

**Brell, J.; Kaiser, M.; Schneider, D.; Hohmuth, S.;  
Taubner, S. (2017):**

**Temperatursensorik an realen und temporär eingebauten  
Bauteilen in Dampferzeugern mit schwierigen Brennstoffen.**

In: VGB PowerTech, Ausgabe 6/2017, S. 33-36

## **Temperatursensorik an realen und temporär eingebauten Bauteilen in Dampferzeugern mit schwierigen Brennstoffen**

Joos Brell, Marie Kaiser, Dominik Schneider, Sabine Hohmuth, Stephan Taubner

CheMin GmbH, Augsburg

### Kurzfassung

Einerseits wird Sensorik ein immer wichtigerer Bestandteil moderner Prozessführung in Kraftwerken. Andererseits stellt der Einsatz schwieriger Brennstoffe - Stichworte hierzu sind Abfall, Ersatzbrennstoff, Biomasse, Altholz, Mitverbrennung - zunehmend hohe Ansprüche an den Betrieb der Kraftwerke, insbesondere auch an die Komponenten Feuerung und Dampferzeuger. In Summe aus beiden Entwicklungen ist es vorteilhaft, möglichst viele Informationen zu den Prozesseigenschaften sensorisch abzugreifen, um moderne, optimierte und leistungsstarke Anlagen betreiben zu können, die u.a. auch den thermo-chemischen Herausforderungen in der Prozessführung gerecht werden. Meist geht es in diesem Zusammenhang um Fragen zu Korrosion und Verschmutzung.

Der vorliegende Beitrag beschreibt die Erfahrungen der CheMin GmbH bei der Entwicklung und Anwendung von Sensorik zur Ermittlung von Temperaturen und Temperaturverteilungen auf Werkstoffoberflächen von Bauteilen und deren Bedeutung für Fragen zur werkstofflichen oder betrieblichen Bauteiloptimierung.

Neben dem Einsatz dieser Temperatursensorik an realen Bauteilen (Feuerung, Verdampfer, Überhitzer, ECO, LUVVO etc.) werden nachfolgend auch Anwendungen an temporären Bauteilen beschrieben. Letztere werden als Sondenkörper für ein definiertes Zeitfenster im Dampferzeuger installiert, um Fragen zur Ursache und zu Mechanismen von Korrosion und Verschmutzung beantworten zu können.

## **Sensor Technology on existent and temporary used Components in Steam Generators with difficult Fuels**

### Abstract

On the one hand, sensor technology is becoming a more and more important part in operating modern power plants. On the other hand, the use of difficult fuels – keywords for this are waste, RDF, biomass, waste wood, co-firing – is increasing the challenges for operating power plants, especially for the components firing and boiler. In summary, in both developments it is an advantage to tap into as much information as possible about the processes by using sensor technology. In this way it is possible to operate modern, optimized and productive plants, which are also capable of dealing with thermo-chemical challenges in their operation. In this context the main questions revolve around corrosion and fouling.

The following paper describes the experience of CheMin GmbH in the development and application of sensor-system-technology in the study of temperatures and temperature ranges on material surfaces of structural components and their significance for questions relating to material or operational optimization of structural components.

Besides using this temperature-sensor-system on existent components (firing, evaporator, superheater, economizer, air preheater etc.) it can also be used in probes, which imitate structural components. These probes are set up and removed in boilers for a defined period of time, in order to answer questions about the cause and the mechanisms of corrosion and fouling.

### **Neue Temperatursensorik: Das Temperature-Sensor-System**

Für das Temperature-Sensor-System kommen leicht installierbare Thermoelemente zur Anwendung, die einzeln oder im Verbund von mehreren Messorten ein Sensorsystem ergeben, das Absoluttemperaturen misst und/oder Temperaturdifferenzen zwischen Messorten auf metallischen Werkstoffoberflächen. Eine darauf abgestimmte Datenerfassung, Datenfernübertragung und Datenauswertung gehören ebenfalls zum Sensorsystem.

