

Integration eines Drehrohrsystems zur Monoverbrennung von Klärschlamm in eine Abfallverbrennungsanlage

Stephan Prätz, Fabian Fonseca und Bernhard Zimmermann

In Deutschland fielen im Jahr 2023 ca. 1,6 Millionen Tonnen Klärschlamm (Trockenmasse) aus Kläranlagen an [1]. Mehr als 80 % dieses Klärschlammes wurden thermisch entsorgt. Etwa 47 % davon wurden in Kohlekraftwerken, Abfallverbrennungsanlagen oder Zementwerken mitverbrannt. Weitere 50 % wurden in Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen entsorgt. Mit Inkrafttreten neuer gesetzlicher Regelungen, wie der novellierten Klärschlamm- sowie Düngemittelverordnung, hat die Monoverbrennung von kommunalem Klärschlamm als Entsorgungspfad, insbesondere aufgrund des Potenzials zur Phosphorrückgewinnung, zusätzlich an Bedeutung gewonnen. Neben der bewährten Wirbelschichttechnologie stellt die Integration eines Drehrohrofens in eine thermische Abfallbehandlungsanlage eine innovative Alternative dar. Besonders durch die Nachrüstung eines Drehrohrofens am Standort bereits bestehender Abfallbehandlungsanlagen lassen sich durch die Kombination von Klärschlamm- und der Abfallverbrennung Synergien identifizieren und nutzen.

1. Verfahrensbeschreibung

Das hier beschriebene Verfahren eignet sich für Klärschlämme, wie sie typischerweise nach der mechanischen Entwässerung in Kläranlagen anfallen und einen Trockenrückstand (TR) von 20 % bis 30 % aufweisen. Die Trocknung und Verbrennung des Klärschlammes erfolgt in einem Drehrohrofen im so genannten Gegenstromverfahren. Da der Klärschlamm auf Grund seines hohen Feuchtegehalts nicht selbsttätig zündet bzw. brennt, ist eine externe Beheizung notwendig. In diesem Prozess wird zur Beheizung heißes Rauchgas aus einer Abfallverbrennungsanlage verwendet. Bild 1 veranschaulicht dieses Konzept.

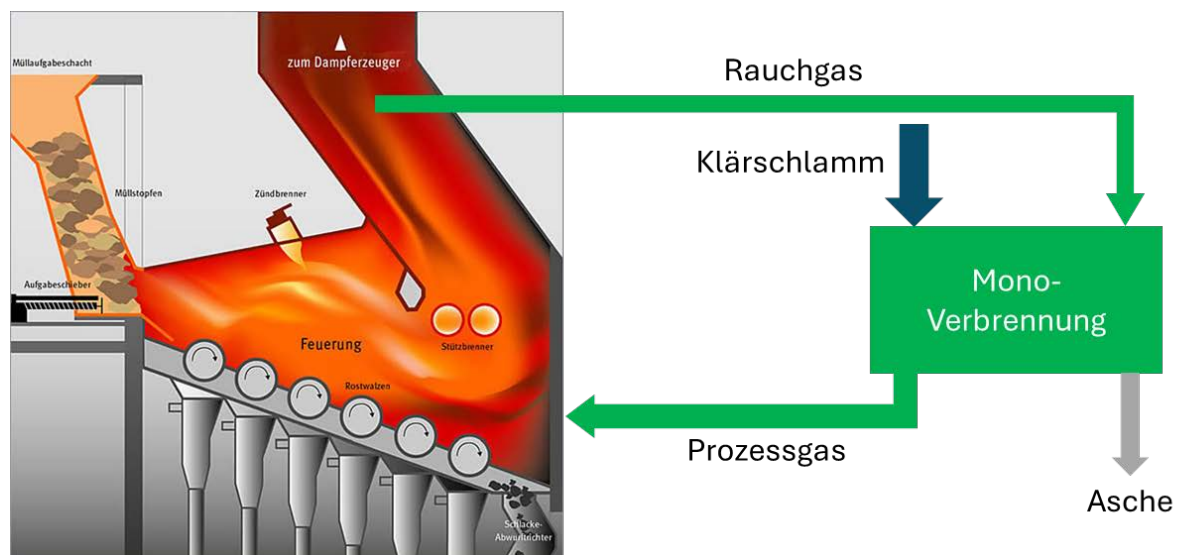


Bild 1: Schematische Darstellung der Ankopplung der Klärschlamm-Monoverbrennung an die Müllverbrennung

Das Rauchgas wird aus dem ersten Kesselzug mehrere Meter oberhalb der Sekundärluftebene der Müllverbrennung abgezogen. Das Rauchgas hat zu diesem Zeitpunkt noch eine Temperatur von 850 °C bis 1000 °C und weist eine hohe Staubbelastung auf.

