

Brell, J.; Molitor, D.; Magel, G.; Hohmuth, S. (2019)

**Temperatursensorik  
- Feuerfeste Auskleidungen den Anforderungen anpassen –**

In: Thiel, S.; Thomé-Kozmiensky, E.; Quicker, P.; Gosten, A. (Hrsg.):  
Energie aus Abfall, Band 16, Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH,  
Neuruppin 2019, S. 503-520

## Temperatursensorik - Feuerfeste Auskleidungen den Anforderungen anpassen -

Joos Brell, Dominik Molitor, Gabriele Magel, Sabine Hohmuth

In MVA werden feuerfeste Auskleidungen im Feuerraum und in der Nachbrennzone überwiegend in Form von vorgeformten Produkten (Platten) auf SiC-Basis, meist nitridgebunden, eingesetzt. Für die Applikation dieser SiC-Platten stehen im Wesentlichen drei Systemvarianten zur Verfügung, (1) das geklebte System, (2) das hintergossene System und (3) das hinterlüftete System.

Allen drei Systemen ist gemeinsam, dass die Verbindung zwischen der Verdampferwand und den Platten durch metallische Halterungen erfolgt, die auf die Stege zwischen den Rohren geschweißt werden. Zudem ist allen Systemen gemeinsam, dass zwischen den einzelnen Platten ein Abstand eingehalten wird, sogenannte Fugen.

Aus diesen Grundmerkmalen entwickeln sich diverse Zustellungsvarianten:

- So gibt es geometrische Unterschiede wie Zwei-Rohr- und Drei-Rohr-Platten, Platten mit schrägen Kanten oder mit Z-Fuge. Platten können unterschiedlich dick sein und im Herstellungsverfahren (Formgebung, Brand) Unterschiede aufweisen, die beispielsweise zu unterschiedlichen Oberflächeneigenschaften führen.
- Auch die metallischen Halterungen unterscheiden sich pro Zustellung in diversen Merkmalen. Hierzu gehören u.a. der gewählte Werkstoff, die Formgebung, die Position in Bezug auf die Platte und die Anzahl (von einem Anker bis zu vier Ankern pro Platte).
- Für die Füllung der Fugen gibt es ebenfalls diverse Lösungen, von keramischem Papier bis zu SiC-Massen (z.B. phosphatgebunden).
- Bei den geklebten Systemen und noch vielfältiger bei den hintergossenen Systemen kommen noch materialspezifische Varianten, d.h. insbesondere Fließeigenschaften, Wassergehalt und Wärmeleitfähigkeit, der eingesetzten feuerfesten Werkstoffe, also Kitte und Betone, hinzu.
- Bei den hinterlüfteten Systemen ergeben sich Varianten u.a. durch die Menge der Spülluft, die Druckdifferenz und die Art der Durchspülung (aktiv, passiv).

Bei so vielfältigen, im Markt bereits etablierten Möglichkeiten, eine feuerfeste Auskleidung zu gestalten, d.h. im Design den jeweiligen Anforderungen anzupassen, stellt sich die Frage, welchen Mehrwert kann hierbei eine zusätzlich installierte Temperatursensorik leisten?

In erster Näherung ist die hier vorgestellte Temperatursensorik ein Hilfsmittel zur Erfassung von wichtigen Systemeigenschaften der feuerfesten Auskleidung während des Betriebes und damit ein Hilfsmittel zur schrittweisen, bedarfsorientierten Verbesserung des Design und der Applikation feuerfester Auskleidungen. Nachfolgend wird dies an einem anonymisierten Beispiel erläutert.

### 1. Strahlung oder Konduktion

Bei all den oben beschriebenen Systemvarianten wird beim Design der feuerfesten Zustellung eine Grundannahme getroffen, die nicht weiter hinterfragt wird, ob es für die Lebenszeit der Zustellung eine zutreffende Annahme darstellt. Diese Grundannahme bezieht sich auf die Art der Wärmeübertragung.

Für die hinterlüfteten Systeme ist diese Entscheidung klar und bleibt in der Regel für die Lebenszeit der feuerfesten Zustellung auch gültig: Die Wärme wird aus dem Rauchgas in das Kesselrohr durch Strahlung transportiert. Je nach Wärmemenge ergibt sich daraus ein Temperaturprofil in der feuerfesten Zustellung. Daraus resultiert eine bestimmte thermische reversible Dehnung im feuerfesten Werkstoff. In Abhängigkeit der Erwärmung des Kessels und seiner Druckstufe (reversible thermische Dehnung des Kesselstahls) wird pro Platte allseitig ein Dehnweg benötigt, in Form von Fugen. Dies lässt sich beim Design des feuerfesten, hinterlüfteten Systems hinreichend gut berechnen und vorgeben.

Für das geklebte und das hintergossene System wird zugrunde gelegt, dass die Wärme konduktiv durch das feuerfeste System transportiert wird. Analog wie oben für das hinterlüftete System beschrieben, werden auf der Grundlage von Wärmeleitung die benötigten Dehnwege ermittelt und für das Design verwendet. Aber diese Annahme ist für die Lebenszeit der feuerfesten Zustellung nicht gesichert. Möglicherweise ist der formschlüssige Verbund als Voraussetzung für den konduktiven Wärmeübergang bereits nach dem Austrocknen bzw. der ersten Inbetriebnahme oder während des Betriebes nicht mehr zutreffend. Viele Schadenssymptome an geklebten bzw. hintergossenen Systemen weisen in die Richtung, dass der angenommene, konduktive Wärmeübergang durch die betrieblichen Einwirkungen nicht sicher aufrechterhalten wird.

Es besteht der Verdacht, dass sich in dem Verbund aus Kesselrohr - Kitt/Gießbeton - Platte ein Spalt ausbildet und damit die eigentlich geklebten bzw. hintergossenen Systeme zu einem Wärmetransport durch Strahlung gezwungen werden. Hinweise auf dieses Phänomen wurden bereits von Magel 2016 [5] aufgeführt.

Wenn sich ein Spalt ausbildet, z.B. zwischen Platte und Hintergießbeton, wird die Platte wesentlich heißer, als in einem Zustand ohne Spalt. Damit ergeben sich zusätzliche Dehnwege (thermische Dehnung), die aber konstruktiv nicht vorgesehen sind, da die Platte bei Wärmeleitung kälter bliebe. Dies induziert Spannungen in das Plattensystem und führt zu Folgeschädigungen, wie Aufbeulung, Rissbildung, Zerschlagen u.ä.

So gesehen sollten auch die geklebten und hintergossenen Systeme beim Design so behandelt werden, dass der Wärmetransport durch die Platte ohne Dehnungsbehinderung auch durch Strahlung erfolgen kann.

