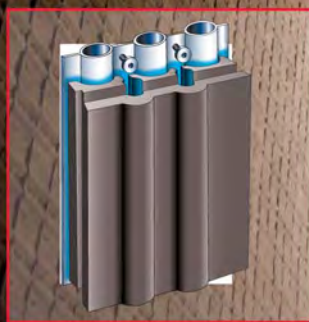


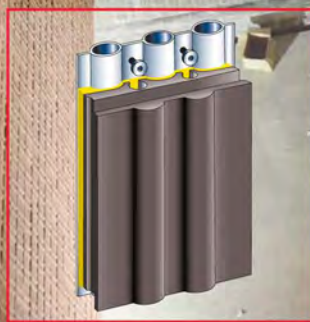
Mokesa

Sichere Rohrwandschutzsysteme

Mokesys[®] Air 2E



Mokesys[®] Hintergossen



Mokesys[®] Ancor



www.mokesa.ch

Mokesa AG | Freulerstrasse 10 | CH-4127 Birsfelden | T +41 61 319 99 70 | F +41 61 319 99 79
info@mokesa.ch

Wärmetechnische Optimierung im Dampferzeuger durch gezielte Auswahl von Feuerfestsystemen – Berechnungen und Bewertungen, Installation des maßgeschneiderten Feuerfestsystems, Ergebnisse aus der Praxis –

Karl-Ulrich Martin, Erik Hofmans, Tobias Kern und Jos van der Hoeff

1.	Anforderung des Marktes an die Standzeit und die Verfahrenstechnik.....	526
2.	Praxis zur Verfahrensoptimierung durch geeignete Feuerfestsysteme.....	528
2.1.	Beispiel aus der Praxis	528
2.2.	Darstellung des wärmetechnischen prozesstechnischen Istzustandes.....	531
2.3.	Realisierung des Soll-Konzeptes	531
2.4.	Vergleich CFD Modell zum Istzustand	533
2.5.	Zustand und erwartete Standzeit der Feuerfestauskleidung	534
3.	Zusammenfassung	534
4.	Literaturnachweis.....	534

Bei der Verwendung von keramischen Produkten in Abfallverbrennungskesseln waren zu Beginn überwiegend eine adiabatische Auskleidung, mehrschichtige isolierende Systeme, oft auf ungekühlte Wände, notwendig, um die Wärme in der Feuerung am Brennstoff zu halten. Deshalb wurde häufig von Müllöfen gesprochen. Beginnend in den sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts bis heute, stehen unter Berücksichtigung der Erhöhung der Brennstoffheizwerte und der Energiegewinnung die hohe Wärmeleitung der mineralischen Abkleidung und die Notwendigkeit eines sicheren Korrosionsschutzes im Vordergrund [1].

Die Entwicklung der definierten wärmeleitenden keramischen SiC-Schutzschichten, insbesondere der Platten-Systeme, hat sich im Laufe der Jahre stetig verbessert und dadurch auch die Standzeiten erheblich verlängert [1]. Ergänzend zu diesem hohen Stand der Technik haben in letzter Zeit Aufgaben zur Optimierung des Verbrennungs-Prozesses verstärkt an Bedeutung gewonnen [2].

Gerade bei geringer Auslastung, bei Teil-Last von Kesseln, wie sie in der heutigen Zeit häufiger vorkommt, wird ergänzende Zusatz-Energie, um die *850 Grad zwei Sekunden* zu sichern, benötigt. Die Einhaltung dieser gesetzlichen Regelung verursacht erhöhte Brennstoffkosten und nicht zuletzt die dadurch erzwungene Erzeugung zusätzlichen Kohlendioxids.

Diese Publikation stellt die Möglichkeit des wärmewirtschaftlichen Betriebes eines Kessels dar, der selbst bei schwankenden Heizwerten und geringer Abfallmengenauslastung, den Prozess verstetigt und den Einsatz fossiler Brennstoffe minimiert.

1. Anforderung des Marktes an die Standzeit und die Verfahrenstechnik

In den letzten zehn Jahren, insbesondere in den letzten fünf Jahren, hat sich die Standzeit von Feuerfestsystemen, besonders bei den Marktführern der Plattensysteme, erheblich verbessert. Die Standzeiten liegen je nach Kesselsegment und Feuerfestsystem zwischen vier und zehn Jahren. Die Inspektions- und Reparaturintervalle sind vorhersehbar

und können häufig von ein auf zwei Jahre verlängert werden, ohne den gesicherten planbaren Betrieb zu gefährden [1].

