

Wirtschaftlichkeits- betrachtungen zu sekundären Schutzmaß- nahmen gegen Korrosion und Verschmutzung in MVA

- Sekundäre Schutzmaßnahmen gegen Korrosion -

Von:
V. Müller, GKS
Prof. Dr. Kautz, Martinsheim
Dr. Warnecke, GKS

Anlässlich:
VDI Wissensforum:
Seminar „Beläge und Korrosion, Verfahrenstechnik und Konstruktion in
Großfeuerungsanlagen - 2007“,
Frankfurt am Main,
12.-13. Juni 2007

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Mögliche Schwachpunkte bei der primären Auslegung von Feuerungen und Dampferzeugern	5
3	Schutzmaßnahmen	8
3.1	Sekundäre Schutzmaßnahmen	9
3.1.1	Feuerfest	9
3.1.2	Schweißplattierung.....	10
3.1.3	Thermisches Spritzen	11
3.1.4	Additive im Rauchgasstrom	12
3.2	Primäre Maßnahmen.....	14
3.2.1	Feuerraumgeometrie.....	14
3.2.2	Verbrennungsluftführung.....	16
3.2.3	Rost.....	19
4	Wirtschaftliche Betrachtung	20
5	Zusammenfassung.....	23

1 Einleitung

In den vergangenen Jahren wurden MVA's auf der Feuerungs- und Kesselseite oft auf Grund verschiedener Randbedingungen (Budget, fehlende Sorgfalt bei der Planung, Platzverhältnisse, ...) in Teilbereichen oder in ihrer Gesamtheit nicht funktional ausgelegt. Dieser „Mangel“ hat z.T. hohe Folgekosten im Bereich der Wartung und Instandhaltung und damit auch bei der Anlagenverfügbarkeit zur Folge. Die zusätzlichen Aufwendungen für den Betrieb solcher Anlagen können durch angepasste Behandlungskosten aufgefangen bzw. umgelegt werden. Die verminderte Verfügbarkeit schlägt deutlich empfindlicher zu, wenn die kalkulierten Durchsatzmengen nicht erreicht werden und der Nenner bei der Preisbildung kleiner wird. Durch organisatorische Maßnahmen kann -und muss- der Revisionsablauf Optimiert und auf die Anlage angepasst werden. Diese Maßnahmen allein genügen jedoch nicht wenn z.B. durch starke Verschmutzungen im Konvektionsteil zum einen die Reisezeit der Anlage deutlich reduziert wird und zum anderen die Korrosion im Überhitzerbereich durch nicht ausreagierte Beläge ansteigt.

Die wesentlichen Auswirkungen die zu einer „schlechten Performance“ einer Anlage beitragen sind:

- Nicht-Erreichen der Auslegungsleistungen
- kurze Laufzeiten zwischen zwei erforderlichen Off-Line-Reinigungen (z.B. < 2000 Bh)
- starke Korrosionsraten im Bereich 1. Kesselzug oberhalb Feuerfest
- starke Korrosionsraten im Bereich der Überhitzerheizflächen
- nicht angepasstes Feuerfestsystem und damit zu häufige Reparaturen an der keramischen Auskleiden

Übliche Versuche der Abhilfe münden in:

- Wechsel der Zustellungsarten (mit mehr oder weniger Erfolg)
- nachträgliche Schweißplattierung (Cladding) im ersten Kesselzug
- Maßnahmen an den Konvektionsflächen (Austausch von Bündeln, Cladding, Flamm-spritzen)
- Verfahrenstechnische Änderungen (Überhitzerschaltung, zusätzliche Heizflächen)
- Änderungen an Geometrie (Feuerraum)
- Änderungen an Rostsystem und Luftführung
- Einsatz von rauchgasseitig wirksamen Additiven

Anlagen neueren Ursprungs werden auf Grund dieser Erfahrungen mit zunehmender Häufigkeit anders dimensioniert (größere Durchsatzleistungen und damit verbunden andere Wand- / Querschnittsverhältnisse). Dieses führt zusammen mit „zufällig“ richtig getroffenen Entscheidungen / Auslegungen zu guten Ergebnissen.

