Online Corrosion Monitoring
- Auswertung ausgewählter Ereignisse

F. Haider[1], M. Ziegler[2], S. Maisch[1], B. Waldmann[2], C. Deuerling[2], R. Warnecke[3]

[1]Universität Augsburg, Institut für Physik,
Universitätsstraße 1, 86135 Augsburg

[2]Corrmoran GmbH
Buchenstraße 13, 86179 Augsburg

[3]Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt GmbH
Hafenstr. 30, 97424 Schweinfurt

Feuerung und Kessel - Beläge und Korrosion - in Großfeuerungsanlagen 2012

VDI – Fachkonferenz

Kassel, 07.-08.06.2011

Inhalt

1 Einführung 2
2 Messungen am GKS....3
2.1 Temperaturabhängigkeit der Korrosion....5
2.2 Einflüsse von online-Kesselreinigungen und Müllfraktionen 6
2.3 Einfluss weiterer Betriebsparameter 8
2.3.1 Rezirkulationsluft 9
2.3.2 Unterwindmenge....10
2.3.3 CO- Gehalt des Rauchgases....11
3 Diskussion 12
4 Partikelmessungen 13
5 Literatur 17
6 Danksagung 18

1 Einführung

Obwohl seit geraumer Zeit erhebliche Anstrengungen unternommen werden, die betrieblichen Ursachen für die von Anlage zu Anlage variierenden Korrosionserscheinungen in Müllverbrennungsanlagen zu verstehen, fehlt nach wie vor ein valider Erklärungsansatz. Der Einsatz eines Echtzeit-Korrosionsmonitorings – kurz OCM – Online Corrosion Monitoring genannt – das den Korrosionsangriff online misst, ermöglicht durch die zeitliche Auflösung des Korrosionsgeschehens eine Ursache Wirkungs Analyse zwischen Betriebsparametern und Korrosionsgeschehen und stellt damit ein wichtiges Instrument zur Klärung der Korrosionsproblematik dar.

Mithilfe der OCM-Daten wurden in [Warnecke2011] erste Hinweise auf eine Korrelation der Korrosionsrate mit der Kesseleintrittstemperatur gefunden und vorgestellt. Dort wurde in einem Einzelfall beobachtet, dass eine Anhebung der Kesseleintrittstemperatur zeitlich korreliert ist mit einem reduzierten OCM-Korrosionssignal (Abbildung 1). Daraufhin wurden am GKS zum einen gezielte Variationen der Betriebsparameter durchgeführt, um den beobachteten Effekt zu reproduzieren, zum anderen weitere Anlagendaten auf diese Korrelation hin geprüft. Die Kesseleintrittstemperatur wird dabei nicht als ursächlich für die Änderung der Korrosionsrate angesehen, sondern als sekundäres Merkmal eines Zustands der Feuerung, bei dem die sich bildenden Partikel und Abgase eine Änderung der Korrosion bewirken. Sofern die Müllzusammensetzung sich nicht gravierend ändert, kann dieser Zusammenhang zwischen der Stärke der Korrosion und dem Anlagenbetrieb,

Veranstaltung des VDI Wissensforums I www.vdi-wissensforum.de I Telefon +49 (0) 211 62 14-2 01 I Telefax +49 (0) 211 62 14-1 54

nur durch die Veränderung (chemische Zusammensetzung, Aufbau und Größe) der in der Verbrennung freigesetzten korrosiven Partikel erklärt werden. Zur Bestätigung dieser Annahme wurden an drei unterschiedlichen Anlagen parallel zu den oben genannten OCM-Untersuchungen Partikel mit einer Partikelsonde entnommen, indem sie auf inerten Substraten deponiert wurden, und anschließend im Labor analysiert.

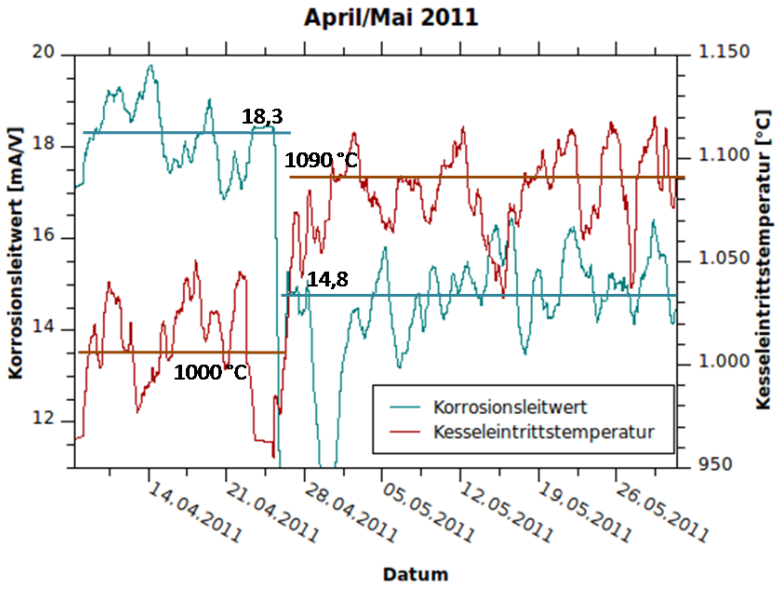

Abbildung 1: *Veränderung der Korrosionsrate und der Kesseleintrittstemperatur im Jahr 2011: eine Erhöhung der Kesseleintrittstemperatur um ca. 9% spiegelt sich in einer Absenkung der Korrosionsrate um ca. 19% wieder*

2 Messungen am GKS

In den OCM-Messungen am Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt wurden nach dem ersten zwei weitere Ereignisse gefunden, bei denen sich ebenfalls eine deutliche Korrelation zwischen Kesseleintrittstemperatur und Korrosionsrate zeigt (Abbildung 2). Aufgetragen ist hier der Korrosionsleitwert (KLW), der sich direkt proportional zum Materialabtrag des Sensors verhält. Die OCM-Messung ist im dritten Zug zwischen den Überhitzerbündeln 5 und 6, bei einer Rauchgastemperatur von ca. 580°C installiert. Bei allen drei Ereignissen ist bei der Erhöhung der Kesseleintrittstemperatur eine Reduzierung des Korrosionsangriffs zu beobachten.

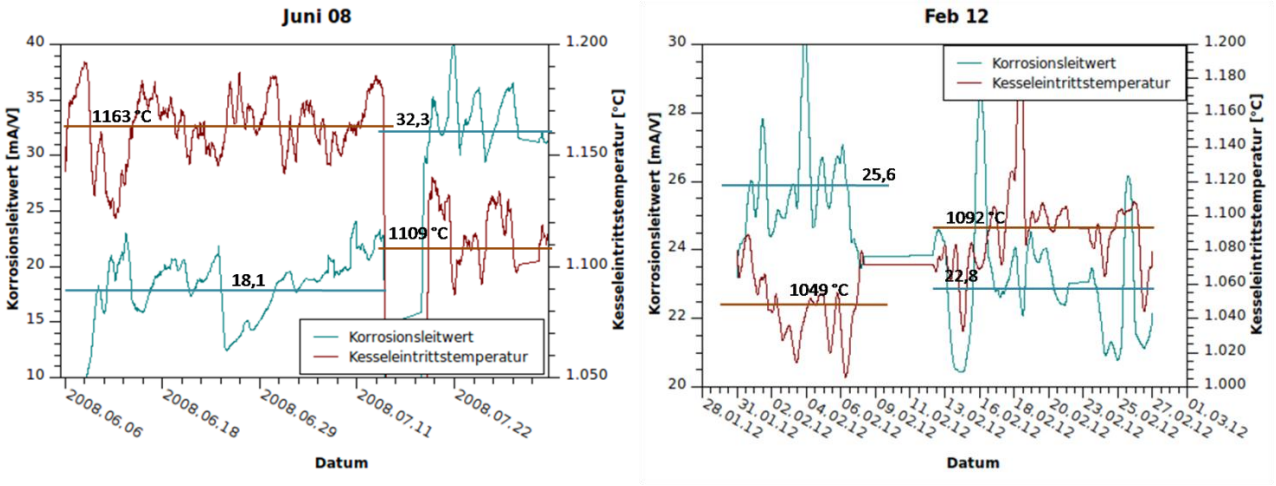

Abbildung 2: *Veränderung der Korrosionsrate und der Kesseleintrittstemperatur. Links:* ***Juni2008:*** *die Änderung der Kesseleintrittstemperatur um ca. 5% bewirkt eine Änderung der Korrosionsrate um ca. 41%; Rechts:* ***Februar 2012****: die Anhebung der Kesseltemperatur um ca. 4% bewirkt eine Absenkung der Korrosionsrate um ca. 11%*