Bei dem hier beschriebenen Verfahren wird das Rauchgas im Gegenstrom zum Klärschlamm in das Drehrohrgefäß geleitet. Durch den Trocknungsprozess des Klärschlammes kühlt das Rauchgas auf ca. 300 °C ab. Die entstehenden Prozessgase werden gemeinsam mit den

zugeführten Rauchgasen und den während des Prozesses entstehenden Brüden über ein Gebläse abgezogen und im Bereich des Sekundärlufteintrags der Brennkammer in die Abfallverbrennungsanlage zurückgeführt.

Der Ascheaustrag aus dem Drehrohrofen erfolgt über das Ausfallgehäuse entweder über eine Kühlschnecke oder über einen Notaustrag.

Der Klärschlamm wird gemäß gesetzlichen Vorgaben als Monofraktion behandelt und ermöglicht ein Phosphor-Recycling.

1.1. Der Prozess im Drehrohrofen

Der Drehrohrofen wird parallel zur Abfallverbrennung betrieben. Er nutzt das 850 °C bis 1000 °C heiße Rauchgas aus dem Müllverbrennungsprozess zur Drehrohrbeheizung und als Sauerstoffträger. Das entstehende Rauchgas, das ab dem Austritt aus dem Drehrohrofen als Prozessgas definiert ist und bezeichnet wird, wird anschließend in die Feuerung der Müllverbrennung zurückgeführt. So kann die Rauchgasreinigung der bestehenden Anlage nicht nur für die Abfallverbrennung, sondern auch für das Drehrohrsystem genutzt werden.

Das durch die Rostfeuerung entstehende Rauchgas wird im Drehrohrofen für die nachstehenden Prozessschritte genutzt, die im Folgenden in Richtung des Klärschlammweges beschrieben werden.

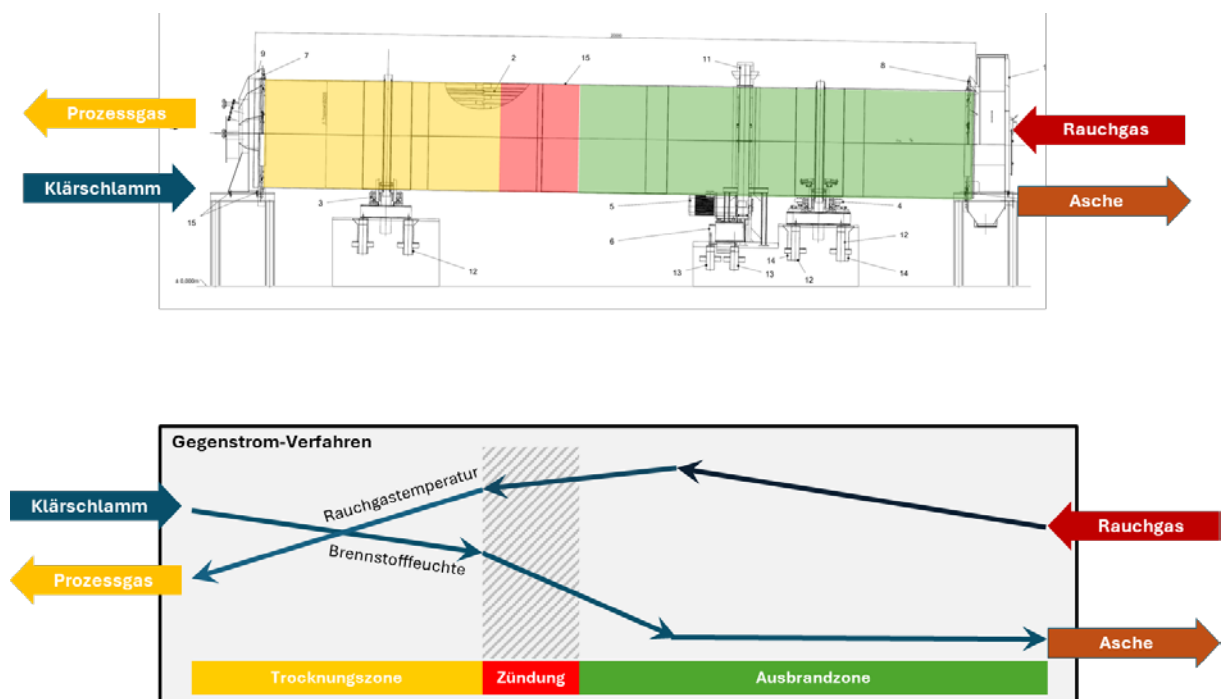


Bild 2: Verfahren zum Trocknen, Verbrennen und Ausbrennen im Drehrohrofen

Schritt 1: Trocknung des nassen Klärschlammes.

