

# Konzept zur Integration einer Monoklärschlammverbrennung in das Abfallentsorgungszentrum Asdonkshof

Yves Noël, Jan Stockschläder, Peter Quicker, Jens Harpeng,  
Hans-Georg Kellermann und Peter Bollig

1.	Aufgabenstellung.....	44
2.	Ableiten der Verbrennungsszenarien .....	45
2.1.	Integration der Klärschlammverbrennung in das MHKW .....	46
2.2.	Alleinstehende Komplettanlage neben dem MHKW .....	48
3.	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	48
3.1.	Kostengruppen .....	49
3.2.	Ergebnisse .....	51
4.	Zusammenfassung .....	53
5.	Literatur .....	54

In Deutschland werden derzeit rund 58 Prozent des Klärschlammes thermisch entsorgt [5]. Weitere Verwertungswege sind die stoffliche Nutzung in der Landwirtschaft oder im Landschaftsbau. Im Zuge der angekündigten Novellierung der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) sind höhere Anforderungen an die stoffliche Nutzung für Klärschlämme aus Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5, in denen etwa 90 Ma.-Prozent des kommunalen Klärschlammes anfallen, geplant [4]. So sieht der entsprechende Referentenentwurf des BMUB (August 2015) ab dem 1. Januar 2025 eine Beendigung der bodenbezogenen Klärschlammverwertung und für Klärschlamm mit einem Phosphorgehalt über 20 g/kg Trockensubstanz (TS) ein Rückgewinnungsgebot des Phosphors vor. Bei Kläranlagen der Größenklasse 4 und 5 wird die Schwelle von 20 g/kg/TM weitestgehend überschritten [1]. Im gegebenen Fall macht dies eine Rückgewinnung des Phosphors vor der Mitverbrennung (Rückgewinnungsquote mind. 50 Ma.-Prozent) oder nach der Monoverbrennung (Asche-Rückgewinnungsquote mindestens 80 Ma.-Prozent) erforderlich. Des Weiteren soll die Deponieverordnung geändert werden, so dass eine Zwischenlagerung von Aschen aus der Klärschlammmonoverbrennung bis zum Jahr 2035 möglich ist. [2]

Die Klärschlämme der Linksniederrheinischen Entwässerungs-Genossenschaft (LINEG) werden derzeit im Abfallentsorgungszentrum (AEZ) Asdonkshof verbrannt. Hierzu verfügt das AEZ über einen Wirbelschichttrockner mit einer Kapazität von etwa 30.000 Tonnen Originalsubstanz (OS) pro Jahr. Nach Trocknung des mechanisch-entwässerten

Klärschlamm wird der Klärschlamm im Müllheizkraftwerk (MHKW, Kapazität etwa 250.000 t/a) auf zwei Linien mitverbrannt. Das MHKW wurde ursprünglich mit drei Verbrennungslinien geplant. Obwohl die dritte Linie nicht errichtet wurde, sind die technischen Rahmenbedingungen für die Erweiterung der Anlage gegeben.

Neben der thermischen Abfall- bzw. Klärschlammbehandlung verfügt das AEZ über eine Anlage zur Aufbereitung von MHKW-Schlacken (etwa 80.000 t/a), eine Bioabfall-Kompostierungsanlage (etwa 40.000 t/a), eine Anlage zur Sperr- und Gewerbeabfallaufbereitung (etwa 58.000 t/a) sowie über eine Deponie der Klasse II mit rund 10 Mio. m<sup>3</sup> freiem Ablagerungsvolumen (Bild 1).



Bild 1: Das Abfallentsorgungszentrum Asdonkshof im Überblick

## 1. Aufgabenstellung

Vor dem Hintergrund der Novellierung der AbfKlärV wurden das Lehr- und Forschungsgebiet Technologie der Energierohstoffe (TEER) und das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen von der Kreis Weseler Abfallgesellschaft mit der Durchführung einer wissenschaftlichen Studie zur langfristigen thermischen Klärschlammentsorgung beauftragt. Inhalt der Studie war die Erstellung eines Konzepts zur Klärschlamm-Monoverbrennung sowie gegebenenfalls zur Kapazitätserweiterung der Klärschlammentsorgung am AEZ Asdonkshof.

In der Studie wurden drei Szenarien der thermischen Klärschlammbehandlung unter Berücksichtigung von Phosphorrückgewinnungsmaßnahmen betrachtet und technisch sowie wirtschaftlich evaluiert. Zwei dieser Szenarien beinhalten eine möglichst weitgehende Nutzung der am Standort vorhandenen Anlagentechnik. Das dritte Szenario umfasst eine alleinstehende Komplettanlage zur Klärschlammbehandlung.