Der nächste Schritt ist die Optimierung des Verbrennungsverfahrens und des Wärmehaushaltes unter Ausnutzung der unterschiedlichen Wärmeleitung der Feuerfestsysteme. Dieser Schritt erfolgt maßgeschneidert in jedem Kesselsegment gemäß den unterschiedlichen Prozessanforderungen der Verfahrenstechnik, den Standzeiten und der Wirtschaftlichkeit.

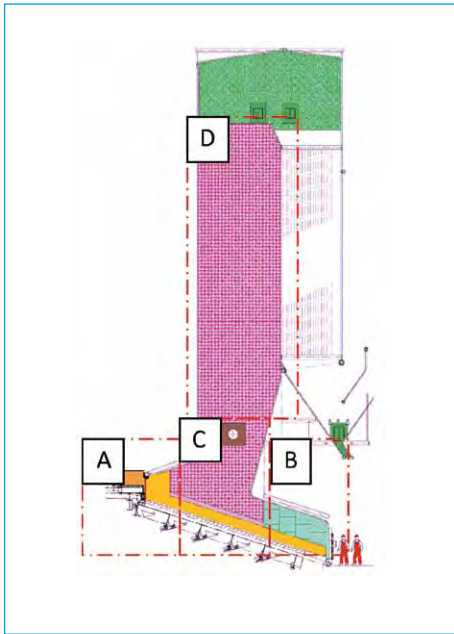


Bild 1:

Segmentierung der Kessel in Prozesse und Feuerungskonzepte

Segment	feuerfeste Wartung	Standzeit statistisch
A = Brennstoffaufgabe, Trocknung, Start Pyrolyse → Wasserdampf, Abrieb, Kompensation von Kesselerweiterung → Erhaltung der Energie	gering, aber spezial	10 Jahre
B = Ausbrand-Zone, Trichter → niedrige Temperatur, geringe Korrosion	keine	10 Jahre
C = Brennkammer, hohe Energie und Temperatur → Schlacke und Schmutz baut sich auf, greift u.U. die keramischen Matrix an, Korrosion → hoher Wärmeübergang, Spannung aufgrund der Ausdehnung zwischen Keramik und Membranwand	mittel	3 – 4 Jahre
D = oberer Teil des Kessels-1. Zug. 2. Sek. Bei 850 °C, Wärmeübergang → Schlacke und Schmutz baut sich auf, geringere Spannung zwischen Keramik und Röhren, hohes Korrosionspotential → Ziel: niedrige Temperatur, 2. Zug	geringe	6 – 8 Jahre

A Segment Brennstoffaufgabe, Trocknung und Übergang in die Pyrolyse

In diesem Segment ist das Feuerfestkonzept in der Auslegung eher adiabatisch und teilweise mehrschichtig aufgebaut, da sowohl die Membranwände als auch einzelne ungekühlte Stahlwände geschützt werden. In diesem Bereich gilt es, die Wärme im Prozess zu halten, den metallischen Werkstoff Stahl zu schützen und mit der Wärme die Trocknung und Entgasung zu unterstützen. Eine besondere Aufgabe ist die technische Konstruktion und saubere Ausführung zwischen dem statischen Bereich der Abfall-Aufgabe und dem berohrten Kessel, der sich im Betrieb je nach Konstruktion (z.B. Fixpunktlage) und Verdampfertemperatur zwischen horizontal 30 – 60 mm und vertikal 50 – 100 mm dehnt. Die deshalb unvermeidlichen und konstruktiv anspruchsvollen Dehnungsfugen sollten bei jeder Revisionen geprüft und ggf. gepflegt werden.

B Segment Schlackeausbrand, Schlackeaustrag und Schlackeschacht

Die Feuerfestauskleidung dient dazu, die Rohrwände vor Korrosion zu schützen, die in diesem Bereich allerdings sehr gering ist. Teilweise ist in diesem Bereich das ungeschützte blanke Kesselrohr einsetzbar. Der Wärmehaushalt ist von geringer Bedeutung. Der Schlackefallschacht ist mit keramischen Feuerfestsystemen mehrschichtig adiabatisch ausgeführt, da die Wände nicht gekühlt sind. Die Außenwände sind oft isoliert.

