

Konzepte Klärschlammverbrennung – Beispiele im schweizerischen und dänischen Kontext –

Stephan Bhend, Arnaud Gilliéron und Martin Brunner

1.	Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen in Dänemark und der Schweiz	250
1.1.	Lynettefaellesskabet I/S, Kopenhagen (DK)	250
1.2.	KSV Lausanne-Vidy (CH)	251
2.	Zusätzliche Abscheidestufe – Einfluss von Aktivkohle auf den Heizwert	254
3.	Wärmerückgewinnung mit Abgaskondensation	255
3.1.	KSV Lausanne-Vidy	255
3.2.	KSV Lynetten.....	256
4.	Fazit.....	257

Die Monoverbrennung von getrockneten Klärschlämmen ist eine seit Jahrzehnten etablierte Technologie, welche durch die Zielsetzungen zur Phosphorrückgewinnung aus den Verbrennungsrückständen wieder verstärkt in den Fokus tritt.

Verglichen zu früher werden moderne Monoverbrennungsanlagen auf eine optimierte und effiziente Wärmerückgewinnung ausgelegt. Die energetische Nutzung orientiert sich dabei hauptsächlich an den Bedürfnissen und Anforderungen der zu versorgenden Wärmeabnehmern. Diese Anforderungen müssen während der Projektierung konsequent erfasst und validiert sowie im Engineering und bei der Errichtung der Anlagen implementiert werden.

Weitere Herausforderungen ergeben sich durch die Weiterentwicklung zur Behandlung von Siedlungsabwässern. Zusätzliche Abscheidestufen und Behandlungsverfahren können die Zusammensetzung der zu verbrennenden Schlämme signifikant ändern. Diesen Veränderungen gilt es gebührend Rechnung zu tragen.

Die nachfolgenden zwei Beispiele veranschaulichen die abnehmeroptimierte, hoch-effiziente Energierückgewinnung. Verfahrenstechnisch wurde die Anlage in Lynetten durch Ramboll (DK) geplant. Die verfahrenstechnische Planung der Anlage in Lausanne erfolgt aktuell im Rahmen eines Planerkonsortiums durch Ramboll (CH).

1. Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen in Dänemark und der Schweiz

1.1. Lynettefaellesskabet I/S, Kopenhagen (DK)

Die Klärschlamm-Monoverbrennung in der Kläranlage Lynetten hat eine Kapazität von 20.000 t/a Trockensubstanz (TS) vorgetrocknetem Faulschlamm mit einem Feststoffgehalt von 35 % und einem Heizwert von 2.800 kJ/kg. Sie wurde 2011 in Betrieb genommen.

Der ausgefaulte und getrocknete Schlamm wird nach der Trocknung in ein Vorlagesilo vor dem Ofen ausgetragen. Das Silo ist mit einem hydraulisch angetriebenen Schuboden für einen optimalen Schlammaustrag ausgestattet. Zwei Austragsschnecken fördern den Schlamm zu einer Kolbenpumpe. Diese beschickt den Wirbelschichtofen über ein Verteilsystem.

Der Wirbelschichtofen besteht aus einem vertikalen Zylinder, der innen mit feuerfesten Steinen und Isolierung versehen ist. Die Ofenbereiche sind in folgende Zonen unterteilt:

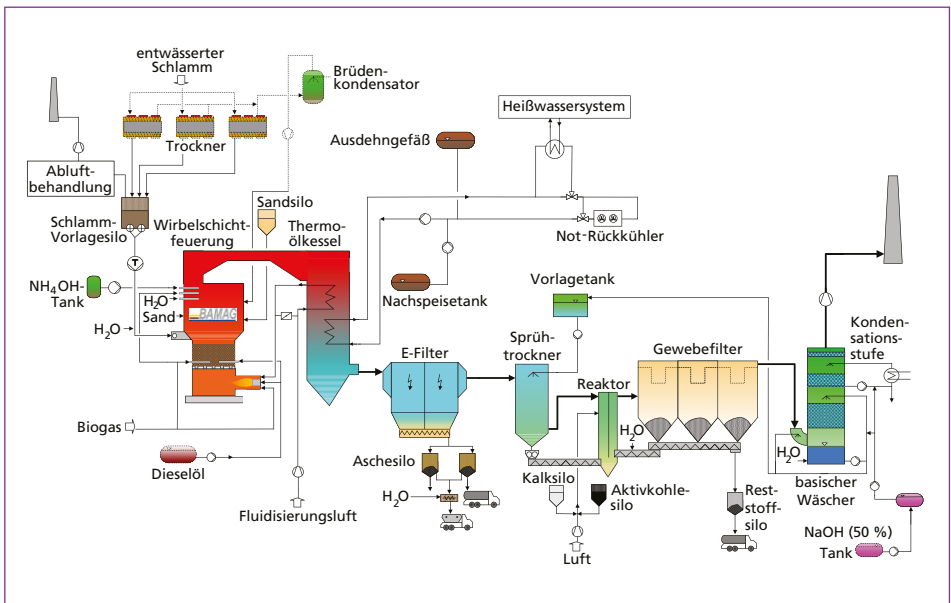
- Fluidisierungsrost mit Düsen,
- Sandschicht und
- *Freeboard* (Ausdehnungsbereich des Ofens über der Sandschicht).

Für das Anfahren sind ein Flächenbrenner und Gaslanzen installiert. Während dem Betrieb funktioniert die Schlammverbrennung ohne Zusatzgas (Biogas aus der Kläranlage). Zur NO_x -Reduzierung ist der Ofen mit einem SNCR-System mit Ammoniakwasser ausgerüstet. Der Primärluftvorwärmer und der Thermoölkessel befinden sich in einem ausgemauerten Kanal stromabwärts des Ofens. Der Luftvorwärmer erhitzt die Verbrennungsluft auf 500 bis 550 °C, bevor sie in den Brennraum des Ofens geleitet wird. Der Kessel ist als 1-Zug-Vertikalkessel mit mehreren Bündeln ausgeführt. Er liefert sowohl die Wärme für die Schlammvortrocknung als auch für die Fernwärme.

Die Rauchgase verlassen den Thermoölkessel bei einer Temperatur von 200 bis 220 °C und gelangen in eine mehrstufige Rauchgasreinigung (18.800 Nm^3/h). Der Elektrofilter entfernt über 99 % der Flugaschen aus dem Rauchgas. Die Flugaschen werden vom Elektrofilter mittels einer Schnecke ausgetragen und pneumatisch in eines der entsprechenden Aschesilos gefördert. Nach dem Elektrofilter gelangen die Rauchgase in einen Sprühtrockner, wo sie mit Wasser abgekühlt werden. Die Austrittstemperatur wird geregelt. Der Sprühtrockner besteht aus einem zylindrischen Stahlbehälter mit einem Zerstäubungssystem im oberen Teil. Die entstehenden Salze und Aschen werden mit dem Rauchgas zum Schlauchfilter verfrachtet und dort abgetrennt. Die verdichteten Feststoffe werden direkt im unteren Teil des Sprühtrockners abgeschieden und über einen Brecher und eine Förderschnecke dem Reaktor zugeführt.

Die Rauchgase gelangen in den Reaktor und werden durch eine Reaktorkammer nach oben geleitet. Herdofenkoks (HOK) und Kalkhydrat werden dem Reaktor als