Am Prozessgasaustritt wird der Klärschlamm dem Drehrohrofen zugeführt. In dieser sog. Trocknungszone wird der Schlamm mit Hilfe des heißen Rauchgases zunächst getrocknet. Das Rauchgas kühlt durch das verdampfende Wasser aus dem Klärschlamm ab und verlässt den Drehrohrofen mit einer reduzierten Temperatur von 300 °C bis 400 °C.

Schritt 2: Austreiben und Teilverbrennung der flüchtigen Bestandteile aus dem Klärschlamm.

Der getrocknete Klärschlamm wird durch das heiße und sauerstoffarme Rauchgas weiter erwärmt. Dabei werden die flüchtigen Bestandteile freigesetzt. Da das Rauchgas in dieser Zone

noch Restsauerstoff enthält, wird ein Großteil dieser Bestandteile verbrannt. Ein geringer Anteil verbleibt jedoch als unverbrannte Komponenten im Prozessgas.

Schritt 3: Reduzierung des Restkohlenstoffs in der Asche.

In dieser Zone reagiert der in der Asche enthaltene elementare Kohlenstoff bei ausreichendem Kontakt mit dem noch sauerstoffhaltigen Rauchgas. Ziel ist die weitestgehende Reduktion des Kohlenstoffgehalts in der Asche, um den geltenden Anforderungen aus Genehmigungsaufgaben, Verwertungsverträgen und sonstigen regulatorischen Vorgaben zu entsprechen. Durch die Optimierung des Prozesses in diesem Bereich, z.B. durch den Einsatz von Einbauten, lässt sich ein Restkohlenstoffgehalt, ausgedrückt als gesamter organischer Kohlenstoff (TOC), von unter 1 % erreichen, so dass eine nachgeschaltete Nachverbrennung der Asche entbehrlich ist.

Zur vereinfachten Darstellung des Verfahrens wurden die einzelnen Prozessschritte als getrennte Abschnitte beschrieben und entsprechend in Bild 2 dargestellt. In der Praxis überschneiden sich die Phasen jedoch bzw. gehen nahtlos ineinander über.

2. Integration des Verfahrens im bestehenden Müllheizkraftwerk (MHKW) Offenbach

Die Energieversorgung Offenbach AG (EVO) betreibt in Offenbach eine Anlage zur thermischen Verwertung von Restmüll mit drei Verbrennungslinien. Im Jahr 2019 hat EVO die Power Service Solutions GmbH (ehemals Mitsubishi Power Europe GmbH) mit der Planung, dem Bau und der Inbetriebnahme einer Drehrohrofenanlage zur Klärschlammverbrennung beauftragt. Die Drehrohrofenanlage besteht aus zwei gleichen Drehrohröfen zur Monoklärschlammverbrennung, die mittels Rauchgase aus den Müllkesseln 1 und 2 beheizt werden.

2.1. Beschreibung der bestehenden Abfallverbrennungsanlage

Die Anlage zur Energiegewinnung aus Abfall wurde 1995-97 gebaut. Sie wurde für niedrige und mittlere Heizwerte von Siedlungsabfällen ausgelegt. Es wurde eine Gleichstromverbrennungsanlage mit einem Walzenrost installiert.

Vom Abfallbunker aus wird der Aufgabetrichter durch spezielle Greifer mit Abfall beschickt, der dann über einen wassergekühlten Schacht zum hydraulisch betriebenen Müllaufgabeschieber geleitet wird. Dieser reguliert den Abfallstrom in die Feuerung. Der Abfall wird auf einem Walzenrost verbrannt. Der Walzenrost ist mit 6 Rostwalzen ausgestattet, deren Geschwindigkeit individuell gesteuert werden kann.

Die Wände sind als Membranrohrwände mit feuerfesten Steinen ausgeführt. Für den ordnungsgemäßen Betrieb der Anlage mit Klärschlammverbrennung ist ein Mindestheizwert des Abfalls zu berücksichtigen.

