zusammensetzung sowie der Dampferzeugung erfolgt anhand einer Verbrennungsrechnung, die im Anhang A4 beigelegt ist.

Tabelle 22: Eckdaten der Wirbelschichtfeuerung für die verschiedenen Varianten am MHKW.

Verbrennungsbedingungen	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Feuerung		stationäre Wirbelschicht		
Kesseltyp		Naturumlauf		
Verweilzeit bei 850°C		min. 2 Sekunden		
Feuerungswärmeleistung	MW	3,4	4,8	6,2
TS-Durchsatz	tTS/h	1,4	2,0	2,6
OS-Durchsatz (42 % TS)	tOS/h	3,4	4,8	6,2
Temperatur Luftvorwärmung Kessel-LuVo	°C	400		
Feuerraumtemperatur	°C	850 - 950		
Frischdampferzeugung	t/h	6,5	8,00	10,00
Hochdruckdampfdruck / -temperatur	bar (ü) / °C	36 / 350		
Hilfsbrennstoff		Erdgas / Heizöl EL		
SNCR		m. Harnstoff, für Anfahren		
Rauchgasvolumenstrom, feucht	Nm <sup>3</sup> /h	9.600	13.400	17.400
Rauchgasvolumenstrom, trocken	Nm <sup>3</sup> /h	6.400	8.900	11.600
O <sub>2</sub> -Gehalt RG hinter Kessel	Vol.%,tr.	6,5		
RG-Temperatur hinter Kessel	°C	200		

### Rauchgasreinigung

Anders als am Standort ZKW ist eine abwasserfreie Rauchgasreinigung erforderlich, da die Möglichkeit einer direkten Einleitung in ein Klärwerk an diesem Standort nicht besteht. Daher wird am Standort MHKW die Rauchgasreinigung mit einem Sprühtrockner geplant. Die Hauptschadstoffsenke erfolgt somit über die festen Rückstände aus Sprühtrockner bzw. über das Gewebefilter. Daneben muss in der Abwasserbehandlung der Rauchgasreinigung noch eine Komplexbildung für abgeschiedenes Quecksilber erfolgen.

Aus der über die Verbrennungsrechnung ermittelten Rauchgaszusammensetzung (Tabelle 23) lassen sich für die oben genannte Rauchgasreinigung (ohne Sprühtrockner) der Betriebsmittelbedarf sowie Reststoffanfall (Tabelle 24) bestimmen. Am Standort MHKW sind voraussichtlich die genehmigten Grenzwerte des MHKW einzuhalten (Tabelle 25).

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Tabelle 23: Ergebnisse der Verbrennungsberechnung der WSF am Standort MHKW

Parameter	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Brennstoffmassenstrom	tTS/h	1,4	2,00	2,60
TS-Gehalt	% TS	42	42	42
Heizwert	MJ/kg	3,624	3,624	3,624
Frischdampf (37 bar / 350 °C)	t/h	4,2	5,8	7,6
Rauchgasvolumenstrom, feucht	Nm <sup>3</sup> /h	9.600	13.400	17.400
N <sub>2</sub>	Vol%	53,8	53,8	53,8
O <sub>2</sub>	Vol%	4,0	4,0	4,0
CO <sub>2</sub>	Vol%	8,3	8,3	8,3
H <sub>2</sub> O	Vol%	33,8	33,8	33,8
Rauchgasvolumenstrom, trocken	Nm <sup>3</sup> /h	6.400	8.900	11600
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	228	228	228
HF	mg/Nm <sup>3</sup>	46,7	46,7	46,7
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	3.613	3.613	3.613
SO <sub>3</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	11,3	11,3	11,3
NH <sub>3</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	56,2	56,2	56,2
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	31,2	31,2	31,2
TOC	mg/Nm <sup>3</sup>	46,8	46,8	46,8
Asche	mg/Nm <sup>3</sup>	65.267	65.267	65.267
Hg	mg/Nm <sup>3</sup>	0,2	0,2	0,2
Cd, Tl	mg/Nm <sup>3</sup>	0,2	0,2	0,2
Sb, AS, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	mg/Nm <sup>3</sup>	250	250	250
As, Cd, Co, Cr, Benzoapyren	mg/Nm <sup>3</sup>	8,6	8,6	8,6

Tabelle 24: Betriebsmittelbedarf und Reststoffanfall für die Varianten der WSF am Standort MHKW.

Parameter	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3
<b>Betriebsmittel</b>				
Wasser	t/a	6.450	9.000	11.700
Ca(OH) <sub>2</sub>	t/a	323	450	585
CaO	t/a	48	68	88
Adsorbens / Aktivkohle	t/a	10	14	18
NaOH (50%ig)	t/a	59	83	107
<b>Reststoffe</b>				
Asche	t/a	3.651	5.095	6.623
Bett-/Grobasche	t/a	645	900	1170
Reststoff / Trockenrückstände	t/a	968	1.350	1.755
Abwasser zum Sprühabsorber	t/a	1.828	2.550	3.315

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Tabelle 25: Gegenüberstellung der Emissionsgrenzwerte der 17. BImSchV und der genehmigten Grenzwerte der Bestandsanlage MHKW (Bezogen auf das Abgasvolumen im Normzustand (Temperatur 273,15 K; Druck 101,3 kPa nach Abzug des Feuchtegehalts)

Parameter	Einheit	17. BImSchV		Grenzwerte MHKW	
		HMW	TMW	HMW	TMW
Staub	mg/m <sup>3</sup>	20,00	10,00	20,00	5,00
SOx als SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	200,00	50,00	200,00	50,00
NOx als NO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	400,00	200,00	400,00	<b>130,00</b>
C <sub>ges</sub>	mg/m <sup>3</sup>	20,00	10,00	20,00	10,00
CO	mg/m <sup>3</sup>	100,00	50,00	100,00	50,00
HCl	mg/m <sup>3</sup>	60,00	10,00	60,00	10,00
HF	mg/m <sup>3</sup>	4,00	1,00		
NH <sub>3</sub>	mg/m <sup>3</sup>	15,00	10,00	5,00	5,00
Hg	mg/m <sup>3</sup>	0,05	0,03	0,05	0,03
Cd, Tl	mg/m <sup>3</sup>	0,05		0,05	
Sb...Sn	mg/m <sup>3</sup>	0,50		0,50	
As...Benzo(a)pyren	mg/m <sup>3</sup>	0,05		0,05	
PCDD/F	ng/TEQ/m <sup>3</sup>	0,10		0,10	

### Energiebilanz

Am Standort MHKW sind eine Gegendruck- und eine Entnahme-/ Kondensationsturbine vorhanden. Bei Ersatz einer MHKW-Linie müssen hier keine Änderungen vorgenommen werden.

In Anhang A5 sind die Energiebilanzen der Varianten in Form einer Wärmekreislaufberechnung dargestellt. Das Bestandssystem des MHKW wird in diesem Modell nicht näher betrachtet.

### Abwasser

Da die Rauchgasreinigung abwasserfrei betrieben wird, ist das Brüdenkondensat, soweit die Brüden nicht der Verbrennung zugeführt werden können, zu sammeln und zu entsorgen. Dieses kann z. B. per Tank-LKW zum Klärwerk gefahren werden. Zusätzlich kann eine separate Brüdenbehandlung am Standort erforderlich werden.

#### 4.3.3.1 Aufstellungen

Die vollständigen Lage- und Aufstellungspläne sind in Anhang A2 sowie A3 beigefügt. Im Folgenden werden Auszüge aus diesen Plänen präsentiert.

Abbildung 12 zeigt im Schnitt die möglichen Positionen der Komponenten für eine Wirbelschichtverbrennung. Die Positionen der Komponenten sind so gewählt, dass der Aufbau der Bestandsanlage in der Aufstellung wiederzufinden ist. Der Wirbelschichtkessel mit Abhitzekegel ist an der Position des Bestandskessel wiederzufinden. Der E-Filter mit Sprühtrockner, Flugstromreaktor und Gewebefilter nehmen die alte Position des E-Filters und Gewebefilters auf dem Dach ein.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