Die Frage des „Warum geht’s dort aber nicht hier?“ wird sich jeder Betreiber stellen müssen. Aber auch Anlagenbauer und Ingenieur-Büros kennen augenscheinlich die Ursache nicht. Dieses mag platt und dreist klingen, Tatsache ist das, dass was an Anlage A funktioniert nicht zwangsläufig auch an Anlage B an einem anderen Standort (gleiche Größe, Desing, usw.) ebenso gute Ergebnisse liefert. Manchmal müssen nicht einmal Kilometer zwischen den Anlagen liegen, um Unterschiede z.B. im Emissionsverhalten zu erhalten (Beispiel: NO_x-Emission unserer Kohlekessel: 6 m Abstand und um 50 – 100 mg/m³ unterschiedliche Werte).

Es soll daher im Folgenden herausgearbeitet werden, welche Zusatzkosten durch verkürzte Reisezeiten anfallen, welche Schutz- und Umbaumaßnahmen ergriffen werden und wie der Einsatz von Additiven bewertet werden kann.

Dieses erscheint heutzutage, gegenüber den Vorjahren (TA-Siedlungsabfall), von besonderer Bedeutung, da die meisten Anlagen sowohl aus Gründen der Wirtschaftlichkeit als auch wegen der kontinuierlich hohen Müllanlieferung mit ganzjähriger Vollast und mit maximaler Verfügbarkeit betrieben werden müssen.

2 Mögliche Schwachpunkte bei der primären Auslegung von Feuerungen und Dampferzeugern

Mögliche „Schwachpunkten“ bezüglich der Auslegung von Feuerungen und Dampferzeugern beginnt bereits mit der zwanghaften Rücksichtnahme auf die örtlichen Gegebenheiten bzw. Randbedingungen, die sich beispielsweise wie folgt darstellen können:

- Technische und bauliche Randbedingungen:
- Ausführung des Kessels als Vertikal-Kessel statt Tail-end-Konstruktion
- Bauhöhe der Anlage
- Vorgegebene Randbedingungen durch Anlagenbestand (Dampfparameter: Druck und Temperatur)
- Zielsetzung Energieeffizienz

Einen weiteren Einflussparameter stellt der Brennstoff dar. Bei stark schwankenden Zusammensetzungen und Heizwertänderungen kann sich das hieraus resultierende Korrosions- und Verschmutzungsverhalten verändern. Hier gilt es durch organisatorische Maßnahmen im Bereich der Müll-Logistik dem entgegenzuwirken und durch eine zielorientierte Bunkerbewirtschaftung die Auswirkungen zu dämpfen. Andererseits werden MVA's zum Zweck der thermischen Behandlung von Abfällen gebaut – und dieser unterliegt in seinen Parametern nun einmal Schwankungen. „Das muss das Boot abhaben können“.

Anlagen auf maximale Energieeffizienz zu trimmen ist dann sinnvoll, wenn an der richtigen Stell-schraube gedreht wird. Die primäre Aufgabe ist die thermische Behandlung der Abfälle und nicht die Stromausbeute. Wenn also an der Maximierung der Wärmenutzung und an der Reduzierung des el. Eigenbedarfes gearbeitet wird anstatt an den Frischdampfparametern ist das gesamtwirtschaftlich sinnvoll.

Eine Feuerung auf ihren eigentlichen Zweck, der Umwandlung von chemisch gebundener Energie durch Oxidation in thermische Energie (Gasvolumen und Temperatur) stellt bislang keine Ansprüche an Innovation. Die üblichen Parameter wie

- Ausbrand Feststoff (Glühverlust)
- Ausbrand gasförmig: (CO, C_{ges})

werden erreicht und eingehalten.

Bei Kesselanlagen sind die relevanten Kriterien:

- Rauchgasgeschwindigkeit
- Verweilzeit
- Querschnitts- / Wandverhältnis
- Rauchgastemperaturen vor Endüberhitzer
- Horizontale Teilung in den Konvektionsbereichen (Gassenabstand)
- Effiziente Reinigungsvorrichtungen

Das ist eigentlich übliche Praxis, die der Hersteller in der Schublade hat. Hier dürfen keine Fehler mehr passieren (obwohl?).

Werden diese beiden Komponenten, Feuerung und Kessel nun aber zusammengefügt kommt es zu „gewissen“ Schnittstellenproblemen. Da der Bilanzkreis der Feuerung mit der letzten Luftzuführung (Sekundärluft) endet und diese Ebene eigentlich immer bereits im Kesseldruckkörper integriert ist, treten hier Schnittstellen auf die bewältigt werden müssen.

