

500 °C Überhitzer des Müllheizkraftwerks Frankfurt

– Ist die erhöhte Korrosion beherrschbar? –

Rainer Keune, Hansjörg Herden, Susanne Klotz und Werner Schmidl

1.	Das Müllheizkraftwerk Frankfurt am Main	395
2.	Korrosionsphänomene an den Überhitzerpaketen und Maßnahmen zu deren Minderung	400
3.	Aufbereitung der gecladdeten Altrohre	406
4.	Fazit.....	406
5.	Literaturangaben	406

In den Jahren 2003 bis 2009 wurde das MHKW Frankfurt mit einem Investitionsaufwand von etwa 300 Millionen Euro einer grundlegenden Sanierung unterzogen. Es war vorgesehen, die Verbrennungskapazität von 420.000 t/a auf 525.600 t/a zu erweitern. Des Weiteren wurde bei Beibehaltung der bisherigen Dampfparameter (500 °C, 60 bar) hoher Wert auf die Erhöhung der Auskopplung von Fernwärme gelegt. Durch ein neues Abgasreinigungssystem sollte die Emissionsbelastung deutlich reduziert werden.

In diesem Beitrag werden die verfahrenstechnischen Veränderungen im Dampfkreislauf der neuen Linien erläutert und die bisher erreichten Ergebnisse dargestellt. Insbesondere wird dabei auf die Verbesserung der Standzeit des Endüberhitzers eingegangen.

1. Das Müllheizkraftwerk Frankfurt am Main

Das ursprüngliche Müllheizkraftwerk in Frankfurt am Main wurde in den sechziger Jahren geplant und 1967 in Betrieb genommen. Neben der Entsorgung des Abfalls von Frankfurt und den umliegenden Gemeinden, war die Versorgung des neu entstehenden Stadtgebietes Frankfurt-Nordweststadt mit Fernwärme vorgesehen [1].

Nach 30-jährigem Betrieb und umfänglichen Nachrüstungen wurde vom Frankfurter Senat beschlossen diese Anlage komplett zu sanieren. Die Kapazitäten dieser neu zu errichtenden Anlage sollten so dimensioniert werden, dass neben den Ortsteilen Heddernheim und Nordweststadt auch weitere Stadtgebiete mit Fernwärme und Strom versorgt werden können. Selbstverständlich waren dabei die behördlichen Auflagen zum sicheren Betrieb der Anlage nach 17. BImSchV einzuhalten bzw. nach technischen Lösungen zu suchen, um die Umweltbelastung noch weiter zu reduzieren.

In den Jahren 2003 bis 2009 wurde diese Sanierung mit einem Investitionsaufwand von etwa 300 Millionen Euro durchgeführt [2].

Die Sanierung erfolgte in zwei Bauabschnitten. Im ersten Bauabschnitt wurden die Linien 11 und 12 zurückgebaut und parallel die alten Linien 13 und 14 weiter betrieben. Durch diese Maßnahme konnte die kontinuierliche Abfallentsorgung und die Bereitstellung von Fernwärme in dieser Region sichergestellt werden. Nach erfolgreicher Inbetriebnahme der neuen Linien 11 und 12 begann im Rahmen eines zweiten Bauabschnittes die Sanierung der Linien 13 und 14.

Im Bild 1 ist ein Verfahrensfliessbild des neuen Müllheizkraftwerkes dargestellt.

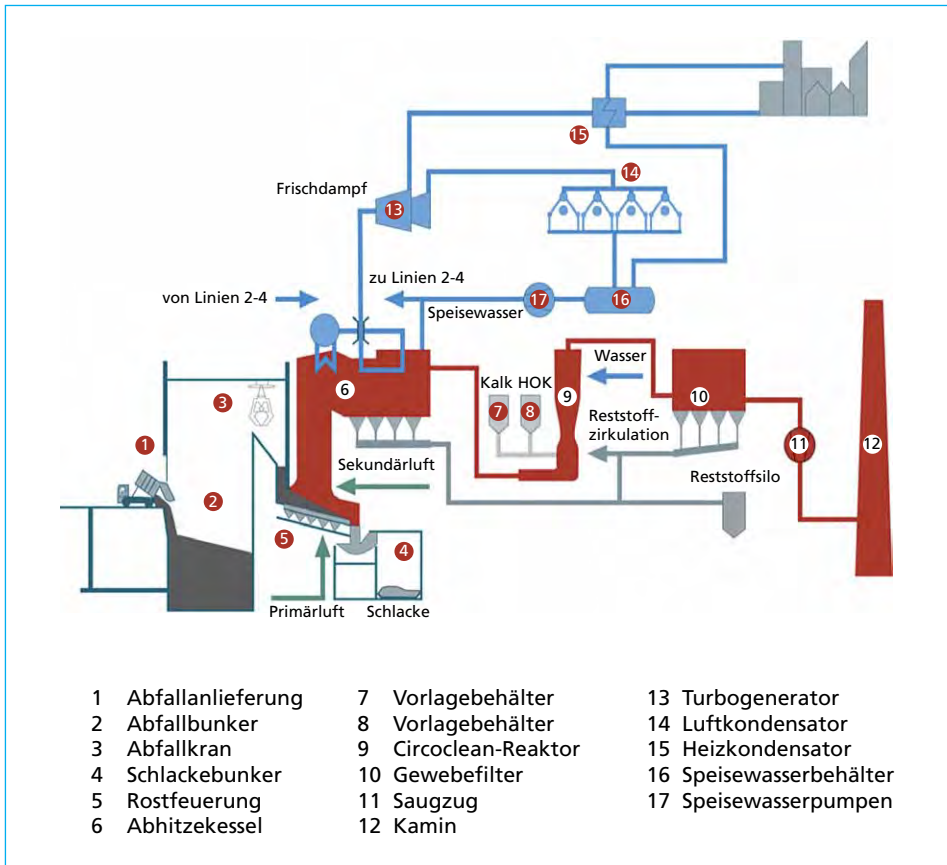


Bild 1: Verfahrensfliessbild des MHKW Frankfurt

Der Abfall wird über die Abfallanlieferung 1 in den Abfallbunker 2 gekippt und gelangt von dort über den Abfallkran 3 auf den jeweiligen Aufgabetrichter der einzelnen Verbrennungslinien. Die Verbrennung des Abfalls vollzieht sich auf einem dreigeteilten Rost 5 bei einer Temperatur von etwa 1.000 °C.