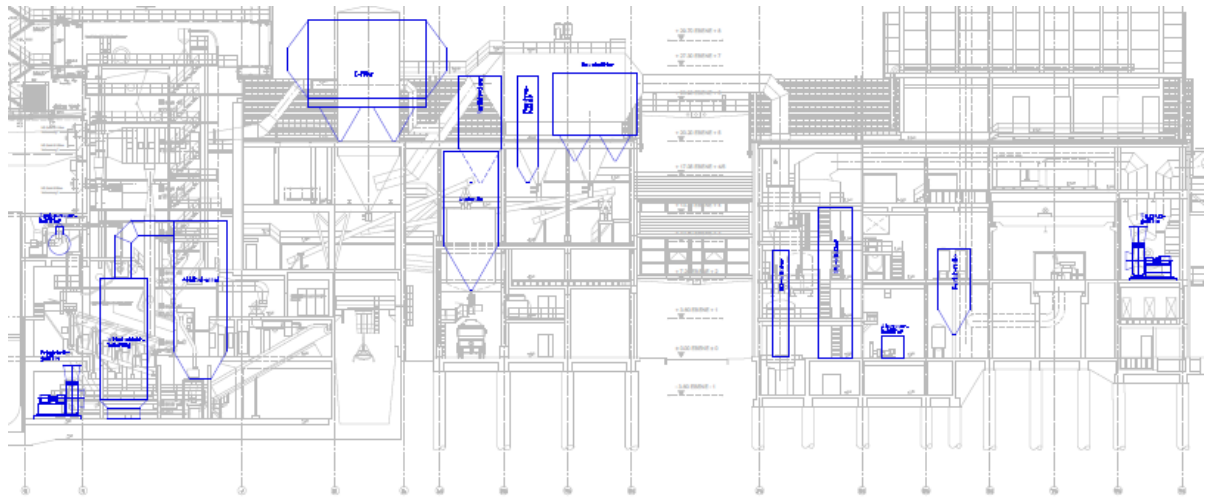


Abbildung 12: Schnittansicht Variante Wirbelschicht

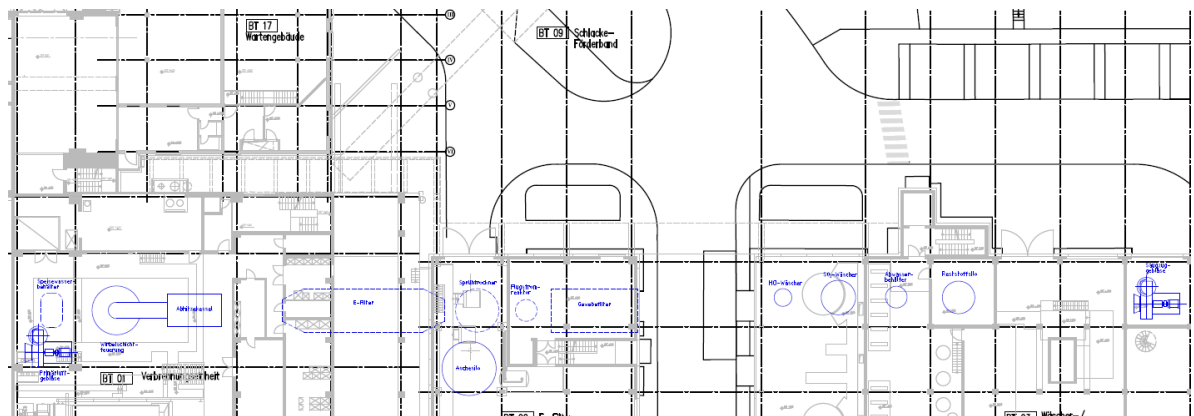


Abbildung 13: Grundriss Variante Wirbelschicht

Abbildung 13 zeigen die möglichen Positionen im Grundriss. Wie in den beiden Abbildungen zu sehen, ist die neue Aufstellung dem Bestand angenähert. Kessel, Abhitzekessel, Primärluftgebläse und Speisewasserbehälter sind im Bereich des Bestandskessels platziert. Die Abgasreinigung steht am gleichen Platz wie in der bestehenden Abfallverbrennungslinie, ebenso das Aschesilo. Die restlichen Komponenten der

Abgasreinigung befinden sich im nebenstehenden Gebäude. Die Trockner und die dazugehörige Brüdenkondensatbehandlung wird im aktuell nicht genutzten Sperrmüllbereich aufgestellt. Die Trockner werden auf der Anfahrtsebene der Müllbunker angeordnet und die Brüdenkondensatbehandlung oberhalb der Trockner. Aus Platzgründen passen jedoch nur maximal 2 Trockner in diesen Bereich. Diese sind dann für jeweils 100 % auszulegen, um eine Redundanz sicher stellen zu können. Dies hat den Nachteil, dass die Trockner im Vergleich zu Variante mit 3 Trocknern á 50 % deutlich größer auszulegen sind.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

### 4.3.3.2 Schnittstellen zum Bestand

Am Gelände des MHKWs sind folgende Schnittstellen zum Bestand zu berücksichtigen:

- Kühlwasser vom Bestand
- Sand vom Bestand
- Brüdenkondensat zum Bestand zur Aufbereitung
- Erdgas vom Bestand
- Ammoniakwasser/Harnstoff vom Bestand
- Prozessdampf vom Bestand
- Frischdampf zum Bestand
- Natronlauge vom Bestand
- Asche zum Bestand
- Reststoff zum Bestand
- Reagens vom Bestand
- Waschwasser vom Bestand
- Adsorbens-(HOK/Kalkhydrat) vom Bestand
- Speisewasser vom Bestand
- Elektro- und Leittechnik (siehe auch vorläufige Verbraucherliste in Anhang A7)



## Erläuterungsbericht Vorplanung

### 4.3.4 Drehrohrofen (EuPhoRe-Verfahren)

Ziel des EuPhoRe-Verfahrens ist die Herstellung von Phosphaten bzw. phosphathaltigen Verbindungen, die einer stofflichen Nutzung zugeführt werden können. Seit Beginn der ersten Versuchsreihen im Jahr 2006 liegt der Fokus der Verfahrensentwicklung auf der Erzeugung eines Endprodukts, welches zum Einsatz in der Landwirtschaft geeignet ist. [1],[2]

Die thermo-chemische Klärschlammbehandlung erfolgt in einem Drehrohrofen. Der Drehrohrofen kann als Vorschaltanlage zu einem Feststoffkraftwerk (z.B. Müllverbrennungsanlage (MVA)) oder als autarke Anlage ausgeführt werden. Derzeit sind für die Klärschlammbehandlung insbesondere die Vorschaltanlagen in der Planung bzw. Umsetzung. Der Fokus dieser Machbarkeitsstudie wird daher ebenfalls auf der Analyse der Anlagentechnologie des Drehrohrofens als Vorschaltanlage gelegt. Im Diskussionspapier (Anhang A9) erfolgt die Herleitung zu dieser Entscheidung.

#### Anlieferung und Lagerung

Die Klärschlammannahme wird in Kapitel 4.1 beschrieben.

#### Vorbehandlung

Die Klärschlämme sind von Störstoffen zu entfrachten. Eine weitere Vorbehandlung für den Einsatz entwässerter Klärschlämme (TS-Gehalt ca. 25 %) in einer Vorschaltanlage ist nicht erforderlich. Allerdings ist auf Schwankungen im Feuchtegehalt zu achten, da sich der Anteil des Wassers im Inputstrom in den Drehrohrofen direkt auf die Auslegung und Konstruktion der Trocknungszone des Drehrohrofens auswirkt. Nach Aussagen der Firma EuPhoRE sind TS-Gehalte zwischen 20 bis 40 % verarbeitbar, solange die Bandbreite vorher bekannt ist.

#### Behandlung

Die Klärschlämme werden in einem Drehrohrprozess thermochemisch so behandelt, dass die festen Reststoffe die Düngemittelverordnung (DüMV) einhalten und direkt in der Landwirtschaft als Dünger eingesetzt werden können. Im Drehrohrprozess wird das zweistufige reduktive (inkl. Trocknungsphase) und oxidative Verfahren als kontinuierlicher Prozess realisiert [1], [2].

#### Reduktiv-oxidativer Prozess / Prozessgaserzeugung

In einer Vorschaltanlage wird das für den Drehrohrprozess notwendige heiße Rauchgas mit einer Temperatur von ca. 900-1.000°C dem am Standort bestehenden Abfallkessel entnommen und die Prozessgase mit Temperaturen von ca. 340-380 °C in den Abfallkessel zurückgeführt. Die Stoffstromführung erfolgt im Gegenstrom, so dass die heißen Rauchgase den Ausbrand des festen Rückstands erhöhen. Im Prozessgas sind neben den zusätzlichen Schadstoffen noch einige Energieträger wie Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe enthalten. Diese werden im Abfallkessel aufoxidiert und energetisch verwertet. [1], [2]

Die Rückführung des Prozessgases aus dem Drehrohrprozess in den Kessel des MHKWs hat eine Erhöhung des Rauchgasvolumens und eine Veränderung der Rauchgaszusammensetzung zur Folge.

Das im Prozessgas enthaltene Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) kann teilweise zu einer Reduzierung der im Kessel der Abfallverbrennung entstehenden Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ) führen, da es wie das sogenannte SNCR(selective non catalytic reduction)-Verfahren wirkt.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

In Tabelle 26 sind die wesentlichen technischen Daten des Drehrohrprozesses als Vorschaltanlage am MHKW denen der Abfallkessel gegenübergestellt.

Tabelle 26: Zusammenstellung einiger technischer Daten des Drehrohrprozess als Vorschaltanlage.