Die eingesetzten Thermoelemente erlauben eine punktuelle Messung, weisen geringe beteiligte Massen auf (minimale Rückwirkung zwischen Messtechnik und Messobjekt), haben geringe Totzeiten bei Temperaturänderung und sind ausreichend geschützt gegen thermische oder mechanische Belastung.

Das Design des Sensorsystems erfolgt pro Anwendungsfall. Die Festlegung, wie viele Messstellen für die gegebene Fragestellung notwendig sind und in welcher Anordnung diese Messstellen zueinander liegen, ergibt sich aus den Anforderungen, d.h. die jeweilige Fragestellung ergibt ein individuelles Design. Mit diesem Schritt wird aus Temperaturmessungen ein Sensorsystem.



Abb. 1: Schnitt durch eine Aufsweißung eines Thermodrahtpaares (Oberfläche geätzt). Diese Art der Installation ergibt eine ideale Verbindung zum Grundwerkstoff (kein Spalt) und nahezu keine Wärmeinflusszone am Grundwerkstoff (<0,1 mm). Es ist sichergestellt, dass eine exakte Messung der Materialtemperatur erfolgt.

Die bisher installierten Anwendungen und die daraus gewonnenen Erfahrungen mit dieser Temperatursensorik zeigen, dass ein breites Nutzungspotential vorliegt [1, 2, 3, 8, 9]. Dies ist insoweit ein innovativer Schritt, da die bisher übliche Installation und Handhabung von Temperaturmessungen an Wärmetauscherflächen in Kraftwerken vergleichsweise aufwändig und fehleranfällig war. Mit den nun verfügbaren Möglichkeiten lassen sich nahezu beliebige Positionen im Kraftwerk erreichen.

Die nachfolgend aufgeführten Beispiele zeigen exemplarisch die Anwendungsmöglichkeiten dieser Temperatursensorik auf dem Gebiet der Bauteildiagnose und der Bauteilüberwachung auf, sowie die Anwendung in temporär eingebauten Sonden.

### **Temperatursensorik zur Bauteildiagnose**

In Bezug auf die Funktion von Berührungsheizflächen ergeben sich immer wieder Fragestellungen, z.B.: Ist die Durchströmung gleichmäßig? Ist die Wärmebeaufschlagung gleichmäßig? Ist das Bauteil überdimensioniert? Die üblicherweise installierten Temperaturmessungen (im Dampfmassenstrom; im Rauchgasstrom) erlauben hierzu keine detaillierte Betrachtung. Hier tragen auf dem Bauteil verteilte Temperaturmessungen zu wesentlich besseren Informationen bezüglich des Bauteilverhaltens

bei und bieten zudem eine Grundlage zur Bauteilbilanzierung, sowie zur Überprüfung von Berechnungsmodellen.

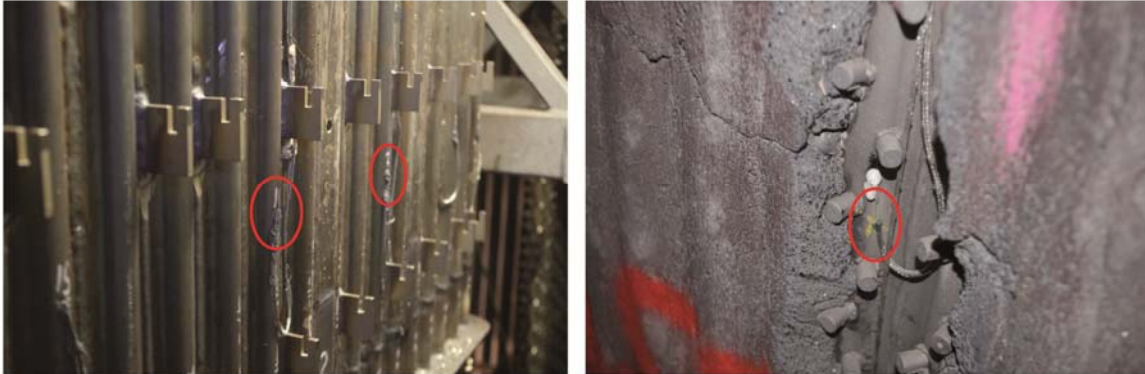


Abb. 2: Installation von Temperaturmessungen an Rohrwänden im Bereich von Feuerfestzustellungen (links: Plattenzustellung; rechts: SiC-Massenzustellung mit Stiften und Hütchen). Aufpunktungen siehe Markierungen.