Durch die langjährige Klärschlammbehandlung ist am AEZ Asdonkshof ein umfangreiches Know-How auf den Gebieten Handling und Logistik vorhanden. Vor dem Hintergrund einer potentiellen Klärschlamm-Monoverbrennung bietet der Standort zudem folgende Vorteile:

- Peripherie zur Behandlung von Klärschlamm (Annahme, Trocknung inkl. Brüdenentsorgung) vorhanden,
- Freifläche für eventuelle Anlagenerweiterung in unmittelbarer Nähe des MHKW nutzbar (Bild 2),
- Synergiepotentiale bei der Abgasbehandlung in der Abgasreinigung des MHKW vorhanden,
- Kapazitäten zur Zwischenlagerung von Klärschlammmaschen auf einem gesonderten Abschnitt der Deponie vorhanden.

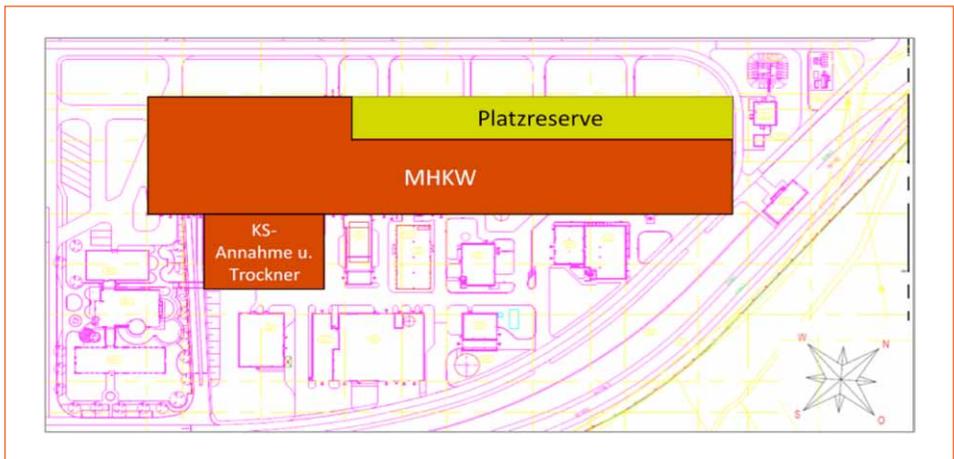


Bild 2: Räumliche Gegebenheiten am MHKW des AEZ Asdonkshof

## 2. Ableiten der Verbrennungsszenarien

Im Verlauf des Projektes wurden die folgenden Szenarien erarbeitet:

- Szenario 1 – integrierte Monoverbrennung:      Durchsatz 30.000 Tonnen OS/a,
- Szenario 2 – integrierte Monoverbrennung:      Durchsatz 58.000 Tonnen OS/a,
- Szenario 3 – alleinstehende Komplettanlage:      Durchsatz 200.000 Tonnen OS/a.

Der jährliche Klärschlammdurchsatz in Szenario 1 entspricht der Klärschlammmenge von 30.000 Tonnen OS/a (7.500 Tonnen TS/a), die bereits derzeit im AEZ Asdonkshof angenommen und behandelt wird. Der maximale Durchsatz des zweiten Szenarios in Höhe von 58.000 Tonnen OS/a (14.500 Tonnen TS/a) ist durch die Leistung des am AEZ Asdonkshof vorhandenen Wirbelschichttrockners sowie durch den für eine eigenständige Verbrennung minimalen Trockensubstanzgehalt bestimmt. Zur Nutzung

der bereits vorhandenen Anlagentechnik sehen die Szenarien 1 und 2 eine Integration der Klärschlamm-Monoverbrennung in das MHKW vor. Das dritte Szenario stellt eine autarke Komplettanlage dar. Der Durchsatz dieses Szenarios ist nach der regional akquirierbaren Klärschlammmenge bemessen.

## 2.1. Integration der Klärschlammverbrennung in das MHKW

In den Szenarien 1 und 2 erfolgt die Annahme und Trocknung des Klärschlammes sowie die Brüdenentsorgung durch die bestehende Anlagentechnik des AEZ Asdonkshof. Zur Integration der Klärschlammverbrennung in das MHKW wurde zu Projektbeginn die Umrüstung einer Hausmüllverbrennungslinie inkl. Austausch des verbauten Walzenrosts betrachtet. Auf diese Weise wurde eine Folgenutzung des vorhandenen Kessels angestrebt. Aufgrund einer Minderauslastung von Kessel und Abgasreinigung erwies sich diese Variante in keinem der beiden Szenarien als praktikabel, sodass von einer Umrüstung der im MHKW bestehenden Feuerungssysteme abgesehen wurde. Da zur Behandlung der Abgase aus der Klärschlammverbrennung Restkapazitäten in der Abgasreinigung des MHKW zur Verfügung stehen, wurde an einer Integration der Klärschlammverbrennung in das MHKW dennoch festgehalten. Zur Verbrennung des Klärschlammes wird in den Szenarien auf externe stationäre Wirbelschichtfeuerungen bzw. auf eine Staubfeuerung zurückgegriffen.