## **2. Anwendung von Temperatursensorik**

Anhand von zwei Testfeldern in einer MVA (siehe auch Kapitel 4) erkundet ein Marktteilnehmer das Betriebsverhalten hinterlüfteter Platten im thermisch hoch belasteten Bereich an den Seitenwänden eines Feuerraums. Neben der Zustandsbewertung der Testfelder in den Stillständen (Bild 3, 4 und 5) wurden auch das Temperaturverhalten und die Wärmeübertragungseigenschaften der Platten während des Betriebes anhand von installierter Temperatursensorik kontinuierlich ermittelt (Bild 1 und 6). Die dabei ermittelten Daten sind beispielhaft in den Bildern 2 und 7 für das jeweilige Testfeld über einen Betriebszeitraum von einigen Wochen dargestellt.

Die Grundlagen dieser Temperatursensorik wurden von Krüger 2005 [4] vorgestellt und in verschiedenen Studien weiterentwickelt [2, 3, 5]. In diesem Beitrag wird demnach nicht mehr auf diese Grundlagen eingegangen.

Im vorliegenden Fall der Testfelder besteht die Temperatursensorik pro Platte aus zwei Installationen. Zum einen sind in der Platte ein bzw. zwei Thermoelemente verbaut. Zum anderen befindet sich auf der Kesselaußenseite hinter der Platte ein Thermoelement-Paar, installiert auf dem Rohrscheitel und dem benachbarten Steg (Bild 1 und 6), eine sog. Wärmestrommessung. Zur Installation dieser Sensorik, der Signalerfassung und Datenauswertung liegen langjährige Erfahrungen vor [1, 6, 7]. Die Lebenszeit dieser Sensorik ist im

Grundsatz nicht beschränkt. In der Praxis ist die Haltbarkeit der Messtechnik in den Platten stärker begrenzt als an der Kesselaußenseite.

Bei der Installation von zwei Thermoelementen pro Platte (Bild 6) kann die durch die feuerfeste Auskleidung transportierte Wärmemenge durch FEM-Modellierung (Kapitel 4) direkt ermittelt werden. Voraussetzung dafür ist, dass die zugrunde gelegten Systemeigenschaften der feuerfesten Zustellung zutreffend sind.

Unabhängig davon lässt sich durch die Temperatursensorik an der Kesselaußenseite die in das Kesselrohr (Wasser-Dampf-Mischung) eingetragene Wärmemenge mit der Wärmestrommessung direkt ermitteln. Diese Wärmemenge muss auch durch die Platte geflossen sein.

Stimmen nun die beiden ermittelten Wärmemengen nicht hinreichend überein, kann dies nur durch die bei der FEM-Modellierung zugrunde gelegten Systemeigenschaften der feuerfesten Auskleidung bedingt sein. Auf diese Weise lässt sich einschätzen, ob zur Angleichung der Wärmemengen z.B. ein Spalt notwendig ist, ob also das eigentlich hintergossene System doch die Wärmetransporteigenschaften eines hinterlüfteten Systems aufweist (Kapitel 4).

Die beiden oben angesprochenen Testfelder erlauben es zudem, diese Temperatursensorik an jeweils zwei benachbarten Platten mit unterschiedlichen Systemeigenschaften einzubauen, wobei die eine Platte hinterlüftet ausgeführt ist und die andere Platte hintergossen (Bild 1 und 6). Diese Platten-Paarungen sind damit jeweils den gleichen betrieblichen Bedingungen unterworfen. Die auf das jeweilige System aus feuerfesten Werkstoffen und Kesselrohr aufgeprägte Wärmemenge ist damit gleich - im unverschmutzten Zustand bzw. bei gleichartiger Verschmutzung auf beiden Platten. Damit ergeben sich bei gleicher aufgeprägter Wärmemenge zwei Befunde zu der im Kesselrohr angekommenen Wärmemenge - je eine Wärmestrommessung pro Platte -, sowie eine in der jeweiligen Platte ermittelte Wärmemenge. Da die hinterlüftete Platte eindeutige Systemeigenschaften aufweist (d.h. vorgegebener Spalt), können die Systemeigenschaften der hintergossenen Platte darauf bezogen werden (Kapitel 4).

Durch die betrieblichen Abläufe, also insbesondere durch anwachsende Beläge/Schlacken auf der feuerfesten Oberfläche und durch Abfallen/Abreinigen dieser Beläge, ergeben sich schleichende oder plötzliche Änderungen in den Temperaturprofilen und den transportierten Wärmemengen. Auch durch Alterung oder Schädigung der feuerfesten Werkstoffe ergeben sich weitere Einflüsse, die mit Hilfe der Signale der Temperatursensorik erkannt werden können.

Damit eignet sich die Temperatursensorik nicht nur zur Ermittlung der - vorgegebenen bzw. der sich im Betriebsablauf einstellenden - Systemeigenschaften der Platten, sondern auch zur Dokumentation der Belastungen und der Alterung der feuerfesten Zustellung.

### **3. Testfelder im Feuerraum einer MVA**

In einem ersten Schritt wurde an einer MVA im April 2016 an der rechten Seitenwand im Feuerraum ein ca. 8 m<sup>2</sup> großes Testfeld inkl. Temperatursensorik installiert. Die Ausführung der installierten Sensorik ist in Bild 1 dargestellt.

Ein weiteres Feld mit hinterlüfteten Platten in der gleichen Ausführung wurde im September 2018 an der linken Seitenwand eingebaut (Bild 6).

Für den beteiligten Marktteilnehmer aus dem Bereich Feuerfestbau und für den Betreiber der MVA waren folgende Interessen bzw. Erwartungen relevant, das erste Testfeld (April 2016) zu installieren:

- Es liegt eine hohe thermische Belastung im Feuerraum vor, die zu schmelzartig abfließender Verschlackung führt und damit besondere Anforderungen an die feuerfeste Auskleidung stellt (Bild 3).