Betriebsmittel für den Trockensorptionsprozess zugesetzt. Auf der Oberfläche der Filterschläuche bilden Staub, HOK und Kalk eine Schicht zur effizienten Abscheidung von HCl, SO₂ und Schwermetallen. Ein Teil der Reststoffe aus dem Filter wird zurück in den Reaktor rezirkuliert und das überschüssige Material wird mit Hilfe von Schnecken und pneumatisch via Druckfördergefäß zum Reststoffsilo geleitet. Die nachgeschaltete Nasswäsche besteht aus zwei Stufen, einer mit Natronlauge neutralisierten Waschstufe und einer Kondensationsstufe, die Wärme für das Fernwärmenetz liefert. Das Abschlämmwasser aus der ersten Waschstufe, welches hauptsächlich Salze und zu einem geringen Anteil Schwebstoffe enthält, wird in den Vorlagebehälter des Sprühtrockners eingeleitet. Das Kondensat aus der Kondensationsstufe wird teilweise als Nachspeisewasser für die erste Waschstufe verwendet, der Rest wird in die Kläranlage eingeleitet. Nach dem Wäscher fördert der Saugzugventilator die Reingase bei einer Temperatur von etwa 60 °C zum Kamin, wobei die Emissionen kontinuierlich überwacht werden.



Klärschlammverbrennung

Bild 1: Prozessschema KSV Lynetten

1.2. KSV Lausanne-Vidy (CH)

Die neue Verbrennungsanlage mit einer Kapazität von 14.000 t/a TS entwässertem und gefaultem Schlamm mit einem Feststoffgehalt von 30 % und einen Heizwert von 2.200 kJ/kg befindet sich zurzeit in der Planungsphase und soll, vorausgesetzt das Budget wird durch die Stimmbürger angenommen, Ende 2021 den Betrieb aufnehmen. Sie ersetzt die bestehende Verbrennungsanlage am gleichen Standort und vermag den Klärschlamm von Lausanne inklusive fünfzehn weiterer Abwasserbehandlungsanlagen in der Region zu verwerten (220.000 Einwohnerggleichwerte).

Die verschiedenen entwässerten und gefaulten Schlämme werden mit Hilfe eines Krans aus dem Schlammischbunker in einen Stapelbunker gefördert. Die Beschickung der redundant ausgeführten Aufgabetrichter erfolgt ebenfalls mittels Krangreifern. Jeder Trichter ist mit einem hydraulisch angetriebenen Schubboden für einen optimalen Schlammaustrag ausgestattet. Unter jedem Trichter fördert eine Austragsschnecke den Schlamm zu einem Störstoffabscheider. Schlussendlich fördert eine Kolbenpumpe den Schlamm mit Hilfe eines Verteilsystems in den Wirbelschichtofen. Das komplette Schlammfördersystem wird redundant ausgeführt.

Die Verbrennungsluft (Primärluft) wird über das Primärluftgebläse direkt aus dem Stapelbunker angesaugt und mit einem Rauchgas/Luft-Wärmetauscher vorgewärmt. Sie wird anschließend über Düsen in das Wirbelbett des Ofens geblasen. Der Aufbau des Wirbelschichtofens wird vergleichbar wie in Lynetten ausgeführt. Zum Anfahren des Ofens sind ein Flächenbrenner und Gaslanzen installiert. Während dem Normalbetrieb funktioniert die Schlammverbrennung nicht ohne Zusatzgas (Erdgas oder Biogas aus der Kläranlage), da der Feststoffgehalt, respektive der Gesamtheizwert, nicht ausreichend ist. Der Ofen wird mit einem SNCR-System zur NO_x -Reduzierung mit Ammoniakwasser ausgerüstet.

Der Primärluftvorwärmer und der Heißwasserkessel befinden sich in einem ausgemauerten Kanal stromabwärts des Ofens. Der Luftvorwärmer erhitzt die Verbrennungsluft auf etwa 600 °C, bevor sie in den Brennraum des Ofens geleitet wird. Die heißen Rauchgase aus dem Wirbelschichtofen werden im nachfolgenden Heißwasserkessel zur Erzeugung von Heißwasser (115 °C) vor allem für das Fernwärmenetz der Stadt Lausanne genutzt. Wasserseitig ist der Kessel mit einem internen Kreislauf mit redundanten Pumpen ausgestattet. Bei technischen Problemen oder Wartungsarbeiten am Fernwärmenetz wird ein Luftkühler zur Abfuhr überschüssiger Wärme eingesetzt.