Zur Integration der externen Feuerungen wurden jeweils eine Vielzahl von Schnittstellen wie Annahme, Trocknung, Abgasreinigung, Wasser-Dampf-Kreislauf, Betriebsmittel, Elektro-, Regelungs- und Leittechnik, sowie die Standortlogistik untersucht. Die Auskopplung der Wärme aus dem Abgas sowie die Anbindung an die Abgasreinigung bildeten den Schwerpunkt der technischen Betrachtung. Zur Rückgewinnung des Phosphors aus der Klärschlammmasche muss diese separat von den Rückständen des MHKW erfasst werden. Die Integration der externen Feuerungen kann in den Szenarien 1 und 2 auf zwei verschiedene Arten erfolgen:

Da der Ascheaustrag bei den betrachteten Wirbelschichtfeuerungen nahezu vollständig über den Abgasweg erfolgt, muss die Asche vor Einleitung des Abgases in das MHKW abgeschieden werden. Zur Staubabscheidung wurden mit der **Heißgasentstaubung** und der **Kaltgasentstaubung** zwei verschiedene Verfahren betrachtet. Bei der Variante der Heißgasentstaubung werden die Abgase aus der Klärschlammverbrennung ohne separate Wärmeauskopplung in den Kessel des MHKW eingespeist. Die Entstaubung des heißen Abgases erfolgt mittels Heißgaszyklon (Bild 3). Der Abscheidegrad ist unter anderem von der Korngrößenverteilung des Klärschlammes sowie von der Feuerung abhängig.

Bei der Kaltgasentstaubung werden die Abgase aus der Klärschlammverbrennung dem MHKW hinter dem Kessel zugeführt. Hierzu ist auf Seiten der Klärschlammverbrennung ein separater Kessel erforderlich (Bild 4). Im Anschluss an den Kessel werden die Flugaschen aus dem Abgas abgeschieden. Da die im separaten Kessel der Monoverbrennungsanlage erzeugte Dampfmenge relativ gering ist, sieht die Planung eine Anbindung an die MHKW-Kessel vor. Der Dampf würde damit durch die vorhandene Anlagentechnik zur Strom- und Fernwärmeerzeugung genutzt.