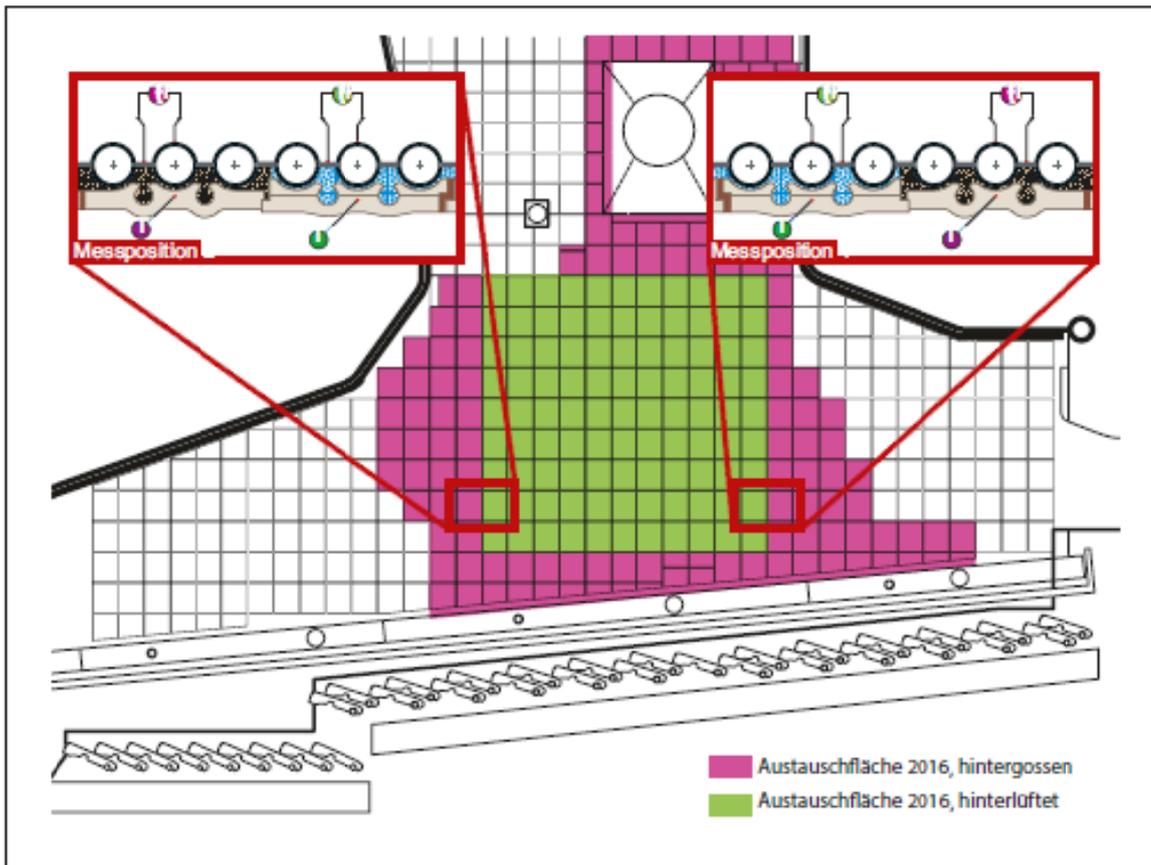


Bild 1: Installationsskizze des Plattentestfeldes an der rechten Seitenwand mit Positionen und Details der installierten Sensorik

- Die bisher eingesetzten feuerfesten Systeme zeigen geringe Standzeiten. Die dahinterliegende Rohrwand wird durch korrosive Abzehrung und Schäden durch Ausbruchsarbeiten belastet (Bild 4).
- Zwei alternative Feuerfestsysteme sollen getestet werden.
- Die Begleitung der Testfelder durch Temperatursensorik soll die hohen thermischen Belastungen (und deren Schwankungen) in den Feuerfestsystemen aufzeigen und die jeweiligen Systemeigenschaften ermitteln.
- Zudem soll das Wärmeübertragungsverhalten der beiden getesteten Plattensysteme mittels Temperatursensorik ermittelt werden.
- Erwartung: Das hinterlüftete System ermöglicht eine einfachere/schnellere Instandhaltung (weniger Schlagschäden, vgl. dazu auch Bilder 4 und 5).
- Erwartung: Das hinterlüftete System bietet einen besseren Korrosionsschutz (Bild 5).

Für dieses Testfeld lassen sich nach ca. 2,5 Jahren Betrieb die vorliegenden Befunde wie folgt zusammenfassen:

- Die Messwerte der Temperatursensorik zeigen eine hohe thermische Belastung der Platten in der Hauptbrandzone. Zudem erfahren die Platten in diesem Bereich eine stark dynamische Belastung mit teilweise hohen Temperatursprüngen (Bild 2).
- Sowohl auf den hinterlüfteten als auch auf den hintergossenen Platten bildet sich über eine Betriebsphase von etwa sechs Monaten ein ähnliches Belagsbild aus (Bild 3).

- In den thermisch am höchsten belasteten Bereichen mit starkem Schlackefluss ist ein Austausch der Platten nach sechs Monaten Reisezeit notwendig. Dies gilt gleichermaßen für das hintergossene und das hinterlüftete System.

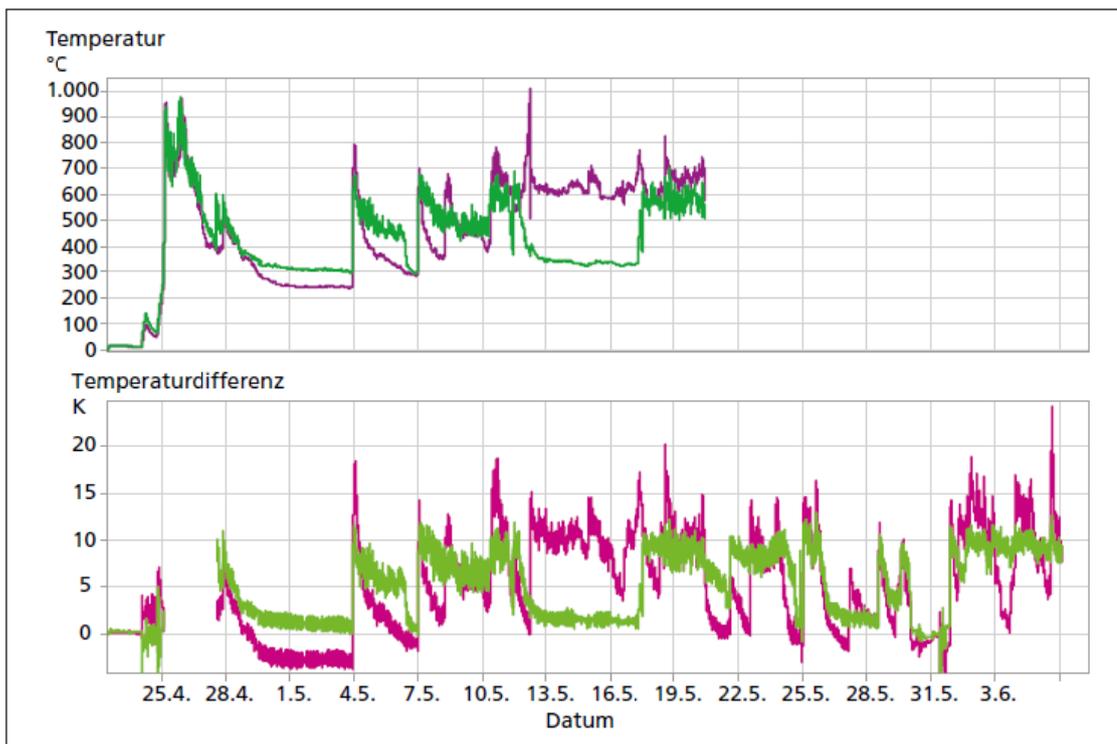


Bild 2: Verlauf der Temperatur-(oben) und Temperaturdifferenzmessungen (unten) im Bereich der hinterlüfteten (grün) und der hintergossenen (violett) Platte über die Zeit, Messposition 1 an der RSW. Es ist deutlich die stark schwankende und sehr hohe thermische Belastung der Zustellung in diesem Bereich zu erkennen. Nach etwa vier Wochen Betriebszeit kam es zum Ausfall der in den Platten installierten Temperaturmessungen. Anhand der auf der Kesselaußenseite installierten Differenztemperaturmessung ist aber der weitere Verlauf der Belastung eindeutig zu erkennen