Am Austritt des Kessels werden die Rauchgase (15.500 Nm³/h) bei einer Temperatur von 170 °C in eine mehrstufige Rauchgasreinigung geführt, die aus einem Elektrofilter, einem Trockenverfahren mit Aktivkohle und einem Nasswäscher besteht. Der Elektrofilter besteht aus zwei elektrischen Feldern, die 99 % der Asche aus der Verbrennungsluft durch elektrostatische Aufladung abscheiden. Unterhalb des Elektrofilters wird die Asche durch eine Schnecke gesammelt und über ein redundantes pneumatisches System zu zwei Aschesilos gefördert. Ein unter den beiden Silos platzierter Trogkettenförderer fördert die Asche über eine Verladegarnitur in LKWs. Die abschließende Feinentstaubung der Rauchgase erfolgt durch einen Schlauchfilter, der organische Partikel (Dioxine und Furane) sowie Schwermetalle durch Adsorption mit Herdofenkoks abscheidet. Unterhalb des Schlauchfilters werden die Reststoffe über ein pneumatisches System zum Reststoffsilo gefördert. Ein Trogkettenförderer fördert die Reststoffe über eine Verladegarnitur in LKWs.

Vor dem Eintritt in den Wäscher werden die Rauchgase über einen direkt an das Fernwärmenetz angeschlossenen Wasserrohrwärmetauscher von 170 °C auf etwa 100 °C abgekühlt. Der Wäscher besteht aus zwei Stufen. Die erste Stufe ist gleichzeitig ein basischer Wäscher, in welchem vor allem die Abscheidung von SO_2 mit Natronlauge erfolgt.