Im Zeitraum der Messung vom Juni 2008 wurde die Kesseleintrittstemperatur nicht gezielt verändert, während im Februar 2012 aufgrund der Ergebnisse des Vorjahres (April 2011) die Kesseleintrittstemperatur gezielt durch eine Reduzierung der Rezirkulationsluft erhöht wurde. Die relative Änderung der Korrosionsrate mit der Kesseleintrittstemperatur (Abbildung 3) liegt für die drei betrachteten Zeiträume in der gleichen Größenordnung, was auf eine gemeinsame Ursache für alle drei Ereignisse hindeutet.

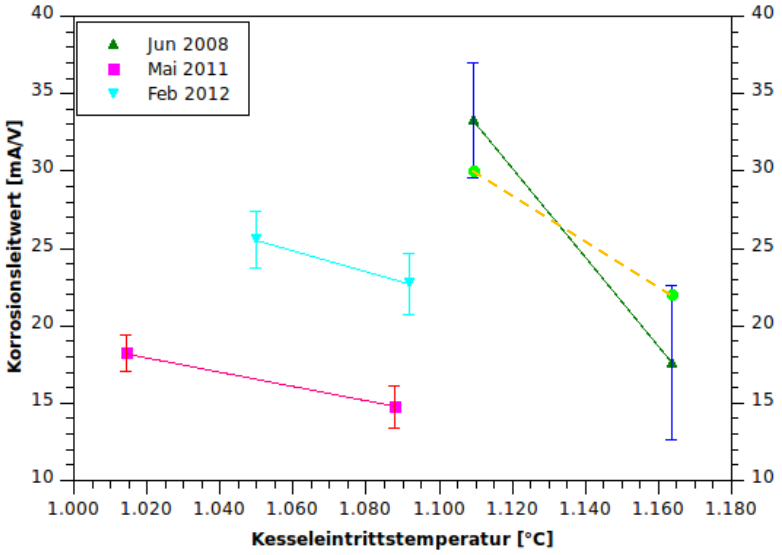

Abbildung 3: *Korrelation zwischen Korrosionsrate und Kesseleintrittstemperatur am Beispiel von drei im GKS beobachteten Ereignissen*

In der vorliegenden Untersuchung sollten deshalb, neben der Kesseleintrittstemperatur weitere kontrollierende Parameter identifiziert und damit Rückschlüsse auf die relevanten Prozesse gezogen werden.
Da sich viele Parameteränderungen der Prozesssteuerung, insbesondere der Feuerleistungsregelung, auf die Rauchgastemperatur direkt oder indirekt auswirken, muss ausgeschlossen werden, dass es sich bei den gefundenen Korrelationen um reine Temperatureinflüsse im Rauchgas direkt an der Sonde handelt. Außerdem müssen weitere Einflussfaktoren wie Änderungen in der Müllzusammensetzung oder Reinigungsprozeduren geprüft werden.

2.1 Temperaturabhängigkeit der Korrosion

Wie bereits in der Vergangenheit gezeigt wurde (z.B. [Haider, 2008]), lässt sich die Temperaturabhängigkeit der Korrosion über einen einfachen, thermisch aktivierten Reaktionsprozess beschreiben, also eine stetige Arrheniusabhängigkeit des Korrosionssignals von der Rauchgastemperatur:

$$KLW = KLW_0 \cdot \exp\left(\frac{\Delta G}{RT}\right)$$

ΔG beschreibt hierbei die Aktivierungsenergie des Prozesses. Um zu überprüfen, ob die gefundene Variation des Korrosionssignals auf Temperaturschwankungen beruht, trägt man für die beobachteten Zeiträume den Korrosionsleitwert über der Rauchgastemperatur (Feuerraumtemperatur) auf. Die sich ergebenden Diagramme (Abbildung 4) zeigen jeweils deutlich nicht-lineare Zusammenhänge, was eindeutig darauf schließen lässt, dass die verminderte Korrosion nicht auf einen Temperatureffekt zurückgeführt werden kann. Die Korrosionswerte vor (schwarz) und nach (rot) dem Stichtag sind gut sichtbar gegeneinander verschoben, so dass bei gleicher Rauchgastemperatur (stellvertretend die Feuerraumtemperatur) unterschiedliche Korrosionswerte vorliegen müssen.

Veranstaltung des VDI Wissensforums I www.vdi-wissensforum.de I Telefon +49 (0) 211 62 14-2 01 I Telefax +49 (0) 211 62 14-1 54

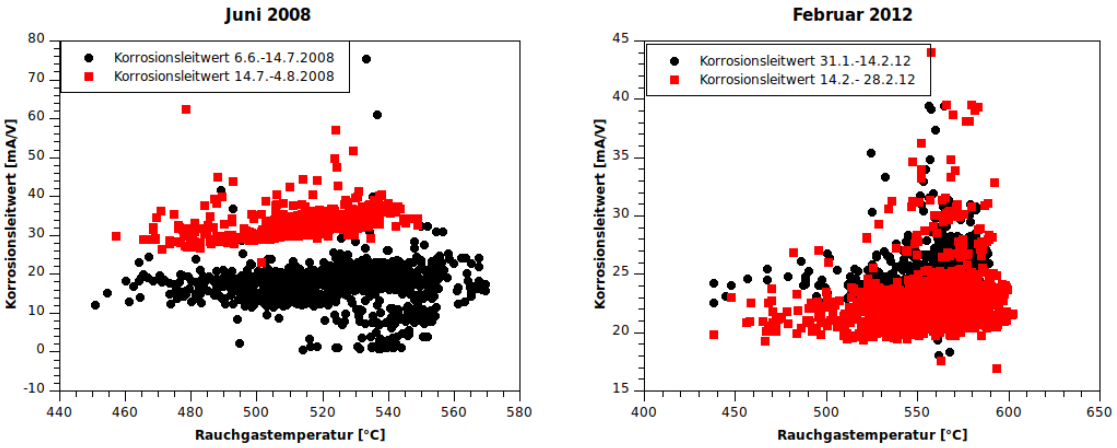

Abbildung 4: *Das Korrosionssignal aufgetragen über die Rauchgastemperatur für zwei der betrachteten Intervalle der Messung im Juni 2008 und Februar 2012. Aus einer gleichen Rauchgastemperatur resultieren unterschiedliche Korrosionswerte*

2.2 Einflüsse von online-Kesselreinigungen und Müllfraktionen

Je nach Einbauposition der Korrosionsmessung im Kessel kann das OCM-Signal durch aktive Wasser- oder Dampfbläser beeinflusst werden. Im Normalfall ist ein kurzzeitiger Abfall der Korrosionsrate, bedingt durch eine Leistungsreduktion bzw. Absenkung der Rauchgastemperatur, zu beobachten. Im zweiten Schritt der Auswertung soll daher geprüft werden, ob die Absenkungen des Korrosionswertes mit etwaigen online-Reinigungsverfahren korrelieren. Im April und Mai 2011 wurde zweimal eine Sprengreinigung im 3.Zug, d.h. in der Nähe des Korrosionssensors, durchgeführt. Abbildung 5 zeigt die während dieses Zeitraums gemessene Korrosionsrate. Der Zeitpunkt der Sprengreinigung ist jeweils gekennzeichnet (Linie mit Dreieck). Es zeigt sich eine kurzfristige KLW-Reduktion, die wohl hauptsächlich durch die Lastabsenkung und damit durch die Rauchgastemperaturreduktion direkt an der Sonde verursacht wird, auf das untersuchte Ereignis sonst aber keinerlei Wirkung hatte.

