

Untersuchung zum Betrieb eines wassergekühlten Rostes einer MVA

Dipl.-Ing. Univ. Hermann Frey, Winterthur und Dr. Jean-Claude Gfeller, Basel

Verbrennungsroste für Müllverbrennungsanlagen sind üblicherweise mit Roststäben belegt, die mehr oder weniger als Verschleißteile anzusehen sind. Der Umfang des Verschleißes hängt stark von der korrosiven Wirkung und der Temperatur des Feuers bzw. der Roststaboberfläche ab. Bei einem gegebenen Roststabmaterial sind es also vor allem der Heizwert und der Schadstoffgehalt des Brennstoffs, welche den Verschleiß verursachen. Bei konventionellen, so genannten luftgekühlten Rosten versucht man diesen Verschleiß durch geeignete Führung der Verbrennungsluft unter dem Rost zu minimieren.

Dieses Konzept hat den Nachteil, dass die Verbrennungsluft nicht mehr exakt nach den Bedürfnissen des Feuers eingestellt werden kann, da ein Minimum der Luft für die Kühlung des Rostes gebraucht wird. Das heißt, gerade dort, wo das Feuer besonders heiß ist, möchte man unter Umständen die Luft reduzieren, was aber andererseits nicht geht, da die Rostkühlung sichergestellt sein muss. Dieser Nachteil entfällt bei wassergekühlten Rosten. Die Oberflächentemperatur der wassergekühlten Rostplatten ist gleichförmig niedrig und von den Luftbedürfnissen der Feuerung entkoppelt.

Das Strömungs- und Temperaturprofil im ersten Zug einer Müllverbrennungsanlage (MVA) lässt sich zum Beispiel mit einem langgezogenen Feuer besser optimieren¹. Um dies zu erreichen, muss man die Verbrennungsluft in den vorderen Zonen stark reduzieren, was die Kühlwirkung der Luft vermindert und für den Einsatz eines wassergekühlten Rostes spricht.

Die bislang speziell in der deutschen Gesetzgebung verankerte Bestimmung über einen Mindestsauerstoffgehalt von 6 Prozent in den Rauchgasen wird in der neuen europäischen Richtlinie zur Verbrennung von Abfällen nicht mehr enthalten sein². Dies wird zukünftig zu einer allgemeinen Luftreduktion führen, was wiederum für eine Wasserkühlung spricht. Daraus resultierende Vorteile sind z. B. NO_x-Minderung und ein geringerer Rauchgasvolumenstrom.

Aus diesen Gründen kommen wassergekühlte Roste in erster Linie bei hochkalorischen problematischen Abfällen zum Einsatz. Die Standzeiten konventioneller luftgekühlter Roststäbe sind dabei in den Hauptverbrennungszonen stark reduziert und verursachen hohe Instandhaltungskosten. Solche Randbedingungen sind in den letzten Jahren immer häufiger anzutreffen. Ein Beispiel für korrosiven, problematischen Müll sind Reststoff-Fractionen aus sortiertem DSD-Müll in Deutschland.

Wärmerückgewinnung

Die vom Kühlwasser aufgenommene Wärme kann auf verschiedene Weise abgegeben bzw. zurückgewonnen werden. Prinzipiell stehen folgende für Müllverbrennungsanlagen sinnvolle Möglichkeiten zur Verfügung:

- Rückkühlung durch einen Wasser/Luft-Kühler und Abgabe der Wärme an die Umgebung,

Keywords

- MVA
- Wassergekühlter Rost
- Rostfeuerung
- Wärmerückgewinnung

- Rückkühlung durch einen Wasser/Wasser-Wärmetauscher und Abführen der Wärme z. B. in das Kondensatsystem oder in das Fernwärmenetz und
- Rückkühlung durch einen Luftvorwärmer, betrieben mit der Verbrennungsluft.

Viele der in den letzten Jahren installierten Anlagen verwenden die erstgenannte Variante, das heißt, die dem Rost entnommene Wärme geht einer Nutzung verloren.

Der Kanton Basel-Stadt hat sich schon seit längerer Zeit um energiesparende Maßnahmen bemüht. So wurde das beinahe zwanzigjährige Energiespargesetz im Jahr 1998 novelliert, wobei neben Anpassungen im technischen Bereich erstmals in der Schweiz die Erhebung einer Lenkungsabgabe auf Elektrizität eingeführt wurde. Außerdem wurde die Solarstrombörse durch das Parlament genehmigt, die den Solarstromproduzenten bei Einspeisung in das öffentliche Netz eine kostendeckende Vergütung garantiert.