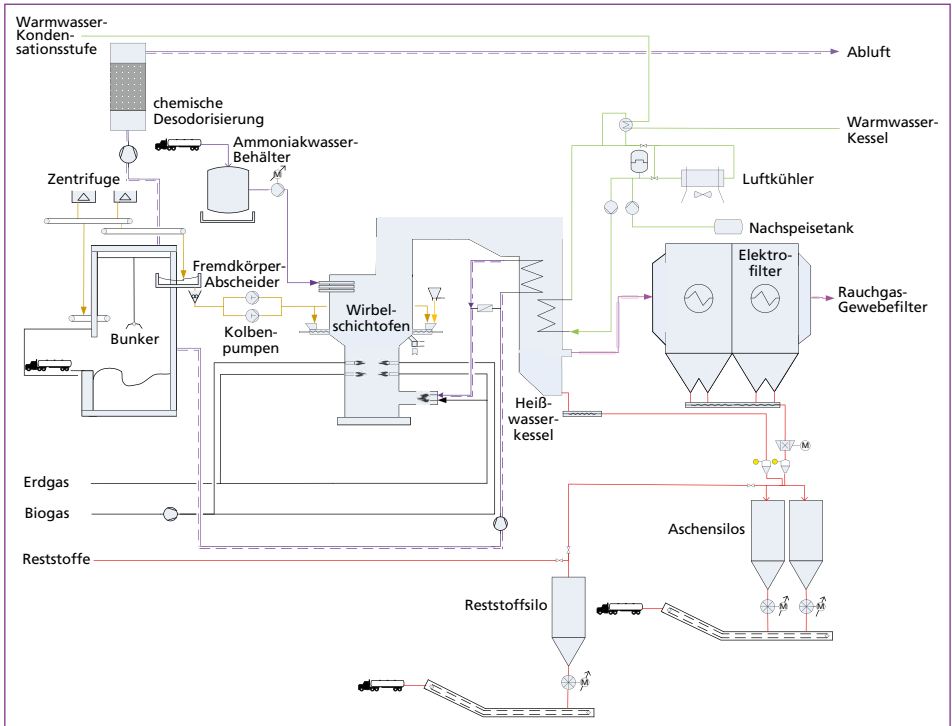


Bild 2: Prozessschema Bunker und Kessel KSV Lausanne-Vidy

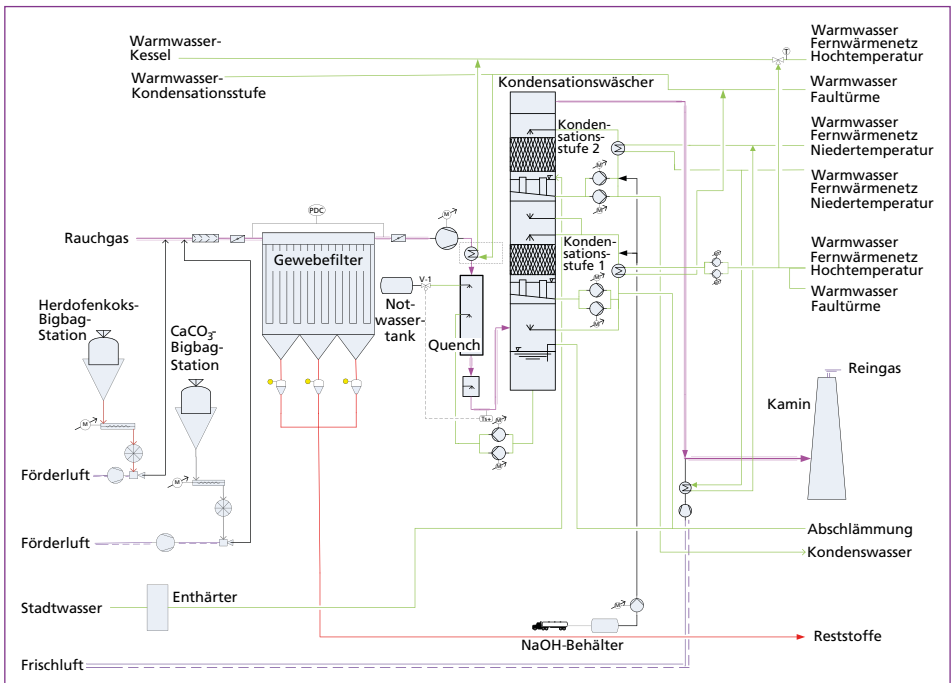


Bild 3: Prozessschema Rauchgasreinigung KSV Lausanne-Vidy

Die zweite Stufe ist als Kondensationsstufe ausgeführt, aus der Wärme für die Fernwärme der Stadt Lausanne und Niedertemperaturwärme für andere interne und externe Abnehmer der Kläranlage übertragen wird. Das dabei anfallende überschüssige Kondensat wird in die Kläranlage eingeleitet.

Das Reingas verlässt den Kondensationswäscher mit etwa 20 °C, wobei die Emissionen kontinuierlich überwacht werden. Zur Vermeidung einer sichtbaren Dampffahne wird das Reingas im Kamin mit vorgewärmter Luft gemischt und auf etwa 25 °C erwärmt.

2. Zusätzliche Abscheidestufe – Einfluss von Aktivkohle auf den Heizwert

Zur Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen haben sich bislang zwei Verfahren etabliert: der Einsatz von Ozonierung sowie der Einsatz von pulveriger Aktivkohle (PAK). Ist die Abwasserzusammensetzung für eine Behandlung mit Ozon nicht geeignet, muss PAK verwendet werden.

Im Fall der Kläranlage Lausanne-Vidy wurde während der Planung der Einsatz von PAK unter den folgenden Rahmenbedingungen berücksichtigt:

Der Heizwert der reinen PAK beträgt etwa 30 MJ/kg. Da aus der Behandlung Mikroverunreinigungen zusätzlich anfallen, entsteht eine Mischung (70 % PAK, 30 % Gemisch PAK-Schlamm aus Mikroverunreinigungsstufe) mit einem mittleren Heizwert von etwa 25 MJ/kg. Für die Auslegung wurde im Ursprungschlamm ein Anteil organische Substanz in der TS von 54 % und ein Heizwert der organischen Substanz von 22 MJ/kg angenommen.