	Einheit	Variante 1	Variante 2		Variante 3		Variante X
Jahresbetriebsstunden		7.500	7.500		7.500		<b>7.500</b>
<b>Drehrohröfen (EuPhoRe-Verfahren)</b>							
Klärschlammbehandlungskapazität	t/a	43.000	60.000		78.000		<b>55.000</b>
		DRO 1	DRO 1	DRO 2	DRO 1	DRO 2	<b>DRO 1</b>
Klärschlamm pro DRO	t/a	43.000	30.000	30.000	39.000	39.000	<b>60.000</b>
Rauchgasstrom zum Drehrohr	Nm <sup>3</sup> /h	10.000	6.800	6.800	8.850	8.850	<b>12.500</b>
Rauchgastemperatur	°C	900 - 1.000	900 - 1.000		900 - 1.000		<b>900 - 1.000</b>
Prozessgas zur MVA	Nm <sup>3</sup> /h trocken	15.650	10.750	10.750	13.975	13.975	<b>19.700</b>
Prozessgastemperatur		340 - 380	340 - 380		340 - 380		<b>340 - 380</b>
Additiv (MgCl <sub>2</sub> )	t/a	910	635	635	825	825	<b>1.165</b>
Drehrohr-Asche	t/a	4.300	3.000	3.000	3.900	3.900	<b>5.500</b>
<b>Kessel 2 (NEU)</b>							
Abfallverbrennungskapazität	t/a	100.000	80.000		90.000		<b>100.000</b>
Rauchgasstrom gesamt	Nm <sup>3</sup> /h	83.000	67.000		75.000		<b>83.000</b>
Rauchgasstrom zum Drehrohr / Rauchgasstrom gesamt		12 %	10 %		12%		<b>15 %</b>
<b>Kessel 3 (Bestand)</b>							
Abfallverbrennungskapazität	t/a	80.000		80.000		80.000	
Rauchgasstrom gesamt	Nm <sup>3</sup> /h	67.000		67.000		67.000	
Rauchgasstrom zum Drehrohr / Rauchgasstrom gesamt		15 %		10 %		13 %	

Die Betrachtung der Bestandskessel am Standort MHKW (Kapitel 2.2.2) hat gezeigt, dass ein Anschluss einer Klärschlammbehandlung in einem Drehrohröfen an die Bestandskessel 1 und 2 aus den folgenden Gründen nicht sinnvoll bzw. machbar ist:

- Beide Kessel sind bereits annähernd 30 Jahre alt und voraussichtlich in den nächsten Jahren zu erneuern.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

- Die Verweilzeit von 0,2 bzw. 0,3 Sekunden bei 850 °C erfüllen nicht die Anforderungen der 17 BImSchV von einer Mindestverweilzeit von 2 Sekunden. Bei Änderungen an den beiden Bestandsanlagen wird hier mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Anpassung an die geforderten 2 Sekunden Verweilzeit durch die Genehmigungsbehörde gefordert. Die bestehende Ausnahmeregelung erlischt.
- Die beiden Kessel sind mit 70.000 t/a bzw. 55.000t/a kleiner als Kessel 3. Eine Entnahme von etwa 10-15 % des gesamten Rauchgasvolumenstroms für die Verwendung im Drehrohrofenprozess ist nach Angaben von EuPhoRe sicher machbar. Dies begrenzt die Kapazitäten der Drehrohrofen, die an die Bestandskessel angeschlossen werden können.
- Die Platzverhältnisse sowie die Anordnung der Anlagen am Standort macht eine Aufstellung von zwei Drehrohren schwierig. Bei der Positionierung der Drehrohre ist auf möglichst kurze Rauchgasleitungen zu achten, da diese ein hohes Gewicht aufweisen. Daher sollte ein möglichst großes Drehrohr an einen Kessel angeschlossen werden.

Aus dieser Betrachtung ergibt sich die Schlussfolgerung, dass eine Realisierung einer Klärschlammbehandlung in einem Drehrohrofen am Standort MHKW nur mit einem Umbau inklusive Kapazitätserweiterung eines Abfallkessels darstellbar ist. Unter Berücksichtigung der räumlichen Verhältnisse wird eine Kapazitätserhöhung auf etwa 100.000 t/a als wahrscheinlich möglich erachtet (siehe Kapitel 4.3.1). Dies sollte allerdings in einer detaillierten Betrachtung geprüft werden.

Wird davon ausgegangen, dass ein Abfallkessel auf 100.000 t/a ausgebaut wird, kann der andere der beiden alten Kessel stillgelegt und rückgebaut werden, so dass Platz für die Aufstellung einer Klärschlammbehandlung entsteht.

### Alternative Variante X

Mit einer Kapazitätserhöhung eines Abfallkessels auf etwa 100.000 t/a ergibt sich neben den in dieser Studie betrachteten Mengenvarianten 1 bis 3 eine alternative Mengenvariante X mit einer Klärschlammmenge von etwa 55.000 t/a (Variante X, Tabelle 26). Abbildung 14 zeigt, dass mit einem solchen Abfallkessel die Anbindung eines Drehrohrofens mit einer Kapazität von etwa 55.000 t/a Klärschlamm bei einer Entnahme von etwa 15 % der Gesamtrauchgasmenge des Abfallkessels für den Betriebs des Drehrohrofenprozesses, möglich ist. Bei einer geringeren Kapazität des Abfallkessels (z.B. 80.000 t/a) und einer Klärschlammmenge von 55.000 t/a steigt dieses Verhältnis auf über 15 %. Dies ist bei der Neudimensionierung des Abfallkessels zu berücksichtigen. Zudem ist noch zu prüfen, welche Auswirkung die Steigerung der Abgasmenge durch das Prozessgas des Drehrohrofens auf die räumliche Anordnung und die verbleibenden Bestandseinrichtungen (Kamin) hat.

Diese Variante X ist gegenüber der hier dargestellten Mengenvarianten 1 und 2 vorteilhaft da,

- im Vergleich zu Varianten 1 (43.000 t/a) deutlich mehr Klärschlamm und
- im Vergleich zu Variante 2 (60.000 t/a) die Klärschlammengen in einem Drehrohrofen behandelt werden kann.

Dies reduziert den technischen Aufwand, da nur ein Drehrohr an einen Abfallkessel angebunden werden muss und die spezifischen Behandlungskosten, da mehr Klärschlamm in einem Drehrohr

## Erläuterungsbericht Vorplanung

behandelt wird. Für die weitere Planung wird empfohlen ein Drehrohr an einen neuen Abfallkessel anzubinden und die Drehrohrkapazität möglichst groß zu dimensionieren.

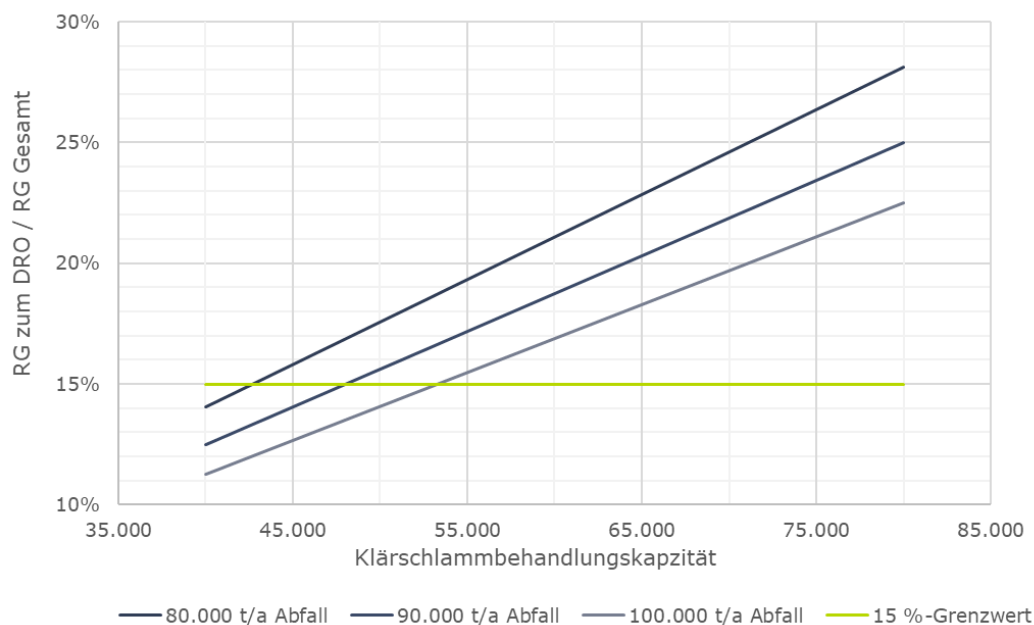


Abbildung 14: Größe des DRO abhängig von Rauchgasmenge des Abfallkessels

### Rauchgasreinigung

Aufgrund der zusätzlichen Rauchgasbelastung ist die bestehende Rauchgasreinigungsanlage (RRA) qualitativ und quantitativ hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit unter den im Folgenden dargestellten geänderten Randbedingungen zu bewerten:

- Steigende Rauchgasvolumenströme, insbesondere durch die Wasserverdampfung
- Steigende Schadstoffkonzentrationen (insbesondere SO<sub>2</sub> und HF)
- Zusätzlicher Energieeintrag durch Energieträger in den Kessel kann einen Einfluss auf die Rauchgastemperatur hinter dem Kessel haben.