Aufgrund dieses energiebewussten Umfeldes wurde auch der optimalen Energiegewinnung in der neuen KVA (Kehrichtverbrennungsanlage) eine hohe Bedeutung beigemessen. Dementsprechend wird, neben der optimierten Wärmeumwandlung in den Kesseln zusätzlich auch die Energie der Rostwärme zur Maximierung des Gesamtwirkungsgrades genutzt. Ziel dieser Arbeit ist die Überprüfung der

Effizienz und auch die Berechnung der Rentabilität einer solchen Investition.

Wenn man sich die hohen Investitions- und Förderungskosten regenerativer Energien, z. B. der Solarstromerzeugung, vor Augen hält, so verdient in diesem Zusammenhang auch der bei einem wassergekühlten Verbrennungsrost abzuführende Wärmebetrag, der immerhin in die Größenordnung von Megawatt kommt, einer detaillierteren Beachtung.

Konzept der KVA Basel

In Basel wurde bei zwei neuen Verbrennungslinien für Haus- und Gewerbemüll ein System installiert, das die durch die Rostkühlung abgeführte Wärme über die Verbrennungsluft zurückgewinnt. Ein Prinzipschema der Schaltung zeigt Abbildung 1.

Die gesamte Verbrennungsluft wird durch einen mit Rostkühlwasser beheizten Luftvorwärmer geleitet, bevor sie über verschiedene Kanäle in den Feuerraum strömt. Ein zusätzlicher Spitzenlastkühler (Luftkühler) wird automatisch zugeschaltet, wenn die Verbrennungsluftmenge unter gewissen Betriebsbedingungen für eine vollständige Rückkühlung des Kühlkreislaufs nicht mehr ausreicht.

Die Anlage wurde 1998 in Betrieb genommen. Über die Betriebserfahrungen hinsichtlich der Wärmeabfuhr und das Verhalten des Rückkühlsystems wird berichtet. Das Verbrennungssystem besteht aus dem horizontalen Gegenlauf-Überschubrost nach System W+E. Der wassergekühlte Rost ermöglicht eine gestufte Verbrennung, das heißt, die Luft durch den Rost kann reduziert und dafür als so genannte Seitenwandluft zugegeben werden. Das Feuer ist in der Regel relativ lang eingestellt, so dass es über ca. zwei Drittel der Rostlänge brennt. Daraus resultiert eine „sanfte“ Verbrennung mit einem

sehr gleichmäßigen Temperaturprofil über die Rostlänge. Diese verfahrenstechnische Maßnahme ermöglicht es, auf die durch den hohen gewerblichen Müllanteil hervorgerufenen starken Schwankungen entsprechend regelnd einzugreifen.

Dimensionierung der Verbrennungsluftvorwärmung

Die Dimensionierungsgrundlagen für die in Basel realisierten zwei Verbrennungslinien sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Dimensionierungsgrundlagen für die zwei Verbrennungslinien in Basel	
Mülldurchsatz	15 t/h
Verbrennungsluftmenge, je nach Last und Luftüberschuss	44 000 bis 73 000 m ³ /h
Heizwertbereich	7 500 bis 16 500 kJ/kg
Nominale Brennstoffwärmeleistung	47 000 kW
Anzahl wassergekühlte Rostreihen	18
Temperaturniveau Kühlwasser Rost	80 °C am Rosteintritt
Wärmeabfuhr wassergekühlter Rost (Design)	1 500 kW

Als Vorgabe war anzustreben, die abgeführte Wärme mit der Verbrennungsluft möglichst vollständig in die Verbrennung zurückzuführen. Wie man jedoch aus den genannten Daten sieht, ist die Wärmeaufnahme kapazität der Verbrennungsluft physikalisch begrenzt. Bei gegebenem Kühlwassertemperaturniveau und einer Aufheizung der Verbrennungsluft um ca. 40 °C (abhängig von der Umgebungstemperatur) lassen sich ca. 1 100 bis 1 200 kW zurückgewinnen. Bei der Auslegung der Anlage musste also damit gerechnet werden, dass die Kühlleistung des Verbrennungsluftvorwärmers gemäß Designgrundlage nicht ganz ausreichen wird. Obwohl Erfahrungen von anderen Anlagen bezüglich Wärmeanfall vorlagen, war dies ein unsicherer Punkt, da sich das Abbrandverhalten des Basler Mülls nur schlecht vorausbestimmen ließ.