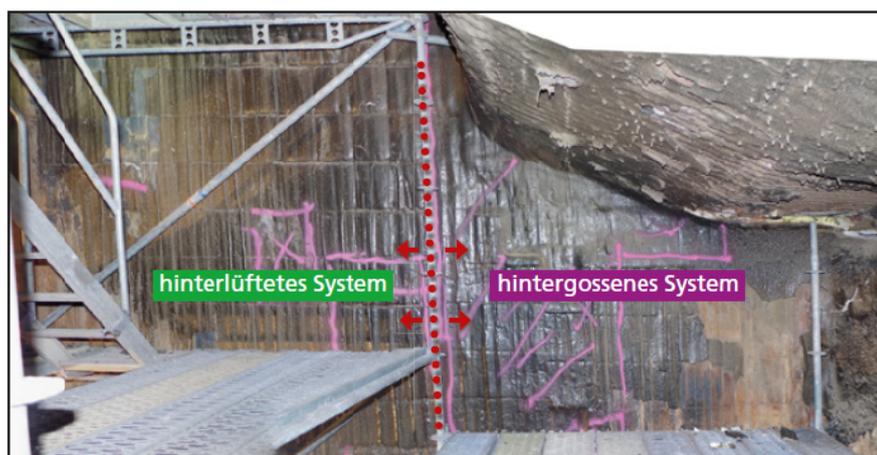


Bild 3: Schlackebelag auf der Plattenzustellung im Feuerraum nach etwa sechs Monaten Betrieb, der Übergang zwischen den beiden Systemen (hinterlüftet/hintergossen) ist im Belagsbild nicht zu erkennen

- Es bestätigen sich die erwarteten Vorteile des hinterlüfteten Systems gegenüber dem hintergossenen Plattensystem hinsichtlich des Korrosionsschutzes und der einfacheren/schnelleren Austauschbarkeit.
- Die ermittelten Daten der Temperatursensorik weisen auf eine geringere Unterschiedlichkeit im Wärmeübertragungsverhalten der beiden Plattensysteme hin als erwartet. Vor allem durch die Belagsbildung wird der Wärmeübergang für beide Systeme stark gedämpft und angeglichen.



*Bild 4: Zustand der Rohrwand nach Ausbruch der Plattenzustellung an der RSW im Bereich der hintergossenen Platten: Es ist ein Korrosionsangriff auf die Rohrwand zu erkennen, zudem kam es beim Ausbruch der Platten zur Schädigung der Rohrwand (Schlagschäden)*



*Bild 5: Rohrwand nach Ausbruch der Plattenzustellung im Bereich der hinterlüfteten Platten. Die ermittelten Wanddicken vor und nach der ersten Betriebsphase mit hinterlüfteten Platten zeigen, dass keine weitere korrosive Abzehrung der Rohrwand stattgefunden hat*

Aufgrund der positiven Befunde aus der ersten Testphase von etwa zwei Jahren (mit vier Stillstandsbewertungen) wurde das zweite Testfeld an der linken Seitenwand im September 2018 eingebaut. Der Einbau wurde genutzt, einen erweiterten Umfang der Temperatursensorik, insbesondere mit jeweils zwei Thermo-Elementen pro Platte, zu installieren (Bild 6).

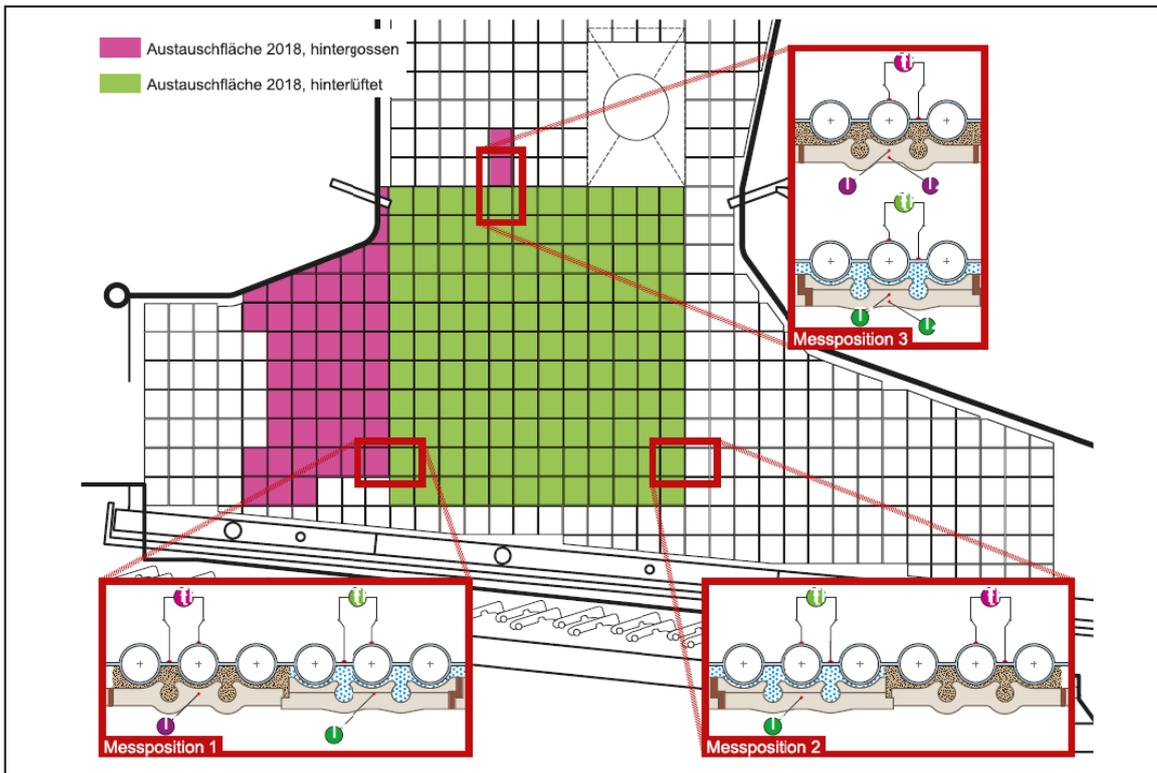


Bild 6: Installationsskizze des Plattentestfeldes an der linken Seitenwand mit Positionen und Details der installierten Sensorik