Aus einer überschlägigen Betrachtung ergeben sich die folgenden zusätzlichen Betriebsmittel-mengen der bestehenden Rauchgasreinigung (Tabelle 27). Nach Einschätzung des Betriebs würde die bestehende RRA insbesondere bei der SO<sub>2</sub>-Abtrennung trotz des Einsatzes der zusätzlichen Betriebsmittel an ihre Grenzen kommen. Dadurch ist die Einhaltung der Grenzwerte der 17. BImSchV gegebenenfalls nicht mehr gewährleistet.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Tabelle 27: Betriebsmittelbedarf und Reststoffanfall der DRO am Standort MHKW

	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3
<b>Betriebsmittel</b>				
Ca(OH) <sub>2</sub>	t/a	120	173	225
CaO	t/a	50	70	91
NaOH (50%ig)	t/a	173	241	313

Im Falle eines Neubaus einer Abfallverbrennungslinie kann die Rauchgasreinigungsanlage bereits in der Planung auf den Betrieb des Abfallkessels mit angeschlossenen Drehrohröfen ausgelegt werden.

### Energienutzung/ erforderliche Nebenanlagen

Eine Energienutzung erfolgt durch die Rückführung des Prozessgases in den Verbrennungsprozess des MHKW mit anschließender Dampferzeugung. Bei der Auslegung des neuen Abfallkessels ist allerdings zu berücksichtigen, dass durch den zusätzlichen Eintrag des heizwertreichen Prozessgases ggf. der Abfalldurchsatz in der Abfallverbrennung zu reduzieren ist. Der feste Rückstand aus dem Drehrohrprozess wird bei einer Temperatur von etwa 850 °C abgezogen und ist auf etwa 60 °C abzukühlen. Zur Steigerung der energetischen Effizienz ist die dabei entstehende Abwärme ebenfalls einer Nutzung zuzuführen.

In Anhang A5 sind Energiebilanzen der Firma EuPhoRe für die drei Varianten am Standort MHKW beigelegt. Die Energiebilanz lässt erkennen, dass der größte Teil der im Klärschlamm enthaltenen Energie in das Prozessgas übergeht und mit dem Rauchgas in den Abfallverbrennungsprozess überführt wird. Die Prozessgasenergie trägt somit zur Dampferzeugung im Abfallverbrennungsprozess bei. In Kapitel 6.3 wird die Energieeffizienz der Vorplanungsvarianten betrachtet.

Zum Betrieb der Vorschaltanlage werden neben dem Drehrohröfen nur wenige weitere Nebenanlagen benötigt.

- Additivlagerung und -förderung
- Reststoffaustrag -förderung und -lagerung
- Kühlsystem zur Rückkühlung des Reststoffes. Kapazität des am Standort vorhandene Kühlsystems ist zu prüfen und ggf. zu erweitern. Optimal ist eine Nutzung dieser Energie.

Die EuPhoRe-Vorschaltanlage wird abwasserfrei betrieben.

### Aufbereitung der P-Aschen

Der Fokus der Verfahrensentwicklung liegt seit Beginn auf der Produktion eines Stoffes, der als Nährstofflieferant in der Landwirtschaft eingesetzt werden kann. Durch das reduktive-oxidative Verfahren entsteht ein phosphorhaltiger und kohlenstoffarmer Reststoff, der nach Aussagen des Herstellers den Anforderungen der Düngemittelverordnung (DüMV) und der Abfallklärslammverordnung (AbfklärV) entspricht. [1], [2]

Der feste Rückstand aus dem Drehrohrprozess fällt unter die Düngemitteltypenbezeichnung als „1.2.9 Phosphatdünger aus der Verbrennung von Klärschlamm“. Alternativ kann ein eigener Düngemitteltyp beantragt werden.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Durch Zugabe eines Additivs in den Drehrohrprozess und durch die hohen Prozesstemperaturen am Ende des Drehrohres wird Phosphor im festen Rückstand gebunden und Schwermetalle in die Gasphase überführt. Als Additiv wird Magnesiumchlorid ( $MgCl_2$ ) verwendet. Weitere Additive sind nicht erforderlich. Die in die Gasphase übergegangenen Schwermetalle werden im Abfallverbrennungsprozess über die Rauchgasreinigung abgeschieden. Die Additivierung erfolgt mit ca. 1-3 % bezogen auf den TS-Gehalt der Klärschlämme. Je nach Variante werden etwa 1.000 bis 2.000 t/a an Additiv benötigt (siehe auch Tabelle 26). Die hohen Temperaturen am Ende des Drehrohrprozess begünstigen den Übergang von Nickel und Chrom in die Gasphase. Bei sehr hohen Anteilen dieser beiden Schwermetalle im Klärschlamm können ggf. die Grenzwerte zum Einsatz als Düngemittel nicht eingehalten werden. In der hier angesetzten Klärschlammzusammensetzung liegen die Werte für Chrom und Nickel bei etwa 35 bzw. 23 mg/kgTS und damit im normalen Bereich. [1], [2]

Nach Aussage der Firma EuPhoRe liegen mit den dieser Machbarkeitsstudie zugrunde liegenden Klärschlammanalysenwerten die Schwermetallkonzentrationen in der P-Asche, nach der thermochemischen Behandlung mit dem EuPhoRe®-Verfahren, bereits deutlich unterhalb der Düngemittelerordnung. Es wird seitens EuPhoRe empfohlen, eine Prüfung mit Originalklärschlamm zu Originalprodukt mit anschließenden Vegetationsversuchen durchzuführen, um eine exakte Aussage bis hin zur Pflanzenverfügbarkeit zu bekommen. Prüfungen haben ergeben, dass die Ergebnisse aus dem Technikum mit den Ergebnissen aus den Industrieanlagen (ERZO) vergleichbar sind. [1], [2]

Ein weiteres Zulassungskriterium als Düngemittel stellt der Kohlenstoffgehalt im festen Rückstand dar. Hier können, nach Aussagen von EuPhoRe, C-Gehalte von ca. 3-8 % eingehalten werden. Zudem soll der Kohlenstoff als fixer Kohlenstoff vorliegen. In den derzeit in der Realisierung befindlichen Anlagen wird zur Absicherung der Einhaltung der geforderten Kohlenstoffgehalte < 3% eine zusätzliche Nachverbrennung in großtechnischen Anlagen installiert. Um die Einhaltung des Grenzwertes für den Kohlenstoffgehalt in der Asche sicher stellen zu können, wird eine Nachverbrennung eingeplant. Diese wird nur betrieben, falls die Kohlenstoffgehalte in den Drehrohraschen nicht eingehalten werden können.

Versuche der Universität Bonn zeigen eine hohe Pflanzenverfügbarkeit der im festen Rückstand enthaltenen Phosphorverbindungen [1].

### Aufmahlung und Granulierung

Vor dem Einsatz als Düngemittel in der Landwirtschaft ist der Reststoff einer Feinvermahlung und einer Staubbindung zuzuführen. Dies entspricht den gängigen Düngemittelaufbereitungsverfahren. Aufgrund der fehlenden Substrate aus dem EuPhoRe-Verfahren existiert noch kein Markt für diesen Stoffstrom.

Die Fa. EuPhoRe bietet neben dem EuPhoRe-Verfahren ebenfalls die Aufbereitung der P-Aschen sowie den Vertrieb der daraus resultierenden Düngemittel als Dienstleistung an. Dabei werden die Aschen entweder einem, durch die Fa. EuPhoRe entwickelten, Aufbereitungsverfahren zur Aufmahlung und Granulierung zugeführt, oder direkt an einen regionalen Düngemittelerzeuger verkauft.

Ein weiterer möglicher Verwertungsweg für die P-Aschen aus dem Drehrohrföfen ist die Aufbereitung im PHOS4green-Verfahren. In diesem Verfahren können aus den P-Aschen durch Zugabe von Säuren und ggf. weiteren Nährstoffen marktgängige Düngemittel (z.B. Phosphatdünger) erzeugt werden. Das Verfahren besteht im Wesentlichen aus zwei Hauptverfahren.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

1. Im ersten Schritt wird aus der Asche mit einer Säure eine Suspension erzeugt.
2. Aus dieser Suspension wird mittels einer Sprühgranulation ein bzw. mehrere trockene Düngemittel erzeugt.

Nach Aussage der Fa. Glatt Ingenieurtechnik ist der Einsatz von P-Aschen aus dem Drehrohrföfen möglich. Allerdings ist für diese Aschen eine zusätzliche Feinvermahlung erforderlich um diese Aschen suspendieren zu können.

Eine erste Anlage im Industriemaßstab für den Einsatz von Klärschlammaschen aus der Wirbelschichtföferung befindet sich derzeit in Haldensleben in der Realisierung. Die folgenden Kennzahlen wurden über die Angaben zu dieser Anlage entsprechend skaliert.