Durchgeführte Untersuchungen

Einflussparameter für den Wärmeanfall im Rost

Im ersten Betriebsjahr der KVA Basel wurde das System „Wassergekühlter Rost“ einer Analyse hinsichtlich Wärmeabfuhr unterzogen. Viele Messparameter sind relativ einfach zugänglich, da die Feuerung mit einer modernen Regelung (ABB Advanced Combustion Control) ausgestattet ist, bei der die meisten Parameter registriert werden. Folgende Einflüsse wurden auf die Wärmeabfuhr hin untersucht:

- thermische Last,
- Heizwert,

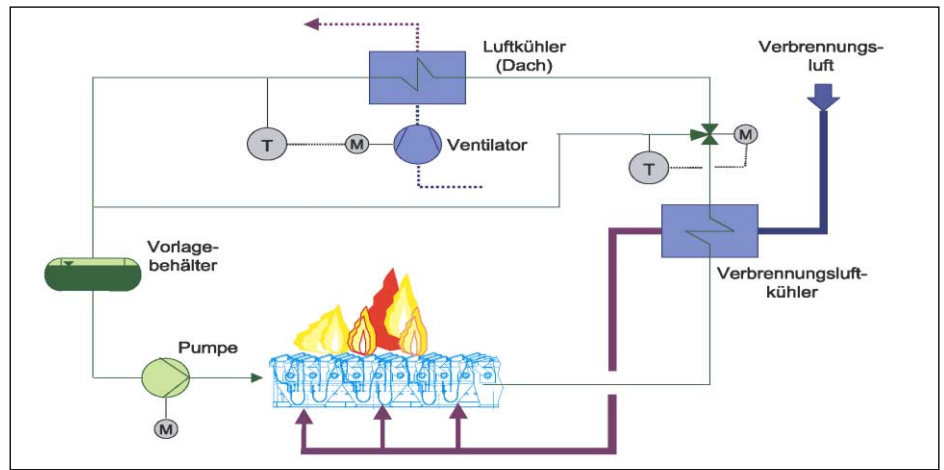


Abb. 1: Kreislauf wassergekühlter Rost der KVA Basel.

- Wärmeprofil über die Rostlänge sowie
- Verbrennungslufttemperatur und
- Müllschichtdicke.

Untersuchungsergebnisse

Untersuchungszeitraum im Feuerungsleistungsdiagramm

Im Leitsystem aufgezeichnete Stundenmittelwerte wurden über einen Zeitraum von ca. zwei Monaten im Probetrieb für die Auswertung herangezogen. Werte während der An- und Abfahrvorgänge mit Brennerbetrieb würden das Bild verfälschen und wurden deshalb eliminiert. Insgesamt sind dies ca. 1 000 Stundenmittelwerte. Der Zustand der Feuerung wird üblicherweise im Feuerungsleistungsdiagramm festgehalten, aus dem eingebrachte Brennstoffwärme, Massendurchsatz und Müllheizwert ersichtlich sind. Die untersuchten Stundenmittelwerte sind in Abbildung 2 eingetragen. Es ist ersichtlich, dass der Heizwertbereich der Auslegung von 7 500 bis 16 500 kJ/kg gut ausgeschöpft wird. Überschreitungen des maximalen mechanischen Durchsatzes kommen vor, da die Feuerungsleistungsregelung in erster Linie die Frischdampfmenge bei schwankendem Heizwert konstant hält.

Häufigkeitsverteilung der Wärmeaufnahme durch den Rost

Generell ist eine starke Schwankung der Wärmeaufnahme zu beobachten. Die Häufigkeitsverteilung der Wärmeabfuhr (Abb. 3) zeigt einen Bereich von 250 bis 1 400 kW bei einem Mittelwert von 720 kW. Dies ist eine extreme Schwankungsbreite, bestätigt aber den Auslegungswert von 1 500 kW. Bemerkenswert ist, dass 96 Prozent aller Stundenmittelwerte unter 1 000 kW liegen, also eine relativ hohe Auslegungsreserve für Wärmespitzen vorhanden ist. Um die Parameter zu erfassen, die diese breite Schwankung der Wärmeabfuhr verursachen, wurden die Daten einer weitergehenden Analyse unterzogen.