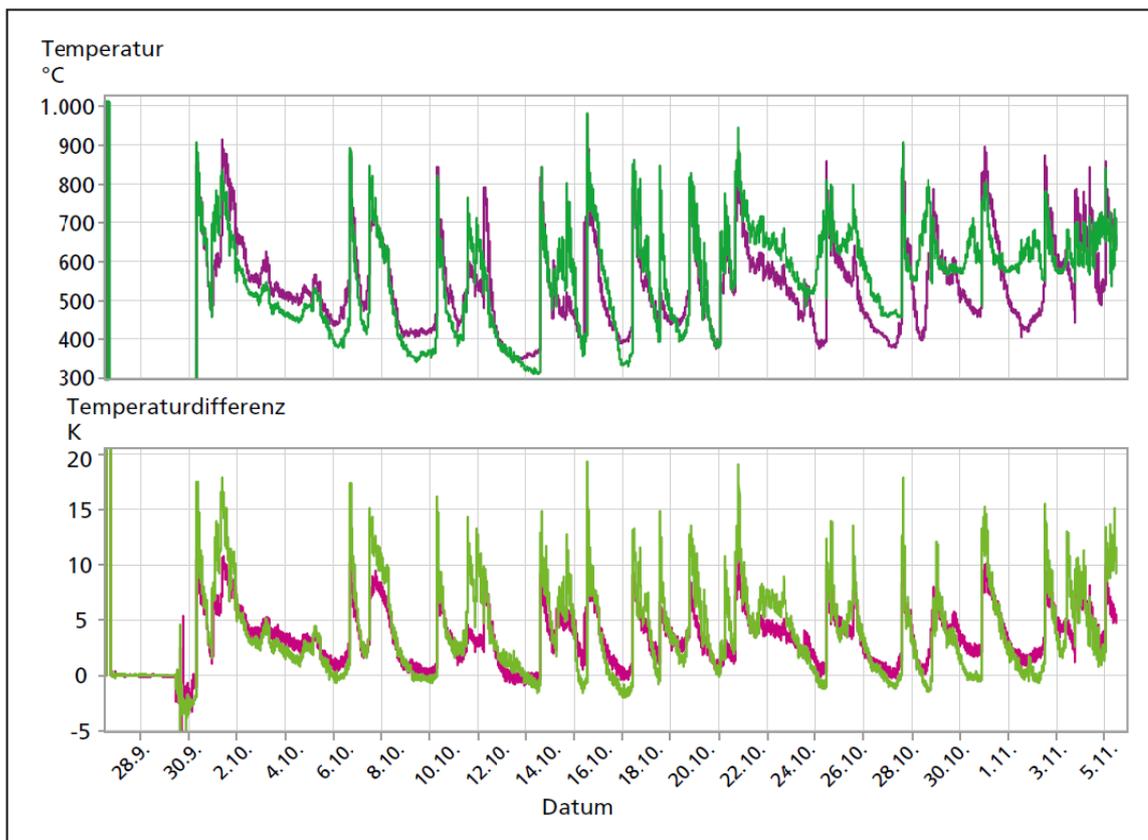


Bild 7: Verlauf der Temperatur- (oben) und Temperaturdifferenzmessungen (unten) im Bereich der hinterlüfteten (grün) und der hintergossenen (violett) Platte über die Zeit, Messposition 1 an der LSW. Es ist deutlich die stark schwankende und sehr hohe thermische Belastung der Zustellung in diesem Bereich zu erkennen

Die bisher vorliegenden Daten aus diesem Testfeld (Bild 7) zeigen die bereits aus dem ersten Testfeld bekannten Effekte der starken thermischen Belastung und der entsprechenden Schlackebelagsbildung (und Ablösung).

Anhand der Datenbefunde der im September 2018 installierten Temperatursensorik an der Messposition 3 (Bild 6) wurden FEM-Modellierungen zum Wärmeübertragungsverhalten und zu den Systemeigenschaften der beiden Plattensysteme beispielhaft durchgeführt. Diese Modellierung und die daraus ableitbaren Befunde werden im nachfolgenden Kapitel näher erläutert.