- Strömungsprofil Eintritt Kessel mit allen relevanten Bedingungen (Profile der Bestandteile O₂, CO, Staub)
- Staubbeladung und Zusammensetzung (Partikelverteilung, Größe, Zusammensetzung –Beladung an Cl⁻-Bestandteilen)
- Temperaturverteilung
- Rauchgasrezirkulation (Lage, Anordnung, Gasqualität)

Viele dieser Parameter sind bislang nicht vorhersehbar bzw. werden idealisiert in wärmetechnischen Berechnungen und CFD-Simulationen angesetzt, da hier die Grundlagen (Messtechnik, -Verfahren, hoher Aufwand) im Allgemeinen fehlen.

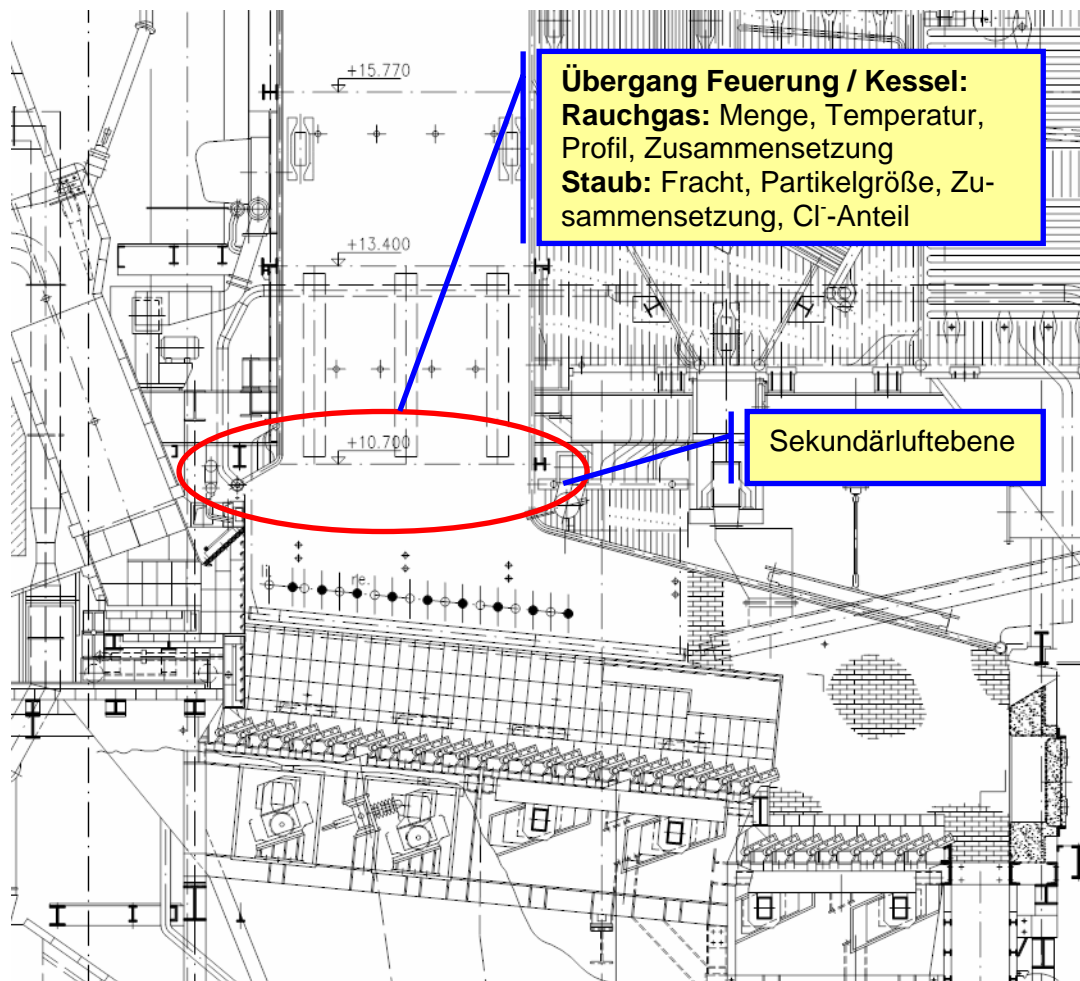


Abbildung 1: Übergang Feuerung / Kessel

Somit kann eigentlich bislang nur empirisch die zum Kessel passende Feuerung entwickelt werden. Wir suchen also noch den Knopf, oder die Stellschraube an der gedreht werden muss um Feuerung und Kessel optimal aufeinander abzustimmen.