Der Platzbedarf für eine Anlage mit einer Kapazität von ca. 5.500 t/a P-Asche wird durch den Hersteller nach erster Schätzung mit etwa 20 x 20 m<sup>2</sup> angegeben. Die Investitionskosten werden mit etwa 6 Mio. EUR für eine solche Anlagengröße skaliert. In der weiteren Planung ist zu prüfen, ob eine kleine Anlage des PHOS4green-Verfahrens wirtschaftlich betrieben werden kann.

Auch die Fa. Glatt Ingenieurtechnik bietet die Vermarktung der erzeugten Düngemittel als Dienstleistung an.

Wenn die Aufmahlung und Granulierung direkt am Standort des MHKW erfolgen soll sind mindestens die folgenden Komponenten zu errichten:

- Zerkleinerung inkl. Eintragssystem für die Aschen.
- Zwischenlagerung der aufgemahlten Aschen vor Granulierung
- Granulierung
- Produktlagersilos

Bei der Auslegung dieser Anlage ist zu beachten, dass es derzeit wenig praktische Erfahrung mit den Aschen aus dem Drehrohrföfen mit EuPhoRe-Verfahren existiert. Dies erschwert die Auslegung der Zerkleinerung und der Granulierung für den Anlagenlieferanten.

Da die Kosten für die Ascheaufbereitung stark von den erzeugten Produkten und den erzielbaren Erlösen abhängen, kann zum derzeitigen Planungsstand keine aussagekräftige Aussage getroffen werden. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der derzeitigen Markteinführung diverser Verfahren, sowie bei den noch fehlenden Erfahrungen in der zu erwartenden Aschequalitäten. Erste Betriebserfahrungen des EuPhoRe-Verfahrens im großtechnischen Maßstab werden in den kommenden Jahren aus Offenbach und Mannheim erwartet.

### 4.3.4.1 Aufstellungen

Die vollständigen Lagepläne und Aufstellungspläne sind in Anhang A2 sowie A3 beigefügt. Im Folgenden werden Auszüge aus diesen Plänen präsentiert.

Abbildung 15 zeigt einen Schnitt durch das MHKW. Für die Betrachtung der Aufstellung muss berücksichtigt werden, dass zuvor die Demontage der Altanlage erfolgt ist. Nach dieser Demontage besteht die Möglichkeit, wie in Abbildung 15 zu sehen, dass der Drehrohrföfen anstelle des Sprühtrockners und E-Filters platziert werden kann.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Abbildung 16 zeigt hingegen den Grundriss der Variante Drehrohrofen. Die Reststoffsilos und der Additivbehälter werden im Bereich des stillgelegten Sperrmüllannahmebereichs vorgesehen.

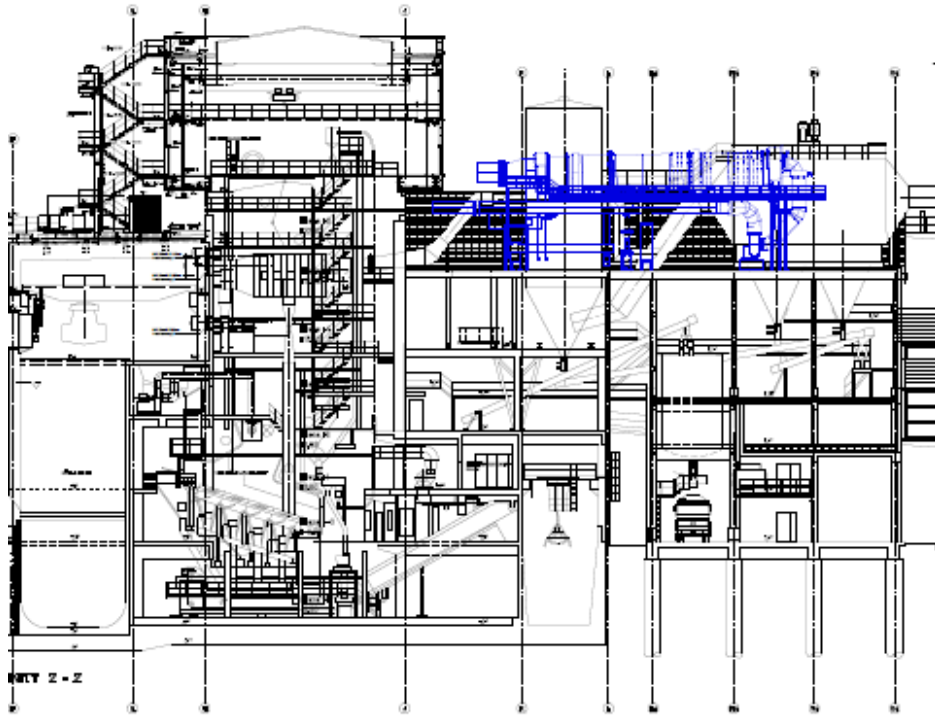


Abbildung 15: Schnittdarstellung des MHKWs mit Drehrohrofen

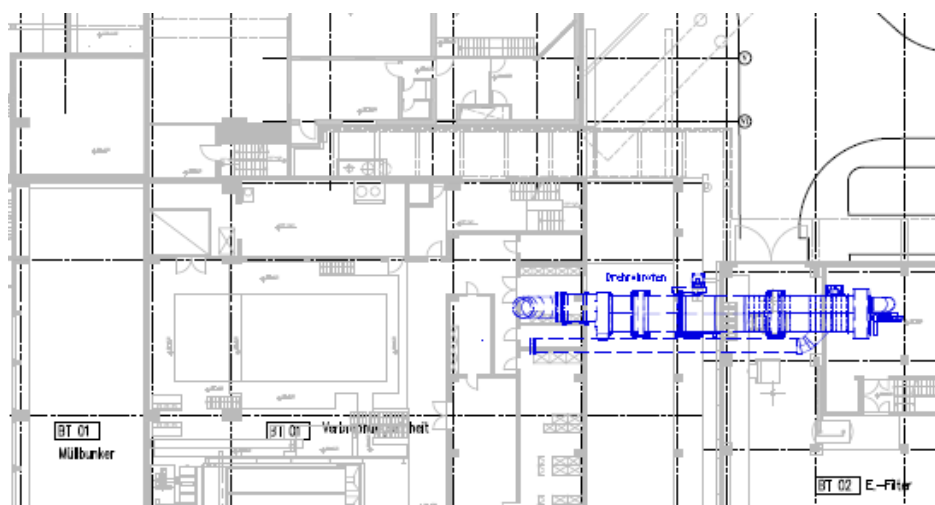


Abbildung 16: Grundriss der Aufstellungsvariante Drehrohrofen.



## Erläuterungsbericht Vorplanung

### 4.3.4.2 Schnittstellen zum Bestand

Am Gelände des MHKWs mit der Variante Drehrohrofen sind folgende Schnittstellen zum Bestand zu berücksichtigen:

- Erdgas vom Bestand
- Hilfskühlsystem vom Bestand
- Reststoffe zum Bestand
- Heißgas / Rauchgas vom Bestand
- Prozessgas zum Bestand
- Elektro- und Leittechnik (siehe auch vorläufige Verbraucherliste in Anhang A7)

## 5 Gesetzliche Randbedingungen

Die thermische Klärschlammbehandlung unterliegt den Anforderungen des BImSchG, insbesondere der 17. BImSchV, der Richtlinie 2010/75/EU sowie den Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (BVT) gemäß dieser Richtlinie. Die Konzentrationswirkung des BImSchG schließt andere die Anlage betreffende behördliche Entscheidungen in die Genehmigung nach BImSchG ein, so dass im Zuge der Antragsstellung nach BImSchG auch andere die Anlage betreffende Genehmigungen (z.B. Baugenehmigung) mit beantragt werden.

Die 17. BImSchV gilt seit 1991 und hat seit diesem Zeitpunkt nur geringfügige Anpassungen ohne wesentliche Änderungen erfahren. Bei Einhaltung der entsprechenden Vorschriften besteht ein Anrecht auf Genehmigung. Der Zeitraum des Genehmigungsverfahrens nach Einreichung des Genehmigungsantrags beträgt mindestens 7 Monate.

Das größte Risiko besteht nicht in den gesetzlichen Regelungen, sondern in einer potenziellen Ablehnung eines solchen Projektes durch die Öffentlichkeit und damit verbundenem politischen Druck, der den Bau der Anlage behindern, wenn nicht gar verhindern könnte. Ob es einen solchen Druck geben wird, kann zu diesem Zeitpunkt nicht vorhergesagt werden.

Im Rahmen unserer Erfahrungen mit vergleichbaren Anlagen in Deutschland, auch beim Regierungspräsidium Darmstadt, würden wir eher geringe Widerstände gegen das Projekt am Standort MHKW vermuten, da sich die Situation nicht verschlechtert, wenn die Klärschlammbehandlung eine Abfallverbrennungslinie substituiert.

Am Standort Klärwerk wird bei einer Klärschlammverbrennung auch eher geringer Widerstand erwarten.