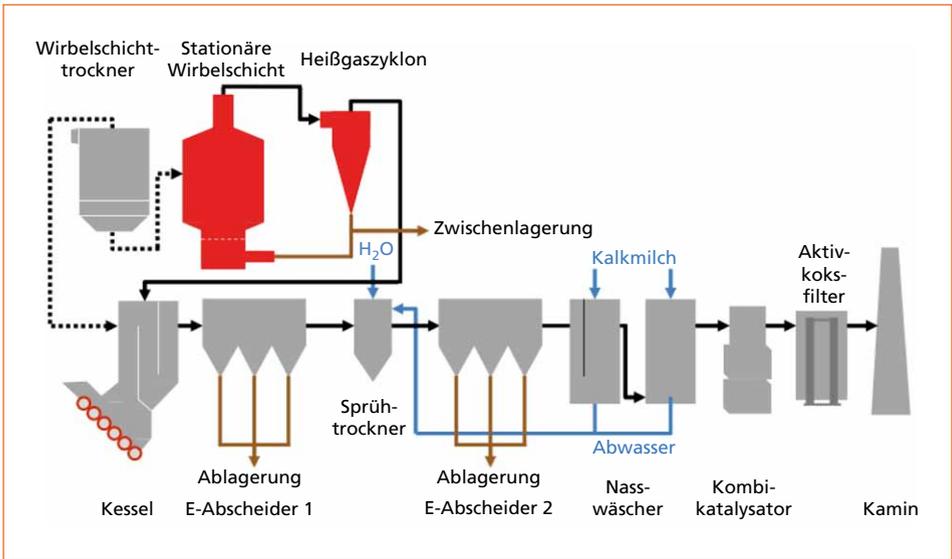


Bild 3: Integrierte Klärschlamm-Monoverbrennung mit Heißgasentstaubung

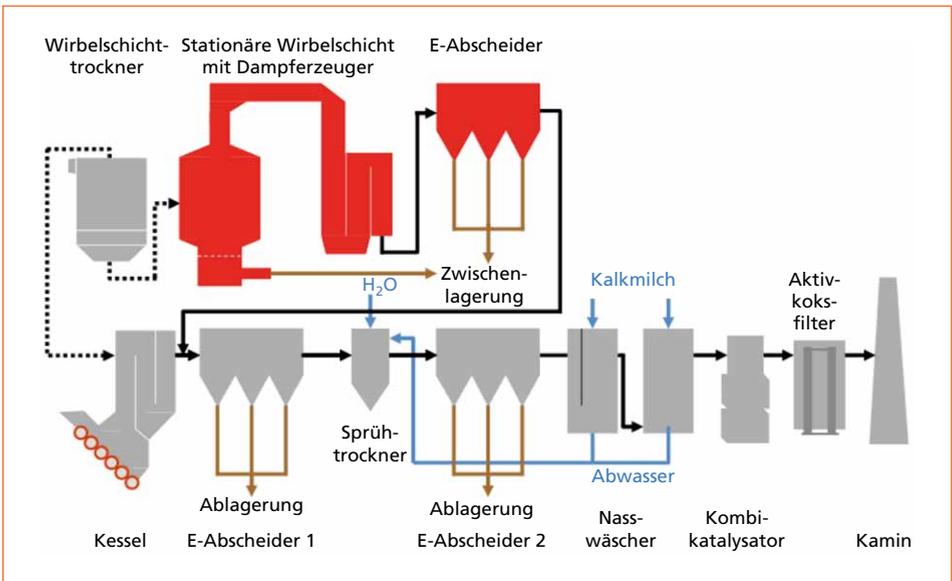


Bild 4: Integrierte Klärschlamm-Monoverbrennung mit Kaltgasentstaubung

Tabelle 1 stellt beide Entstaubungsvarianten einander gegenüber. Die Auswahl der Verfahrensvariante sollte in der Phase der Detailplanung auf Basis einer Kesselsimulation erfolgen.

Tabelle 1: Verfahrensvarianten zur Entstaubung des Abgases aus der Monoverbrennung

Variante	Vorteile
Heißgasentstaubung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- geringer Zubau an Anlagentechnik erforderlich</li> <li>- kein zusätzlicher Wasser Dampf Kreislauf erforderlich</li> <li>- geringer Platzbedarf</li> </ul>
Kaltgasentstaubung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hoher Staubabscheidegrad erzielbar</li> <li>- höhere Phosphorrückgewinnung möglich</li> <li>- niedriger Staubeintrag in Rauchgasreinigung MHKW</li> <li>- kein Einfluss auf die Kesseltemperatur im MHKW</li> <li>- geringer Wärmeverlust</li> </ul>

## 2.2. Alleinstehende Komplettanlage neben dem MHKW

Szenario 3 beschreibt eine autarke Klärschlammverbrennungsanlage mit einer Kapazität von 50.000 Tonnen TS/a (etwa 200.000 Tonnen OS/a). Die Anlage umfasst die komplette Peripherie zur Annahme, Trocknung, Lagerung und Verbrennung des Klärschlammes. Die Trocknung erfolgt dabei in einer neu zu errichtenden Dünnschichttrocknungsanlage. Die Abgase werden in einer eigenen Abgasreinigungsanlage behandelt. Die Brüden werden kondensiert und extern entsorgt. Das Fließbild des dritten Szenarios ist Bild 5 dargestellt.

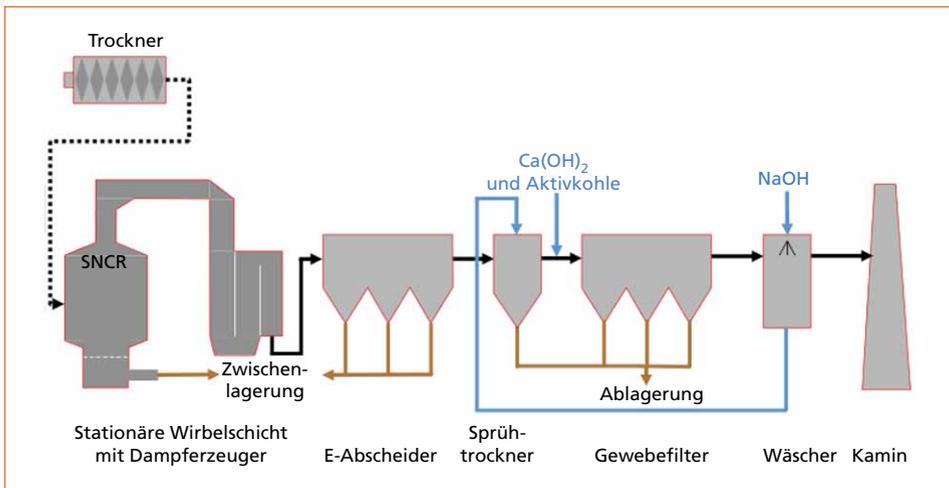


Bild 5: Alleinstehende Komplettanlage zur Monoverbrennung von Klärschlamm

## 3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Auf den drei Verbrennungsszenarien aufbauend wurden im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die spezifischen Kosten für die Klärschlammmentsorgung ermittelt und miteinander verglichen. Die wirtschaftliche Grundlage der Kostenrechnung bilden Richtpreisangebote verschiedener Firmen aus dem Anlagenbau. Diese wurden