Betrieb des Spitzenlastkühlers

Während des winterlichen Untersuchungszeitraums war der Spitzenlastkühler nur einmal während drei Stunden im Einsatz. Bei einem Wärmeanfall von maximal 1 350 kW gab dieser ca. 200 bis 300 kW an die Umgebung ab. Es zeigte sich, dass eine hohe Wärmelast nicht

gleichzeitig Einsatz des Dachkühlers bedeutet. Zum einen hängt die Rückkühlkapazität von der Umgebungstemperatur ab, zum anderen ist aber im Kreislauf eine gewisse Pufferkapazität vorhanden. Solange die obere Grenze der Rosteintrittstemperatur nicht überschritten ist, heizt sich zunächst der Kühlkreis auf. Die Umgebungstemperatur zum Zeitpunkt der Wärmespitze war 14 °C. Im Sommer treffen Wärmespitzen und höhere Umgebungstemperaturen häufiger zusammen. Da Wärmespitzen jedoch zu nächst in einzelnen Rostreihen auftreten, erfolgte im Sommer die Zuschaltung des Dachkühlers nicht automatisch, sondern wurde oft vom Bedienpersonal aktiviert, ohne dass die Grenze für die automatische Zuschaltung erreicht wurde, da einzelne Temperaturalarmlen störten. Die Grenzwerte für die Temperaturalarmlen wurden mittlerweile höher gesetzt. Eine gezielte statistische Auswertung kann erst im nächsten Sommer erfolgen. Qualitativ lässt sich jedoch die Aussage treffen, dass durch den Dachkühler weniger als 5 Prozent der Wärme verloren gehen.

Wärmeaufnahme in Abhängigkeit der Last

Während des Untersuchungszeitraums im Probetrieb kam es zu häufigen Lastwechseln, die es ermöglichten, den Einfluss der Last auf den wassergekühlten Rost genauer zu untersuchen. Die im Feuerungsleistungsdiagramm (Abb. 2) dargestellten Stundenmittelwerte sind in Abbildung 4 nochmals in Abhängigkeit der Last aufgetragen. Tendenziell ist zwischen 80 und 100 Prozent Last kein Unterschied mehr in der Wärmeaufnahme des Rostes feststellbar. Bei kleineren Lasten treten dafür aber keine Spitzen mehr auf.

Einfluss des Heizwertes

Die Feuerungsleistungsregelung berechnet den Heizwert aus der Frischdampfmenge und dem Müllinput als gleitenden Durchschnittswert. Es ist dabei zu beachten, dass das Signal aufgrund der erforderlichen Mittelungszeit von mehreren Stunden mit einer gewissen Trägheit behaftet ist. Abbildung 5 zeigt die Häufigkeitsverteilung der berechneten Heizwerte für die untersuchten Stundenmittelwerte. Es ist ersichtlich, dass die Werte zwischen den erwarteten 7 500 und 16 000 kJ/kg liegen und auch der Mittelwert von knapp