3 Schutzmaßnahmen

Da die o.g. „Schwachstellen“ als derzeit ungelöst im Raum stehen bleibt dem Betreiber nur der Griff zu Schutzmaßnahmen die an der Anlage getestet und bei Erfolg großflächig und dauerhaft umgesetzt werden.

Die unter dem Begriff „Schutzmaßnahmen“ verstandenen Ansätze zeigt nachstehende Abbildung 2.

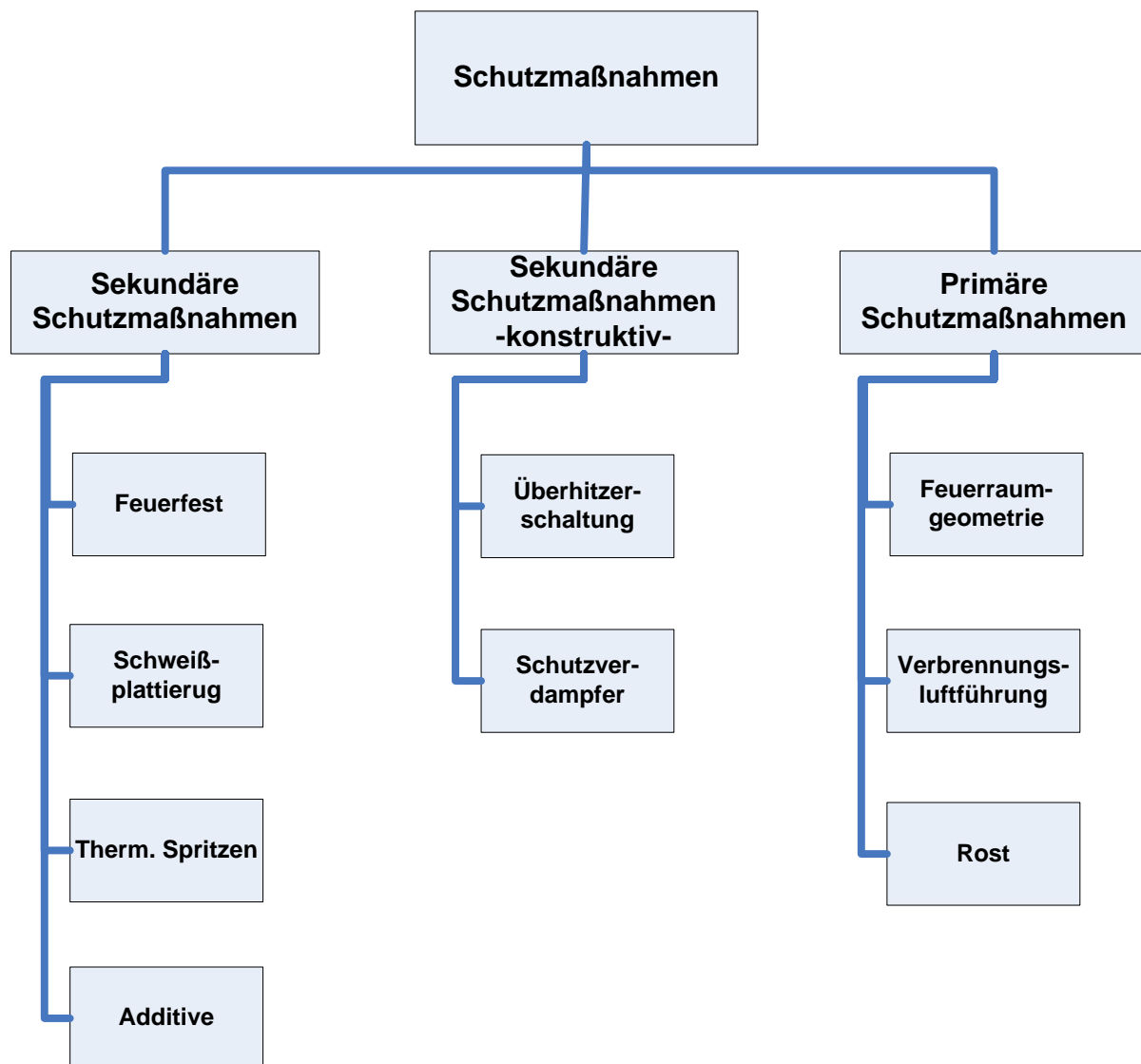


Abbildung 2: Schutzmaßnahmen

3.1.2 Schweißplattierung

Die Schweißplattierung mit Nickel-Basis-Legierungen von Membranwänden im 1. Zug oberhalb der Feuerfestzustellung kann mittlerweile als Standard-Lösung angesehen werden. Wesentlich für die Standzeit der Flächen ist hierbei die Güte der Aufschweißung. Mit einher geht der Ort der Applikation, also im Kessel geschweißt oder als vorgefertigte Paneele korrekt ausgerichtet und auf das richtige Teilungsmaß geschrumpft. Bei vor Ort aufgebrachten Schutzschichten ist davon auszugehen, dass trotz aufwendiger Reinigungsmaßnahmen (SSR) Restbestandteile von Verunreinigungen auf den Rohren verbleiben und unter Umständen bei der Aufschweißung zu unerwünschten Schmelzen führen können.

Bei Werkstattfertigung gibt es zwei Methoden der Schweißung (Fallnaht und Wannenlage). Welches der Schweißverfahren das richtige ist, kann philosophisch betrachtet werden. Die Unterschiede in der Fe-Aufmischung sind auf Grund der mittlerweile üblichen zwei-lagigen Ausführung sehr stark angenähert. Die Einflüsse, die aus dem Betrieb der Anlage heraus kommen haben auf die Standzeit der Aufschweißung eine wesentlich größere Auswirkung als der anfängliche Fe-Gehalt an der Oberfläche (und die ist sowieso nicht lange in jungfräulichem Zustand vorhanden).