Es wird davon ausgegangen, dass der ZAS als öffentlicher Entsorger bestrebt ist, die Öffentlichkeit frühzeitig und umfassend einzubinden. Aller Erfahrung nach ist diese Vorgehensweise hilfreich, um Widerstände zu minimieren, da so transparent dargestellt werden kann, dass keine relevanten Beeinträchtigungen für die Nachbarschaft im Betrachtungsrahmen vom Betrieb einer Klärschlammverbrennung ausgehen. Die Auswirkungen auf Menschen und menschliche Gesundheit sowie andere Schutzgüter wird im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung eingehend untersucht und begutachtet.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Des Weiteren zeigen bisherige Erfahrungen, dass genehmigungsrechtliche Auswirkungen durch die Änderung der Anlage auftreten können. Diese betreffen die Immissionsprognose für Luftemissionen und die Unterschreitung der Irrelevanzschwelle. Bei Überschreitung der Irrelevanzgrenze sind unter Umständen Vorbelastungsmessungen durchzuführen. Dies führt zu einer Verzögerung des Genehmigungsprozesses von etwa 12 Monaten. Dies gilt unabhängig davon, ob eine Anlage mittels Drehrohrofen erweitert wird, oder eine Neuanlage (z.B. Wirbelschichtfeuerung) errichtet wird.

Sofern sich die Ableitbedingungen am Kamin verändern, ist die Schornsteinhöhe (ggf. gem. novellierter TA-Luft) zu überprüfen. In Anhang A13 wird die genehmigungsrechtliche Einschätzung zu dieser Thematik differenzierter betrachtet.

Allgemein sind zur Erstellung des Genehmigungsantrags folgende Fachgutachten erforderlich:

- Brandschutzkonzept (BSK)
- Schallprognose
- Geruchsprognose
- Schornsteinhöhenberechnung
- Immissionsprognose Luftschadstoffe
- Anwendbarkeit der Störfallverordnung
- Explosionsschutz
- Ausgangszustandsbericht (AZB)
- Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)

### 5.1 Standort 1 (ZKW)

Bei der Errichtung und dem Betrieb einer autarken Wirbelschichtfeuerung am Standort des ZKW ist ein Genehmigungsverfahren nach § 4 Abs. 1 BImSchG erforderlich.

Die Feuerungsanlage ist genehmigungsbedürftig gemäß Anhang 1 der 4. BImSchV Ziffer

- Nr. 8.1.1.3: Anlagen zur Beseitigung oder Verwertung fester, flüssiger oder in Behältern gefasster gasförmiger Abfälle, Deponiegas oder anderer gasförmiger Stoffe mit brennbaren Bestandteilen durch thermische Verfahren, insbesondere Entgasung, Plasmaverfahren, Pyrolyse, Vergasung, Verbrennung oder eine Kombination dieser Verfahren mit einer Durchsatzkapazität von 3 Tonnen nicht gefährlichen Abfällen oder mehr je Stunde (G,E).

Die Anlage unterliegt gemäß Anlage 1 Ziffern 8.1.1.2 (X) auch dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG).

Die neu zu errichtende Klärschlammagerung und die Klärschlamm-trocknung stellen Nebeneinrichtungen nach §1 Abs. 2 Nr. 2 der 4. BImSchV zur Klärschlammverbrennungsanlage dar.

Die Kapazität der Klärschlammagerung überschreitet die Mengenschwelle von 100 t gemäß des Anhangs 1 der 4. BImSchV Ziffer

- Nr. 8.12.2: Anlagen zur zeitweiligen Lagerung von Abfällen, auch soweit es sich um Schlämme handelt, ausgenommen die zeitweilige Lagerung bis zum Einsammeln auf dem Gelände der Entstehung der Abfälle und Anlagen, die durch Nummer 8.14 erfasst

## Erläuterungsbericht Vorplanung

werden bei nicht gefährlichen Abfällen mit einer Gesamtlagerkapazität von 100 Tonnen oder mehr.

Die Kapazität der Trocknungsanlage überschreitet die Mengenschwelle von 50 t/d gemäß des Anhangs 1 der 4. BImSchV Ziffer

- Nr. 8.10.2.1: Anlagen zur physikalischen und chemischen Behandlung, insbesondere zum Destillieren, Trocknen oder Verdampfen, mit einer Durchsatzkapazität an Einsatzstoffen bei 50 Tonnen oder mehr je Tag und ist somit ebenfalls als immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlage einzustufen.

Das Genehmigungsverfahren ist gemäß § 10 BImSchG i. V. m. 4. BImSchV § 2 Absatz 1 Nr. 1a und Anhang 1 Nr. 8.1.1.3 Spalte C mit Öffentlichkeitsbeteiligung (Buchstabe G) durchzuführen. Die geplante Neuanlage fällt darüber hinaus unter die Industrieemissionsrichtlinie (IED-Anlage gemäß Art. 10 der RL 2010/75/EU) mit der Kennzeichnung E in Spalte d. Beide Sachverhalte (Buchstabe G; Kennzeichnung E) gelten auch für die Klärschlamm-trocknung.

### 5.2 Standort 2 (MHKW)

Die immissionsschutzrechtliche Genehmigung für das Gesamtvorhaben

- Außerbetriebnahme und Rückbau der 2. Abfallverbrennungslinie,
- Neuerrichtung und Betrieb der 2. Abfallverbrennungslinie,
- Außerbetriebnahme und Rückbau der 1. Abfallverbrennungslinie und
- Errichtung und Betrieb der Klärschlammbehandlungsanlage (Drehrohrprozess oder Wirbelschichtfeuerung)

am Standort des MHKW sollte in einem Genehmigungsverfahren, welches stufenweise in mehrere Teilgenehmigungen gemäß § 8 Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) beantragt wird. Durch die Aufteilung des Gesamtverfahrens in mehrere Teilgenehmigungen wird eine zeitliche Entkopplung und i.d.R. eine Beschleunigung des Genehmigungsverfahrens erreicht. Die im Rahmen der ersten Teilgenehmigung ausgesprochene positive Gesamtbeurteilung ist darüber hinaus eine wesentliche Grundlage für die Investitionsentscheidung.

Vorteile des gestuften Genehmigungsverfahrens:

- Bedingte Abhängigkeit der Teilgenehmigungen und dadurch höhere Rechtssicherheit.
- Höhere Investitions- und Planungssicherheit.
- Synergieeffekte z.B. bei den Gutachten (Scoping-Unterlage und Gutachten werden auf das Gesamtvorhaben ausgerichtet).
- Optimierter Zeitplan, da mit dem ersten Teilvorhaben bei Vorliegen der ersten Teilgenehmigung bereits gestartet werden kann.

Die Errichtung und der Betrieb der neuen Abfallverbrennungslinie 2 stellt eine wesentliche Änderung der genehmigungsbedürftigen Bestandsanlage dar und erfordert ein Genehmigungsverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Die zu erneuernde Abfallverbrennungslinie ist genehmigungsbedürftig gemäß Anhang 1 der 4. BImSchV Ziffer

- Nr. 8.1.1.3: Anlagen zur Beseitigung oder Verwertung fester, flüssiger oder in Behältern gefasster gasförmiger Abfälle, Deponiegas oder anderer gasförmiger Stoffe mit brennbaren Bestandteilen durch thermische Verfahren, insbesondere Entgasung, Plasmaverfahren, Pyrolyse, Vergasung, Verbrennung oder eine Kombination dieser Verfahren mit einer Durchsatzkapazität von 3 Tonnen nicht gefährlichen Abfällen oder mehr je Stunde (G,E).

Die Anlage unterliegt gemäß Anlage 1 Ziffern 8.1.1.2 (X) auch dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP). Die Errichtung und der Betrieb einer Klärschlammbehandlungsanlage ist ebenfalls gemäß 4. BImSchV genehmigungsbedürftig und der Ziffer

- Nr. 8.1.1.3: Anlagen zur Beseitigung oder Verwertung fester, flüssiger oder in Behältern gefasster gasförmiger Abfälle, Deponiegas oder anderer gasförmiger Stoffe mit brennbaren Bestandteilen durch thermische Verfahren, insbesondere Entgasung, Plasmaverfahren, Pyrolyse, Vergasung, Verbrennung oder eine Kombination dieser Verfahren mit einer Durchsatzkapazität von 3 Tonnen nicht gefährlichen Abfällen oder mehr je Stunde (G,E)

zuzuordnen. Die Klärschlammbehandlungsanlage erfordert eine weitere Teilgenehmigung. In dieser Teilgenehmigung wird auf die schon durchgeführte UVP Bezug genommen. Sofern die Emissionen und die Auswirkungen auf die Schutzgüter im Rahmen der bereits im ersten Teilgenehmigungsverfahren durchgeführten UVP und der Gutachten bleibt, besteht dann die Möglichkeit, nach Abstimmung mit der Genehmigungsbehörde ein vereinfachtes Verfahren ohne erneute Öffentlichkeitsbeteiligung durchzuführen.