Im Abhitzeessel 6 wird aus den heißen Abgasen Dampf erzeugt, der im Turbogenerator 13 verstromt und im Heizkondensator 15 zur Fernwärmeerzeugung genutzt wird. Der Abdampf aus der Kondensationsturbine wird über den Luftkondensator 14 gekühlt und das anfallende Kondensat im Speiswasserbehälter 16 gesammelt und über die Speisewasserpumpe 17 in den Wasser-Dampfkreislauf zurück geführt. Die Entstickung der Abgase vollzieht sich im leeren Strahlungszug des Abhitzeessels durch Eindüsung von Harnstoff (SNCR-Verfahren). Die restlichen Schadstoffe werden mit Hilfe des Circoclean-Verfahrens aus dem Abgas entfernt. Dabei wird Kalkhydrat zur Bindung von HF, HCl und SO_2/SO_3 und Herdofenkoks zur Adsorption von Quecksilber und PCDD/F eingesetzt. Beide Stoffe werden über die Vorlagebehälter 7 und 8 dem Circoclean-Reaktor 9 zugeführt. Dieser Reaktor arbeitet nach dem Prinzip der zirkulierenden Wirbelschicht (ZWS-Technik), wobei durch Eindüsung von Wasser die Abscheidung der Schadstoffe, insbesondere von SO_2 , deutlich verbessert wird. Gleichzeitig erfolgt eine adiabatische Abkühlung der Abgase von etwa 200 – 250 °C auf etwa 140 – 160 °C. Die gebildeten Reaktionsprodukte werden zusammen mit dem Flugstaub am Gewebefilter 10 abgeschieden und erneut in den Abgasstrom rezirkuliert. Dadurch erfolgt eine wesentlich bessere Ausnutzung der eingesetzten Ab- bzw. Adsorbentien gegenüber den bisher angewendeten Abgasreinigungsverfahren [1]. Das verbrauchte Material wird zusammen mit der Kesselasche aus dem System ausgeschleust und Untertage deponiert.

Die gereinigten Abgase werden mittels Saugzuggebläse 11 über den Kamin 12 der Atmosphäre zugeführt. Die festen Verbrennungsrückstände gelangen über einen Nassentschlacker in einen Schlackebunker 4, wo sie gesammelt und zur weiteren Verwertung bzw. Schlacke-Aufbereitung abtransportiert werden.

Wichtige Auslegungsdaten der Anlage und Betriebsergebnisse aus den Jahren 2007-2012 sind in den Tabellen 1 bis 3 enthalten.

Tabelle 1: Wesentliche Kessel-Auslegungsdaten des MHKW Frankfurt

	Einheit	
Kessel		4 baugleiche Linien (1 Reserve)
Feuerraum		Mittelstromfeuerung
Rosttyp		Gegenlauf/Vorschubrost luftgekühlt
Rostlänge	m	10,5
Rostbreite	m	6,9
Abfalldurchsatz	t/h	20
Abfalldurchsatz pro Jahr, genehmigt	t/a	525.600
Abfalldurchsatz pro Jahr, installiert	t/a	700.800
Heizwert/Auslegung	MJ/kg	10,27
Feuerungswärmeleistung	MW _{th}	63
Dampfparameter		
Menge	t/h	60,0
Temperatur	°C	500
Druck	bar, abs	60

Tabelle 2: Betriebsergebnisse des MHKW Frankfurt von 2007 bis 2012

	Einheit	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Heizwert	MJ/kg	10,200	9,100	10,000	9,500	9,800	9,700
Abfallmenge	t/a	268.000	292.000	435.000	465.000	523.000	523.000
Dampfmenge	t/a	742.327	766.547	1.207.407	1.269.131	1.519.880	1.486.177
Heizöläquivalent	l/a	75.000.000	73.000.000	119.000.000	121.000.000	142.000.000	140.000.000
Fernwärmeabsatz	MWh	203.700	202.600	215.200	241.100	256.700	341.721
Stromerzeugung	MWh	160.000	144.000	255.000	280.000	288.000	281.916
Rostasche (feucht)	t/a	64.576	70.119	101.937	109.826	121.611	121.603
Rostasche (spezif.)	kg/t _{Abfall}	251	243	248	238	233	232
Reststoffe*	t/a	16.055	15.990	24.086	26.616	30.627	31.637
Reststoff (spezif.)	kg/t _{Abfall}	62,5	55,4	58,7	57,7	58,6	60,5
Fahrweise	Linien	2	2	teilw. 3	3/4	3/4	3/4

* Summe Kesselasche, Flugstaub, Rezirkulat

Die behördlich genehmigte Abfallmenge von 525.600 t wurde ab 2011 erreicht. Dadurch werden etwa 140 Millionen l/a Heizöläquivalente ersetzt. Da der Energiegehalt des Restmülls zu 50 – 60 % aus biogenem Anteil besteht, werden somit etwa 170.000 t/a CO₂ weniger in die Atmosphäre gegeben als bei einem fossil gefeuerten Kraftwerk mit ähnlicher Wärmekapazität. Somit wird ein wesentlicher Beitrag für den Klimaschutz geleistet.

Energetische Bewertung

Ein wichtiger Parameter zur Einschätzung der Energieeffizienz eines Müllheizkraftwerkes ist der sogenannte R1-Wert [3]. Bei einer optimalen energetischen Auslastung der Anlage (für Altanlagen gilt $R1 \geq 0,60$) kann der Verwerterstatus anerkannt werden.

$$\text{Energieeffizienz (R1 Kennzahl)} = (E_p - (E_f + E_i)) / (0,97 \times (E_w + E_f))$$

mit

E_p die jährlich als Wärme oder Strom erzeugte Energie, Elektroenergie wird mit Faktor 2,6 und die für gewerbliche Zwecke erzeugte Wärme mit dem Faktor 1,1 multipliziert (GJ/a).