Die für die Feuerung erforderliche Verbrennungsluft wird in Primär- und Sekundärluft aufgeteilt. Die Primärluft wird unterhalb des Walzenrostes über sechs Luftzonen zugeführt und entsprechend den Erfordernissen der geforderten Luftverteilung eingedüst. Die Sekundärluft wird am Ende der Brennkammer, d.h. zu Beginn des ersten Rauchgaszuges, mit Hilfe von Düsenreihen an der Kesselvorder- und -rückwand in das Rauchgas eingeleitet.

Der Kessel ist ein Zweizugkessel mit einem leeren vertikalen ersten Rauchgaszug und einem horizontalen zweiten Zug mit Verdampfer- und Überhitzerwärmetauschern. Der den Überhitzern nachgeschaltete Economizer ist ebenfalls in horizontaler Bauweise ausgeführt.

Zum An- und Abfahren des Kessels sowie zur Unterstützung der Mindestverbrennungsbedingungen im Betrieb sind zwei Gasbrenner im ersten Zug und ein

weiterer im Zündbereich installiert. Die Feuerung besitzt eine Nennleistung von 28,1 MWth und erzeugt 31,6 t/h Frischdampf.

Bis zur Umsetzung des hier beschriebenen Verfahrens wurde an der Anlage EVO Offenbach je Verbrennungslinie rund 1,1 t/h Klärschlamm mit ca. 25 % TR zusammen mit Hausmüll in der Rostfeuerung verbrannt. Begrenzendes Kriterium der an Klärschlamm mitzuverbrennende Menge war die Qualität der Rostasche. Bei Erhöhung der Klärschlammmenge war es nicht mehr möglich, die notwendige Ausbrandqualität auf dem Verbrennungsrost in jedem Fall sicher einzuhalten. Durch den Einsatz der Klärschlammmonoverbrennung in einem Drehrohrofen gelang es, größere Klärschlammengen thermisch zu verwerten und gleichzeitig die entstehende Asche aus der Klärschlammverbrennung als Rohmaterial für ein mögliches Phosphorrecycling bereitzustellen.

2.2. Spezifikation Klärschlamm

Bei dem in diesem Projekt benannten Klärschlamm handelt es sich um kommunalen Klärschlamm mit einem Trockenrückstand zwischen 20 % und 30 %. Für die Auslegung der Aggregate und Komponenten wurde mit dem Auftraggeber eine mittlere Klärschlammzusammensetzung sowie entsprechende Bandbreite vereinbart. Die folgenden Werte (s. Tabelle 1) wurden dabei berücksichtigt:

Tabelle 1: Eigenschaften des Klärschlamm

	Einheit	Auslegung	Bandbreite
Asche/Inert Material	%	11,25	10 bis 15
Wasser	%	75,00	70 bis 80
Trockenrückstand	%	25,00	20 bis 30
Unterer Heizwert bei 80 % Trockenrückstand	MJ/kg		10 bis 12,5
Flüchtige in der Trockenmasse	%		55 bis 70
Asche/Inert Material in der Trockenmasse	%	45,00	30 bis 45

2.3. Technische Beschreibung der Drehrohrofenanlage

Die Anlage besteht aus zwei separaten Drehrohröfen, die jeweils einem der vorhandenen Müllkessel zugeordnet sind. Die Anlage ist für eine jährliche Durchsatzleistung von etwa 82.000 Tonnen an Klärschlamm (Originalsubstanz) ausgelegt. Neben den eigentlichen Drehrohröfen besteht die gesamte Anlage zusätzlich aus einer Rauchgas-Zuführung, einer Klärschlamm-Zuführung, einer Prozessgas-Rückführung und dem Ascheaustrag.

Die Aufstellung der Drehrohrofenanlage erfolgte im Kesselhaus innerhalb eines dafür vorgesehenen Baufeldes neben den Müllverbrennungslinien 1 und 2 (Bild 3). Die Drehrohre sind über Rauchgaskanäle mit den jeweiligen Kessellinien verbunden.