C Segment Feuerraum

Die Feuerfest-Auskleidung kann im Feuerraum die gleichmäßige Verbrennung durch den Einsatz eines Systems mit konstruktiv gezielt hohem oder niedrigem Wärmeübergang (bis fast adiabatisch) in ordentlichem Umfang unterstützen. Dabei ist wichtig, dass die feuerraumseitige Oberfläche schlackeabweisend, weitgehend schlacke-resistent und hochtemperaturfest ist. Dies wird üblicherweise durch niedrig poröse SIC-Platten mit hohem SIC-Gehalt und mit nitridischer Bindung, am besten doppelt gebrannt, gewährleistet. Aufgabe der keramischen Auskleidung ist auch die Dämpfung der lokalen Wärmestromdichten. Dies ist notwendig wegen der unerwünschten Auswirkung von Überlastungen, Leistungsexkursionen und Temperaturspitzen auf diskrete Rohrwände, z.B. durch hochkalorische Brennstoffchargen mit schnellem Umsatz.

Erfolgreich können in diesem Bereich nur äußerst hochqualitative Feuerfestmaterialien eingesetzt werden. Mokesa setzt ausnahmslos nitridierte, doppeltgebrannte Platten ein, die aus reinsten Grundrohstoffen hergestellt werden. Hohe Beständigkeit gegen Oxidation und Schlacke sind das Ergebnis, das auch bei diesen hohen Beanspruchungen zu sicheren Standzeiten führt.

D Segment erster Zug mit 850 °C – 2 Sek.-Zone

Ab Ende Feuerraum, oberhalb der letzten Sekundärlufteindüsung, beginnt der 1. Zug mit der Aufgabe, die Regularien 850 Grad Celsius zwei Sekunden einzuhalten und anschließend möglichst zügig die Wärme auszukoppeln. Die Eintrittstemperatur in den zweiten Zug muss niedrig sein, um die Anströmtemperatur der Überhitzer im zweiten und dritten Zug nach oben zu begrenzen und als Folge die Korrosion möglichst gering zu halten. In diesem ersten Zug ist aufgrund der Konzentration und Ablagerung (Schmelze, Salze) von Schwermetallverbindungen in Verbindung mit Halogeniden die

Korrosionsgefahr an der Membranwand höher als z.B. im Feuerraum mit höheren Temperaturen. Im Feuerraum liegen die Verbindungen üblicherweise in Dampfform vor und kondensieren wegen der höheren Oberflächentemperaturen (Auslegung Feuerfest) seltener. Oberhalb der 850 Grad/2-Sekunden-Grenze ist der zügige Wärmeabbau mit keramischen Feuerfestsystemen hoher Wärmeleitfähigkeit zu gewährleisten. Die Feuerfesttemperaturen in der Platte betragen zwischen 550 °C (unteres Segment) bis 400 °C (oberes Segment). Dies ist nur durch hochleitende, dünne Plattensysteme zu erzielen. Eine abrupte Abkühlung der Oberfläche von hohen Temperaturen der Feuerfestoberflächen von 550 – 750 °C (z.B. hinterlüftetes System) auf nackte Rohrwände mit 280 – 300 °C ist aufgrund des Temperatursprungs zur Wand hin, der sogenannten *Kühlfalle*, zu verhindern. Die Kühlfalle lenkt mit dem sprungartig ansteigenden Wärmestrom Salzdämpfe in die Kondensation an die Membranwand. Ausgehend von einer niedrigeren Oberflächentemperatur der keramischen Auskleidung am Ende des ersten Zugs (etwa 400 °C) kann deshalb nur bedingt auf die nackte oder besser mit Inconel geschützte Rohrwand übergeleitet werden.

2. Praxis zur Verfahrensoptimierung durch geeignete Feuerfestsysteme

Die Brennstoff-Märkte bezüglich Volumen, Abfallmenü und Heizwert haben gerade in den letzten Jahren begonnen, sich zu verändern. Die Prognosen für die Zukunft zeigen, dass Kessel nicht mehr bei Volllast gefahren werden können, sondern bei Teillast aufgrund fehlender Abfallmengen und zusätzlich schwankender Heizwerte – auch mit der allgemeinen Tendenz, dass die Heizwerte eher abnehmen als zunehmen. Der Grund liegt hier bekanntlicherweise in der hohen Recyclingrate und dem Verbrennen dieser aussortierten hochkalorischen Stoffe in EBS-Anlagen oder Zementanlagen. Dies bestätigt letztlich auch den *fünften Hauptsatz*, nach dem keine Feuerung mit dem Brennstoff betrieben wird, für den sie gebaut ist [1]. Um die ursprünglich für höhere kalorische Brennstoffe (Abfall) und hohen Durchsatz konzipierten Kessel wirtschaftlich zu betreiben, können sich maßgeschneiderte Feuerfestsysteme adaptierend begegnen.