E_f der jährliche Input von Energie in das System aus Brennstoffen, die zur Erzeugung von Dampf eingesetzt werden (GJ/a).

E_w die jährliche Energiemenge, die im behandelten Abfall enthalten ist, berechnet anhand des H_u des Abfalls (GJ/a).

E_i die jährlich importierte Energie ohne E_w und E_f (An- und Abfahren, Eigenverbrauch Strom und Heizöl) in GJ/a.

R1 für Altanlagen 0,60

R1 für Neuanlagen 0,65

Für das MHKW Frankfurt wurde für 2012 im Vollastbetrieb (3/4 Linien) ein Wert von 0,81 ermittelt, so dass dem MHKW Frankfurt der Status der energetischen Abfallverwertung behördlich zuerkannt wurde.

Durch diese konsequente Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) leistet somit das MHKW einen nicht unerheblichen Beitrag zum Umweltschutz und zur Nachhaltigkeit im Rhein-Main-Gebiet [4].

Emissionen

Die gute energetische Bewertung wurde bei gleichzeitiger Reduzierung der Umweltbelastung, insbesondere für SO_2 , Hg und PCDD/F, erreicht. Tabelle 3 zeigt, dass durch die Anwendung eines effizienten Abgasreinigungsverfahrens Emissionswerte erreicht werden, die deutlich unter den gesetzlichen Grenzwerten liegen [5].

Tabelle 3: Vergleich der Emissionen Altanlage*/Neuanlage**

Komponente	Einheit	Altanlage* 1996	Neuanlage** 2012	Grenzwert 17. BImSchV TMW, 2009	Verringerung der Umweltbelastung
HF	mg/m ³	0,01	0,02	1	
HCl	mg/m ³	5	3,02	10	
SO ₂	mg/m ³	20	3,7	50	77 %
NO _x	mg/m ³	< 200	170	200	
CO	mg/m ³	< 20	7,9	50	
C _{ges.}	mg/m ³	1	0,6	10	
Staub	mg/m ³	1	1,5	10	
Hg	µg/m ³	6	0,2	30	96 %
PCDD/F	ng TE/m ³	0,02	0,003	0,1	82 %
Summe Cd+Tl	mg/m ³	0,003	0,003	0,05	
Summe Sb-Sn	mg/m ³	< 0,005	0,003	0,5	
Summe As-Cr,BaP	mg/m ³	< 0,005	0,003	0,05	

* Altanlage RGR-Konfiguration: SNCR-Sprühabsorber-EGR-Flugstromadsorber-Gewebefilter

** Neuanlage RGR-Konfiguration: SNCR-ZWS-Gewebefilter

Rostaschequalität

Der spezifische Anteil an Rostasche liegt bei etwa 230 kg/t Abfall. Er ist damit mengenmäßig der größte anfallende Abfallstrom.

Auf Grund der guten Verbrennungsführung weisen die Rostaschen sehr hohe Ausbrand- und niedrige Eluatwerte auf [5]. Die Rostasche wird an einen Verwerter gegeben, der nach verschiedenen Aufbereitungsschritten einzelne Fraktionen vorwiegend im Deponiebereich als Abdeckschichten einsetzt. D.h. diese Materialien werden wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll eingesetzt.

Durch betriebliche Qualitätssicherungsmaßnahmen wird gewährleistet, dass diese hohen Standards nicht aufgeweicht werden.

Aus den bisherigen Betriebserfahrungen der Anlage ergeben sich folgende zusammenfassende Aussagen:

- Die Anlage erreicht den behördlich genehmigten Durchsatz von Abfall.
- Die Anlagenverfügbarkeit beträgt zurzeit 99 % bei einem durchgängigen 3 (aus vier Linien) Linienbetrieb.
- Die strengen Grenzwerte der 17. BImSchV werden eingehalten. Spitzenwerte von HCl und SO₂ können sicher abgefangen werden.
- Hoher energetischer Wirkungsgrad.
- Gute Rostaschequalität (Ausbrand, Eluatwerte).

Diese Ausgangssituation ist Anlass über weitere Schritte in Richtung Anlagenoptimierung nachzudenken. In [6] wurden beispielweise Verbesserungspotenziale der Abgasreinigung aufgezeigt und technisch umgesetzt.

2. Korrosionsphänomene an den Überhitzerpaketen und Maßnahmen zu deren Minderung

Die Dampfparameter der Altanlage von 500 °C und 60 bar wurden aus Gründen der Energieeffizienz beibehalten. Mit diesen Dampfparametern stellt die Rohrabzehrung durch Korrosion eine erhebliche Einschränkung der Standzeiten der Endüberhitzer und damit auch der Gesamtverfügbarkeit dar [2, 7].

Vorversuche an der Altanlage führten zur Erkenntnis, dass der Werkstoff Alloy 686 mit etwa 16.000 h Standzeit am besten geeignet war [14].