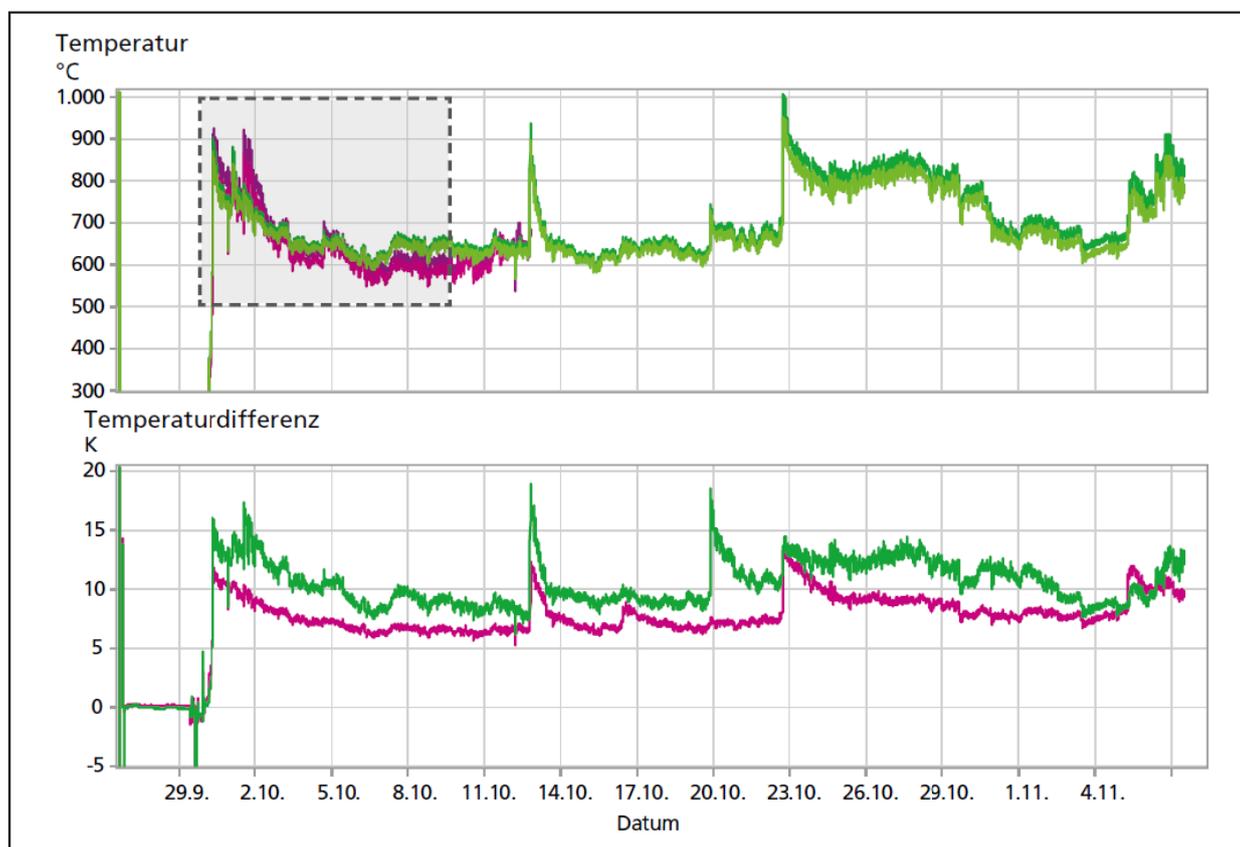


Bild 8: Verlauf der Temperatur- (oben) und Temperaturdifferenzmessungen (unten) im Bereich der hinterlüfteten (grün) und der hintergossenen (violett) Platte über die Zeit, Messposition 3 an der LSW. Anhand der Temperaturverläufe ist die Belagsbildung (und Ablösung) zu erkennen. Für die FE-Modellierung wurden Werte aus dem markierten Zeitraum gewählt (siehe Bild 9)

## 4. Modellierung der im Testfeld eingesetzten Feuerfestsysteme

### 4.1. Grundlagen der Modellierung

In den nachfolgenden Modellberechnungen wird die Wärme mittels Strahlung auf das jeweilige Feuerfestsystem aufgeprägt. Die so übertragene Wärme wird im Falle eines ideal verbundenen Wandaufbaus mittels Wärmeleitung weiter zur Rohrrinnenfläche transportiert und dort über Konvektion an das Wasser-Dampf-Gemisch übertragen. Besteht zwischen den einzelnen Werkstoffen ein Spalt, so wird die Wärme zwischen den Werkstoffen über Strahlung übertragen. Dadurch ergeben sich Unterschiede zwischen der Wirklichkeit und dem Modell, da in Wirklichkeit die Wärme nicht nur über Strahlung, sondern auch über Wärmeleitung und Konvektion übertragen wird und die gesamte Wärmeübertragung von den Eigenschaften aller im Wandaufbau verwendeten Materialien und deren geometrischen Abmessungen abhängig ist. Diese wurden

aus den technischen Zeichnungen, den Materialdatenblättern des Herstellers sowie der einschlägigen Literatur entnommen.

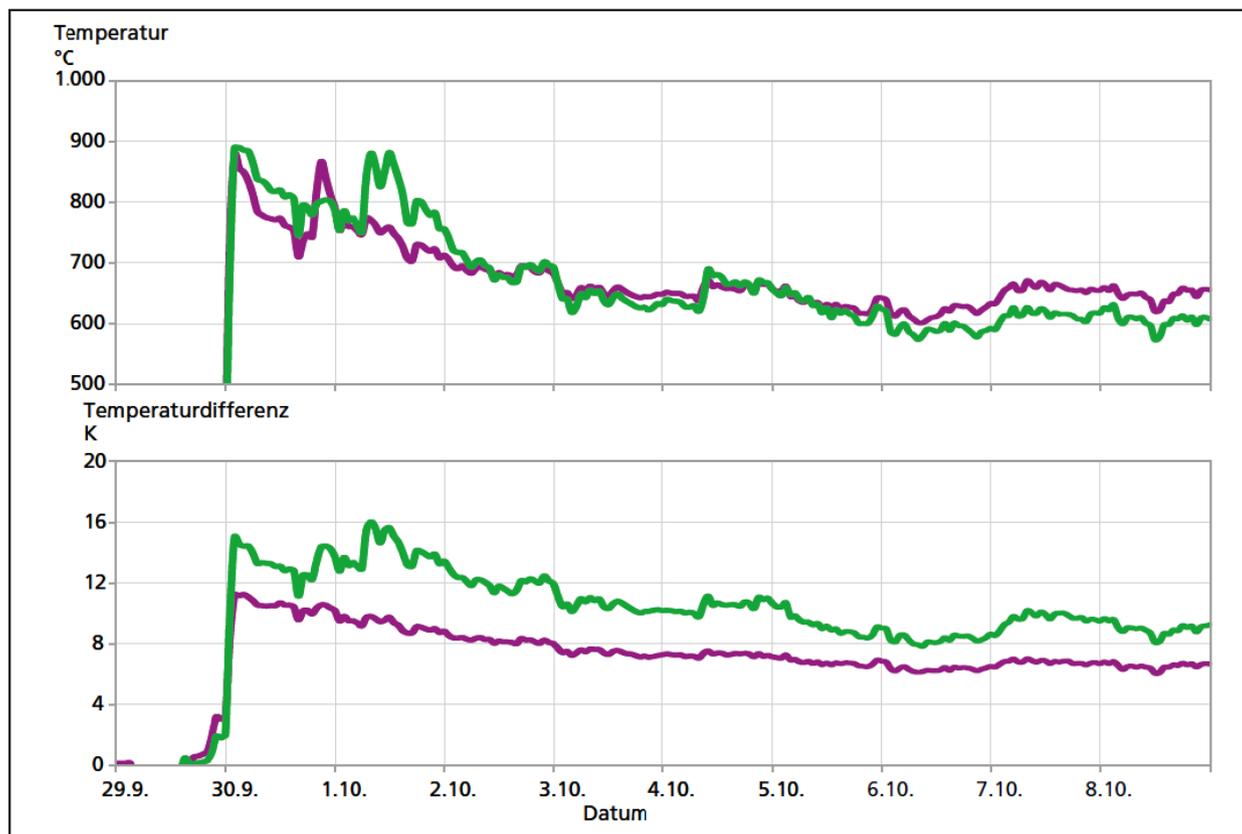


Bild 9: Gemessene Plattentemperaturen (oben) und Temperaturdifferenzen (unten) am hintergossenen System (violett) und hinterlüfteten System (grün) über die Zeit

Bild 9 zeigt die gemessenen Plattentemperaturen (Ordinate 500 bis 1000 °C) der hinterlüfteten Platte (grün) und der hintergossenen Platte (violett) und die jeweils dazu korrespondierende Temperaturdifferenz zwischen dem Rohrsteig und dem kesselhausseitigen Rohrscheitel (Ordinate 0 bis 20 K). Dabei fällt auf, dass die Temperaturen beider Plattensysteme ähnlich hoch beginnen und im unverschmutzten Zustand zeitweise bei etwa 900 °C liegen und erst mit zunehmender Verschmutzung voneinander abweichen und Werte von etwa 625 °C (hinterlüftete Platte) und 675 °C (hintergossene Platte) annehmen. Im Gegensatz dazu fällt auf, dass die Temperaturdifferenzen beider Systeme auf der Kesselaußenseite durchgehend voneinander abweichen. Die Temperaturdifferenzen des hintergossenen Systems reichen von ca. 6 K im verschmutzten bis hin zu ca. 11,5 K im unverschmutzten Zustand. Beim hinterlüfteten System liegt dieser Bereich bei ca. 8 bis 18 K. Dies sind die Temperaturverhältnisse, die es im Modell nachzubilden gilt.