Auch bei den anderen untersuchten Ereignissen ergaben sich, abgesehen vom berechenbaren Einfluss der Rauchgastemperatur auf die Sonde, keinerlei direkte Korrelationen mit den eingesetzten Reinigungsmaßnahmen.

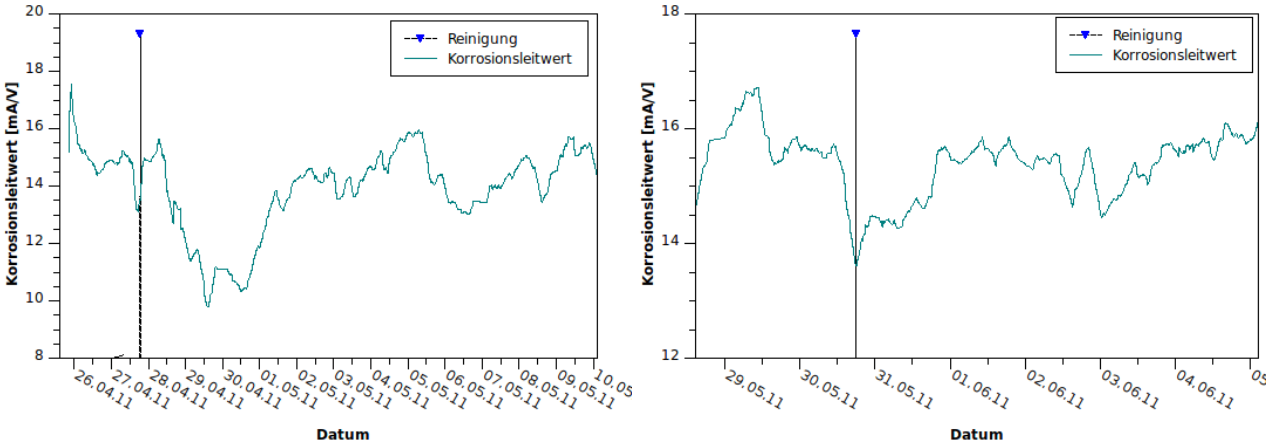

Abbildung 5: *Um den Zeitpunkt der Sprengreinigung zeigt sich eine zeitlich begrenzte Absenkung des Korrosionssignals*

Um schließlich einen Einfluss der Müllzusammensetzung auszuschließen, wurde diese anhand der Betriebsdaten für die relevanten Zeiträume geprüft.

- Für das Betriebsjahr 2008 liegen hierzu keine Daten vor.
- Im Zeitraum März bis April 2011 wurde keine spezielle Müllfraktion in den Kessel eingebracht.
- Im Versuchszeitraum Februar 2012 wurde ca. 1 Woche vor Versuchsbeginn Müll aus dem Zwischenlager dem Bunker zugeführt (Abbildung 6). Wegen des zeitlichen Abstands von ca. einer Woche wird ein Effekt des zwischengelagerten Mülls auf das Korrosionssignal jedoch für sehr unwahrscheinlich gehalten. Da beim Ereignis vom April 2011 keine Müllfraktion aus dem Zwischenlager zugeführt wurde, kann der zwischengelagerte Müll auch als (Haupt-)ursache für die starke Absenkung ausgeschlossen werden.

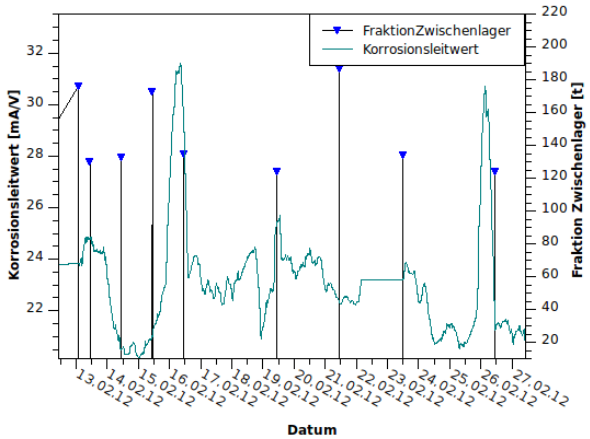

Abbildung 6: *Im Februar 2012 wurde mehrfach Müll aus dem Zwischenlager verbrannt (blaue Dreiecke).*

2.3 Einfluss weiterer Betriebsparameter

Abbildung 7 zeigt eine Auswahl von Anlagenparametern, deren Mittelwert sich in den betrachteten Zeiträumen signifikant änderte. Die Balken zeigen die Änderung des Mittelwerts des Parameters, wobei der Bezugswert (100%) der des jeweils vorangegangenen Zeitraums mit hohem KLW ist. Markiert sind die Parameter, die eine gleichgerichtete Korrelation für alle 3 Zeiträume aufweisen. Neben dem Korrosionswert sind dies um die Kesseleintrittstemperatur, die Rezirkulationsluftmenge und der Unterwind in Zone 1 (Tabelle 1).

Die Korrosionserniedrigung von 41 % im Juni 08 wurde während der Startphase der OCM-Messung gemessen, als der Belag des Sensors noch im Aufbau war. Während dieser Phase war das Korrosionssignal noch in einem Aufwärtstrend, wodurch der Mittelwert bei diesem Ereignis eher zu hoch berechnet wird.