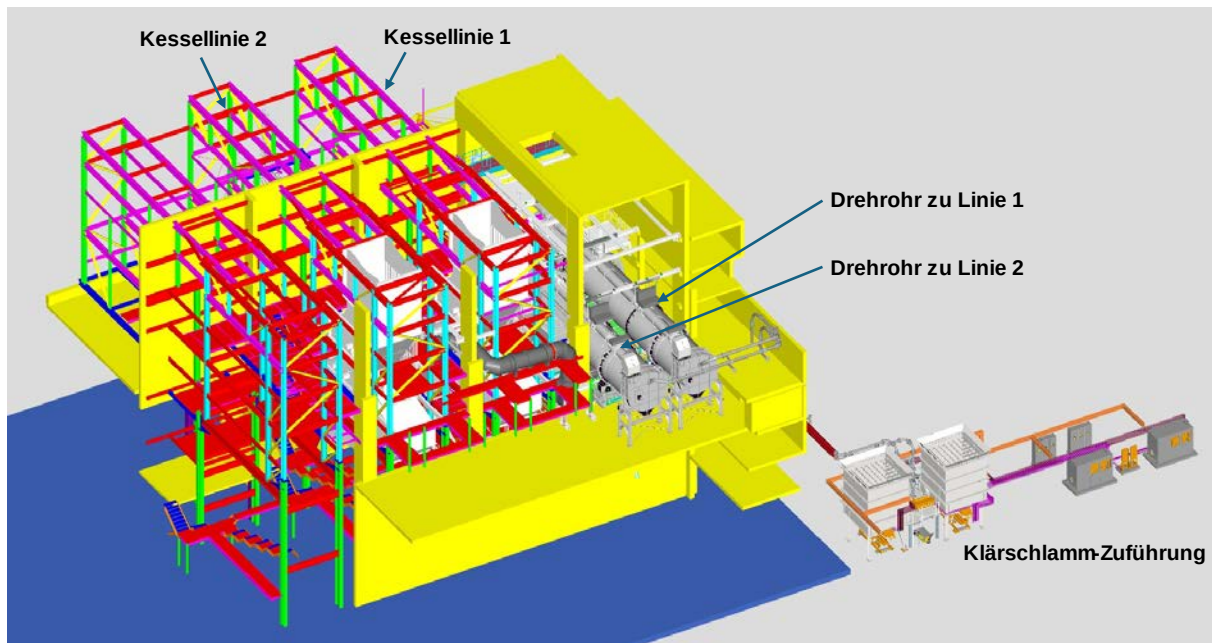


Bild 3: Darstellung der Aufstellung der Drehrohrofenanlage

2.3.1. Klärschlamm-Zuführung

Die Klärschlamm-Zuführung umfasst den Transport des Klärschlammes vom Annahmehunker bis hin zum Eintrag in das Drehrohr. Der Klärschlammtransport erfolgt ausschließlich durch Dickstoffpumpen. Installiert sind 2 mal 200 % Pumpen, um beide Klärschlamm-Verbrennungslinien gleichzeitig mit einer Pumpe versorgen zu können. Der Klärschlamm wird über so genannte Taktventile auf beide Linien aufgeteilt.

2.3.2. Rauchgas-Zuführung

Die Beheizung des Klärschlammes in den Drehrohröfen erfolgt mit Rauchgasen aus den Müllkesseln. Den Müllkesseln 1 und 2 ist jeweils eine Drehrohrfeuerung fest zugeordnet. Ein Tauschen der Zuordnung ist nicht möglich, auch ein Umschalten auf den jeweils anderen Müllkessel ist nicht möglich. Das aus dem jeweiligen Müllkessel abgesaugte und durch den Drehrohrprozess geführte Rauchgas wird anschließend in denselben Kessel wieder zurückgeführt.

Das Rauchgas zur Beheizung der Klärschlammverbrennung wird aus der rechten Seitenwand des ersten Kesselzuges abgezogen. Die optimale Position der Rauchgasabsaugung vom Kessel zum Drehrohrofen wurde mit Hilfe von CFD-Simulationen ermittelt. Die Absaugöffnung kann bei Bedarf durch einen Muffelschieber verschlossen werden. Das Schließen des Muffelschiebers unterbricht den Rauchgasweg und verhindert die Beheizung des Drehrohres, wodurch die Klärschlammverbrennung im Drehrohrofen vom Müllkessel getrennt wird und zum Erliegen kommt. Anfah- oder Stützbrenner im Drehrohrofen sind nicht installiert. Der Drehrohrofen wird nur betrieben, wenn der jeweils zugeordnete Müllkessel läuft und somit Rauchgas zur Aufheizung zur Verfügung steht.

Das aus dem Müllkessel abgesaugte heiße Rauchgas ist mit Flugasche beladen, wodurch die Gefahr der Verschmutzung und des Zuwachsens der zuführenden Kanäle durch Flugasche besteht. Zur Minimierung dieses Risikos wurde nach der Absaugöffnung eine Staubfalle installiert, um möglichst viel Flugasche abscheiden zu können. Zudem wurden diverse Reinigungsöffnungen installiert, um die verschiedenen Kanalbereiche in den vorgesehenen Revisionszeiträumen vollständig reinigen zu können.