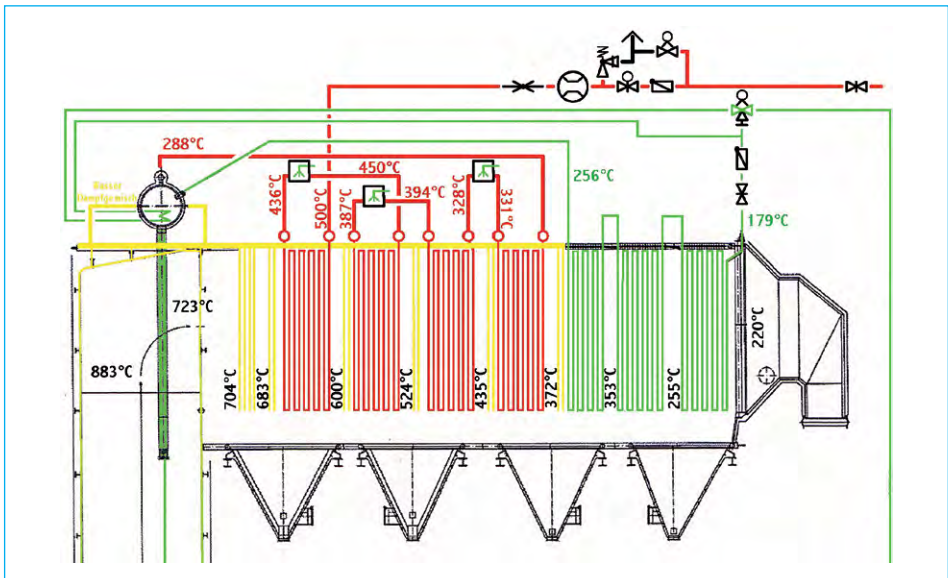


Bild 2: Kesselschaltung im Übergangsbereich Strahlungszug – Konvektionsteil

Dies führte zur Entscheidung, die Endüberhitzer der neuen Anlage im Gleichstrom zu schalten und die Rohre der Überhitzerbündel 4 und 3 mit Schweißplattierung (Cladding) Alloy 686 zu schützen.

Die Kesselschaltung der Neuanlage ist in Bild 2 (der Endüberhitzer ist der erste in Abgasrichtung) dargestellt.

Aufgrund der vorliegenden hohen thermischen und chemischen Belastungen findet auch an den gecladdeten Rohre eine deutliche Abzehrung statt. Es sind sowohl Phänomene von Hochtemperatur-Chlorkorrosion, als auch von Salzschmelzenkorrosion zu erkennen [13]. In [8] sind die ablaufenden Prozesse detailliert beschrieben. Die Abzehrung erfolgt sowohl durch flächigen Korrosionsangriff wie auch in Form von Korrosionsmulden und deren gegenseitiger Überlagerung, die von Stecknadelkopfgröße bis zu zusammenhängenden Rinnen entlang der Rohre reichen kann.

KESSEL 14 – vor Vergrößerung
Vorverdampfer



$T_{RG}/T_{Of} = 760^{\circ}\text{C}/430^{\circ}\text{C}$, flächige Abzehrung
einzelne tiefe Mulden



$T_{RG}/T_{Of} = 755^{\circ}\text{C}/440^{\circ}\text{C}$, flächige Abzehrung
überlagert von Mulden



$T_{RG}/T_{Of} = 750^{\circ}\text{C}/435^{\circ}\text{C}$, flächige Abzehrung
überlagert von Mulden



$T_{RG}/T_{Of} = 745^{\circ}\text{C}/445^{\circ}\text{C}$, flächige Abzehrung
überlagert von Mulden und Rillen

KESSEL 11 – nach Vergrößerung
Vorverdampfer



$T_{RG}/T_{Of} = 690^{\circ}\text{C}/460^{\circ}\text{C}$, flächige Abzehrung



$T_{RG}/T_{Of} = 685^{\circ}\text{C}/470^{\circ}\text{C}$, flächige Abzehrung
überlagert von Mulden



$T_{RG}/T_{Of} = 680^{\circ}\text{C}/465^{\circ}\text{C}$, flächige Abzehrung



$T_{RG}/T_{Of} = 675^{\circ}\text{C}/475^{\circ}\text{C}$, flächige Abzehrung
überlagert von Mulden

Bild 3:

Typische Abzehrungsbilder an den gecladdeten Rohren im ÜH4 – Kessel 11 etwa 20.000 Betriebsstunden nach Vergrößerung des Vorverdampfers im Vergleich mit Kessel 14 etwa 14.000 Betriebsstunden vor Umbau des Vorverdampfers (die Rohre sind ausgebaut und mit rotem Schutzlack versehen); die angegebenen Temperaturen sind eine Abschätzung aus den Messungen der Abgastemperatur vor ÜH4 – und den Messungen der Dampftemperaturen nach Einspritzung

Die geraden Rohrreihen (aufsteigender Dampfstrom) zeigen dabei eine deutlich erhöhte Abzehrung gegenüber den ungeraden Rohrreihen (absteigender Dampfstrom). Bild 3 zeigt typische Abzehrungsbilder.

Aufgrund hoher Abzehraten und eines unerwartet hohen Rohrtauschbedarfs in Überhitzer 4 wurde nach Möglichkeiten gesucht, die Korrosion im Kesselbereich zu reduzieren.

Berechnungen [11] zeigten, dass unter den gegebenen baulichen und technischen Randbedingungen durch die Erhöhung der Heizfläche des Vorverdampfers 1 eine Temperaturabsenkung des Abgases vor Eintritt in den Überhitzerbereich von 60 K möglich sein sollte. Dadurch kann die Wärmestromdichte an dieser Stelle gesenkt und somit die Korrosionsraten gemindert werden.