	Einheit	ohne PAK	mit PAK
Durchsatz entw. Klärschlamm	t/Jahr TS	12.900	14.000
Schlamm-Feststoffgehalt	%	30	30
organischer Anteil in TS	%	54	57
PAK-Dosierung in der ARA	mg/l	-	13
PAK-Anteil in TS	%	-	7,8
Gesamtheizwert	kJ/kg	1.900	2.200
Heizwertänderung durch Einsatz PAK	%	+13,6	

Tabelle 1:

Kalkulation zur Veränderung des Heizwertes durch Zugabe von pulveriger Aktivkohle (PAK); ARA – Abwasserreinigungsanlage, TS – Trockensubstanz

Fazit

- Die Erhöhung des Heizwertes beträgt rund 13,6 %,
- der Einfluss der Aktivkohle auf die Schlammmentwässerung ist nicht signifikant (< 1 %),
- durch die Aktivkohle erhöht sich der Durchsatz von entwässertem Klärschlamm um etwa 8 %,
- die Erhöhung des Heizwertes führt zu einem reduzierten Gasverbrauch; PAK hat das Potential, das für die Verbrennung notwendige Zusatzgas praktisch 1:1 zu ersetzen und

- abriebfeste Materialien müssen, z.B. beim Schlammfördersystem zum Ofen, verwendet werden, um den mechanischen Abrieb von Geräten durch Aktivkohle zu mindern.

3. Wärmerückgewinnung mit Abgaskondensation

Aufgrund des hohen Wasseranteils in den Rauchgasen, ist die Rauchgaskondensation eine hocheffektive, einfach beherrschbare und kostengünstige Methode zur Wärmerückgewinnung. Die einzelnen Wärmequellen der Verwertungsanlagen sollen dabei energetisch optimal genutzt werden.

3.1. KSV Lausanne-Vidy

Für die KSV Lausanne-Vidy ist ein Heißwasserkessel geplant, wobei die Option eines Thermoölkessels offengehalten wird. Der Heißwasserkreislauf besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

- Heißwasserkessel mit Wärmetauscher zur Wärmeauskopplung,
- Wärmetauscher Rauchgas/Wasser vor dem Nasswäscher und
- zweistufigem Kondensationswäscher.