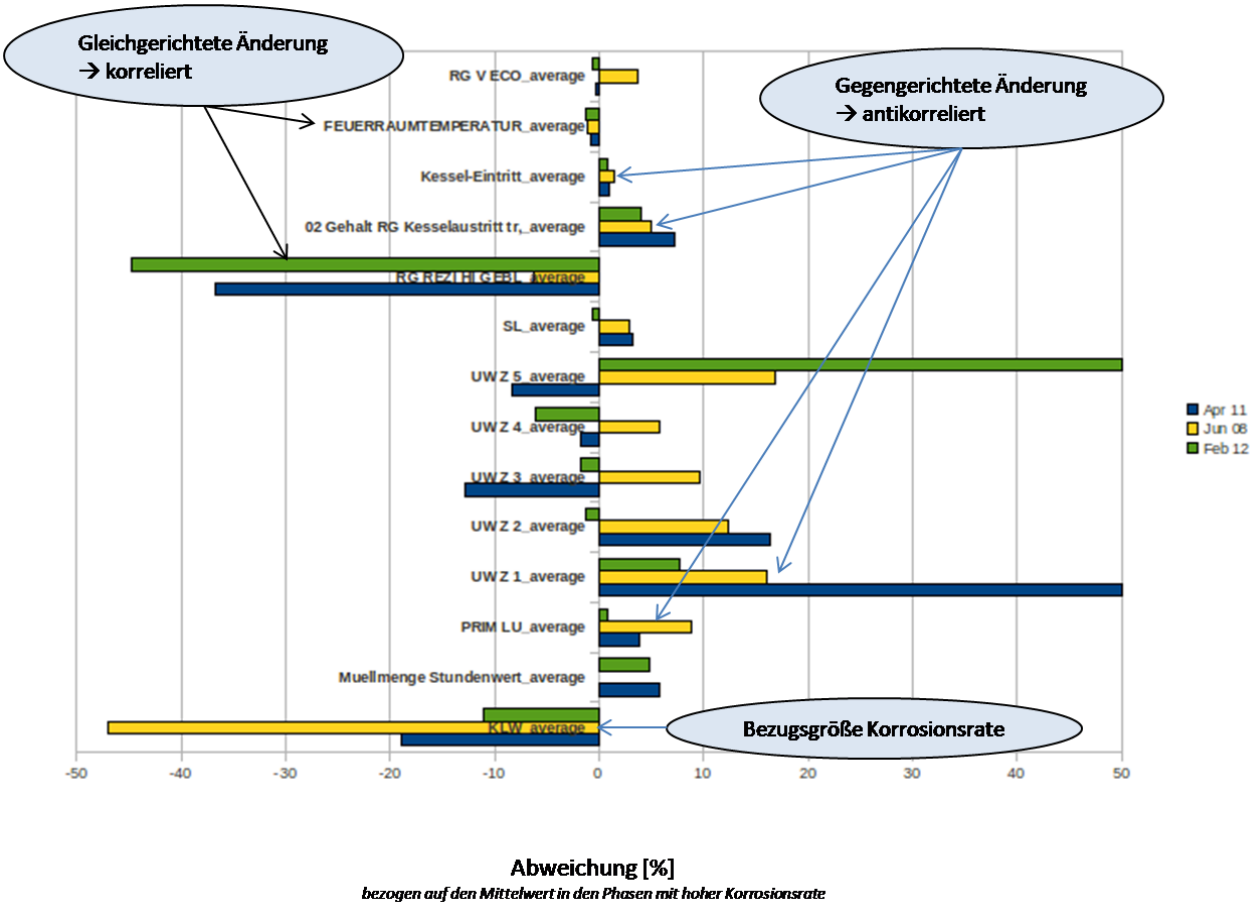

Abbildung 7: *Verhalten der Mittelwerte für alle drei Messperioden. Die Mittelwerte wurden jeweils auf den Bereich mit hoher Korrosion bezogen. Die blau hinterlegten Felder zeigen Parameter mit gleichgerichteten Korrelationen.*

Tabelle 1: Übersicht der korrelierten Parameter

Veränderung der Mittelwerte	Jun 08	April 11	Februar 12
KLW [%]	-46 %	-18 %	-11 %
Menge Unterwind Z1 [%]	+16 %	+104%	+ 7 %
Menge Rezirkulationsluft [%]	-6 %	-37 %	-44 %
Kesseleintrittstemperatur [%]	+5 %	+ 7 %	+ 4 %

2.3.1 Rezirkulationsluft

In Abbildung 8, Abbildung 9 und Abbildung 10 ist der Verlauf der Rezirkulationsluftmenge während der drei zur Auswertung herangezogenen Ereignisse zu sehen. In den Zeitfenstern April 11 und Februar 12 wurde die Rezirkulationsluftmenge gezielt abgesenkt, wodurch die die Kesseleintrittstemperatur ansteigt (Abbildung 9, Abbildung 10). Die Messung Juni 08 zeigt hingegen einen nur geringen Abfall der Rezirkulationsluft von ca. 6%, obwohl auch hier die Kesseleintrittstemperatur vergleichbar mit den beiden anderen Fällen um ca. 5 % ansteigt. Dies deutet darauf hin, dass die Menge an Rezirkulationsluft nicht ursächlich für die Absenkung der Korrosion ist, sondern dass ein anderer Parameter, der mit der Änderung der Kesseleintrittstemperatur einhergeht für die Korrosionsveränderung verantwortlich ist, oder dass es noch einen überlagernden Effekt gibt, der an dieser Stelle dominant war.

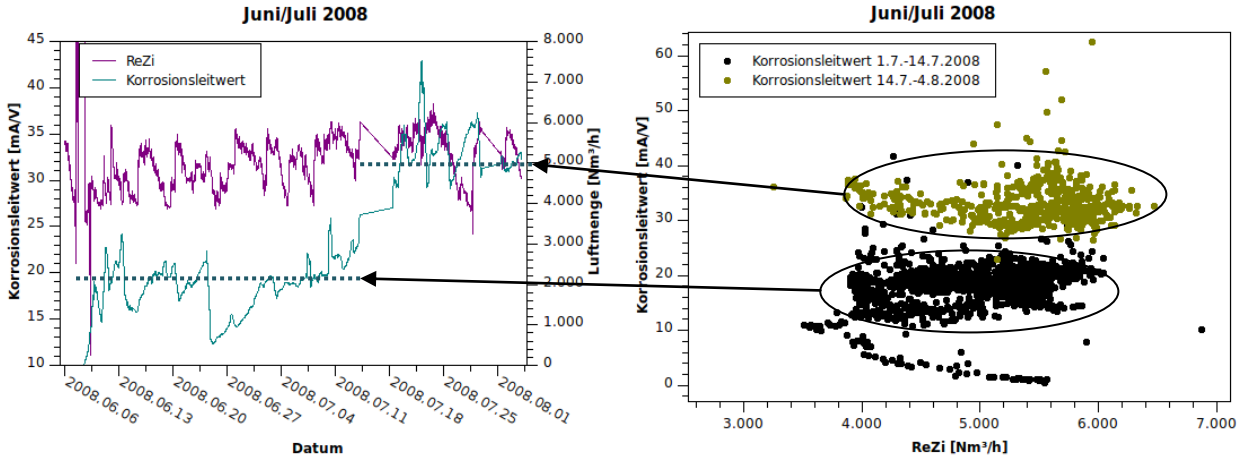

Abbildung 8: *Veränderung der Korrosionsrate und der Rezirkulationsluft im Juni und Juli 2008. Die Verteilung des Korrosionsleitwertes über der Kesseleintrittstemperatur zeigt keine Korrelation der beiden Größen.*

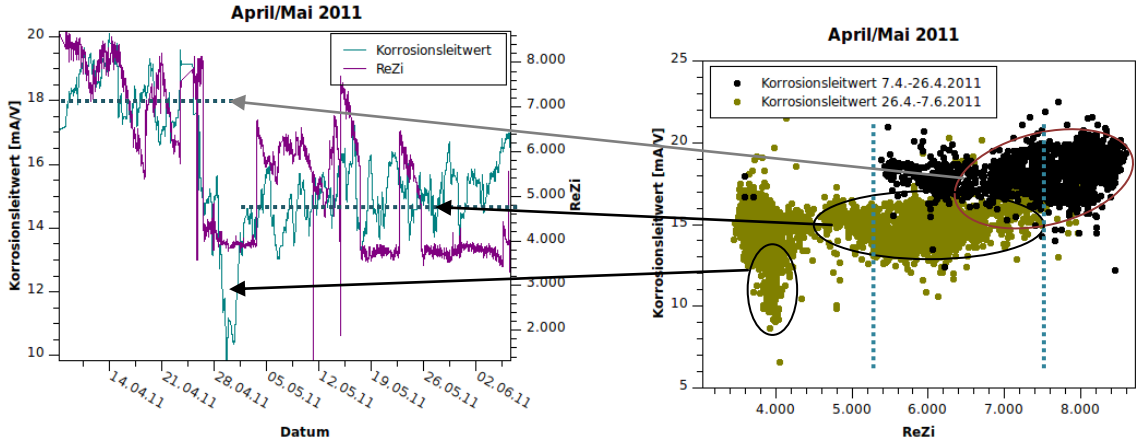

Abbildung 9: *Veränderung der Korrosionsrate und der Rezirkulationsluft im Jahr 2011(links). Im Korrelationsplot rechts sieht man eine Korrelation zwischen Korrosionsrate und ReZi. Die beiden blauen Striche markieren Grenzen der ReZi Luftmenge zu geringer und hoher Korrosion hin.*