In Bezug auf Verdampferheizflächen ergeben sich weitere, im Vergleich zu Berührungsheizflächen auch andersartige Anwendungsmöglichkeiten der Temperatursensoren. So lassen sich z.B. durch höhengleich installierte Temperaturdifferenzmessungen Schief lagen in der Rauchgasströmung erkennen. Oder es kann durch mehrere Temperaturmessstellen entlang eines Rohres einer Verdampferwand das Naturumlaufverhalten betrachtet werden. Oder es lässt sich durch mehrere Temperaturdifferenzmessungen auf einer Verdampferwand die Wirkung von online-Reinigungsverfahren erkennen, steuern und ggf. optimieren.

### **Temperatursensorik zur Bauteilüberwachung**

Auf dem Gebiet der keramischen Schutzschichten (Platten, Steine, Massen) und deren Halterungen ergeben sich - aufgrund von Alterung bzw. Schädigung - häufig Fragestellungen zu den Temperaturmilieus. Dies betrifft die reversible Dehnung der Werkstoffe und die damit verbundenen Dehnspannungen, sowie deren Belastung durch die aufgeprägte Wärmemenge. Die Thermolemente können zielgenau z.B. auf die Spitze der Halterung aufgepunktet werden, oder auch in Bohrungen in der keramischen Platte fixiert werden.

Durch die Sensorik lassen sich thermische Belastungen und Veränderungen im Wandaufbau (z.B. Ablösen der Platten von der Membranwand etc.) erkennen, sowie auch das Ausmaß der Verschmutzung/Verschlackung. Sonderzustände, wie z.B. An- und Abfahrprozesse können so gesteuert werden, dass es zu keinen unzulässigen Dehnspannungen in den Werkstoffen kommt [4].