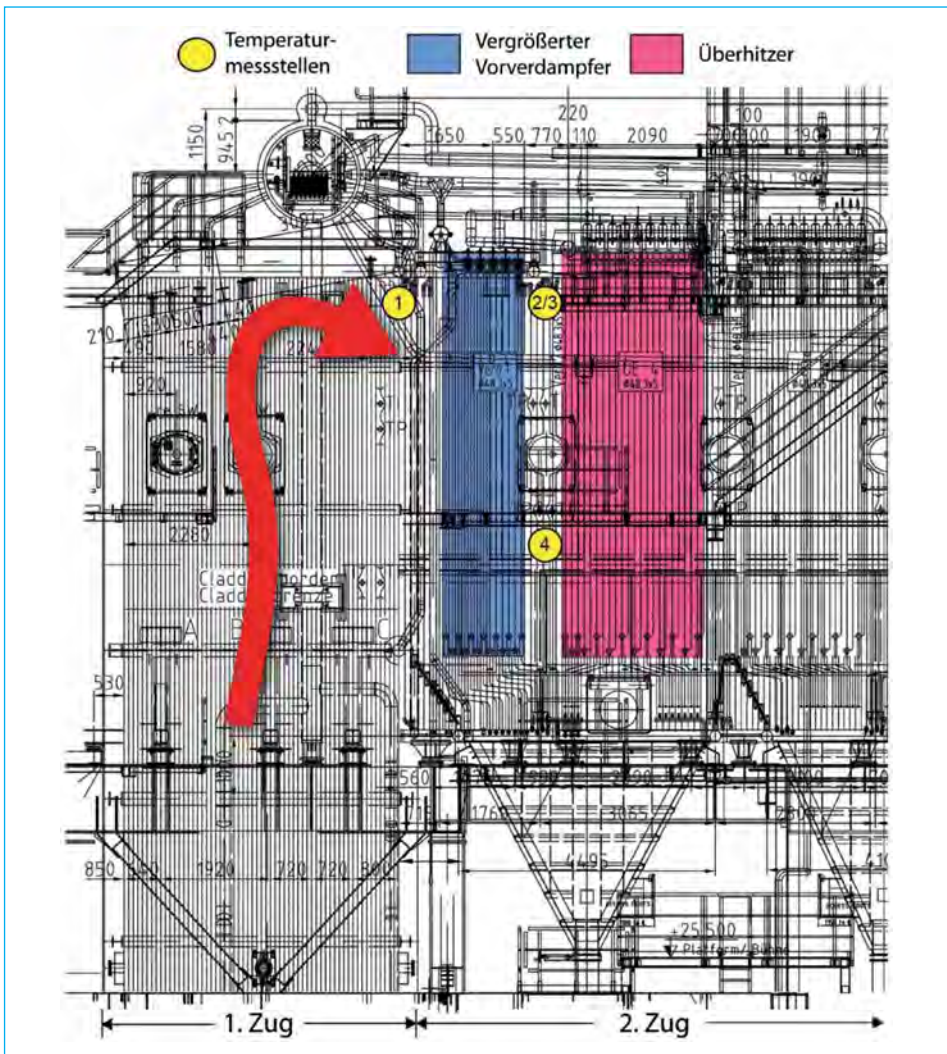


Bild 4: Umbau des Vorverdampfers 1 im MHKW Frankfurt

Nach diesen Überlegungen wurde beschlossen den Vorverdampfer 1 von ursprünglich 6 Rohrreihen mit einer Rohrteilung von 500 mm auf 13 Reihen mit einer Rohrteilung von 250 mm umzubauen.

Bild 4 zeigt die bauliche Maßnahme, die 2009 zunächst an Kessel 11 und 12 durchgeführt wurden.

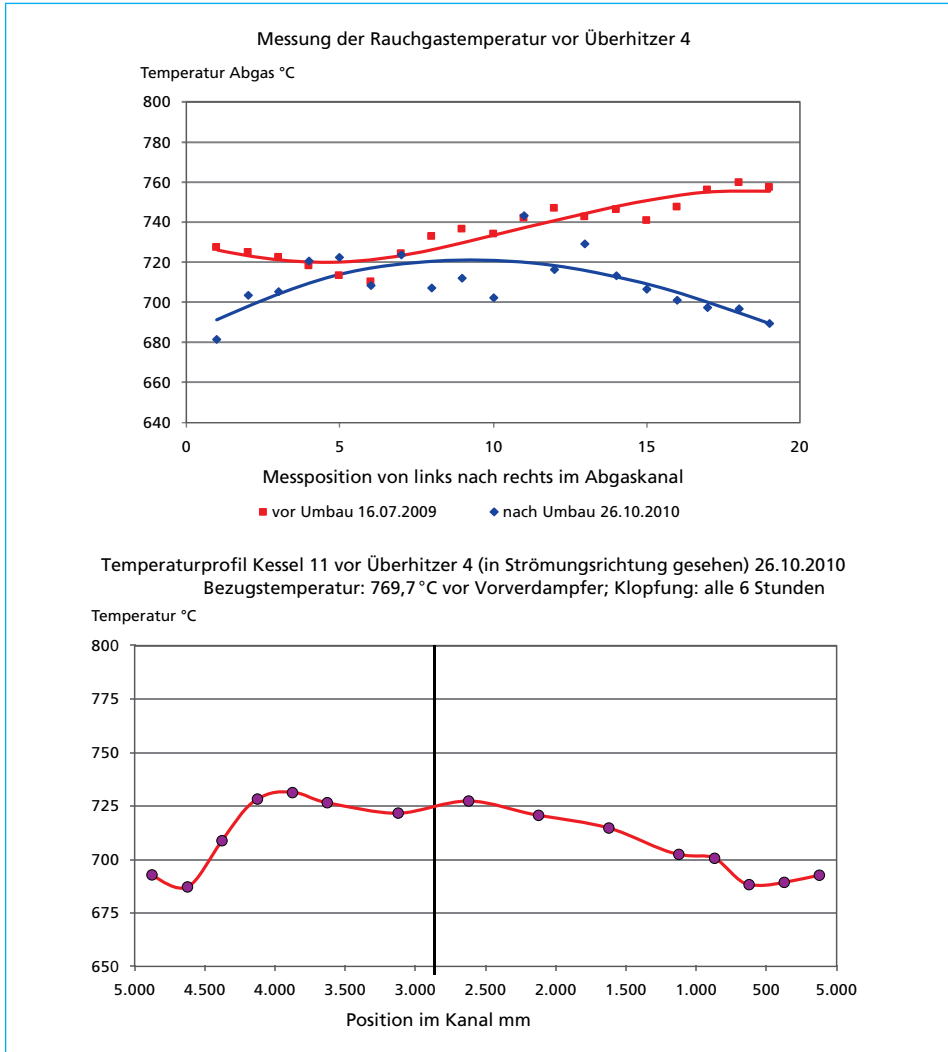


Bild 5: Temperaturmessungen vor Überhitzer 4 von Kessel 11 vor und nach Umbau des Vorverdampfers; das obere Bild vergleicht zwei Betriebszeiträume ohne Berücksichtigung der Betriebsparameter; die relative Lage der Kurven zueinander ist daher willkürlich und stellt keinen tatsächlichen Vergleich zwischen dem Zustand vor und nach Umbau dar; die Änderung der Temperaturverteilung über die Breite des Abgaskanals und die symmetrische und gleichmäßige Belastung ist daraus gut zu entnehmen; unten ist die Temperaturverteilung nach Umbau und Korrektur der zeitlichen Schwankungen mittels Referenzmessung zu sehen

Die nach erfolgtem Umbau durchgeführten Temperaturmessungen [8, 11] haben gezeigt, dass sich das Temperaturprofil durch den Umbau des Vorverdampfers 1 erheblich geändert hat.