2.1. Beispiel aus der Praxis

Ein Kessel in Benelux war über viele Jahre immer wieder mit unterschiedlichen Feuerfestauskleidungen zugestellt und in einem abgenutzten schlechten Zustand, so dass eine komplette Sanierung notwendig war. Darüber hinaus suchte der Betreiber eine Verbesserung der bisherigen Ungleichförmigkeit der Verbrennung hin zur Verstetigung der Abgasentwicklung und Wärmeauskoppelung. Prozeßdaten zwangen zu ständigen Nachjustierungen verschiedener Regelparameter. In der Summe erfolgten diese Maßnahmen nach der Methode *trial and error* und waren letztlich unwirtschaftlich. Erhebliche Korrosionprobleme ergänzten das Bild. Ein *Neuanfang* war der einzige sinnvolle Weg. Wegen der Erfahrung bei der Optimierung von Feuerfestkonzepten und nicht zuletzt wegen der Zusammenarbeit mit der TU Dresden bei der Analyse und Validierung des Wärmeübergangs verschiedener Feuerfestsysteme in Theorie und Praxis, wurde die Mokesa BLX/Mokesa AG beauftragt [3].

**They are
extremely
tough.**

800-2000°C

oxidation
abrasion
corrosion



**So that
you don't need
to be!**

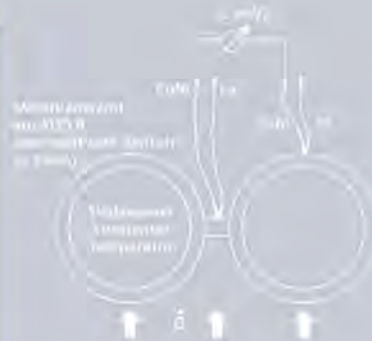
To keep our environment safe we require innovative technology. It is our material that makes Saint-Gobain refractory products so extraordinary. Applied in Waste-to-Energy plants, in Chemical and Petrochemical processes, in Heat Treatment and Wear Resistant Technologies, they provide the highest levels of efficiency and safety.



Saint-Gobain Ceramic Materials
energysystems@saint-gobain.com
www.refractories.saint-gobain.com


SAINT-GOBAIN
CERAMIC MATERIALS

Wärmestrommessung an Membranwänden von Dampferzeugern



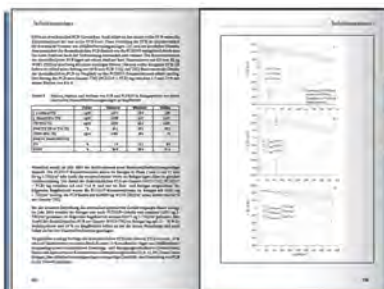
Autor: Sascha Krüger
ISBN: 978-3-935317-41-2
Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky
Erscheinung: 2009
Gebund. Ausgabe: 117 Seiten
Preis: 30.00 EUR

Die Wärmestromdichte ist der auf eine Fläche bezogene Wärmestrom. Die Ermittlung dieser Größe stellt für Strahlungswärmeübergangsf lächen von Dampferzeugern, die üblicherweise aus Membranwänden aufgebaut sind, eine wichtige Information mit Bezug auf die Wärmeverteilung, d. h. die lokale Wärmeabgabe in der Brennkammer, dar. Beispielsweise besteht die Möglichkeit, anhand der Wärmestromdichte

- die Feuerlage auf dem Rost oder in der Brennkammer,
 - Schief lagen der Gasströmung in den Strahlungszügen,
 - den lokalen Belegungszustand (Verschmutzungszustand) oder
 - den Zustand des Wandaufbaus (Ablösen von Feuerfestmaterial)
- zu bewerten.