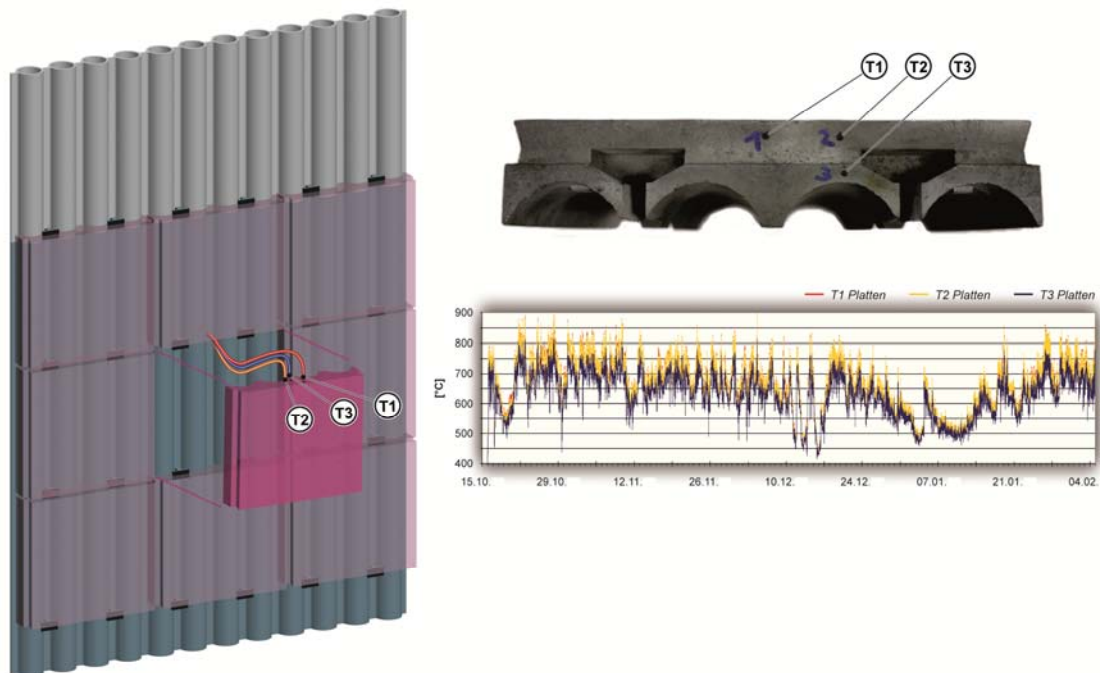


Abb. 3: Installation von Thermoelementen in einer hinterlüfteten Platte mit Messdaten aus den ersten 16 Wochen Betrieb nach Wiederanfahren der Anlage.

Bei hochbelasteten Bauteilen, z.B. Strahlungsüberhitzer, erfüllt die Temperatursensorik nicht nur die Funktion der Beobachtung des Bauteilverhaltens, sondern kann auch als Bauteilüberwachung genutzt werden. So lässt sich z.B. sofort der Ausfall der Spülluft erkennen. Darüber hinaus eignen sich die Messwerte der Temperatursensorik bei entsprechender Positionierung der Messstellen zum Nachweis der Einhaltung bestimmter Temperaturgrenzen gegenüber Genehmigungsbehörden z. B. bei einer dauerhaften Anhebung der Kessellast.

Die auf Bauteilen installierten Temperaturmessungen können auch als Frühindikatoren für Korrosionsprozesse bzw. zur Erfassung lokaler Unter- oder Überschreitung von Grenztemperaturen von Korrosionsprozessen, z.B. bei instationären Betriebszuständen, genutzt werden (Taupunktkorrosion, Salzsäurekorrosion etc.) [3, 5, 6, 7].