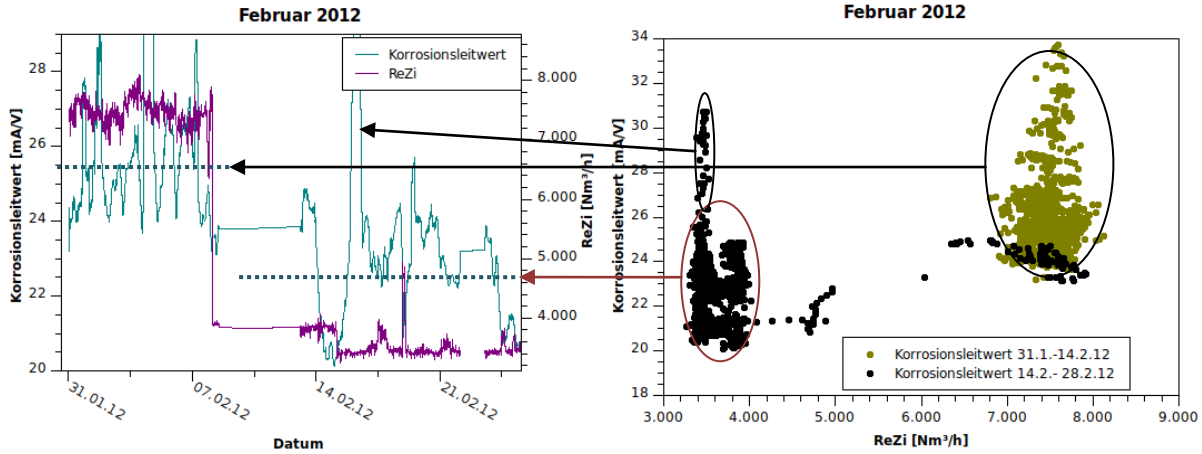

Abbildung 10: *Veränderung der Korrosionsrate und der Rezirkulationsluft im Jahr 2012. Auch hier zeigt der Korrelationsplot (rechts) einen Zusammenhang zwischen der Luftmenge und der Korrosionsrate.*

2.3.2 Unterwindmenge

Die Verteilung des Unterwinds auf die verschiedenen Zonen (und damit die Lage des Feuers auf dem Rost) zeigt ebenfalls eine Korrelation mit dem Korrosionssignal. Im April 2011 wurde daher eine gezielte Vertrimmung der Unterwinde vorgenommen. In allen drei Messperioden findet man eine sichtbare Absenkung des Korrosionssignals bei Änderung der Feuerlage, wobei im Juni 2008 der Unterwind in Zone 1 absank, während er in den beiden anderen Messperioden anstieg.

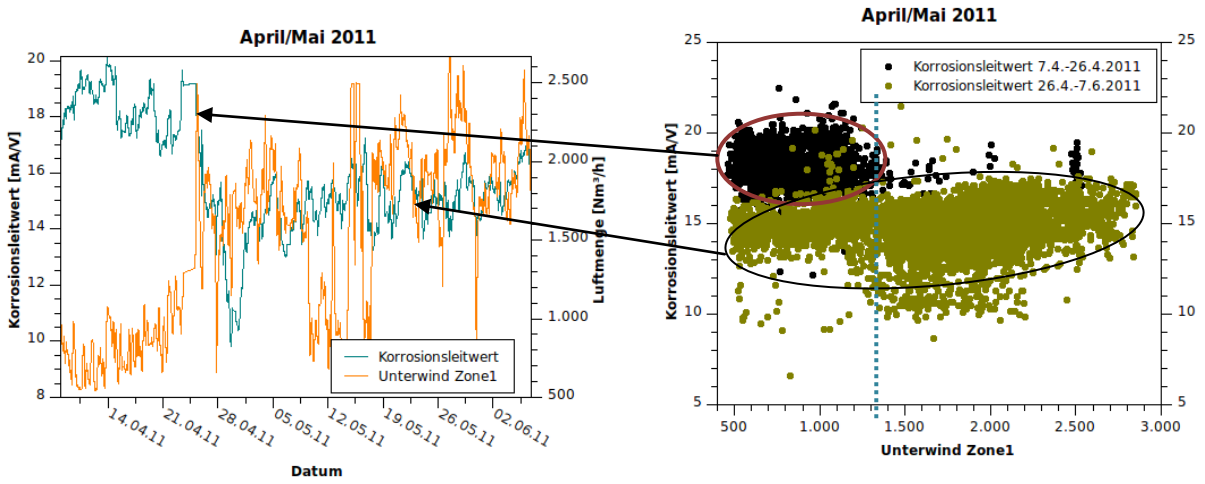

Abbildung 11: *Veränderungen des Unterwinds der Zone 1 und des Korrosionswerts für die Messung 2011. Wegen einer Versuchsreihe mit den Unterwinden zu dieser Zeit ist die mittlere Luftmenge in Zone 1 stark erhöht worden, was einhergeht mit einer deutlich sichtbaren Reduktion der Korrosionsrate während dieser Zeit (grüne Punktwolke im rechten Bild).*

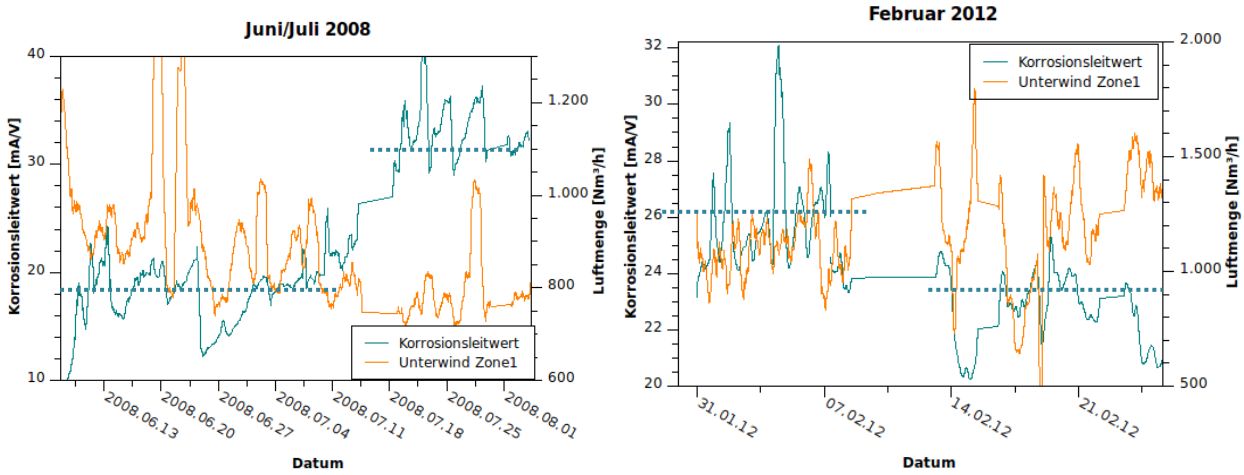

Abbildung 12: *Veränderungen des Unterwinds der Zone 1 und des Korrosionswerts für die Messung 2008 und 2012.*

2.3.3 CO- Gehalt des Rauchgases

Auch der CO-Gehalt des Rauchgases ist mit dem Korrosionssignal direkt oder mittelbar korreliert: Bei den Messungen April 11 und Februar 12 (Abbildung 14) leitet ein CO-Peak die Korrosionsabsenkung ein. Bei der Messung Juni 08 (Abbildung 13) ist hingegen ein Abfall des CO-Werts mit steigender Korrosionsrate zu beobachten.