#### 4.2. Modellierungsergebnisse

Wird auf die verschiedenen Systeme die gleiche Last aufgeprägt und den Modellen die gleichen Eigenschaften zugewiesen (Emissionskoeffizienten, temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeiten, etc.), dann ist folgendes anhand der Modelle abzulesen (Bild 10):

- Die übertragene Wärmemenge beim hintergossenen System ist höher als beim hinterlüfteten System.

- Für den Fall, dass die modellierten Temperaturen am hinterlüfteten Plattensystem mit den gemessenen in Einklang gebracht werden, sind beim hintergossenen System die modellierten Temperaturen um mehrere hundert Grad Celsius zu niedrig. Für die Temperaturdifferenzen zwischen der Stegmitte zum Rohrscheitel auf der Kesselaußenseite gilt das Gleiche, sie sind tendenziell zu niedrig im Vergleich zu den gemessenen Temperaturen.

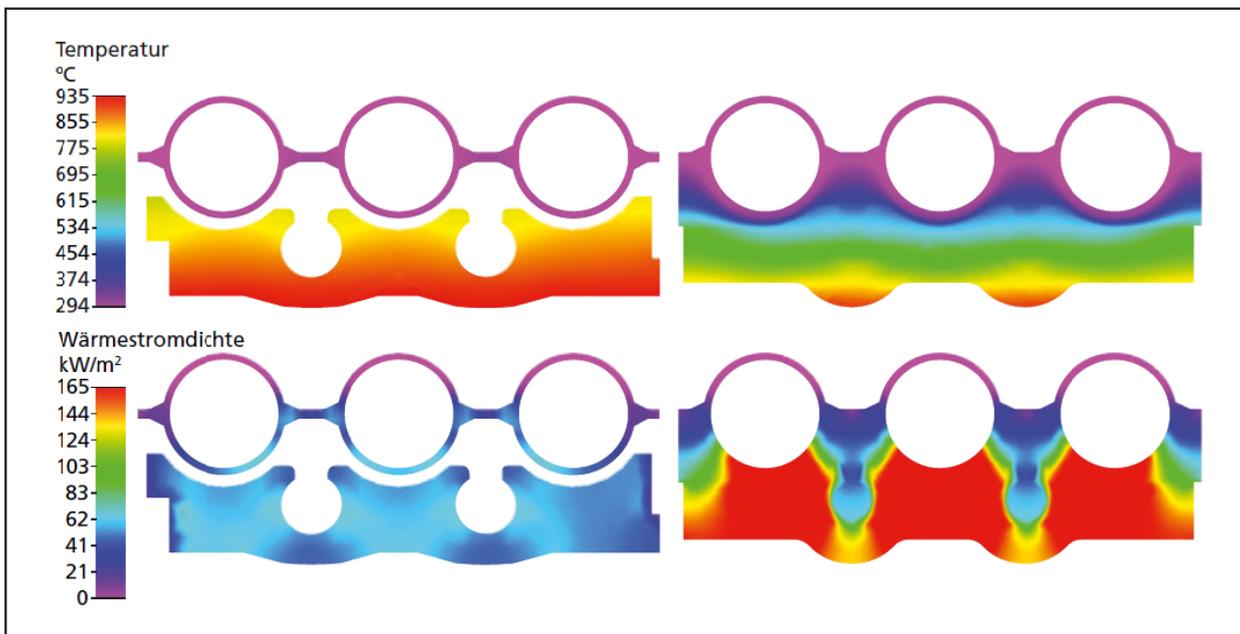


Bild 10: Beispielhafte Temperaturverteilung (oben) und Wärmestromdichteverteilung (unten) beim hinterlüfteten (links) sowie dem hintergossenen Plattensystem (rechts) bei gleicher Lastaufprägung

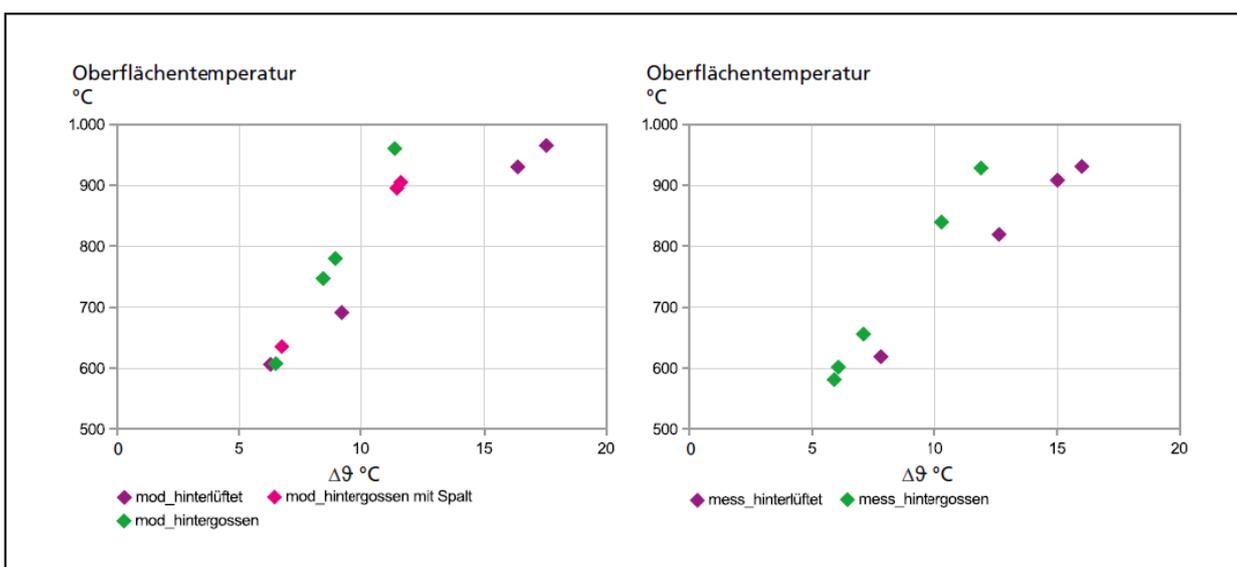


Bild 11: Extrapolierte, gemessene Plattenoberflächentemperaturen (links), modellierte Plattenoberflächentemperaturen in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz auf dem kesselhausseitigen Rohrscheitel und der Stegmitte (rechts)