Die Einstellung des Betriebes der Abfallverbrennungslinien erfordern eine Stilllegungsanzeige nach §15 (3) BImSchG. Sofern bauliche Anlagen zurückgebaut werden bedarf dies einer Rückbaugenehmigung nach HBO. Dies kann im Zusammenhang mit den Neubauvorhaben oder vorgezogen als eigenständige Maßnahme beantragt werden.

## 6 Bewertung der Vorzugsvarianten

Neben der Bewertung anhand der Bewertungsmatrix werden die Vorzugsvarianten hinsichtlich der zukünftigen Verkehrssituation und der Energieeffizienz bewertet.

### 6.1 Verkehrssituation

Die Verkehrssituation an den Standorten und im Stadtgebiet der Stadt Darmstadt wird sich aufgrund der Anlieferung von Klärschlämmen und benötigte Betriebsmittel sowie die Abfuhr der Klärschlammaschen und Reststoff der Verfahren verändern.

Für den Standort ZKW wird bei Realisierung einer Klärschlammbehandlung ein zusätzlicher LKW-Verkehr von insgesamt 12 bis 16 LKW/d erwartet (Tabelle 28). Davon werden voraussichtlich 3 LKW/d durch das Stadtgebiet fahren.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Tabelle 28: Zusätzliches Verkehrsaufkommen am Standort ZKW.

Standort ZKW		Variante 2	Variante 3
Klärschlamm	LKW/a	2.381	3.335
Betriebsmittel und Reststoff	LKW/a	294	381
Fahrzeuge gesamt	LKW/a	2.675	3.716
	LKW/d	<b>12</b>	<b>16</b>
davon durch Darmstadt		750	750
		3	3

Für den Standort MHKW wird durch die Klärschlammbehandlungsanlage ebenfalls zusätzlicher LKW-Verkehr von 9 bis 16 LKW/d erwartet (Tabelle 29). Davon je nach Mengenvariante etwa 3-4 LKW/d durch das Stadtgebiet. Allerdings wird sich der Anlieferverkehr der Abfälle zur Abfallverbrennungsanlage durch die Mengenreduktion von derzeit etwa 212.000 t/a auf zukünftig 180.000 t/a um ca. 10 LKW/d reduzieren. Dies hat zur Folge, dass sich das Verkehrsaufkommen zum bzw. am Standort nicht ändert. Wird der gesamte Standort betrachtet werden zukünftig nur etwa 4-8 zusätzliche LKW/d erwartet.

Tabelle 29: Zusätzliches Verkehrsaufkommen am Standort MHKW

Standort MHKW		Variante 1	Variante 2	Variante 3
Klärschlamm	LKW/a	1.979	2.801	3.755
Betriebsmittel und Reststoff	LKW/a	240	334	435
Fahrzeuge gesamt	LKW/a	2.219	3.135	4.190
	LKW/d	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>18</b>
davon durch Darmstadt	LKW/a	1.000	750	750
	LKW/d	4	3	3

### 6.2 Phosphorrecycling

Ein Bewertungskriterium der Verfahren ist das Phosphorrecycling aus Klärschlämmen. Für die Aschen aus der Wirbelschichtfeuerung und dem Drehrohrofen lassen sich folgende Punkte Zusammenfassen.

- Für die Aschen der Wirbelschichtfeuerung ist ein weiteres aufwändiges und externes Verfahren (z.B. PHOS4green) erforderlich, um Phosphor aus dem Klärschlamm als Düngemittel verfügbar zu machen. Hierdurch fallen zusätzliche Kosten für die Verwertung der Klärschlammaschen an. Bisher gibt es keine Verfahren, die in einer großtechnischen Anlage in Betrieb sind. Erste Anlagen werden derzeit realisiert. Da es bisher kaum Anlagen für die weitere Verwertung der Klärschlammaschen zur Phosphorrückgewinnung gibt, besteht eine gewisse Abhängigkeit, welches Verfahren in der näheren Umgebung realisiert wird, also künftig verfügbar ist. Es wird allerdings erwartet, dass auch in diesem Bereich zukünftig verschiedene Anlagen realisiert werden.
- Anders als bei den Aschen aus der Wirbelschichtfeuerung ist eine direkte Verwertung der Drehrohraschen (EuPhoRe-Verfahren) möglich. Für die direkte Vermarktung als Düngemittel ist lediglich eine Aufmahlung und Granulierung erforderlich. Diese könnte auch direkt am Standort des MHKW erfolgen. Alternativ können die Drehrohraschen auch

## Erläuterungsbericht Vorplanung

direkt, ohne weitere Behandlung an externe Düngemittelhersteller abgegeben werden. Ein Markt hierfür existierte allerdings noch nicht. Zudem gibt es wenig Erfahrungen aus großtechnischen Anlagen, ob Grenzwerte (Schwermetalle, Kohlenstoff) sicher eingehalten werden können.

In weiteren Planungsschritten sollten für beide Verfahren die Phosphorrecyclingverfahren, sowie die Entwicklungen im Markt näher betrachtet werden.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

### 6.3 Energieeffizienz (R1-Faktor)

Auf Basis der Energiebilanzen (Anhang A5) wird der Energieeffizienzfaktor (R1-Faktor) nach dem Ansatz des Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) berechnet. Hierbei liegt der Grenzwert für die Einstufung einer Abfallbehandlungsanlage zur Verwertung bei 0,65. Anlagen mit darunter liegenden R1-Faktoren bzw. Energieeffizienzfaktoren werden als Anlagen zur Abfallbeseitigung eingestuft.

Bei der Berechnung der R1-Faktoren wird für die Wirbelschichtfeuerung sowie für die Drehrohranlage am MHKW die Wirkungsgrade der Dampf- bzw. der Strom- und Wärmeerzeugung aus der vorliegenden Energieeffizienzberechnung des MHKW zugrunde gelegt. Der Klimakorrektureffizienzfaktor (CCF) wird ebenfalls entsprechend dieser Berechnung mit etwa 1,4 angesetzt.

Die Ergebnisse der energetischen Bewertung der Vorzugsvarianten sind in Abbildung 17 dargestellt. Diese zeigen deutlich, dass die Behandlung von Klärschlamm in den betrachteten Verfahren als Abfallbeseitigung einzustufen ist. Dies ist zu erwarten, da bei der thermischen Verwertung zunächst eine sehr große Menge an Wasser zu verdampfen ist und die Heizwerte der entwässerten Klärschlämme sehr gering sind. Die eigentliche Verwertung der Klärschlämme entsteht durch die Rückgewinnung der Nährstoffe und nicht durch eine energetische Nutzung.



Abbildung 17: Energieeffizienzfaktor (R1-Faktor) der Vorplanungsvarianten (CCF = Klimakorrektureffizienzfaktor).

Die Bewertung der Vorplanungsvarianten erfolgt, wie die Bewertung der Anlagentechnologien, anhand der Bewertungsmatrix (Tabelle 30), die zum Zweck dieser Bewertung im Rahmen dieses Projekts erstellt wurde (siehe auch Kapitel 2.3 und 3).

## Erläuterungsbericht Vorplanung

Tabelle 30: Bewertungsmatrix der Vorplanungen

	Gewichtung der Kriterien	WSF am Standort ZKW + separate Rückgewinnung	WSF Substitution am Standort MHKW + separate Rückgewinnung	DRO-Vorschaltanlage am Standort MHKW
Gesetzliche Randbedingungen	15 %	67%	67%	77%
Technik / technischen Ausrüstung	25 %	71%	59%	57%
Betrieb	15 %	55%	73%	61%
Ökonomie	35 %	36%	38%	57%
Ökologie	10 %	45%	45%	58%
<b>Gesamt</b>	<b>100 %</b>	<b>53%</b>	<b>54%</b>	<b>61%</b>

Die Ergebnisse der Bewertung zeigen, dass die Klärschlammbehandlung in einem Drehrohrföfen als Vorschaltanlage zu einer Abfallverbrennung die höchste Gesamtpunktzahl erhält. Dies ist insbesondere durch die geringen Behandlungskosten zu erklären. Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens ist, dass bei Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte in den Drehrohrföfen keine weitere aufwändige Aufbereitung der Aschen erforderlich ist. Die festen Rückstände können nach geringfügiger mechanischer Aufbereitung direkt als Düngemittel zum Einsatz kommen.

In Anhang A10 sind die Ergebnisse der Bewertungsmatrix inklusive einer Begründung der Bewertung dargestellt.

## 7 Schlussfolgerungen und Ausblick

### 7.1 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieser Machbarkeitsstudie können für die drei näher betrachteten Vorzugsvarianten wie folgt zusammengefasst werden.

#### ZKW – Wirbelschichtfeuerung

- Um die spezifischen Kosten so gering wie möglich zu halten, ist am Standort des ZKW eine möglichst große Wirbelschichtfeuerung zu errichten. Daher wird die Variante 3 mit 78.000 t/a für diesen Standort und dieses Klärschlammbehandlungsverfahren als Vorzugsvariante empfohlen.