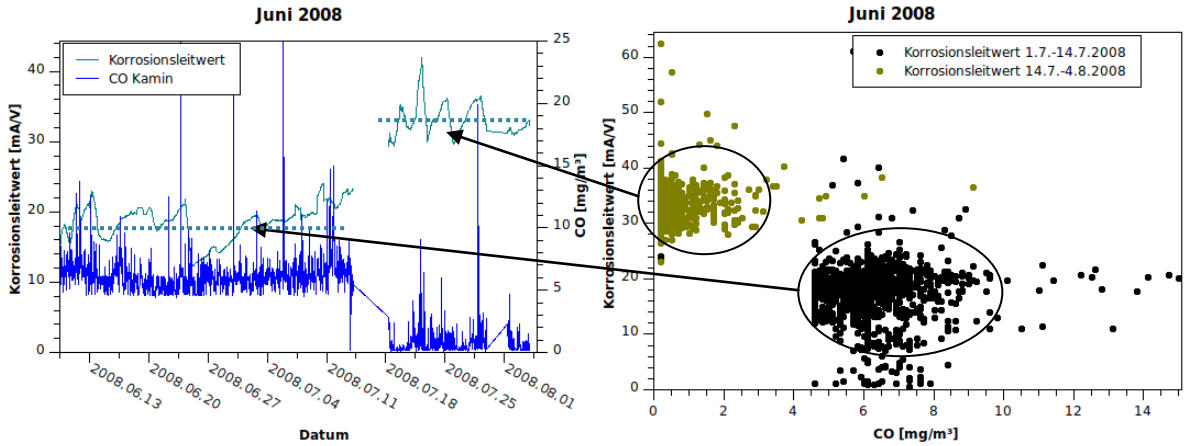

Abbildung 13: *Zusammenhang zwischen der Mittelwertänderung des Korrosionssignals und dem CO Wert des Rauchgases für die Messung 2008. Es existiert hier eine gut erkennbare Korrelation zwischen CO Wert und Korrosionsrate (Bild rechts).*

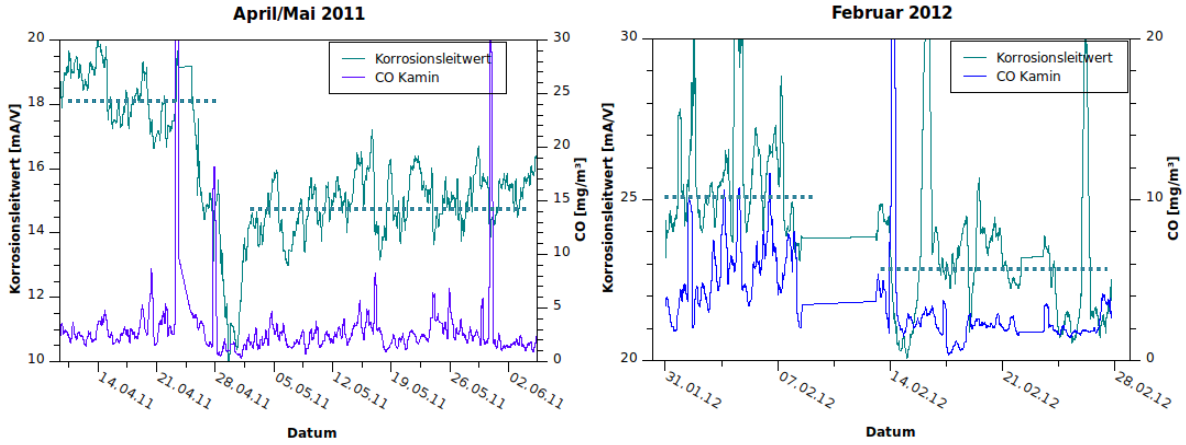

Abbildung 14: *Zusammenhang zwischen der Mittelwertänderung des Korrosionssignals und dem CO Wert des Rauchgases für die Messung im April 2011 und Februar 2012.* ***April 2011:*** *Der CO Gehalt bleibt im gesamten Zeitraum annähernd konstant. Der Absenkung des Korrosionsleitwertes geht jedoch ein CO Peak voraus.* ***Februar 2012:*** *Der mittlere CO-Gehalt nimmt nach einem Peak ab und stabilisiert sich auf niedrigem Niveau; das Korrosionssignal folgt diesem Verlauf, hat aber nach dem CO Peak vom 14.2. eine längere Delle, die durch ein anderes Ereignis und einen KLW-Peak wieder aufgehoben wird.*

3 Diskussion

Die Ergebnisse der vorangegangenen Korrelationen sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Aufgrund des Verhaltens bei der Rezirkulationsluft und dem CO-Wert bilden die Messungen April 11 und Februar 12 hierbei eine Gruppe, die Messung Juni 08 zeigt hingegen ein anderes Verhalten bei den oben genannten Parametern.

Tabelle 2: *Übersicht der gefundenen Korrelationen*

Korrelationen + pos. Korr. 0 kein Einfluss - neg. korr.	KLW (Jun 08)	KLW (April 11)	KLW (Februar 12)
Menge Unterwind Z1 [%]	+	+	+
Temperatur Rauchgas	0	0	0
Online Reinigungen	0	0	0
Variation Müllfraktionen	0	0	0*
Menge Rezirkulationsluft [%]	-**	-	-
Kesseleintrittstemperatur [%]	+	+	+
CO Wert Rauchgas	-	-+	-+

*andere Fraktion wurde im Zeitraum eingebracht, aber mit zeitlichem Versatz
** im Vergleich zu den anderen Messungen nur eine geringe Reduktion

Tabelle 2 zeigt, dass die hier diskutierten Änderungen des Korrosionssignals tatsächlich nicht durch geänderte Rauchgastemperatur, Reinigungsverfahren oder veränderte Müllfraktion verursacht worden sind, sondern durch andere, eventuell sinnvoll beeinflussbare und damit für korrosionsmindernde Maßnahmen geeignete Effekte.
Es besteht weitgehend Konsens, dass die Korrosion stark durch chloridhaltige Partikel im Rauchgas verursacht wird. Eine geänderte Korrosionsrate sollte daher mit Änderungen der Partikel, beispielsweise ihrem Sulfatierungsgrad, korreliert sein. Auf die entsprechende Untersuchung von deponierten Partikeln wird im nächsten Kapitel näher eingegangen.

4 Partikelmessungen

Um zu verstehen, in welcher Art sich die chloridischen Partikel im Rauchgas bei verschieden starker Korrosion unterscheiden, wurden Partikel aus dem Rauchgas in drei verschiedenen Anlagen mit gleichen Dampfparametern und an Positionen im Rauchgasweg mit vergleichbarer Rauchgastemperatur (650°C -700°C)analysiert. Hierzu wurde die OCM-Sonde so modifiziert, dass die innerhalb eines kurzen Zeitintervalls (5-20s) auf einem inerten Substrat (oxidiertes Silizium) auftreffenden Partikel eingefangen und analysiert werden können [Maisch2011].

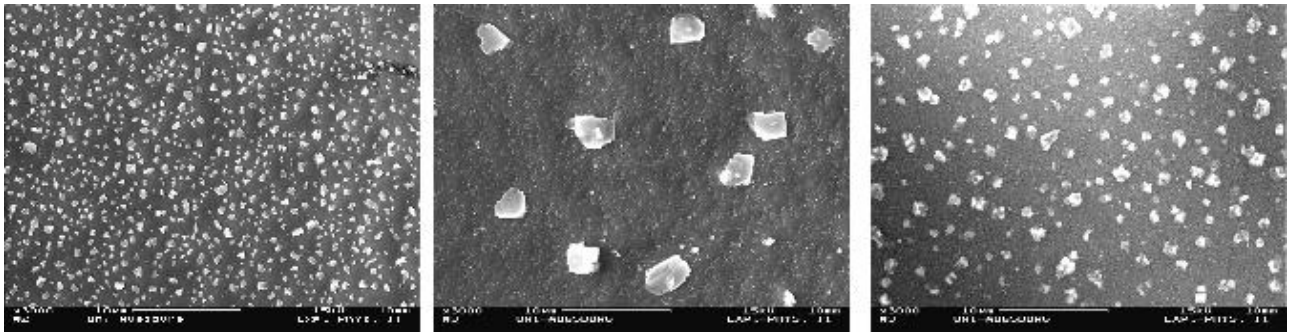

Abbildung 15: *REM-Bild der Partikel nach 10s Expositionszeit aus Anlage 1 (GKS), Anlage 2 (niedrigere Korrosion) und Anlage 3 (niedrige Korrosion?). Die ausgewählten Positionen sind statistisch repräsentativ für die gesamte Probe.*

Abbildung 15 zeigt, dass sich die Partikel im Rasterelektronenmikroskop deutlich hinsichtlich ihrer jeweils mittleren Größe unterscheiden. Die insgesamt während der Expositionszeit deponierte Gesamt-Partikelmasse unterscheidet sich hingegen kaum.