2.3.3. Prozessgas-Rückführung

Das aus dem Drehrohrofen abströmende Prozessgas hat eine Temperatur von etwa 350 °C. Es setzt sich aus dem aus dem Müllkessel abgesaugten Rauchgas sowie den Produkten aus der Verbrennung und der Trocknung des Klärschlammes im Drehrohrofen zusammen und ist aufgrund der Verbrennungsbedingungen im Drehrohrofen noch nicht vollständig ausgebrannt. Da die Verbrennung von Klärschlamm, wie auch die Verbrennung von Abfall, den Vorgaben der Mindestverbrennungsbedingungen ($>850\text{ °C}$, $>2\text{ Sec.}$) der 17.BImSchV unterliegt, wird das Prozessgas mit Hilfe eines Gebläses aus dem Drehrohrofen abgesaugt und über 6 Düsen in der Sekundärluftebene der Rückwand des Müllkessels wieder in die Brennkammer des Müllkessels eingeblasen. Die spezielle Ausführung der Düsen stellt eine hohe Durchmischung und einen guten Ausbrand sicher.

2.3.4. Drehrohrofen

Die eingesetzten Drehrohrofen haben eine Länge von ca. 20 m und einen Manteldurchmesser von 3 m. Der innere Aufbau richtet sich nach den in Abschnitt 1.1 beschriebenen Verfahrensschritten. Im Bereich der Klärschlamm-trocknung sind die Drehrohrofen nicht ausgemauert, sondern mit Eintragswendeln zur Verhinderung des Eintrags (Rücklaufen) von Klärschlamm in das Eintragsgehäuse ausgestattet. In Transportrichtung gesehen befinden sich weitere Einbauten zur Optimierung der Trocknung, zur Förderung, zum Aufbrechen und zur Durchmischung des Klärschlammes. Der Hauptteil der Drehrohre ist mit Feuerfeststeinen ausgemauert. Der erste Abschnitt des ausgemauerten Bereichs ist mit Sterneinbauten ausgestattet, um den Kontakt zwischen Klärschlamm und Gasphase zu intensivieren und so die Resttrocknung und Entgasung zu optimieren. Der letzte Abschnitt des ausgemauerten Bereichs ist mit Hubschaufeln aus Formsteinen zur Optimierung des Ausbrands bestückt. Bild 4 illustriert diesen Auf- und Ausbau.



Bild 4: Innerer Aufbau des Drehrohrofens

Durch diese Optimierung des inneren Aufbaus war es möglich, den geforderten Restkohlenstoffgehalt (TOC) von unter 3% sicher einzuhalten. Bild 5 zeigt beispielhaft, wie sich der Restkohlenstoffgehalt in der Asche beim Anfahren der Anlage verhält. Etwa 30 Stunden nach dem erstmaligen Austrag von Asche aus dem Drehrohrofen stellt sich, bedingt durch die Trägheit einer Drehrohrofenfeuerung, der TOC-Wert des Dauerbetriebs ein.