Viel relevanter ist der Aufwand der für die Pflege der Flächen bei Revision aufgewendet wird. Eine reine visuelle Begutachtung mag nach dem ersten oder zweiten Betriebsjahr genügen, jedoch halte ich gerade hier eine intensive Kontrolle für erforderlich um ggf. vorhandene Schweißfehler rechtzeitig zu erkennen.

Das bei GKS übliche Procedere läuft wie folgt:

- Reinigung mittels Glasperlenstrahlen
- Befeuchten
- Markieren der auffälligen Stellen (zzgl. Bestimmung der Schichtdicke mittels Messgerät)
- Ausschleifen und Reparatur- bzw. Pflegeschweißung



Abbildung 4: Schweißplattierte Membranwand nach Pflegemaßnahme

Der Aufwand für diese Pflegemaßnahmen schlägt mit ca. 20 T€/a und Linie zu Buche. Nach über 75.000 Stunden Erfahrung mit diesem Vorgehen stellen die Flächen immer noch einen vollflächigen Schutz der Membranwände dar.

3.1.3 Thermisches Spritzen

Im Verdampferbereich liegen bei uns keine Erfahrungen zu Spritzschichten vor (s. hierzu Vortrag H. Kummer).

Im Konvektionsteil wurden bereits mehrere Versuche durchgeführt. Die Ergebnisse lassen keine Standzeitverbesserung erkennen.

Mit einer Schicht wurden allerdings Betriebszeiten von 23.000 Stunden erreicht. Nach dieser Betriebsphase zeigten sich lokale Abplatzungen im Bogenbereich. Der Grundwerkstoff war noch nicht geschädigt, sodass von einer Haltbarkeit der Schicht nahe der erreichten Betriebszeit ausgegangen werden kann. Interessant ist, dass die beschichtete Rohrschlange ohne sekundäre Schutzmaßnahmen (Schutzschalen) eingebaut war. Selbst im Einwirkbereich der Rußbläser zeigte die Schicht keine Auffälligkeiten.

Das Verfahren ist jedoch aufgrund des hohen Fertigungsaufwandes (Spritzen mit anschließender Wärmebehandlung) aus Kostengründen eingestellt worden. Es können künftig nur

noch gerade Rohrstrecken, Einzelbögen oder Membranwände beschichtet werden. Somit hat sich dieses Verfahren aus wirtschaftlichen Gründen disqualifiziert.