Tabelle 3: *Größe und Menge deponierter Partikel*

	Mittlerer Radius [µm]	Deponierte Menge [Mol/mm^2]
Anlage 1	0,25	$3{,}3 * 10^{-9}$
Anlage 2	1,24	$5{,}5 * 10^{-9}$
Anlage 3	0,41	$3{,}7 * 10^{-9}$

Ein weiterer charakteristischer Unterschied zeigt sich im Zeitverhalten der Deposition:

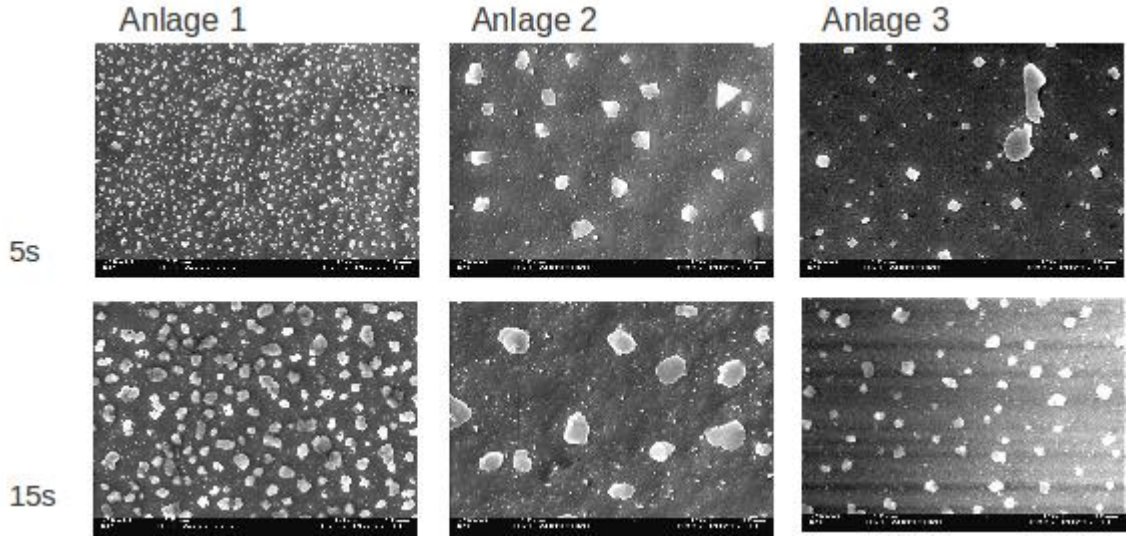

Abbildung 16: *Partikelwachstum während der Deposition*

Tabelle 4 zeigt die mittlere Partikelgröße und die pro Fläche deponierte Menge für unterschiedliche Expositionszeiten.

Tabelle 4: *mittlere Partikelgröße (gekennzeichnet durch den Radius R) und die pro Fläche deponierte Menge für unterschiedliche Expositionszeiten*

	Anlage 1		Anlage 2		Anlage 3	
	R [µm]	Deponierte Menge [Mol/mm^2]	R [µm]	Deponierte Menge [Mol/mm^2]	R [µm]	Deponierte Menge [Mol/mm^2]
t=5s	0,23	3,15E-9	1,16	3,82E-9	0,44	0,90E-9
t=10s	0,24	3,26E-9	1,52	5,49E-9	0,41	3,66E-9
t=15s	0,27	11,5E-9	1,53	8,71E-9	0,51	2,81E-9

Während in Anlage 1 und in Anlage 2 ein sichtbares Wachstum der deponierten Partikel bei gleichzeitiger Abnahme der Teilchenzahldichte stattzufinden scheint, findet man in Anlage 3 mit längerer Depositionszeit eher eine Zunahme der Partikelzahldichte. Die deponierte Partikelmenge hingegen steigt (mit allen statistischen Schwankungen) in allen drei Fällen etwa um einen Faktor drei an, ist aber in Anlage 3 deutlich geringer. Die geringe Menge an deponierten Partikeln in Anlage 3 könnte eine Ursache für die geringere Korrosionsrate sein.

Die chemische Zusammensetzung der Partikel zeigt Abbildung 17 (man beachte den kleineren Maßstab für Anlage 2). In Anlage 2 scheint ein höherer Calciumgehalt der Partikel vorzuliegen, während in Anlage 3 kaum Kalium in den Partikeln enthalten zu sein scheint. In allen Fällen findet sich kaum Schwefel in den Partikeln, was auf einen sehr geringen Sulfatierungsgrad hindeutet.

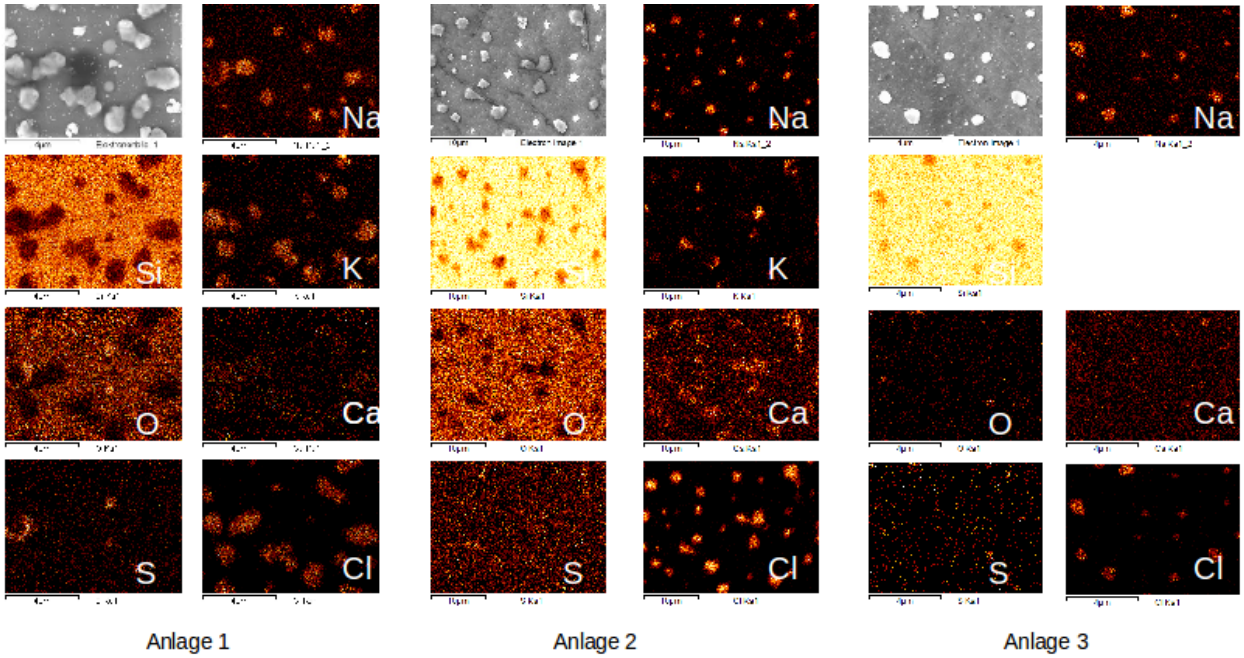

Abbildung 17: *Chemische Analyse kleiner Partikel der drei Vergleichsanlagen. Verteilung der Elemente im analysierten Bereich. Die Helligkeitsabstufung in den Bildern entspricht nicht der absoluten Elementkonzentration, sondern ist für jedes Element jeweils auf den maximalen Wert normiert. Die hellen Pixel in der Schwefelverteilung werden hauptsächlich durch den Strahlungsuntergrund verursacht, da wegen der geringen Schwefelkonzentration das Signal-Untergrund Verhältnis sehr ungünstig ist.*