gemeinsam mit den Anbietern iterativ erarbeitet. Die Datenbasis wurde durch Betriebsdaten des AEZ Asdonkshof, durch Literaturangaben sowie durch Berechnungen des TEER ergänzt. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde auf Basis einer Vorplanung in Anlehnung an DIN 2761 durchgeführt [3]. Die verwendeten Kostenstellen sind nachfolgend in Kostengruppen zusammengefasst beschrieben.

### 3.1. Kostengruppen

#### Investitionskosten

Die Investitionskosten setzen sich aus den Kosten für die Baukonstruktion, maschinen-, elektro- und leittechnische Anlagen, Anbindungskosten, Sonstiges und Unvorhergesehenes zusammen.

#### Betriebskosten

Zu den durchsatzunabhängigen Kosten zählen Reparatur, Wartung und Unterhalt, Steuern und Versicherungen, allgemeine Verwaltung, sonstige Hilfs- und Betriebsstoffe und Personalkosten. Die durchsatzabhängigen Kosten setzen sich aus Energiekosten, Betriebsstoffen, Kosten für Trocknung bzw. Abgasreinigung und einer Infrastrukturumlage, zusammen.

#### Erlöse

Die Erlöse aus der Klärschlammverbrennung werden durch Strom erzielt. Bei den Energiekosten ist kein Eigenverbrauch verrechnet, so dass die Kosten für Energie sowohl auf der Erlös- als auch auf der Ausgabenseite vorhanden sind.

#### Mindereinnahmen MHKW

In den Szenarien 1 und 2 ist aufgrund begrenzter Kapazitätsreserven in den Dampfkesseln des MHKW während Revisionsphasen mit einer geringfügigen Verdrängung des Restabfalls durch die Klärschlamm-Monoverbrennung zu rechnen. Die hieraus resultierenden Mindereinnahmen wurden berücksichtigt.

#### Behandlungspreis

Der Behandlungspreis setzt sich aus den jährlichen Kosten und Erlösen sowie einem Gewinn- und Risikozuschlag zusammen. Er ist szenarienspezifisch auf die angenommene Trockensubstanz wie auch auf die Originalsubstanz bezogen. Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit sind die Annahme, Trocknung, Verbrennung des Klärschlammes sowie die Zwischenlagerung der Klärschlammaschen mit Kosten hinterlegt. Die potenzielle Rückgewinnung des Phosphors aus den Aschen ist in den einzelnen Varianten nicht berücksichtigt. Eine Übersicht über ausgewählte Kostenstellen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt Tabelle 2.

<b>1</b>	<b>Investitionskosten</b>
<b>1.1</b>	<b>Baukonstruktion</b>
1.2	Maschinen-, elektro- und leittechnische Anlagen
1.3	Kopplung von Klärschlamm-Monoverbrennung und MVA
1.4	Sonstiges und Unvorhergesehenes
<b>2</b>	<b>Betriebskosten</b>
<b>2.1</b>	<b>Durchsatzunabhängige Betriebskosten</b>
2.1.1	Reparatur, Wartung, Unterhaltung, sonstige Hilfs- und Betriebsstoffe
2.1.2	Steuern und Versicherungen, allgemeine Verwaltung
2.1.3	Personal
<b>2.2</b>	<b>Durchsatzabhängige Betriebskosten</b>
2.2.1	Umlage Standortnutzung
2.2.2	Trocknung
2.2.3	Abgasreinigung
2.2.3	Hilfsenergie und Betriebsstoffe
2.2.4	Reststoffentsorgung
2.2.5	Zwischenlagerung Asche KS-Monoverbrennung
2.2.5.1	Entsorgung der Reststoffe
<b>3</b>	<b>Mindereinnahmen MVA</b>
<b>4</b>	<b>Erlöse</b>
<b>5</b>	<b>Behandlungspreis</b>
5.1	Kosten
5.2	Erlöse
5.3	Gewinn und Risiko

Tabelle 2:

Ausgewählte Kostenstellen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Zur Identifizierung der wichtigsten Parameter, die den Behandlungspreis beeinflussen, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Als Basiswerte wurden die aus den Richtpreisangeboten, den Betriebsdaten, der Literatur sowie aus eigenen Berechnungen gewonnenen Daten angenommen. Aus diesen Werten wurden mittels zweistufiger Über- und Unterschätzung Sensitivitäten abgeleitet. Die Über- und Unterschätzung der Kostenstellen geschah in den überwiegenden Fällen mit 25 Prozent bzw. 50 Prozent des Basiswerts. Im Parameter *Hilfsenergie Heizöl* wurde potentiell variierenden Schlammqualitäten mit einem massiv erhöhten Hilfsbrennstoffeinsatz Rechnung getragen. Die Über- bzw. Unterschätzung des Parameters *Investition* wurde an die Ungenauigkeit der Richtpreisangebote angelehnt. Die Kostenstellen zeigt Tabelle 3.