Abbildung 5: Thermisches Spritzen Endüberhitzer nach 22.500 Stunden

3.1.4 Additive im Rauchgasstrom

Der Anteil der chloridhaltigen Alkalimetallsalze die im Verlauf des Rauchgasweges sulfatieren und sich auf den Überhitzerheizflächen ablagern ist für den Korrosionsprozess unkritisch. Auch das bei der Sulfatierung freigesetzte Cl^- - Ion ist irrelevant, da es als HCl die Heizflächen nicht angreift und erst in der Rauchgasreinigung abgeschieden wird. Die Partikel, die auf Grund ihrer Größe, nicht oder nur unvollständig sulfatieren und ggf. im Fluge in Richtung Überhitzer noch mit anderen Partikeln agglomerieren (und ggf. noch niedrig schmelzende Salzgemische bilden) stellen das relevante Korrosionspotenzial dar. Bei niedrigen SO_2 -Konzentrationen im Rauchgas wird dieses Problem mangels Angebot noch verstärkt (Fast wie in der freien Marktwirtschaft: Große Nachfrage; geringes Angebot → Preis (Korrosion) steigt).

Dosierung von Additiven in den Rauchgasstrom (unter Berücksichtigung der richtigen Temperaturen an der Eindüsstelle) soll das S / Cl-Verhältnis positiv beeinflussen d.h. ausgeglichener machen um die weitreichende Sulfatierung zu ermöglichen.

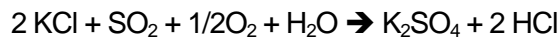
Als Additive werden je nach Verfahren bzw. Zielsetzung

- Ammoniumnitrat (Oxidation SO_2 zu SO_3) (Fa. ACorTech),
- Magnesiumnitrat (Belagsverändernd) (Fa. ACorTech) und
- Eisensulfat (Belagsverändernd und S-Fracht) (Fa. ACorTech)

- Ammoniumsulfat („Chlor-Out“ –Verfahren Fa. Vattenfall)

eingesetzt.

Am Beispiel Kaliumchlorid die Summenformel der Sulfatierungsreaktion:



Einige Produkte sollen neben dem Sulfatierungseffekt noch eine Strukturveränderung in den Belägen bewirken. Diese sollen dann leichter abzureinigen sein bzw. erst keine klebrigen Partikel bilden die sich ablagern. Derzeit laufen im GKS an einer Linie Versuchsfahrten mit Additiven der Fa. ACorTech.

Bei dem „Chlor-Out“ –Verfahren wird zur Bestimmung der Dosiermenge ein In-Situ Alkalichlorid-Monitor eingesetzt (Messverfahren zur Bestimmung der gasförmigen Alkalichlorid-Konzentration). Das „Chlor-Out“-Verfahren ist im MVA bislang noch nicht im Dauerbetrieb getestet. Erfahrungen seitens Fa. Vattenfall (s. Beitrag H. Grundmann) liegen an Biomassenanlagen vor. Testphasen mit „Chlor-Out“ sind sowohl in Hamburg als auch in Schweinfurt vorgesehen.

Bei Dosierung von Ammoniumverbindungen ist bei entsprechendem Temperaturfenster an der Eindüsstelle und entsprechende Mengen mit einer zusätzlichen Entstickung zu rechnen. Auf jeden Fall ist Abhängig von den weiteren Prozessstufen (SNCR, SCR, Rauchgasreinigung nass oder trocken) der NH_3 -Schlupf zu beachten.

3.2 Primäre Maßnahmen

Ziel ist es die Ursache der Korrosion und der Verschmutzung an der Wurzel bzw. am Entstehungsort der korrosionswirksamen Bestandteile wenn nicht zu unterbinden so dann wenigstens stark zu vermindern. Alle vorgenannten Schritte sind Ansätze die Symptome zu bekämpfen und nicht die Ursache.

Maßnahmen an der Feuerraumgeometrie, Verbrennungsluftführung und am Rostsystem sollen nachfolgend betrachtet werden.

Werden die primären Maßnahmen einzeln diskutiert, so kommt man nur schwer zu einem vernünftigen Grund Änderungen an den Einzelsysteme vorzunehmen.

Betrachtet man die Feuerung als Gesamtes können Modifikationen durchaus sinnvolle Ergebnisse bringen.