Die Entwicklung und Anwendung von Wärmestromdichtemessungen an Membranwänden war bereits Gegenstand vielfacher Forschung in den letzten Jahren. Zumeist wurden Messzellen entwickelt, zu deren Installation Umbauten am Siederohr, d. h. am Druck tragenden Teil des Wasser-Dampf-Kreislaufes notwendig sind.

In der vorliegenden Arbeit wird eine nicht-invasive Methode zur Bestimmung der Wärmestromdichte an Membranwänden mit und ohne Zustellung sowie deren Anwendung im technikum- und großtechnischen Maßstab beschrieben.



Bestellungen unter www.vivis.de
oder

Dorfstraße 51
D-16816 Nietwerder-Neuruppin
Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10
E-Mail: tkverlag@vivis.de

vivis
TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

2.2. Darstellung des wärmetechnischen prozesstechnischen Istzustandes

Über CFD-Modellierung wurde der tatsächliche vorliegende Zustand abgebildet, der dann bei der Simulation unterschiedlicher vorgegebener Bedingungen validiert wurde. Ausgehend von diesem Modell wurden die Soll-Bedingungen mit den dafür notwendigen Prozessparametern, einschließlich Verschmutzungsgrad, gerechnet. Die Abweichungen vom Ist- zum Sollzustand ergaben geringe Veränderungen in der Aufteilung der Primär- und Sekundärluft und deren Verteilung in der Vorder- und Rückwand. Besonders wichtig waren die Veränderungen des gesamten Feuerfestkonzepts.

Für die Soll-Simulation standen folgende unterschiedliche Varianten der Feuerfestzustellung zur Auswahl:

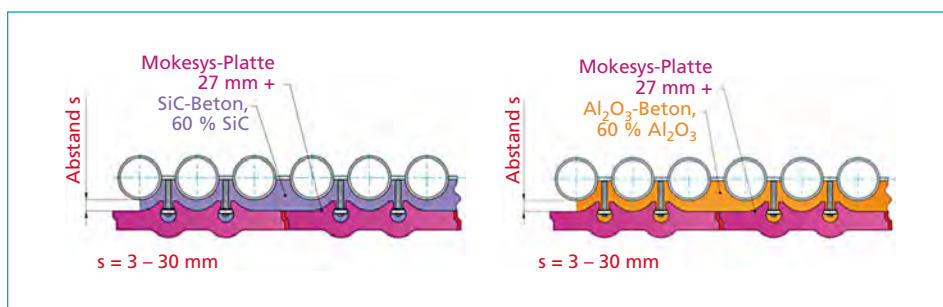


Bild 2: Varianten der Feuerfestzustellung

Tabelle 1: Feuerfestkonzepte mit Hintergussbeton

Mokesys Platte 80 % SiC Nitrid-Bindung doppelt gebrannt, 27 mm* stark S_{21} , mit Hintergieß Beton aus SiC 60 % und Al_2O_3 60 % mit variablen Dicken		
Schichtstärke Beton S_1	SiC 60 % Beton 6W/(mK) System WD**	Beton Al_2O_3 1,5W/(mK) System WD**
5 mm	555 W/(m ² K)	233 W/(m ² K)
15 mm	295 W/(m ² K)	91 W/(m ² K)
30 mm	167 W/(m ² K)	48 W/(m ² K)

* Alternativ 33 mm

** System WD = $1/(S_1/Lambda + S_2/Lambda)$

2.3. Realisierung des Soll-Konzeptes

Die Variante eines hinterlüfteten Systems wurde nach eingehender technischer Analyse verworfen, da sich systembedingt nur ein fester Wärmeübergang einstellen lässt und der Wärmeübergang auch in Zukunft maßgeschneidert einstellbar bleiben sollte. Bei einer notwendigen wärmetechnischen Veränderung der Feuerfestzustellung ist es vorteilhaft, beim selben Feuerfestgrundaufbau zu bleiben und die Veränderungen nur beim Hintergussbeton vorzunehmen. Zudem scheute man für eine relativ kleine Fläche des Airsystems die zusätzlichen Aufwendungen für Umbauten für die Luftzuführung und den Kammkasten am Kessel, Druckmesssystem usw. Die oben angegebenen Mokesys-Systeme dagegen können durch unterschiedliche Wahl des Hintergussbetons (SiC oder

Al_2O_3) und diese in unterschiedlichen Stärken die notwendigen Wärmeübergänge widerspruchsfrei *nach Wunsch* darstellen.