Tabelle 3: Auswahl von Parametern der Sensitivitätsanalyse

Parameter	Überschätzung		Basis	Unterschätzung	
	--	-		+	++
	%				
Investition Maschinen-, Elektro- und Leittechnik EUR	-30	-15-	100	15	30
Hilfsenergie Heizöl m <sup>3</sup>	-50	-25		3.000	6.000
Kosten der Trocknung EUR/t	-50	-25		25	50
Brüdenentsorgung EUR/t	-50	-25		25	50

### 3.2. Ergebnisse

Die Investitionskosten für die untersuchten Szenarien sind in Bild 6 dargestellt. Sowohl für die Variante der Kaltentstaubung in den ersten beiden Szenarien als auch für das dritte Szenario wurden je zwei Richtpreisangebote berücksichtigt. Wie das Bild verdeutlicht, unterscheiden sich die spezifischen Investitionskosten signifikant. Die höchsten Investitionskosten sind für das Szenario 1 mit Kaltgasentstaubung zu tätigen. Erwartungsgemäß ist dies zum einen dem Umfang der Investition (Feuerung und Dampferzeuger) und zum anderen der niedrigen Behandlungsmenge geschuldet. Bemerkenswert sind die niedrigen Behandlungskosten für das Szenario 2 mit einer Kaltgasentstaubung.

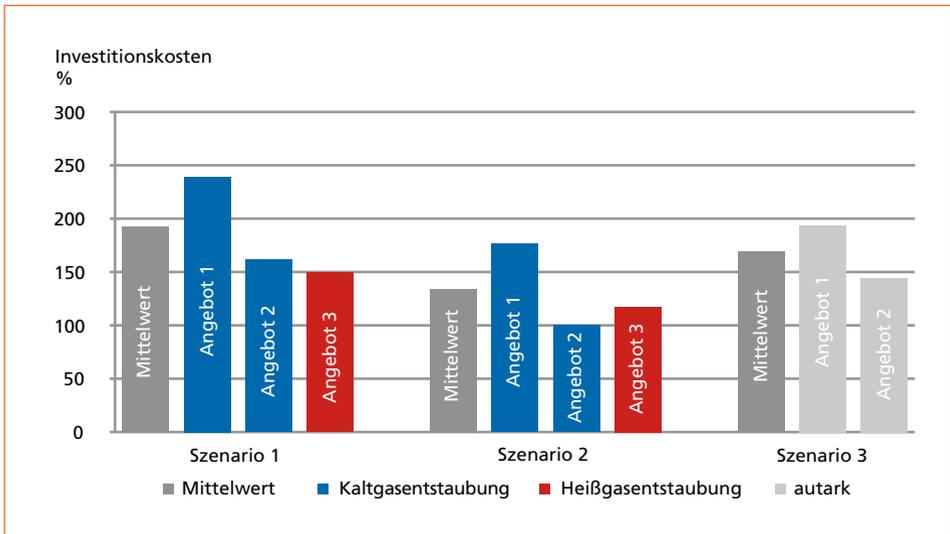


Bild 6: Vergleich der spezifischen Investitionskosten auf Basis der Richtpreisangebote

Bild 7 stellt einen Vergleich der spezifischen Behandlungskosten nach Kostengruppen als Mittelwerte der Szenarien bzw. Unterszenarien dar. Die durchsatzunabhängigen Kosten zeigen eine deutliche Abhängigkeit von der Höhe der Investitionskosten, da ein Großteil dieser Kostengruppe von den Investitionskosten bestimmt wird.

Ein Vergleich der durchsatzabhängigen Kosten zeigt, dass sich die Kosten innerhalb der einzelnen Szenarien lediglich geringfügig unterscheiden. Die durchsatzabhängigen Kosten des ersten Szenarios (Heißgasentstaubung (HE) bzw. Kaltgasentstaubung (KE)) liegen deutlich über jenen der alternativen Szenarien. Dies ist hauptsächlich den Trocknungskosten geschuldet, die auf Grund der geringen Behandlungsmenge spezifisch sehr hoch sind. Die durchsatzabhängigen Kosten von Szenario 2 werden ebenfalls maßgeblich von der Höhe der Trocknungskosten beeinflusst. Im dritten Szenario werden die durchsatzabhängigen Kosten vor allem durch die Höhe der Kosten für die Brüdenentsorgung bestimmt. Die durchsatzabhängigen Kosten der Szenarien 2 und 3 liegen auf einem ähnlichen Niveau.