Die erwartete Temperaturabsenkung von etwa 60 K vor dem Überhitzer 4 (vgl. Bild 5) konnte messtechnisch nachgewiesen werden. Vor allem in den Randbereichen wurden deutlich tiefere Temperaturen gemessen als vorher.

Abzehraten

Aus den bei Stillständen durchgeführten Messungen der Restschichtdicke des Cladding in von Korrosion betroffenen Bereichen lassen sich Abzehraten errechnen. Bild 6 oben zeigt die Entwicklung der Abzehraten für Kessel 11 und 12 für die stark abzehrende und messtechnisch gut erreichbare Reihe 2. Diese lagen vor allem in den Anfangsjahren bei sehr hohen Werten von im Mittel bis zu 0,13 mm/1.000 h. Aus dem Bündelverband durch Krümmung in den Abgasstrom ragende Rohre zeigten vor Umbau des Schutzverdampfers sogar Werte von > 0,3 mm/1.000 h. Ein erster Tausch von Einzelrohren war 2008 nach nur 3 Jahren in Betrieb nötig. In den Folgejahren sanken die mittleren Abzehraten ab auf Werte von etwa 0,06 bis 0,08 mm/1.000 h.

Nach der Vergrößerung des Vorverdampfers wurden in der ersten Revision nach etwa 8.000 Betriebsstunden [5] bereits deutlich geringere Abzehraten gemessen. Aktuell betragen die mittleren Abzehraten der ersten vier Rohrreihen des Überhitzers 4 der Linie 11 0,01 – 0,02 mm/1.000 h. Während der planmäßigen Revision (nach etwa 20.000 h Betrieb seit Umbau des Vorverdampfers) dieser Linie mussten 2013 etwa 2 % der Rohre ausgetauscht werden. Es handelte sich hierbei um Rohre, die aus dem Abgasstrom herausstanden und dadurch eine erhöhte Wärmestromdichte erfahren haben.

Als weiterer Effekt wurde festgestellt, dass nach dem Umbau die Beläge der Rohre eher aus einer lockeren Salz-Asche-Mischung bestehen. Vorher lagen dickere und stärker versinterte Beläge vor.

Vor der Umbaumaßnahme konnte eine deutlich verstärkte Abzehrung an den seitenwandnahen Rohren festgestellt werden; die Abzehraten dort lagen häufig mehr als doppelt so hoch als der Durchschnitt der Werte. Passend zu den Temperaturmessungen (vgl. Bild 5) werden nun vor allem zu den Seitenwänden hin sehr geringe Abzehraten gemessen. Insgesamt hat sich die Abzehrung des Bauteils auf niedrigem Niveau stabilisiert und deutlich vergleichmäßigt.

Der Erfolg dieser Maßnahme muss auch besonders im Hinblick auf einen nahezu permanenten Volllastbetrieb dieser Linie betrachtet werden.

Die Rohre des Vorverdampfers weisen keine Anzeichen von Korrosion auf.

Im unteren Teil von Bild 6 sind die Abzehraten mit den entsprechenden Streuungen der Kessel 11 und 12 denen der Linie 13 und 14 gegenübergestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Abzehraten der umgebauten Linien 11 und 12 auf niedrigem Niveau tendenziell sinken.

Im Gegensatz dazu zeigen die nicht umgebauten Kessel der Linien 13 und 14 einen starken Anstieg der Abzehrraten.