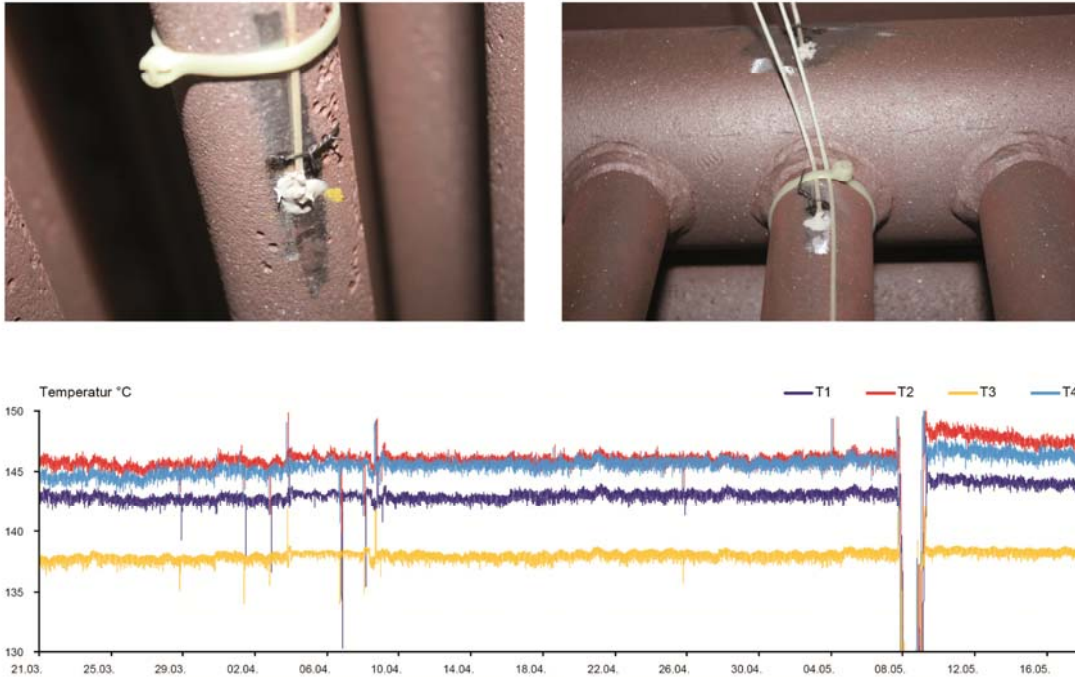


Abb. 4: Thermoelemente auf ECO-Rohren. Kontinuierliche Temperaturmessungen von T1 (Oberflächentemperatur ECO-Rohr unten = ECO-Eintritt), T2 (Oberflächentemperatur ECO-Rohr oben), T3 (Speisewasserzuleitung vor dem ECO) und T4 (Oberflächentemperatur auf dem Sammler), ohne Anfahrbetrieb. Es sind keine betrieblichen Anomalien erkennbar.

### **Temperatursensorik in temporären Bauteilen (Sonden)**

Aus Untersuchungen an korrosionsbelasteten Dampferzeugern ist bekannt, dass sich in der Regel aus Art und Umfang der Schädigung die spezifisch für den Standort und das Bauteil geeigneten Schutzmaßnahmen ableiten lassen. Dies hat zu der Überlegung geführt, Schädigungen gezielt zu provozieren, um Korrosionsmechanismen und –ursachen so frühzeitig zu erkennen, dass rechtzeitig Abwehrmaßnahmen für den Kessel oder das Bauteil ergriffen werden können. Der Gedanke ist also, Schäden gar nicht erst entstehen zu lassen, sondern anhand zusätzlicher Bauteile, die vorübergehend in Form von Sonden als Wärmetauscherflächen in den Kessel eingebunden werden, Korrosionswirkungen aufzubauen und diese dann - analog zu einer Schadensprobe - zu untersuchen, um Korrosionsmechanismen und –ursachen und das Verhalten des jeweils eingesetzten Werkstoffs kennen zu lernen [1, 2, 7].

Diese vorübergehend eingebrachten Wärmetauscherflächen wurden von der CheMin GmbH entwickelt, patentiert und werden als Temperature-Range-Probe (TRP) bezeichnet [2, 7, 10].

Spezifisches Merkmal der TRP ist, dass die Werkstofftemperatur in einem gewünschten Bereich durch den Einsatz von Temperatursensorik variabel gehalten wird (Temperature-Range).

Jede TRP stellt ein Unikat dar und wird in der Regel einmal eingesetzt und dann zerstörend untersucht. Die TRP besteht grundsätzlich aus den drei nachfolgend beschriebenen Komponenten die individuell ausgewählt und maßgeschneidert angeordnet und zusammengebaut werden.

*Testrohr:* Das Testrohr besteht aus dem zu testenden Werkstoff mit oder ohne Schutzschicht. Die Maße (Durchmesser und Wanddicke) des Rohres sollten dabei optimalerweise dem realen Kesselrohr entsprechen, um die Prozesse im jeweiligen Wärmetauscher (Strömung, Wärmedurchgang etc.) so realitätsnah wie möglich abzubilden. Die Länge des Testrohres ist frei wählbar und abhängig von Einbauposition und -zweck. Üblicherweise liegt die Sondenlänge zwischen einem und drei Metern.

*Kühlrohr:* Das Testrohr wird von außen vom Rauchgas aufgeheizt. Um dem Testrohr einen Temperaturgradienten aufzuprägen wird dieses gekühlt. Hierfür wird in das Testrohr ein Innenrohr (=Kühlrohr) eingebaut. Je nach Anforderung wird das Kühlrohr ausgeführt und verbaut.

*Temperatursensorik:* Zur Erfassung und Regelung des aufgeprägten Temperaturgradienten werden auf der Innenseite des Testrohres Thermoelemente aufgebracht. Die Anordnung und Verteilung der Thermoelemente kann hierbei sowohl axial als auch um den Umfang frei gewählt werden.