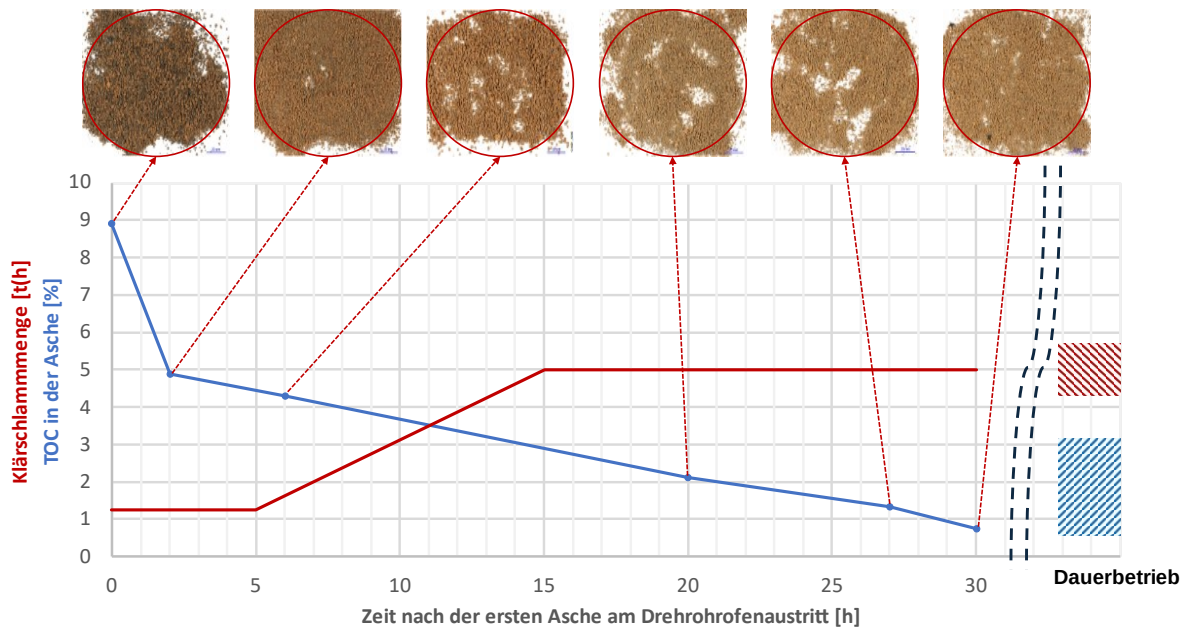


Bild 5: Verhalten des Restkohlenstoffs in der Asche während des Anfahrens

2.3.5. Drehrohrentaschung

Die Entaschung des Drehrohres beginnt mit dem Abwurf der heißen Asche aus dem Drehrohr. Diese gelangt durch das Austraggehäuse des Drehrohres in eine Hosenschurre. Die Hosenschurre dient als Umschaltorgan zwischen dem regulären Entaschungsweg und einer Notentaschung. Im Normalbetrieb ist der Notentaschungsweg durch die Klappe der Hosenschurre verschlossen. Die Drehrohrasche besitzt im Normalbetrieb beim Austrag aus dem Drehrohrofen eine Temperatur von ca. 900 °C. Für den weiteren Transport wird die Asche durch eine Kühlschnecke abgekühlt und pneumatisch in ein Silo gefördert.

3. Herausforderungen der Integration

Bei der Integration des hier dargestellten Verfahrens bzw. der beschriebenen Anlagentechnik in eine bestehende Abfallverbrennungsanlage mussten folgende Besonderheiten im Rahmen des Designs berücksichtigt werden:

- Die Drehrohrofenanlage darf die reguläre Funktionsweise bzw. den regulären Betrieb der bestehenden Müllverbrennungskessel nicht negativ beeinflussen.
- Die Vorgaben der Mindestverbrennungsbedingungen (>850 °C, >2 Sec.) der 17.BImSchV müssen für den Müllkessel im Drehrohrbetrieb ab einer vordefinierten Last ohne zusätzliches Stützfeuer eingehalten werden.
- Die Aufheizung des Drehrohrofens erfolgt ausschließlich mit heißem Rauchgas aus der Müllverbrennung.
- Das Platzangebot für eine optimale Aufstellung ist begrenzt.
- Die Schwermontage muss durch/über das Kesselhausdach erfolgen.

Um eine optimale Grundlage zur Planung und Integration der verschiedenen Anlagenkomponenten zu erzielen, wurden die zutreffenden Bereiche des Bestands mittels eines 3D-Scans aufgenommen und in ein 3D-Modell konvertiert. Die neuen Bauteile und Baugruppen wurden im Anschluss unter Berücksichtigung der real vorliegenden Peripherie positioniert. Etwaige Kollisionspunkte konnten somit im Zuge der Planungsaktivitäten identifiziert und korrigiert werden.

Aufgrund der Architektur des Bestandsgebäudes mussten sämtliche Hauptkomponenten, wie z.B. der Drehrohrmantel (in zwei Teilen), das Einlauf- und das Auslaufgehäuse sowie die Prozessgaskanäle, etc. über das Kesselhausdach eingehoben werden. Das Dach wurde dazu großflächig geöffnet und nach Abschluss der Schwermontage wieder verschlossen. Bild 6 illustriert einige dieser Montageschritte, Bild 7 zeigt die fertig installierten Drehrohröfen.