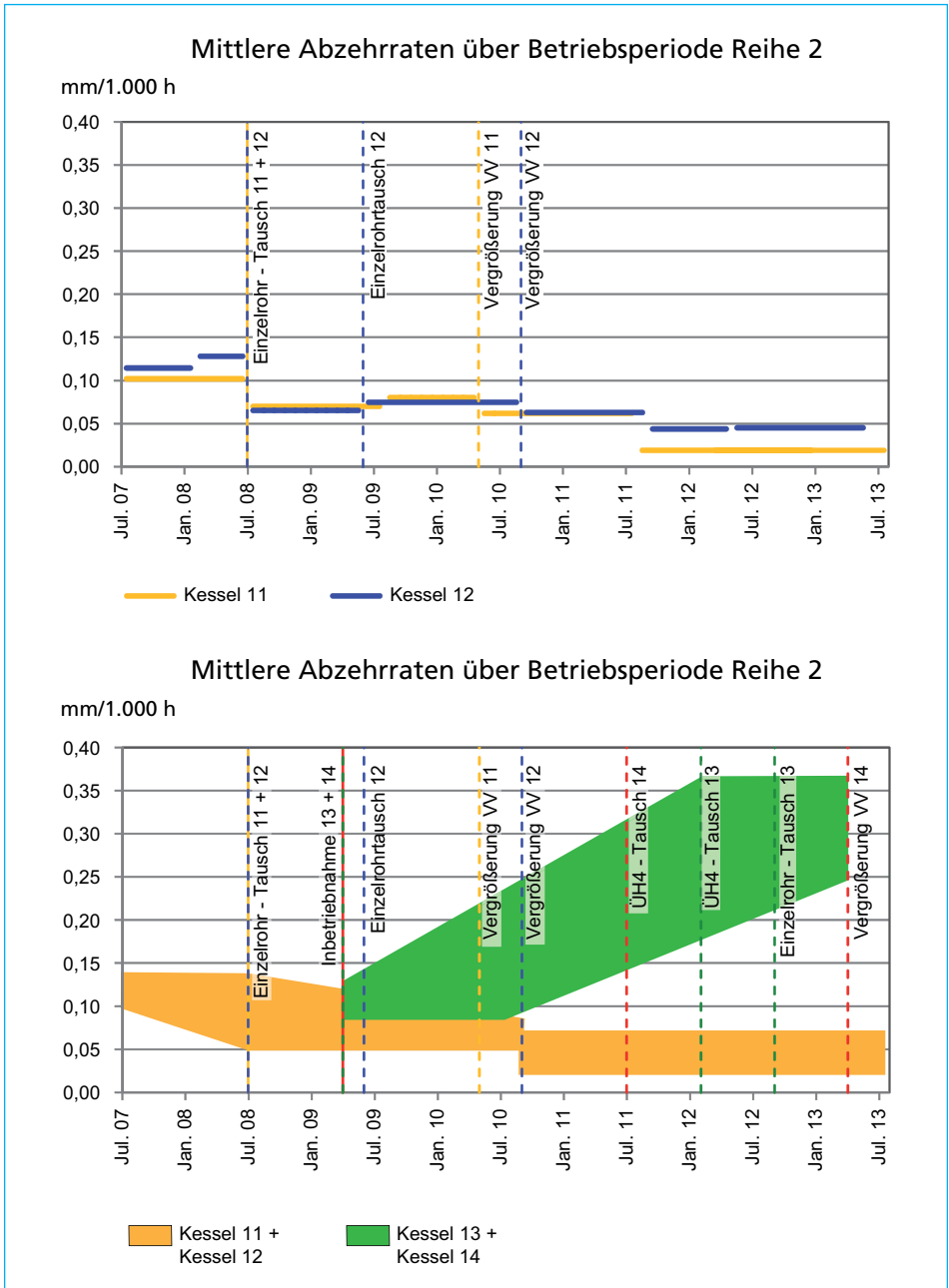


Bild 6: Entwicklung der Abzehrraten (mm/1.000 h) von Reihe 2, Überhitzer 4; die obere Abbildung zeigt die Werte für Kessel 11 und 12, auf der unteren Abbildung sind die vier Kessel miteinander verglichen.

3. Aufbereitung der gecladdeten Altrohre

Die Inspektionen der Kessel ließen eine verstärkte Abzehrung im oberen Drittel bis oberen Hälfte der Überhitzerrohre erkennen. Die Temperaturmessungen zeigen, dass vor dem Umbau des Vorderdampfer 1 an den oberen Messpunkten (Messstelle 2 und 3 in Bild 4) im Vergleich zum unteren Messpunkt (Messstelle 4 in Bild 4) höhere Temperaturen vorliegen, in einer Größenordnung von bis zu 90 °C [8]. In der unteren Hälfte der Rohre ist die Schweißplattierung weitgehend intakt. So entstand die Idee diese Rohre aufzubereiten bzw. die unteren Teile wieder zu verwenden.

Beim Komplettaustausch der Überhitzer 4 von Kessel 11 und 12 in 2010 sowie beim Tausch in Kessel 14 in 2011 wurden daher die ausgebauten Rohre einer visuellen und messtechnischen Inspektion unterzogen. Kriterien für die Beurteilung der Rohre waren:

- Visuelle Inspektion: Es liegen keine Korrosionsmulden vor, in denen aufgrund ihrer Geometrie die Schichtdicke nicht bestimmt werden kann
- Messung der Restschichtdicke: Schichtdicke des verbleibenden Cladding ist größer als die Hälfte der Ausgangsschichtdicke

Der Rohrteil, der diesen Kriterien nicht entsprach, wurde abgetrennt und ein neues Rohr mit Alloy 686-Cladding angeschweißt. Die so aufbereiteten Rohre wurden in Kessel 13 und Kessel 14 eingebaut. Die *Altrohrteile* wurden nach unten eingebaut, während die neuen Rohrteile im stark belasteten oberen Bereich liegen. Mit einem gut geplanten und koordinierten Vorgehen ist durch die Rückgewinnung der intakten Rohrpartien ein deutlicher wirtschaftlicher Gewinn möglich.

4. Fazit

Ist die erhöhte Korrosion bei Dampfparametern von 500 °C und 60 bar nun beherrschbar oder nicht?

Unsere Ausführungen zeigen anschaulich, dass sich die theoretischen Überlegungen und Abschätzungen zur Korrosionsminderung in der Praxis sehr gut bestätigt haben. Die Abzehraten im korrosiv hoch belasteten Überhitzer 4 konnten deutlich gemindert werden. Drei Jahre Betriebserfahrungen nach Umbau der Vorverdampfer in den Kesseln 11 und 12 zeigen, dass der Großteil der Rohre noch Restschichtdicken von deutlich mehr als der Hälfte der Ausgangsdicke aufweisen. Diese sehr positiven Erfahrungen waren für uns Anlass 2013 den Vorverdampfer in Kessel 14 auch umzubauen. Der Umbau von Kessel 13 ist für 2014 bereits eingeplant.