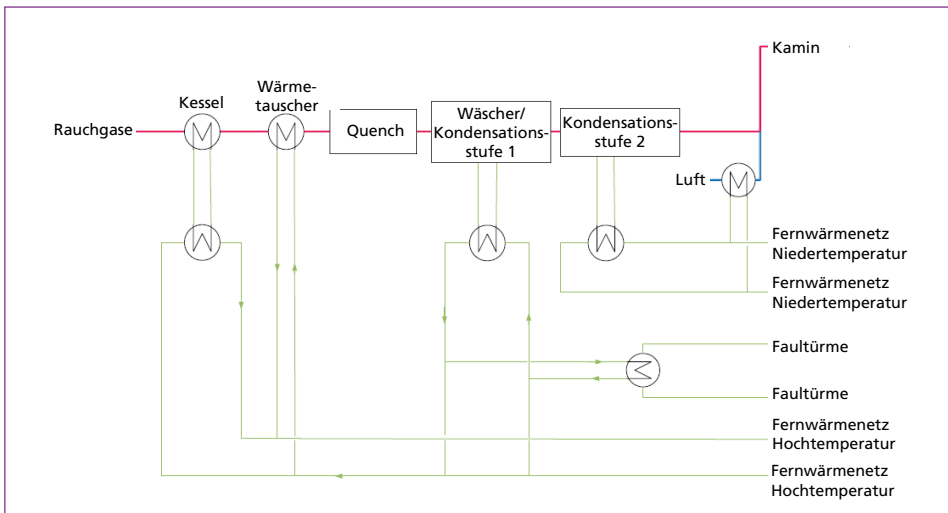


Bild 4: Prinzipschema Heißwasserkreislauf KSV Lausanne-Vidy

Nach der Klärschlammverbrennung wird die Wärme aus dem Rauchgas zunächst durch Konvektion auf das im Kesselkreislauf zirkulierende Wasser übertragen. Gleichzeitig werden die Rauchgase auf eine für die nachgeschaltete Rauchgasbehandlung (Elektrofilter und Trockenverfahren mit Gewebefilter) geeignete Temperatur von etwa 170 °C abgekühlt. Wegen der hohen SO₂-Konzentration im Rauchgas und der entsprechend hohen Säuretaupunkttemperatur darf die Temperatur nach dem Kessel nicht weiter

abgesenkt werden. Nach dem Gewebefilter werden die Rauchgase in einem korrosionsfesten Wärmetauscher auf etwa 100 °C weiter abgekühlt und gelangen anschließend in den Kondensationswäscher, der aus zwei Stufen besteht:

- basischer Wäscher/erste Kondensationsstufe und
- zweite Kondensationsstufe.

In den beiden Kondensationsstufen des Wäschers werden die gesättigten Abgase im Gegenstrom mit kaltem Wasser besprüht. Durch die Abkühlung der gesättigten Abgase kondensiert Wasser aus den Abgasen und das Washwasser wird erwärmt (Rückgewinnung der latenten Wärme). Das aufgeheizte Washwasser fließt über einen Plattenwärmetauscher, wo der Wärmeübergang zwischen dem Washwasser und dem zu erwärmenden Wasser aus dem externen Netz stattfindet. In der ersten Kondensationsstufe wird das Wasser aus dem Fernwärmenetz der Stadt Lausanne vorgewärmt und dann anschließend im Kessel und im Rohgaskühler auf die richtige Vorlauftemperatur (115 °C für das Fernwärmenetz der Stadt Lausanne und 68 °C für die Heizung der Kläranlage-Faultürme) gebracht. Ein Wärmetauscher dient zur Trennung der verschiedenen Druckstufen. In der zweiten Kondensationsstufe wird Niedertemperaturwärme vor allem für externe Abnehmer der Kläranlage produziert (Vorlauftemperatur Heißwasser etwa 50 °C). Dieses Konzept erlaubt eine weitgehende Abwärmenutzung.

3.2. KSV Lynetten

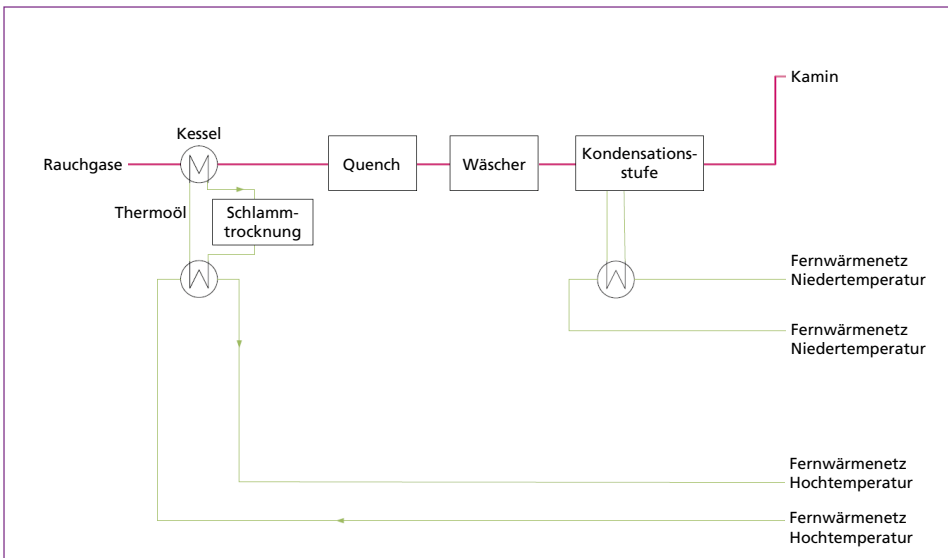


Bild 5: Prinzipschema Heißwasserkreislauf KSV Lynetten

In der KSV Lynetten wurde die Wärmerückgewinnung mit folgenden Hauptkomponenten realisiert:

- Thermoölkessel mit Primärkreislauf zur Schlamm-trocknung und Wärmeauskopp- lung zur Fernwärmeerzeugung und
- basischem Wäscher mit nachgeschalteter Kondensationsstufe.