Das CFD modellierte und dann im Kessel realisierte Konzept stellt sich wie folgt dar (Bild 3):

- Anpassungen der Primär- und Sekundärluft ohne bauliche Veränderungen,
- Feuerraum: Installation 27 mm Plattendicke mit 26 mm Al_2O_3 Hintergussbeton, System Wärmedurchgangswert $36 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,
- Zone 850°C 2 Sek.: Installation 27 mm Plattendicke mit 26 mm Al_2O_3 Hintergussbeton System Wärmedurchgangswert $36 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,
- Oberhalb Zone 850°C 2 Sek.: 27 mm Plattendicke mit 5 mm SiC 60 % System Wärmedurchgangswert $555 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,
- ab keramischer Auskleidung bis Eintritt zweiter Zug Inconel-Beschichtung,

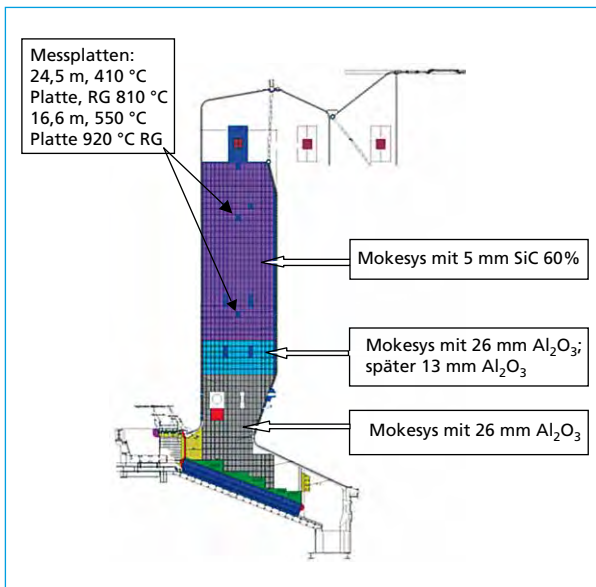


Bild 3:

Position der Messplatten-Segmente verschiedener Feuerfestkonzepte



Bild 4: Temperatur Messplatten an Seitenwänden und Vorderwand

- als flankierende Einbauten wurden im Plattenverbund der Vorderwand und in den Seitenwänden auf unterschiedlichen Kesselhöhen Temperaturmessplatten (Bild 4) einbaut und somit die tatsächlichen Betriebstemperaturen in der Platte erfasst, mit dem CFD Modell gekoppelt.

2.4. Vergleich CFD Modell zum Istzustand

Mit diesem neuen Konzept wurde der Kessel ausgerüstet und für einige Monate betrieben. Dieser erste *Wurf* kam bezüglich Wärmefluss, Temperaturverlauf und stabiler Verbrennung schon sehr nahe an den gewünschten Zustand des Verbrennungsprozesses.

Die vergleichenden Betrachtungen des CFD-Modells (Bild 5) und tatsächlicher Messwerte ergaben eine gute Übereinstimmung, so dass mit diesem Modell weitere CFD Simulationen für eine ergänzende Feinjustierung durchgeführt wurden. Die Ergebnisse dieser Simulation in Verbindung mit den gewonnenen monatelangen Erfahrungen aus der Praxis wie stabilere Feuerung, weniger Brenneinsatz (CO₂-Emissionen und fossiler Brennstoff vermindert), Eintrittstemperatur zweiter Zug u.ä. zeigten weitere geringfügige Optimierungspotentiale auf. Hierbei wurde auch der tatsächliche Verschmutzungsgrad berücksichtigt. Der nächste geplante Stillstand wurde genutzt, um in definierten Höhen/Segmenten das Feuerfestkonzept ergänzend anzupassen. Z B. wurde in der 850 °C Zone eine geringere Isolierung gewählt. Die bereits guten Ergebnisse des ersten Umbaus wurden so weiter verbessert: Der Prozess wurde noch stabiler, die Durchsatzleistung konnte signifikant erhöht werden – ein ständiges *Nachjustieren* der FLR wie in dem Zustand vor dem ersten Umbau ist somit komplett entfallen. Die finanziellen Aufwendungen der Sanierung/Optimierung, die innerhalb der geplanten Revisionszeiten durchgeführt wurden, amortisierten sich bereits nach etwa 6 Betriebsmonaten.