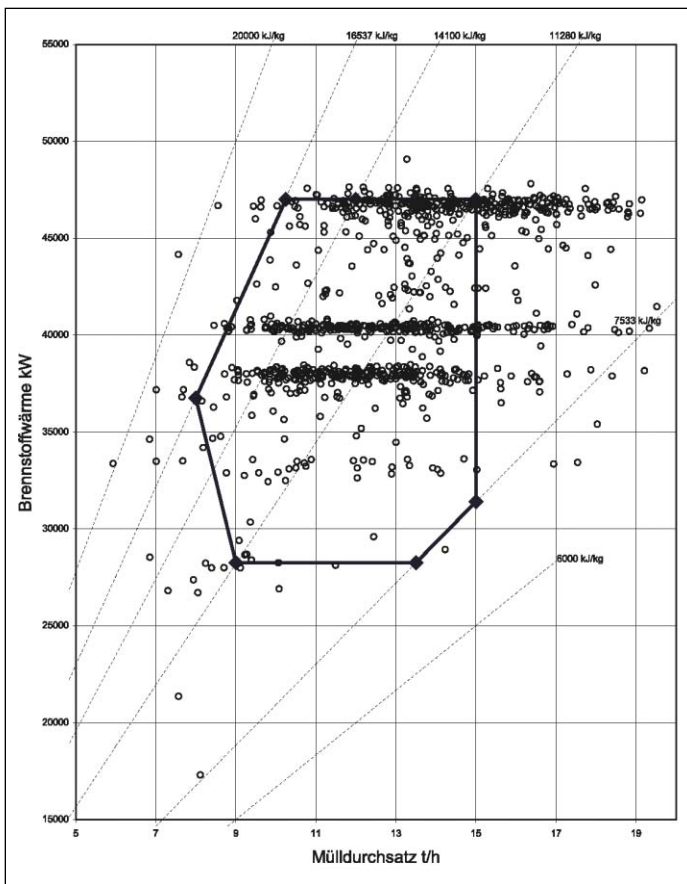


Abb. 2: Die Stundenmittelwerte des Untersuchungszeitraums im Feuerungsleistungsdiagramm.

11 000 kJ/kg erstaunlich gut mit der Auslegung (11 280 kJ/kg) übereinstimmt.

Die hohe Anzahl der analysierten Werte ermöglicht eine Klassifizierung und anschließende Mittelung nach Wärmeaufnahme und Heizwert. In Abbildung 6 sind diese Werte aufgetragen und die Regressionsgerade zeigt einen recht guten linearen Zusammenhang zwischen Wärmeaufnahme und Heizwert. Im Rahmen der gesamten Schwankung (die Fehlerbalken geben die Standardabweichung an) ist der Einfluss des Heizwertes aber eher gering.

Wärmeaufnahme über die Rostlänge

Die Temperaturen in den einzelnen Reihen wurden über lokale Messungen erfasst. Abbildung 7 zeigt eine Mittelung aus elf Ablesungen. Es zeigt sich, dass die Feuerungszone 2, die etwas vor halber Rostlänge endet, die größte Wärmelast zu tragen hat, während in der Feuerungszone 3 der Müll bereits ein großer Teil ausgebrannt ist. Die so genannte Hauptfeuerlage wird natürlich durch die Feuerführung stark beeinflusst und ist auch von der Müllqualität abhängig. Die Feuerungsleistungsregelung bewirkt hier ein weitgehend konstantes Bild.

Obwohl die Feuerungsleistungsregelung normalerweise ein relativ langes Feuer einstellt, ist die Wärmebelastung in der dritten Zone unterdurchschnittlich. Je nach Regelungskonzeption und vorherrschender Müllqualität wird die meiste Wärme demnach auf 40 bis 60 Prozent der Rostlänge abgeführt.

Das Wärmeprofil über die Rostlänge kann somit als Indikator für die Gleichmäßigkeit der Feuerung und der Feuerlage bzw. zur Lokalisation von Störungen die-

nen. Zum Beispiel darf das Hauptfeuer aus Gründen des Verschleißes nicht zu weit nach vorne verlagert sein, da sonst der Zuteilerbereich einer zu starken thermischen Belastung ausgesetzt ist.

Verbrennungslufttemperatur

Neben der Aufheizung der Verbrennungsluft durch die Rückkühlung wird deren Temperatur in den Hauptverbrennungszonen zusätzlich mit einem dampfbetriebenen Luftvorwärmer (LUVO) in Abhängigkeit von der Müllqualität erhitzt. Je höher die Temperatur der Verbrennungsluft vorwärmung liegt, desto größer ist die Wärmeaufnahme des Kühlwassers. Da die LUVO-Temperaturen und auch das Kühlwassertemperaturniveau in gewissem Maße fluktuiert, lässt sich hier eine quantitative Aussage mit Hilfe der Stundenmittelwerte nicht treffen. Gezielte Versuche lassen jedoch auf eine Erhöhung der spezifischen Wärmeabgabe des Rostes von 1,0 bis 1,5 kW/m² bei einer Primärlufttemperaturerhöhung um 10 K schließen. Aus diesem Grund ist ein möglichst hohes

Temperaturniveau des Kühlwasserkreislaufs sinnvoll. Mit zunehmendem Temperaturniveau wird dies jedoch anlagentechnisch anspruchsvoller. Durch neuere Entwicklungen bei ABB Alstom Power wird sogar eine Integration der Rostkühlung in das Kesselsystem angestrebt³.