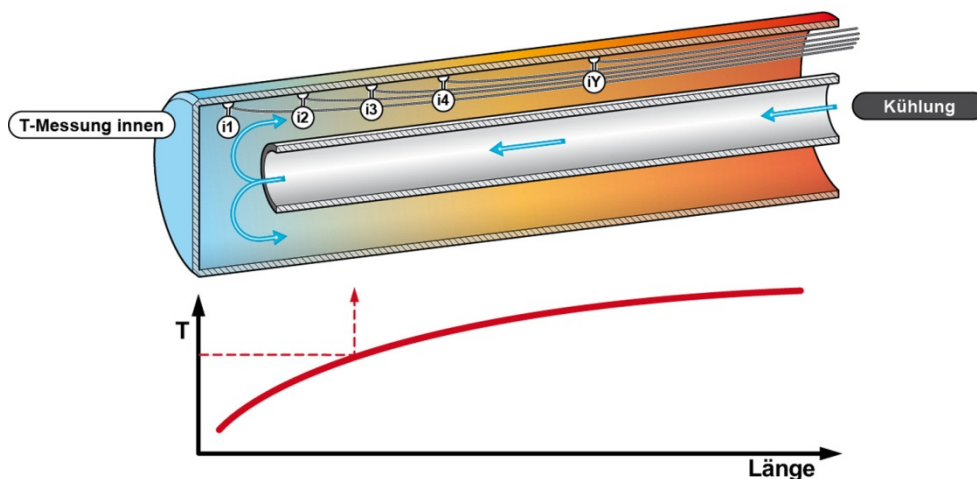


Abb. 5: Aufbau und Funktionsprinzip der Temperature Range Probe (TRP).

Die Sonde wird durch das Rauchgas aufgeheizt und mittels Druckluft über das Innenrohr von vorne nach hinten gekühlt. Es bildet sich somit ein Temperaturgradient auf



der Sonde. Die Temperaturen werden über den gesamten Testzeitraum durch die eingebaute Temperatursensorik erfasst.

Die TRP wird üblicherweise während des Betriebes des Kraftwerks ein- und ausgebaut. Es ist jedoch auch möglich, die Sonde im Stillstand ein- bzw. auszubauen um An- bzw. Abfahrprozesse mit abzubilden. Der Einsatz der Sonde bietet somit maximale Flexibilität hinsichtlich des Testzeitpunktes und -zeitraumes. Die Installation der TRP kann in nahezu allen Bereichen des Kraftwerks stattfinden (Feuerung, Verdampfer, Überhitzer, Eco, Luvo, RGR, Kamin). Denkbar ist es ebenfalls, mehrere Sonden parallel oder sequentiell hintereinander einzusetzen. Hierzu sind lediglich geeignete Öffnungen nötig, wobei meistens bereits vorhandene Öffnungen verwendet werden können. Nach Installation und Positionierung der Sonde wird diese durch das Rauchgas aufgeheizt. Durch den Einsatz von Druckluft über das installierte Kühlrohr und der Regelung dieses Luftstromes über die eingebaute Temperatursensorik kann ein frei wählbares Temperaturprofil erzeugt werden. Zum Betrieb der TRP ist somit lediglich eine Druckluft- und Stromversorgung sowie eine Steuer- und Speichereinheit zur Regelung und Datenaufzeichnung nötig. Im Normalfall reicht hierfür die vorhandene Druckluftversorgung der Anlage aus und es müssen keine zusätzlichen Installationen vorgenommen werden.

Der Kerngedanke der TRP ist somit, Korrosion zu erkennen. Und zwar möglichst früh (bevor sich Schäden im Kessel bilden) und möglichst konkret und spezifisch (für ein Bauteil, für einen Werkstoff, für einen Brennstoff, für eine Betriebsweise).