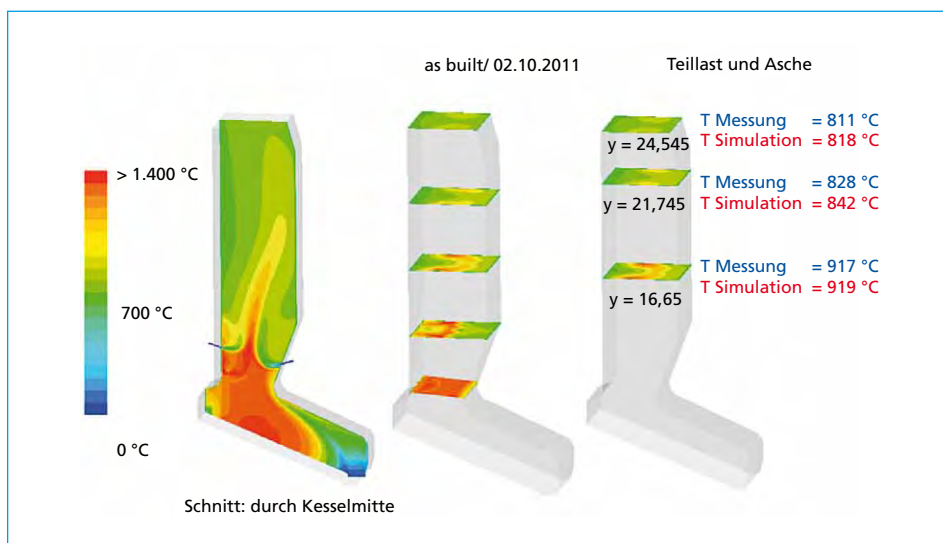


Bild 5: Vergleich der Ergebnisse *as built* in der Praxis mit den Werten des CFD-Modells *Simulation*

2.5. Zustand und erwartete Standzeit der Feuerfestauskleidung

Nach mehr als einem Jahr Betriebszeit mit etwa 10.000 Bh wurde die Feuerfestauskleidung eingehend auf Verschleiß und Reparaturumfang inspiziert. Das Ergebnis: Keine Reparaturarbeiten trotz hoher thermischer Belastung des Plattensystems. Lediglich in einigen Bereichen des Feuerraumes war die Plattenoberfläche etwas oxidiert. Der Verschleiß ist den hohen Oberflächentemperaturen von etwa 950 °C und dem Schlackeangriff geschuldet. Es wird mit einem geplanten Feuerfest-Austausch in kleineren hochbelasteten Bereichen (10 – 15 m²) nach 2 – 3 Jahren Betriebszeit gerechnet.

3. Zusammenfassung

Die wärmetechnische Optimierung bestehender Verbrennungskessel mit dem Benefit einer stabilisierten Verbrennung, einem geringeren Verbrauch fossiler Brennstoffe, um die Regularien 850 °C, 2 Sekunden einzuhalten, selbst bei Teillast und niedrigkalorischen Brennstoff (Abfall), ist mit Hilfe von CFD Modellierung und deren erfolgreicher Umsetzung in der Praxis mit bewährten, maßgeschneiderten Feuerfestsystemen Stand der Technik. Der direkte, unmittelbare und nachhaltige wirtschaftliche Nutzen liegt im erhöhten Abfallmengendurchsatz und vermindertem fossilen Brennstoffverbrauch und damit auch einer CO₂-Einsparung. Für die Betriebsverantwortlichen ist die stabile Feuerführung mit geringer Nachjustierung ein wichtiger und *beruhigender* Pluspunkt.

4. Literaturnachweis

- [1] Martin, K.-U.; Albert, F.: Korrosionsschutz an Kesselrohrwänden – keramische Feuerfestsysteme und metallische Beschichtungssysteme. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009
- [2] Grahl, S.; Beckmann, M.: Wärmeübertragung bei hinterlüfteten und hintergossen Feuerfest-Plattensystemen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 8. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011
- [3] Martin, K.-U.: Temperatur- und Wärmestrommessungen bei hintergossenen und hinterlüfteten Feuerfest-Plattensystemen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Energie aus Abfall – Band 10

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Beckmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013

ISBN 978-3-935317-92-4

ISBN 978-3-935317-92-4 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2013

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Petra Dittmann, Sandra Peters,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske, Ulrike Engelmann, LL. M., Ina Böhme

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

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.