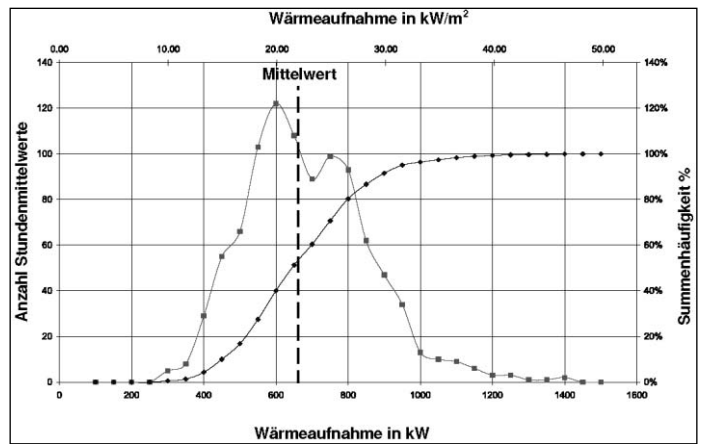


Abb. 3: Häufigkeitsdiagramm der Wärmeabfuhr.

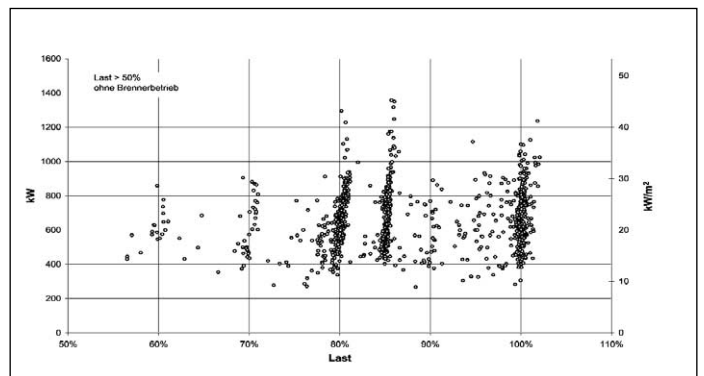


Abb. 4: Wärmeabfuhr durch den wassergekühlten Rost in Abhängigkeit der Last.

Müllschichtdicke

Die Müllschichtdicke über dem Rost hat einen großen Einfluss auf die Wärmeübertragung in das Kühlmedium. Im normalen Betriebszustand ist der Rost mit einer isolierenden Ascheschicht bedeckt. Bei sehr dünnem Müllbett und Brenngut mit hohen Heizwerten, z. B. Kunststofffraktionen, wurden sehr hohe Wärmebelastungen beobachtet.

Solche Extrembelastungen können auch beim Anfahren und Zünden des Mülls auftreten. Drexler und Krüger⁴ berichten hier von lokalen Wärmespitzen bis 100 kW/m². Da diese Spitzen jedoch lokal auf die Flammenfront beim Anfahrvorgang begrenzt sind, werden sie in größeren Systemen (in Basel erstreckt sich die Rostkühlung über drei Verbrennungszonen) vom Gesamtkühlkreis gepuffert.

Durch Beobachtung der Vor-Ort-Anzeigen für Temperatur in den einzelnen Reihen können solche Spitzenbelastungen jedoch gut als Indikator für Ungleichmäßigkeiten bzw. Störungen der Feuerung dienen.

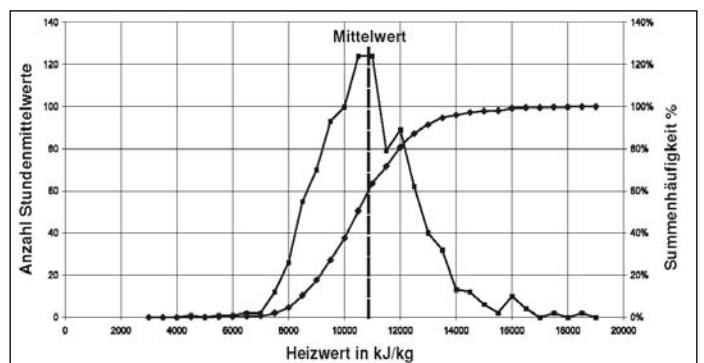


Abb. 5: Häufigkeitsdiagramm der Heizwertverteilung.