Als erste Maßnahme nach dem Ausbau und der Konservierung einer TRP erfolgt die Auswertung der durch die Temperatursensorik aufgezeichneten Temperaturen. Dies ermöglicht die Visualisierung des aufgeprägten Temperaturprofils über die definierte Länge der Sonde. Es lassen sich somit den jeweiligen Positionen auf der Sonde Temperaturen zuordnen.

Je nach Fragestellung erfolgt anschließend eine spezifische Untersuchung der Sonde. Die präparative und analytische Untersuchung wird dabei üblicherweise stufenweise von makroskopischen zu mikroskopischen Untersuchungsmethoden erweitert, wobei je nach Fragestellung einzelne Bearbeitungsstufen ausgeweitet bzw. eingegrenzt werden können.

Das Schaubild in Abbildung 6 gibt einen Überblick zu typischen Untersuchungsmaßnahmen, also zu einzelnen Auswertungsschritten und verschiedenen Analysemethoden.

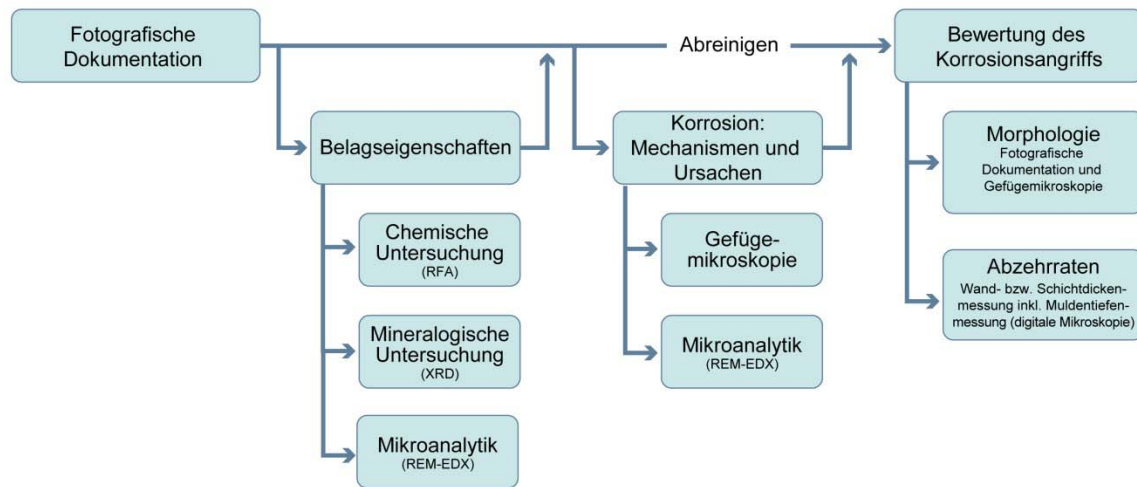


Abb. 6: Schaubild der gestuften Vorgehensweise bei der Auswertung einer Temperature-Range-Probe.

## Zusammenfassung

Der Einsatz von umfangreicher Sensorik in Dampferzeugern ist insbesondere bei schwierigen Brennstoffen naheliegend und bezieht sich somit auf Anlagen zur Verbrennung von Abfällen, Ersatzbrennstoffen und Biomassen. Durch den wachsenden Trend zur Mitverbrennung gehören auch Kohlekraftwerke in diesen Bereich. Schwierige Brennstoffe erzeugen komplexe thermische und chemische Milieubedingungen, die an die Bauteile des Dampferzeugers und die eingesetzten Werkstoffe hohe Anforderungen stellen. Sensorsysteme können helfen, diese Anforderungen transparent zu machen und damit die thermo-chemischen Prozessmerkmale und die Prozessführung zu optimieren.