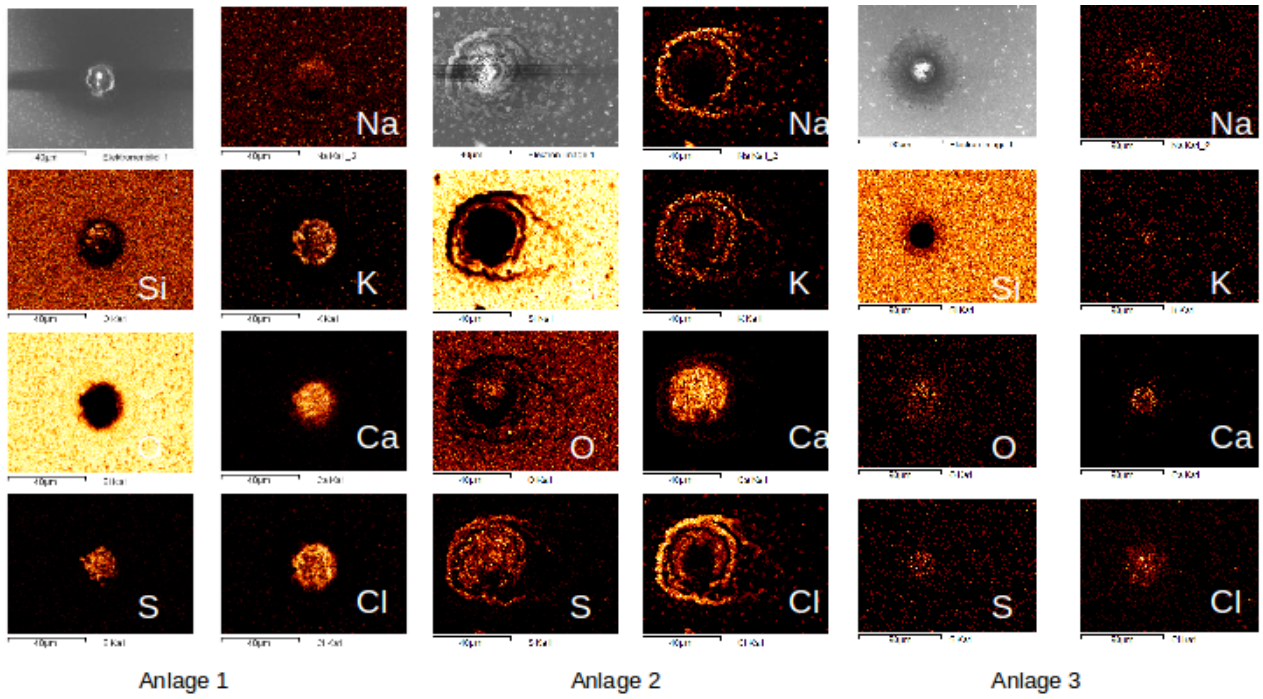

Abbildung 18: *Chemische Analyse großer Partikel der drei Vergleichsanlagen*

Im Gegensatz hierzu zeigen große Partikel eine deutliche Sulfatierung, die sich durch eine lokal hohe Schwefelkonzentration auszeichnet (helle Bereiche der Schwefelverteilung

(Abbildung 18)). Typischerweise bestehen die großen Partikel aus einem oxidischen Kern (meist CaO oder SiO_2), auf dem eine chloridische Schale aufkondensiert. (Die Messmethode erlaubt durch eine Eindringtiefe der Elektronen von ca. 1µm eine Beurteilung des oberflächennahen Konzentrationsprofils.) Aufgrund des höheren Siedepunkts von $CaCl_2$ kondensiert dies früher, die Alkalichloride später und weiter außen, wie es besonders gut in der Analyse von Anlage 2 zu sehen ist. Dieser Außenmantel an Alkalichloriden ist in Anlage 3 deutlich schwächer ausgeprägt.

Der schwache Sulfatierungsgrad, der bei den kleinen Partikeln gefunden wurde, könnte daran liegen, dass Teilchen, die in der Flugphase bereits sulfatiert sind, aufgrund des hohen Schmelzpunkts der Sulfate schlecht am Substrat haften und daher nicht beobachtet werden, oder dass nur ein geringer Teil der kleinen Partikel wirklich sufatiert ist [Deuerling2009]. Sofern also der Chloraustrag in allen drei Anlagen vergleichbar ist, würde das auf eine stärkere Sulfatierung in der Flugphase in Anlage 3 hindeuten.

Ob dies ebenfalls für die gefundene Variation der Korrosionsrate bei geänderten Betriebsbedingungen verantwortlich ist, lässt sich bisher nicht beantworten, wäre aber eine mögliche Deutung. Eine erhöhte Kesseleintrittstemperatur könnte die Sulfatierung so weit beschleunigen, dass weniger reaktive Chloride auf den Überhitzern ankommen. Ebenso könnte eine Änderung der Partikelgrößenverteilung durch Änderung der Feuerlage die Sulfatierungsgeschwindigkeit beeinflussen.

Die hier diskutierten, zeitlich zu Schwankungen der Korrosionsrate korrelierten Betriebsparameter sind alle Teil der Prozess- bzw. Feuerführung. Und auch die Zusammensetzung und damit Aggressivität des korrosiven Rauchgas-Aerosols ist stark beeinflusst durch die Prozess-/Feuerführung. Dies bestätigt zum einen die allgemeine Annahme, dass die Prozess-/Feuerführung entscheidenden Einfluss auf die Korrosionsgeschwindigkeit im Kessel hat. Darüber hinaus konnten hier aber konkrete Ansätze für Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge herausgearbeitet werden, die ohne eine online-Analyse nicht erkennbar wären.

5 Literatur

[Deuerling, 2009] Deuerling C.; Untersuchungen zum Einfluss von Rauchgas-Aerosolen in Müll- und Biomasse-Verbrennungsanlagen auf die Hochtemperatur-Korrosion der Überhitzer; Dissertation, 2009, Universität Rostock

[Haider, 2006] Haider F., Horn S., Waldmann B., Warnecke R.; Einsatz von Korrosionssonden zum Aufspüren ungünstiger betriebstechnischer Zustände;

Beläge und Korrosion, Verfahrenstechnik und Konstruktion in Großfeuerungsanlagen; VDI-Wissensforum; Seminar 430506; 2006 Würzburg

[Haider, 2008] Haider F., Horn S., et. al.; Quantifizierung des Korrosionsdiagramms auf der Basis von Messungen mit der Augsburger Korrosionssonde; VDI-Wissensforum, Seminar 430508, 2008 Oberhausen

[Maisch, 2010] Maisch S., Waldmann B., Warnecke R., Haider F., Horn S., Quantizierte Korrosionsgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Rohrwand- und Rauchgastemeperatur, VDI-Wissensforum „Feuerung und Kessel – Beläge und Korrosion in Großfeuerungsanalgen“, 2010 Frankfurt

[Mierswa, 2006] Mierswa, I., Wurst, M., Klinkenberg, R., Scholz, M. and Euler, T.: YALE: Rapid Prototyping for Complex Data Mining Tasks, in Proceedings of the 12th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-06), 2006

[Schettler, 2006] Schettler D.; Untersuchung zur Online-Erfassung der Hochtemperaturkorrosion von Kesselrohrwerkstoffen mit Hilfe elektrochemischer Messmethoden, Dissertation, Universität Duisburg-Essen, Essen

[Warnecke, 2011] Warnecke, R.; Danz, P.; Müller, V.; Weghaus, M.; Zwiellehner, M.: Validierung des Feuerungsprogramms „CombAte“ zur Prognose des Feuerungsverhaltens. In: VDI-Wissensforum (Hrsg.): Feuerung und Kessel - Beläge und Korrosion in Großfeuerungsanlagen – Fachkonferenz am 07.-08. Juni 2011 in Kassel. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2011

6 Danksagung

Die in diesem Beitrag vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM), finanziert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, durchgeführt. Die Autoren bedanken sich für die Finanzierung, ohne die die Arbeiten nicht möglich gewesen wären.