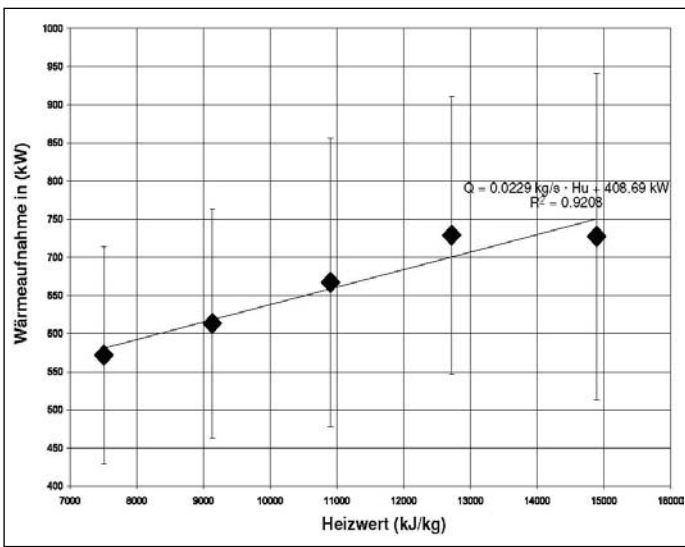


Abb. 6: Wärmeabfuhr in Abhängigkeit vom Heizwert (Mittelwerte).

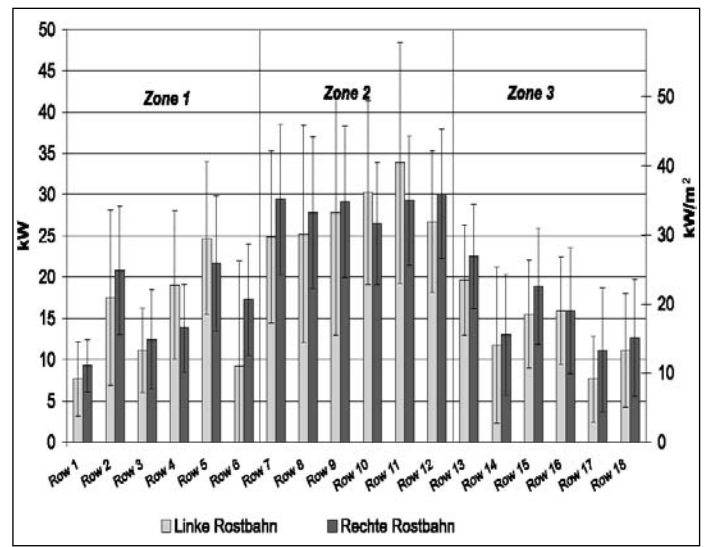


Abb. 7: Wärmeabfuhr über die Rostlänge.

Energie- und Kostenbetrachtungen

Die in Basel gewählte Lösung ermöglicht es, die vom Rost abgeführte Wärme über die Verbrennungsluft zurückzugewinnen und schlussendlich im Dampfsystem zu nutzen. Ohne Wärmerückgewinnung müsste die vom Rost aufgenommene Energie an die Umgebung abgegeben werden. Da der gesamte Kühlkreislauf und ein Luftkühler auch ohne Rückgewinnung notwendig wären, resultiert der Mehraufwand für die Verbrennungsluftvorwärmung aus den Investitionskosten für den Wärmetauscher, den Luftkanalschlüssen und einem Bypasskanal mit Stellklappen. Daraus lässt sich mit den spezifischen Randbedingungen für Basel eine Rentabilitätsbetrachtung erstellen (Tab. 2).

Es ist klar ersichtlich, dass sich die Wärmerückgewinnung über Verbrennungsluft lohnt. Um die eingesparte Energie in Form von Strom und Wärme an anderer Stelle mit fossilen Energieträgern zu erzeugen, wären jährlich z.B. ca. 400 m³ Heizöl nötig. Gemessen an industriellen Maßstäben ist dies zwar nur ein kleiner ökologischer Beitrag, der sich aber durchaus rechnet.