Auf dem Gebiet der thermo-chemischen Prozessmerkmale sind neben sensorischen Informationen zu den chemischen Milieus auf den Werkstoffoberflächen, vor allem sensorische Informationen zu den Temperaturmilieus der eingesetzten Werkstoffe im Dampferzeuger relevant. Eine dafür geeignete Temperatursensorik wird im vorliegenden Beitrag beschrieben. Die daraus gewonnenen Informationen sind nicht nur für instationäre Betriebszustände (An-/Abfahren, Lastwechsel etc.) bedeutsam, sondern auch in Bezug auf unvorhergesehene Betriebszustände, auf systematische Abweichungen, zur Bauteildiagnose, zur Bauteilüberwachung und für temporär eingebrachte Bauteile.

## Literaturverzeichnis

- [1] *Magel, G., Spiegel, W.*: Extended Energy Efficiency by Information from Probes and Sensors In: International VDI Conference 2015, Düsseldorf, Tagung vom 06.-07-05.2015. Verfügbar unter [www.chemin.de](http://www.chemin.de).
- [2] Kaiser, M., Schneider, D., Brell, J., Kuttner, T., Spiegel, W.: Temperature-Range-Probe (TRP): Korrosion erkennen, vermindern, vermeiden. In: *Beckmann, M. und Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik 2016 Strategien, Anlagentechnik und Betrieb*, Freiberg: SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, 2016, S. 381-393.
- [3] *Spiegel, W., Magel, G., Herzog, T., Müller, W. und Schmidl, W.*: Systematische Optimierung von Kesselbauteilen bei Korrosions- und Verschmutzungsbelastungen in: *Thomé-Kozmiensky, K.J. und Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall*, Band 11, Neuruppin: TK Verlag, 2014, S. 497-515.
- [4] *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. Verfügbar unter [www.chemin.de](http://www.chemin.de).
- [5] *Herzog, T., Spiegel, W., Müller, W., Brell, J., Molitor, D. und Schneider, D.*: Korrosion durch Taupunkte und deliqueszente Salze im Dampferzeuger und in der Rauchgasreinigung in: *Thomé-Kozmiensky, K.J. und Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall*, Band 9, Neuruppin: TK Verlag, 2012, S. 429-460. Verfügbar unter [www.chemin.de](http://www.chemin.de).
- [6] *Spiegel, W., Schneider, D., Kaiser, M., Molitor, D., Brell, J., Kuttner, T.*: Korrosionsschutz und Werkstoffwahl in Abfallverbrennungsanlagen, Ersatzbrennstoff-Kraftwerken und Biomasseanlagen in: *Thomé-Kozmiensky, K.J. und Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall*, Band 12, Neuruppin: TK Verlag, 2015, S. 223-240. Verfügbar unter [www.chemin.de](http://www.chemin.de).
- [7] *Magel, G., Herzog, T., Müller, W., Schmidl, W., Spiegel, W.*: Get to know the Corrosion Mechanisms in Power Plants. In: EPRI International Conference on Corrosion in Power Plants, San Diego, Tagung vom 12.-15.10.2015, Verfügbar unter [www.chemin.de](http://www.chemin.de)
- [8] *Spiegel, W.*: Neue Sondentechnik zur Diagnose von Taupunkten und hygroskopischen Salzen in der Rauchgasreinigung in: 10. Fachtagung Abgasreinigung von Feuerungsanlagen und thermischen Prozessen, Essen, Tagung vom 25.-26.06.2015. Verfügbar unter [www.chemin.de](http://www.chemin.de).
- [9] *Spiegel, W.; Herzog, Th.; Jordan, R.; Magel, G.; Müller, W.; Schmidl, W. & Albert, F.W.*: (2013): Korrosion in Abfallverbrennungsanlagen. In: *Born, M. (Hrsg.): Dampferzeugerkorrosion 2013*, Freiberg: SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, 2013, S. 9-95. Verfügbar unter [www.chemin.de](http://www.chemin.de).

- [10] *Kaiser, M., Schneider, D., Brell, J., Molitor, D., Kuttner, T.:* Effizienzsteigerung – Anwendung der Temperature–Range-Probe zur Optimierung der Werkstoffwahl in Kraftwerken. In: VGB Powertech, Ausgabe 10/2015, S. 53-58.