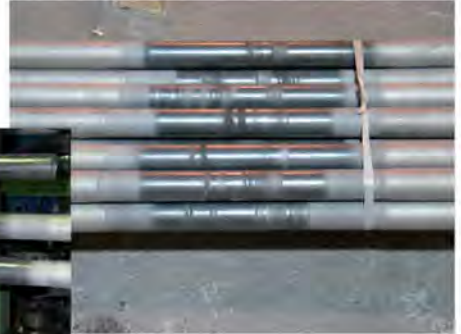
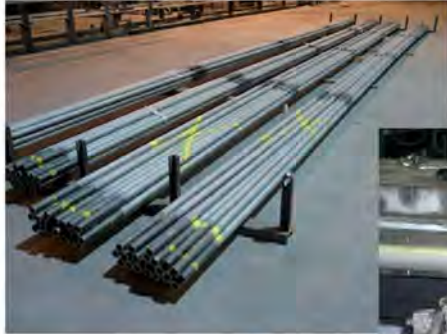
5. Literaturangaben

- [1] Goepfert, J.; Reimert, H.: Die Müllverbrennungsanlage Frankfurt am Main. In: Energie 7/8 (1968), S. 3 ff.
- [2] Frydrychowski-Horvatin, J.: Ertüchtigung der MVA Frankfurt in zwei Bauabschnitten – Sorgen und Nöte zwischen Betrieb und Bau. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 599 ff

- [3] Amtsblatt der Europäischen Union L31 2/3 vom 22.11.2008, Richtlinie 2008/98/EG Anhang II
- [4] Walch, D.: Dem Klimawandel trotzen. B&S Siebhaar Verlag 2008, S. 93 ff
- [5] Keune, R.; Herden, H.; Janssen, B: Energetische- und stoffliche Bewertung der thermischen Abfallverbrennung am Beispiel des MHKW Frankfurt/Nordweststadt. In: Müll und Abfall (2012), Nr. 12, S. 638 ff
- [6] Keune, R.; Herden, H.: Betriebserfahrungen mit der konditionierten trockenen Rauchgasreinigung am Beispiel des MHKW-Frankfurt. Beitrag: 10. Potsdamer Fachtagung *Optimierungen in der thermischen Abfall- und Reststoffbehandlung Perspektiven und Möglichkeiten*, 21./22.02.2013
- [7] Schroer, C.; Konys, J.: Rauchgasseitige Hochtemperatur-Korrosion in Müllverbrennungsanlagen. Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte FZKA 6695, 2002
- [8] Schmidl, W.; Herden, H.; Keune, R.; Klotz, S.; Schumacher, K-H.: Cladding im Überhitzerbereich bei erhöhten Dampfparametern am Beispiel des MHKW-Frankfurt. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 8. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 395 ff, verfügbar unter www.chemin.de
- [9] Brunner, M.: Untersuchung von Korrosionsmechanismen – Maßnahmen und Konzepte. Vortrag VDI-Bildungswerk Reduzierungspotential Verschleiß – Korrosion – Betriebskosten an Verbrennungsanlagen, Bamberg, 7./8.05.1998
- [10] Nordsieck, H.; Warnecke, R.: Korrosion in Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung – Chemische Charakterisierung von Verbrennungsgasen in Bezug auf Korrosionsvorgänge – Gas. Schlussbericht EU 12 vom 20.07.2007
- [11] Keune, R.; Eckardt, J.: Erfahrungen beim Umbau des MHKW Frankfurt am Main. Vortrag auf Uhlig Symposium Serviceoptimierung an Müllkessel, 10./11.02.2011
- [12] Boßmann, H.-P.; Singheiser, L.: Hochtemperaturkorrosion von Wärmetauschern in Müllverbrennungsanlagen. Vortrag 11 – VGB Konferenz – Korrosion und Korrosionsschutz in der Kraftwerkstechnik, 29./30.11.1995
- [13] Schmidl, W.; Herzog, T.; Magel, G.; Müller, W.; Spiegel, W.: Korrosionsschutz im Überhitzerbereich- Erfahrungen mit Material und Applikation. VGB-Fachtagung Thermische Abfallbehandlung am 15./16. Juni 2010 in Papenburg, verfügbar unter www.chemin.de
- [14] Herzog, T.: Cladding with Nickelalloys (Ni-Cr-Mo and Ni-Cr-Mo-W) on Superheater Tubes in WTE-Plants. PREWIN General Assembly at Porto, November 2005, verfügbar unter www.chemin.de

Häuser & Co GmbH

- Beschichtung von Überhitzerrohren im Plasmaspritzverfahren -



Unsere patentierten Verfahren zur Beschichtung von Verdampfer- und Überhitzerheizflächen im Hochgeschwindigkeits-Plasmaspritzverfahren mit anschließender Wärmebehandlung haben seit 2002 in vielen Kraftwerken zu deutlichen Standzeitverlängerungen geführt. Bis zu 18m lange Überhitzerrohre werden nach dem segmentweisen Beschichten zu fertigen Rohrschlangen gebogen, um die Anzahl der Schweißnähte zu minimieren. Ebenso können Abstandshalter und Halbschalen problemlos angeschweißt werden. Sofern kundenseitig gewünscht, ist selbstverständlich auch eine Beschichtung der Bogenbereiche nach dem Biegen möglich.

Ebenfalls können Rohre innerhalb der Beschichtung beliebig getrennt und mit einer Schweißphase als Schweißnahtvorbereitung versehen werden. Montagenähte können zusätzlich mit einer an die Beschichtung anschließenden IN625-Auftragschweißung abgedeckt werden, um einen durchgehenden Korrosionsschutz zu erreichen.

Die verwendeten Nickel-Basis-Legierungen halten nicht nur den korrosiven Beanspruchungen in hochchloridischen Atmosphären und Rohroberflächentemperaturen bis ca. 600°C über mehrere Reisezeiten stand, sondern sind insbesondere auch auf die erosiven Belastungen während des Betriebes sowie der unterschiedlichen Reinigungsmethoden wie Strahlen, Sprengen, Klopfen usw. ausgelegt. Anders als bei Schweißplattierungen gibt es keine Aufmischzone mit erhöhtem Fe-Gehalt, die Legierungseigenschaften stehen über die gesamte Schichtdicke gleichermaßen zur Verfügung.

Aufgrund einer Schichtdicke von ca. 0,8mm wird der Wärmeübergang gegenüber unbeschichtetem Rohr messtechnisch nicht beeinträchtigt, zudem reduzieren sich Anbackungen aufgrund der glatten Oberfläche und erhöhen den Wirkungsgrad der beschichteten Heizflächen.