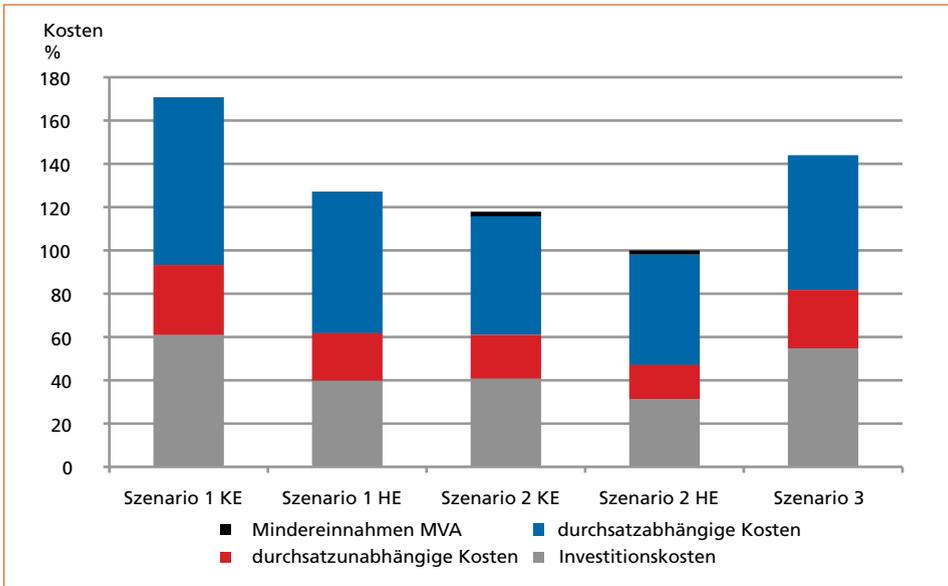


Bild 7: Kosten für die Verbrennung in den Szenarien nach Kostengruppen

Beim Vergleich der gesamten Behandlungskosten lässt sich zusammenfassend festhalten, dass Szenario 2 mit Heißgasentstaubung im Mittel den niedrigsten Behandlungspreis aufweist. Die Kosten der autarken Klärschlammmonoverbrennung im Szenario 3 liegen um etwa 40 Prozent höher. Im Szenario 1 mit Kaltgasentstaubung fallen die höchsten Kosten an.

Die Sensitivitätsbetrachtung wurde für alle Untervarianten der drei Szenarien durchgeführt. Der Einfluss sämtlicher Kostenstellen wurde untersucht. Zur besseren Übersicht ist in Bild 8 lediglich der Einfluss ausgewählter Parameter auf den gemittelten Behandlungspreis je Szenario dargestellt. Als Basis dienen die Behandlungspreise, die sich aus den Richtpreisangeboten, den Betriebsdaten des AEZ Asdonkshof sowie aus den angestellten Recherchen ergaben. Die Sensitivitätsbetrachtung zeigt, dass die Höhe des Behandlungspreises in allen Szenarien deutlich von der Höhe der Investition für die Maschinen-, Elektro- und Leittechnik (MELT) abhängt. Jedoch sei erneut darauf hingewiesen, dass die Über- bzw. Unterschätzung dieser Kostenstelle die Ungenauigkeit der Richtpreisangebote abbildet. In den Szenarien 1 und 2 sind zudem die Kosten für den Betrieb des Trockners relevant. Zusätzlich werden die Behandlungskosten in den Szenarien 2 und 3 vom etwaigen Einsatz von Hilfsbrennstoffen bestimmt. Da als Basiswert ein geringer Hilfsbrennstoffeinsatz angenommen wurde, ist z.B. bei abweichenden Schlammqualitäten ein prozentual massiv erhöhter Hilfsbrennstoffeinsatz möglich. Szenario 3 weist des Weiteren eine hohe Sensitivität hinsichtlich der Kosten für die Brüdenentsorgung auf.