## Erläuterungsbericht Vorplanung

- Ein direktes Phosphorrecycling ist vor Ort nicht möglich bzw. wäre mit sehr hohem technischem und monetärem Aufwand verbunden. Die Aschen sind zum Phosphorrecycling in eine externe Anlage zu transportieren. Dies ist mit zusätzlichen Kosten verbunden.
- Aufgrund des geringen Synergiepotenzials zwischen einer Wirbelschichtfeuerung und dem Klärwerksbetrieb ist zusätzliches Personal in Höhe von etwa 18 Personen erforderlich.
- Durch die großzügigen Platzverhältnisse am Standort sind nur geringfügige Anpassungen am Standort erforderlich. Diese werden insbesondere in der Anpassung bzw. Erneuerung der Verkehrswege gesehen.
- Für die Mengenvariante 3 wird ein zusätzliches Verkehrsaufkommen von etwa 17 LKW/d erwartet. Von diesem zusätzlichen LKW-Aufkommen werden etwa 3 LKW/d durch das Stadtgebiet der Stadt Darmstadt fahren.
- Eine Inbetriebnahme der Klärschlammbehandlungsanlage wird bei kurzfristigem Projektstart für Juli 2025 erwartet.
- Die Behandlungskosten sind doppelt so hoch wie beim günstigsten Verfahren, dem Drehrohrofen im MHKW, wobei davon 32 EUR/t auf die weitere Verwertung der Klärschlammaschen in einem externen nass-chemischen Verfahren entfallen.

### MHKW - Wirbelschichtfeuerung

- Um die spezifischen Kosten so gering wie möglich zu halten ist am Standort des MHKW eine möglichst große Wirbelschichtfeuerung zu errichten. Daher wird die Variante 3 mit 78.000 t/a für diesen Standort und dieses Klärschlammbehandlungsverfahren als Vorzugsvariante empfohlen.
- Ein direktes Phosphorrecycling ist vor Ort nicht möglich bzw. wäre mit sehr hohem technischem und monetärem Aufwand verbunden. Die Aschen sind zum Phosphorrecycling in eine externe Anlage zu transportieren. Dies ist mit zusätzlichen Kosten verbunden.
- Aufgrund des hohen Synergiepotenzials zwischen MHKW und Wirbelschichtfeuerung sowie dem Wegfall eines Abfallkessels wird kein Bedarf an zusätzlichem Personal erwartet.
- Aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse sind für die Realisierung der Klärschlammbehandlung am Standort des MHKW umfassende Umbauarbeiten erforderlich. Dies umfasst insbesondere die Stilllegung und Rückbau der Abfallverbrennungslinie 1 und 2 sowie den Neubau der Linie 2. Zudem ist mit weiteren Umverlegungsarbeiten der vorhandenen Infrastruktur (z.B. der Fernwärmeleitung im Bereich der Klärschlammannahme) zu rechnen.
- Für die Mengenvariante 3 wird ein zusätzliches Verkehrsaufkommen von bis zu 8 LKW/d erwartet. Von diesem zusätzlichen LKW-Aufkommen werden etwa 3 LKW/d durch das Stadtgebiet der Stadt Darmstadt fahren. Dieses, im Vergleich zum ZKW geringeres Verkehrsaufkommen wird dabei insbesondere durch die Reduzierung der Abfallmengen auf 180.000 t/a bedingt. Diese Mengenreduzierung wird im Falle der Umbaumaßnahmen am MHKW erfolgen.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

- Eine Inbetriebnahme der Klärschlammbehandlungsanlage wird bei kurzfristigem Projektstart für November 2027 erwartet. Die, im Vergleich zum ZKW deutlich längere Projektlaufzeit wird insbesondere durch die umfangreichen Umbaumaßnahmen am MHKW verursacht.
- Die Behandlungskosten liegen um 84% über den Behandlungskosten des günstigsten Verfahrens, dem Drehrohrofen im MHKW, wobei davon auch hier 32 EUR/t auf die weitere Verwertung der Klärschlammaschen in einem externen nass-chemischen Verfahren entfallen.

### MHKW – Drehrohranlage

- Aufgrund der Platzsituation wird die Errichtung und Anbindung von nur einem Drehrohrofen an einen neugebauten Kessel empfohlen. Wird eine Abfallverbrennungslinie auf eine Verbrennungskapazität von 100.000 t/a erweitert, ist eine Klärschlammbehandlungskapazität in einem Drehrohr von etwa 55.000 t/a (Variante X) grundsätzlich möglich. Diese Menge liegt zwischen den hier betrachteten Mengenvarianten 1 (43.000 t/a) und 2 (60.000 t/a).
- Mit dem EuPhoRe-Verfahren im Drehrohr ist ein Phosphorrecycling vor Ort möglich. Es sind lediglich zusätzliche mechanische Aufbereitungsverfahren (Aufmahlen + Granulieren) am Standort erforderlich.
- Aufgrund des gemeinsamen Betriebs des MHKW und des Drehrohrofens wird kein Bedarf an zusätzlichem Personal erwartet.
- Aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse sind für die Realisierung der Klärschlammbehandlung am Standort des MHKW umfassende Umbauarbeiten erforderlich. Dies umfasst insbesondere die Stilllegung und Rückbau der Abfallverbrennungslinie 1 und 2 sowie den Neubau der Linie 2. Zudem ist mit weiteren Umverlegungsarbeiten der vorhandenen Infrastruktur (z.B. der Fernwärmeleitung im Bereich der Klärschlammannahme) zu rechnen.
- Durch die Mengenreduktion der Abfallmengen zur Verbrennung im MHKW wird für die Mengenvariante 1 kein zusätzliches Verkehrsaufkommen erwartet.
- Eine Inbetriebnahme der Klärschlammbehandlungsanlage wird bei kurzfristigem Projektstart für Februar 2027 erwartet. Die, im Vergleich zum ZKW deutlich längere Projektlaufzeit wird insbesondere durch die umfangreichen Umbaumaßnahmen am MHKW verursacht.
- Die Behandlungskosten liegen bei dieser Variante am niedrigsten. Diese Kosten können weiter reduziert werden, wenn die Behandlungskapazität in einem Drehrohr auf 55.000 t/a gesteigert werden. Die Kosten für die Umbauarbeiten am MHKW sind separat zu betrachten und sind in den genannten Behandlungskosten nicht berücksichtigt worden.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

### 7.2 Ausblick

Ziel dieser Machbarkeitsstudie war die Erstellung einer Entscheidungsgrundlage für eine Vorzugsvariante für die Klärschlammbehandlung. Aufgrund der Erkenntnis, dass für die Errichtung einer Klärschlammbehandlung am Standort des MHKW umfangreichere Umbaumaßnahmen erforderlich werden, wird empfohlen diese Maßnahmen in weiteren Untersuchungen zu prüfen. Für die betrachteten Vorzugsvarianten wird folgender Ausblick gegeben.

#### Standort ZKW

Für die Wirbelschichtfeuerung am Standort ZKW wird lediglich eine Optimierung der Einbindung der Anlage in den Standort sowie eine genauere Prüfung der in der Region verfügbaren Phosphorrecyclingverfahren gesehen.

#### Standort MHKW

Für den Standort MHKW gilt für die Errichtung einer Wirbelschichtfeuerung gleichermaßen die Prüfung folgender weiterer Maßnahmen.

- In einer Machbarkeitsuntersuchung bzw. Vorplanung ist die Errichtung des Abfallkessels Linie 2 näher zu prüfen. Dies umfasst unter anderem die Prüfung
  - der Platzverhältnisse Rost/Kessel für die neue Linie 2
  - die Nutzung bzw. Anbindung der bestehenden Nebensysteme und des Wasser-Dampf-Kreislaufs
  - die Anpassung des Rauchgasreinigungsverfahrens
  - die Einbindung Elektro- und Leittechnik
- Aufgrund der geplanten Baumaßnahmen im Bestand ist eine Bestandaufnahme des MHKW (Linie 2 / 1) als Vorbereitung zum Umbau in Form einer 3D-Scans und der Erzeugung eines Bestands-3D-Modell (Störkantenmodell) zu empfehlen. Darüber hinaus sollte das Thema des Brandschutzes genauer betrachtet werden.

#### MHKW – Drehrohranlage

Für die Errichtung einer Drehrohranlage am Standort MHKW gilt gleichermaßen die Prüfung der für die Errichtung einer Wirbelschicht am Standort MHKW genannten Maßnahmen.

Zudem sind für das Phosphorrecycling, hinsichtlich der in der Region befindlichen Verwertungswege bzw. verfügbaren Aufbereitungsverfahren, weitere Untersuchungen anzustellen.

## Erläuterungsbericht Vorplanung

### 8 Quellen

- [1] EuPhoRe. 2018. Vom Klärschlamm zum Phosphat-Dünger - Das EuPhoRe®-Verfahren. Vortrag. DWA-Tagung. Osnabrück
- [2] Zepke, F. 2020. Präsentation für die Pöyry Deutschland GmbH. Unternehmenspräsentation der EuPhoRe GmbH im Überblick. Hamburg.