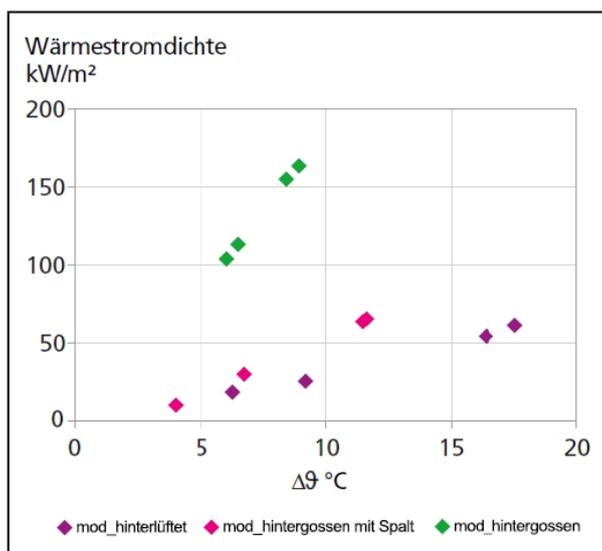


Bild 12: Übertragene Wärmestromdichte zu den in Bild 11 (rechts) modellierten Temperaturen

Um die so ermittelten Temperaturunterschiede zwischen gemessenen und modellierten Temperaturen beim hintergossenen System in den Modellrechnungen zu minimieren, gibt es zwei Möglichkeiten:

- Die übertragene Wärmemenge um etwa 20 % auf etwa 230 kW/m<sup>2</sup> zu erhöhen oder
- einen Spalt zwischen den einzelnen feuerfesten Werkstoffen anzunehmen (Bild 11).

Während die erste Möglichkeit bedeutet, dass dann die gemessenen und modellierten Temperaturen beim hinterlüfteten System nicht mehr zueinander passen, weil eine höhere Wärmelast aufgeprägt wird, bedeutet Möglichkeit zwei, dass sich die modellierten Temperaturen bei gleicher Wärmelast den gemessenen Temperaturen annähern.

Bild 11 zeigt die Modellierungsergebnisse verschiedener Lastfälle in Form eines Punktdiagramms und im Vergleich dazu die gemessenen, auf die Plattenoberfläche extrapolierten Temperaturen sowohl für die in Bild 10 dargestellten Modelle als auch eines zusätzlichen Modells, bei dem im Modell zwischen Platte und Hintergießbeton ein Spalt von einem Millimeter oberhalb der Rohre realisiert worden ist. In diesem Modell ist im Stegbereich die Wärmeleitung über den Hintergießbeton weiterhin gegeben.

### 4.3. Befund der Modellierung

Mit den im Modell ideal verbundenen Werkstoffen aus SiC-Platte, Hintergießbeton und Rohr sind die gemessenen Plattentemperaturen von über 900 °C, ohne die Wärmelast auch beim hinterlüfteten System zu erhöhen, nicht zu erklären. Erst mit einem neuen Modell, bei dem die reine Festkörperwärmeleitung durch einen Spalt unterbunden wird, sind höhere Plattentemperaturen bei gleichzeitigem Anstieg der Temperaturdifferenz auf der Kesselaußenseite möglich.

Eine Einschätzung darüber, wie viel Wärme im Vergleich zwischen beiden Systemen effektiv übertragen wird, ist in Bezug auf die aktuell verfügbare Datenlage nicht möglich, auch wenn dies anhand Bild 10 erst einmal möglich erscheint. Jedoch müsste dazu noch näher untersucht werden, was für ein Spalt sich entwickelt. Es ist denkbar, dass Teile der Platte noch Kontakt zum Hintergießbeton haben, was einen großen Einfluss auf den übertragenen Wärmestrom pro Platte haben kann.

## 5. Ausblick

Aus Sicht der Autoren ist eine möglichst detaillierte Auswertung der Temperatursensorik-Daten sinnvoll, insbesondere unter Einbeziehung verschiedener Betriebszustände, um das Wärmeübertragungsverhalten der Platten, die Auswirkungen der Verschmutzung bzw. Abreinigung und die Systemeigenschaften der feuerfesten Zustellung einschätzen zu können. Auf Grundlage dieser Informationen kann die Art und das Design einer feuerfesten Zustellung besser gewählt werden.

Der Einsatz dieser Sensorik in anderen Bereichen der Strahlungszüge, insbesondere an Positionen mit Systemübergängen (z. B. Platten / gecladdete Rohrwand, Zustellungsbereiche ohne Schlackefluss, Bereiche mit online-Reinigung) kann gleichfalls für Entscheidungen zu Art und Design der dort applizierten Schutzschichten bzw. online-Reinigungen hilfreich sein.

Die vorliegenden Erkenntnisse aus den durchgeführten Messungen, Auswertungen und Modellierungen, in Verbindung mit den Befunden aus der Zustandsbewertung während der Revisionen, lassen Ansatzpunkte für eine Trennung der Aufgabenstellung Korrosionsschutz und Wärmemoderation erkennen. Hier ist beispielsweise eine Kombination aus Cladding und speziell angepassten keramischen Platten denkbar. Ziel einer solchen Ausführung wäre es, die Vorteile der metallischen und keramischen Schutzschichten zu kombinieren.

## 6. Literatur

- [1] Beckmann, M., Krüger, S., Spiegel, W., Magel, G.: Online-Bestimmung des Wärmestromes auf Membranverdampferwände von Dampferzeugern. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. und Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2007, S. 641-658
- [2] Brell, J., Kaiser, M., Schneider, D., Hohmuth, S., Taubner, S.: Temperatursensorik an realen und temporär eingebauten Bauteilen in Dampferzeugern mit schwierigen Brennstoffen. In: VGB PowerTech, Ausgabe 6/2017, S. 33-36
- [3] Brell, J., Kaiser, M., Schneider, D., Taubner, S.: Prozessdiagnose und -optimierung mit Sonden und Sensoren. In: VGB-Fachtagung „Thermische Abfallverwertung und Wirbelschichtfeuerungen 2016“, Berlin
- [4] Krüger, S.: Wärmestromdichtemessung an Membranwänden von Dampferzeugern. Diss. Technische Universität Dresden, Mai 2009
- [5] Magel, G., Spiegel, W.: An- und Abfahrvorgänge – eine Herausforderung für feuerfeste Auskleidungen. In: Thomé-Kozmiensky, K.J., und Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 13, Neuruppin: TK Verlag, 2016, S. 223-240
- [6] Spiegel, W., Brell, J., Taubner, S.: Temperatursensorik: Neue Wege zur Prozessoptimierung. In: Pohl, M. (Hrsg.): Dampferzeugerkorrosion 2015, Wechselwirkungen - Diagnosemethoden - Minderungsstrategien - Erfahrungen, Freiberg: SAXONIA Standortentwicklungs- und verwaltungsgesellschaft mbH, 2015, S. 41-50