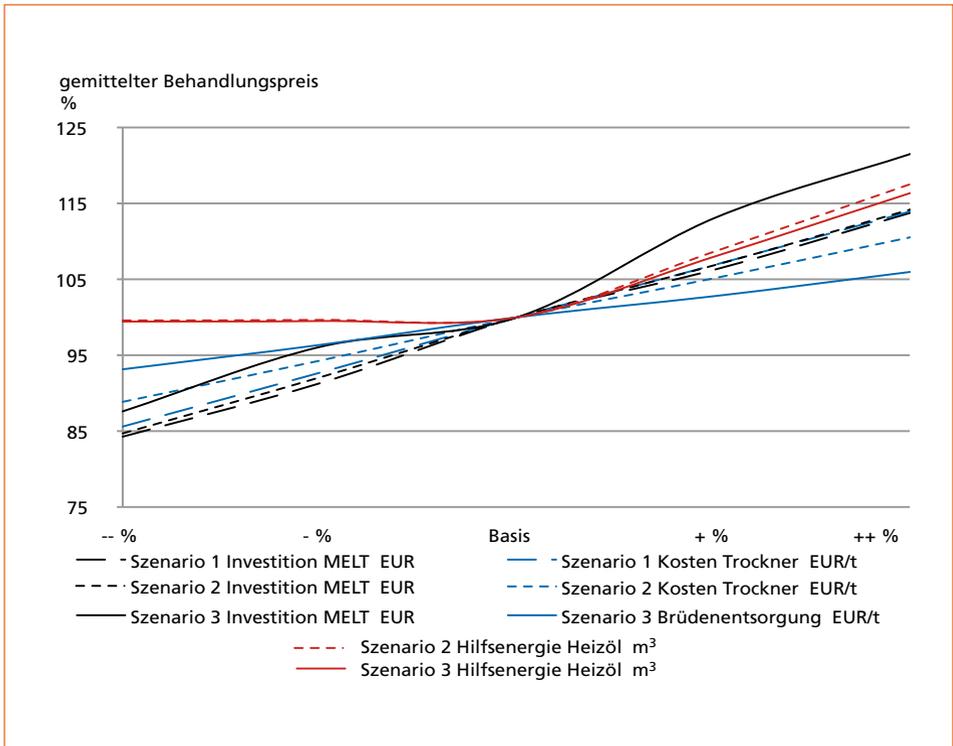


Bild 8: Sensitivitätsbetrachtung ausgewählter Parameter in den verschiedenen Szenarien

## 4. Zusammenfassung

Im Rahmen der Studie wurden mehrere Szenarien einer Klärschlamm-Monoverbrennung im AEZ Asdonkshof betrachtet und bewertet. Für zwei dieser Szenarien wurden Möglichkeiten zur Integration der Klärschlammverbrennung in das Müllheizkraftwerk aufgezeigt. Die technische Untersuchung erfolgte im Rahmen einer Vorplanung. Details zu Verfahrensschnittstellen (Kopplung der Teilanlagen, strömungstechnische Simulation) wurden nicht betrachtet.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist festzuhalten, dass die Verbrennung von 58.000 t/a Klärschlamm (OS) aufgrund der Nutzungsmöglichkeit vorhandener Anlagenteile (Trocknungsanlage) und Synergien zum MHKW (Dampfnutzung, Abgasreinigung) im AEZ Asdonkshof das größte Potenzial besitzt. Neben den geringsten Behandlungskosten sind als weitere positive Faktoren moderate Investitionskosten und die Akquise vergleichsweise geringer, zusätzlicher Klärschlammengen zu nennen.

## 5. Literatur

- [1] Bergs: Klärschlammverordnung und Phosphorstrategie des Bundes, Phosphor-Kongress – Ein kritischer Rohstoff mit Zukunft, 25.-26 Juni, Stuttgart, URL: [http://www.prueckbw.de/pulsepro/data/files/4.%20Bergs\\_klein.pdf](http://www.prueckbw.de/pulsepro/data/files/4.%20Bergs_klein.pdf). Stand: 30.11.2015
- [2] BMUB, Referentenentwurf zur Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung vom 18.08.2015, URL:[http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Abfallwirtschaft/abfklaerv\\_novelle\\_2015\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/abfklaerv_novelle_2015_bf.pdf) [Stand:26.11.2015]
- [3] DIN 276-1:2008-12; DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau; Beuth Verlag; Berlin; 2008
- [4] DWA: Stellungnahme zur Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung, URL: [https://de.dwa.de/tl\\_files/\\_media/content/PDFs/Abteilung\\_WAW/Hoe/Stellungnahmen/DWA-Stellungnahme\\_AbfKlaerV05102015.pdf](https://de.dwa.de/tl_files/_media/content/PDFs/Abteilung_WAW/Hoe/Stellungnahmen/DWA-Stellungnahme_AbfKlaerV05102015.pdf). Stand: 30.11.2015
- [5] Statistisches Bundesamt: öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung; Fachserie 19, 2013
- [6] Wiechmann; Dienemann; Kabbe; Brandt; Vogel; Roskosch: Klärschlammentsorgung in der Bundesrepublik Deutschland, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2012