Bild 6: Drehrohröfenanlage während der Montage

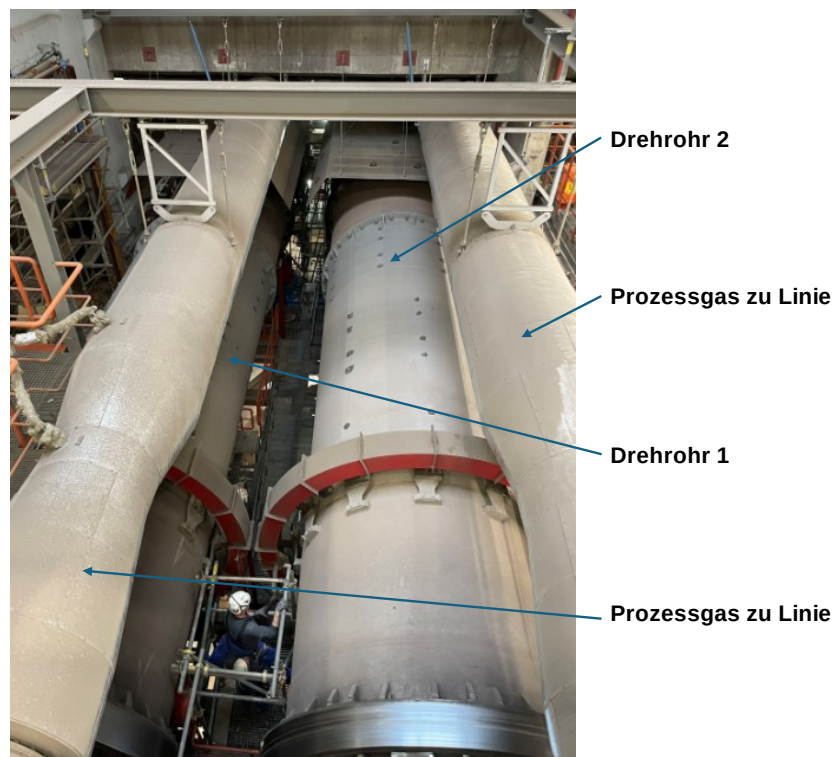


Bild 7: Drehrohröfenanlage im Jahr 2025

4. Fazit

Die Integration eines Drehrohrrofens zur Monoverbrennung von Klärschlamm in bestehende Abfallverbrennungsanlagen bietet eine innovative Möglichkeit zur energetischen Verwertung des Klärschlammes. Am Beispiel des Müllheizkraftwerks Offenbach wurde ein solches Projekt

erfolgreich umgesetzt. Der Drehrohrofen nutzt heißes Rauchgas aus der Müllverbrennung zur Trocknung und Verbrennung von entwässertem Klärschlamm im Gegenstromverfahren. Die entstehenden Prozessgase werden anschließend in die Brennkammer des Müllkessels zurückgeführt, um die gesetzlichen Mindestverbrennungsbedingungen einzuhalten. Auf diese Weise können sowohl der Kessel als auch die vorhandene Rauchgasreinigungseinrichtung der bestehenden Anlage effizient mitgenutzt werden.

Dank dieses Konzepts konnten folgende wesentliche Ziele erreicht werden:

- die ursprüngliche behandelte Klärschlammmenge von 1,1 t/h mit ca. 25 % TR pro Linie am Standort wurde auf ca. 5,0 t/h gesteigert, ohne den Prozess der Abfallverbrennungsanlage zu beeinträchtigen,
- die gewonnene Klärschlammasche weist einen geringen Restkohlenstoffgehalt (TOC) von ca. 1 % auf und eignet sich daher hervorragend für eine anschließende Phosphorrückgewinnung.

Die technische Umsetzung erforderte aufwendige Planungsmaßnahmen, insbesondere aufgrund begrenzter Platzverhältnisse. Der Betrieb der Anlage hat gezeigt, dass das staubbeladene Rauchgas zu einer Verschmutzung der Rauch- und Prozessgaskanäle führt und daher entsprechende Maßnahmen zur Reinigung der Kanäle bei der Planung berücksichtigt werden müssen. Der Prozess ist insgesamt gut steuerbar und konnte während der Inbetriebsetzung insbesondere hinsichtlich des Ausbrands gemäß den verschiedenen Erwartungshaltungen optimiert werden. Die Anlage läuft seit 2022 im kontinuierlichen Betrieb. Die Revisions- und Reinigungsarbeiten werden unter Berücksichtigung der Belange der Betriebsführung der Müllverbrennungsanlage abgestimmt, terminiert und durchgeführt.

5. Quellen

[1] Destatis: Statistisches Bundesamt: Wasserwirtschaft; Entsorgungswege des Klärschlammes nach Bundesländern 2010, 2015 bis 2023. In:

<https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/Tabellen/liste-klaerschlammsverwertungsart.html> [Zugriff am 22.05.2025].

Kontakt Daten

Vorname:	Stephan
Name:	Prätz
Titel:	-
Organisation/Firma:	Power Service Solutions GmbH
Position:	Head of BU Combustion Technologies
Abteilung:	-
Straße:	Schifferstr. 80
PLZ Ort:	47059 Duisburg
Tel.:	+49 203 8038 1505
E-Mail:	s_praetz@power-service.com