Der Thermoölkessel liefert seine Wärmeleistung (3,8 MW bei etwa 250 °C) für die Schlamm-trocknung wie auch für das Fernwärmenetz. Die Wärmeleistung aus der Rauchgaskondensationsstufe wird ins Fernwärmenetz geleitet (2,9 MW bei etwa 70 °C). Im Vergleich zu einem Heißwasserkessel hat der Thermoölkessel den Vorteil, dass er trotz der hohen Kreislauf-temperaturen bei tiefen Systemdrücken gefahren werden kann.

4. Fazit

Die Technologie zur Monoverbrennung von getrockneten Klärschläm- men steht seit Jahrzehnten zur Verfügung. Es besteht das Potential, diese Technologie an neue oder standortbedingte Anforderungen anzupassen. Die Klärschlammverbrennungsanlagen sind wegen des typisch hohen Feuchtegehaltes der Rauchgase optimal für die Wärme- rückgewinnung mittels Rauchgaskondensation geeignet. Dabei wird ein wesentlicher Beitrag zur CO₂-neutralen Wärmeerzeugung geleistet. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass gereinigtes Kondensat der Kondensationsstufen in die Kanalisation respektive in die Abwasserreinigungsanlage (ARA) eingeleitet werden darf (Abwasser enthält aufgrund der Vorreinigung ausschließlich Sulfate).

Die Wärmenutzung kann dann hoch wirtschaftlich betrieben werden, wenn geeignete Wärmekunden (Heißwasser, Fernwärme usw.) verfügbar sind und beliefert werden können. Die Entscheidung für einen Thermoölkessel oder Heißwasserkessel hängt dabei unter anderem von den zu erreichenden Temperaturen ab. Dies muss im Ein- zelfall geprüft werden.

Ob eine wirtschaftliche Energienutzung zur Stromproduktion gegeben ist, muss im Einzelfall geprüft werden. Den hohen Investitionskosten für Dampfkesselanlagen inkl. gesamtem Wasserdampf-kreislauf, Generator und eventuell Maschinentransformator stehen, bei den heute sehr tiefen Strompreisen, nur bescheidene Stromerlöse gegenüber.

Die Weiterentwicklung der Abwasserreinigungsanlagen für Siedlungsabwässer und deren Einfluss auf die zu erwartenden Schlammqualitäten muss im Auge behalten werden. So ist eine signifikante Erhöhung des Gesamtheizwertes bei vermehrter Zugabe von pulveriger Aktivkohle zu erwarten. Diese hängt jedoch stark von der PAK-Dosierung bei der Abwasserreinigung ab.

Ansprechpartner



Stephan Bhend
Ramboll AG
Teamleiter/Projektleiter
Hardturmstrasse 132
8005 Zürich, Schweiz
+41 44 500 35 80
sehb@ramboll.ch

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Olaf Holm, Elisabeth Thomé-Kozmiensky,
Peter Quicker, Stefan Kopp-Assenmacher (Hrsg.):

Verwertung von Klärschlamm

ISBN 978-3-944310-43-5 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Olaf Holm
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2018
Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Olaf Holm, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.
Erfassung und Layout: Janin Burbott-Seidel, Ginette Teske, Roland Richter, Sarah Pietsch,
Cordula Müller, Gabi Spiegel
Druck: Beltz Grafische Betriebe GmbH, Bad Langensalza

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.