Für die eingangs genannten Alternativen zur Wärmerückgewinnung über Fernwärme oder Kondensatvorwärmung wäre nur ein wesentlich billigerer Wasser/Wasser-Wärmetauscher notwendig. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass einerseits bei der Rückgewinnung über das Fernwärmesystem der Stromertrag wegfällt und andererseits die Kondensatvorwärmung technisch bei Wasser/Dampf-Kreisläufen mit Gegendruckturbinen nicht realisierbar ist.

Zusammenfassung

Aufgrund des hohen Anteils an gewerblichem Müll und damit verbundener hoher Heizwerte, wurde die neue KVA Basel mit wassergekühlten Verbrennungsrösten ausgestattet. Das Kühlwasser dieser Roste nimmt Wärme aus der Feuerung auf, die über eine Verbrennungsluftvorwärmung wieder zurückgewonnen wird.

Die Einflussparameter dieser Energierückgewinnung und deren Rentabilität sind Gegenstand dieser Arbeit.

Es konnten im ersten Betriebsjahr hinsichtlich der Parameter Last, Heizwert, Feuerlage und Verbrennungslufttemperatur Abhängigkeiten quantifiziert werden. Obwohl die Einzeleinflüsse auf die Wärmeaufnahme des wassergekühlten Rostes eher gering sind, treten jedoch insgesamt starke Schwankungen von mehr als ±50 Prozent um den Mittelwert auf, die durch das Zusammenwirken der Einflussparameter hervorgerufen werden.

Spitzenbelastungen treten selten und nur kurzzeitig auf und werden durch das Kühlwasservolumen des Gesamtsystems in der Regel gedämpft. Die dabei zwangsweise an die Umgebung als Verlust abgegebene Wärme ist mit weniger als 5 Prozent der abgeführten Wärme relativ gering.

Eine Kostenbetrachtung zeigt, dass die gewählte Variante zur Rückgewinnung der durch den wassergekühlten Rost ab-

geführten Wärme effizient und ökonomisch rentabel ist. Bei Zugrundelegen aktueller Kostenfaktoren lässt sich ein Ertrag von ca. 80 000 Franken pro Jahr berechnen.

Literatur

- 1 O. Riccius, A. Walther, B. Stoffel, „Design of Waste Incinerators Utilising CFD“, 2nd International Symposium on Incineration and Flue Gas Treatment Technologies, Sheffield University, UK, July 1999.
- 2 Kommission der Europäischen Gemeinschaften, „Geänderter Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlamentes über die Verbrennung von Abfällen“, 98/0289 (COD), Brüssel, 1999.
- 3 G. Ziegler, M. Künzli, H. Rüegg, Patentantrag der ABB Enertech AG, 1999, unveröffentlicht.
- 4 Josef Drexler und Jörg Krüger, „Erfahrungen mit dem wassergekühlten Rost in der thermischen Abfallverwertung“, Vortrag VGB-Konferenz Dampferzeugeranlagen, Leipzig, 1998.

EP

Tabelle 2: Rentabilität unter Beachtung spezifischer Rahmenbedingungen	
Investitionskosten Wasser-/Luft-Wärmetauscher	ca. 300 000 Fr
Wartungskosten	2,5 % der Investitionen, 7 500 Fr pro Jahr
Ertrag Stromverkauf	0,072 Fr/kWh
Ertrag Fernwärme	0,015 Fr/kWh
Anlagenwirkungsgrad elektrisch	22 %
Reisezeit	8000 h/Jahr
Mittlere Wärmeabfuhr wassergekühlter Rost	720 kW
Zurückgewonnene Energie pro Jahr	8 000 h/a · 720 kW = 5 760 MWh/a
Ertrag aus Stromproduktion	5 760 MWh/a · 0,22 · 9 072 Fr/kWh = 91 238 Fr/a
Ertrag aus Wärmeproduktion (Schätzung: im Durchschnitt wird ca. 35 % der eingebrachten Energie als Fernwärme genutzt)	5 760 MWh/a · 0,35 · 0,015 Fr/kWh = 30 240 Fr/a
Annuitätenberechnung	
Monatliche Kapitalkosten	2 697,- Fr/Monat bei einem Zinssatz von 7 % und einer Abschreibungsdauer von 15 Jahren
Wartungskosten	625,- Fr/Monat
Erträge Strom	7 603,- Fr/Monat
Erträge Wärme	2 520,- Fr/Monat
Monatlicher Ertrag nach Abzug der Kapital- und Wartungskosten	6 801,- Fr/Monat