3.2.1 Feuerraumgeometrie

Grundsätzlich muss klar sein welche Schwachstellen die derzeitige Geometrie hat und vor allem – das ist das weitaus komplexere Thema – wo will ich denn überhaupt hin. Mit welchen Maßnahmen lassen sich Effekte erreichen die ggf. in Kombination mit Rost und Luftführung eine Verbesserung des Korrosions- und Verschmutzungsverhaltens erreichen.

Die Randbedingungen der Anlagen werden einen radikalen Schritt d.h. der Wechsel von einer der typischen Bauformen in eine andere (z. B. von einer Gegenstromfeuerung in eine Gleichstromfeuerung) nur schwer zulassen. Es müssen also mit weniger drastischen Maßnahmen erfolgversprechende Ansätze gefunden werden. Also z.B. von einer Gegenstromfeuerung in Richtung Mittelstromfeuerung.

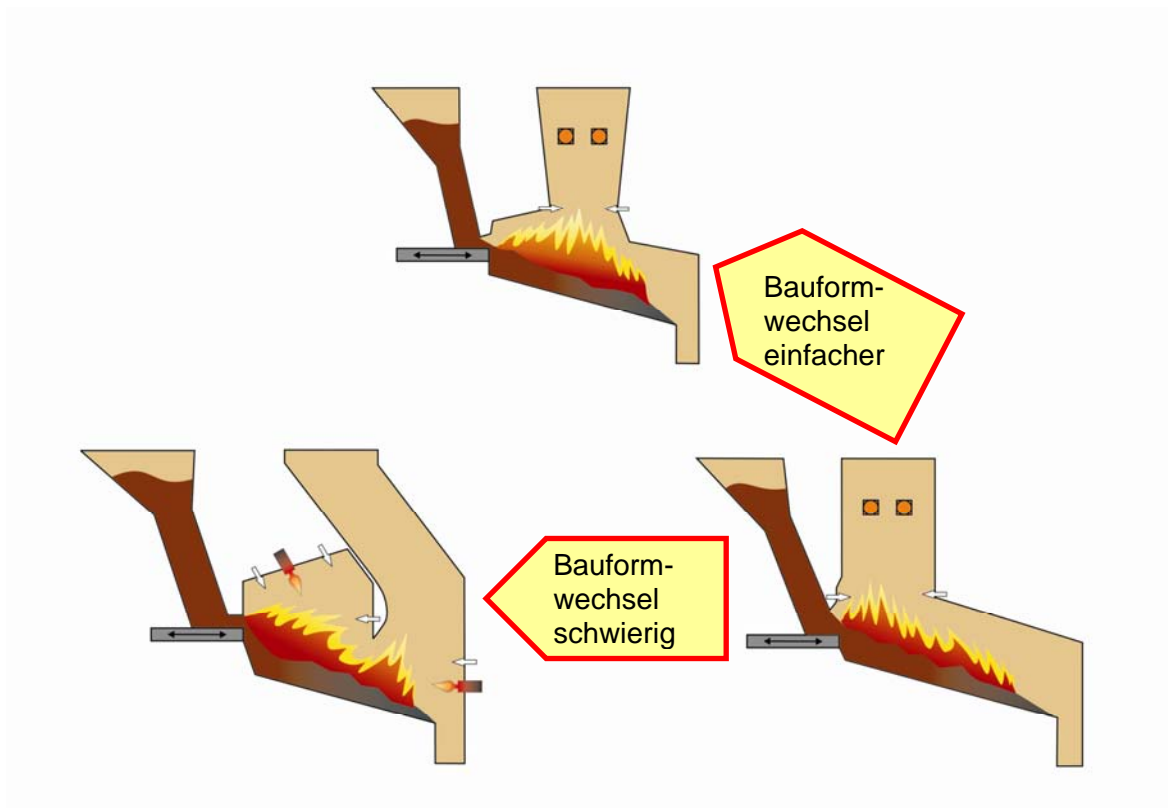


Abbildung 6: Feuerungsbauformen

Die Frage ist wie und an welchen Faktoren solche Maßnahmen bewertet und gemessen werden.

Maßnahme	Zielsetzung	Basis / Randbedingungen	Erfolg / Gefahr
Änderungen Geometrie Feuerraum	Optimierung Gasausbrand	CFD Simulationen	Messtechnisch auf Grund Kow-how-Mangel noch nicht nachgewiesen; großer Aufwand
	Verweilzeit Maximierung für Partikel	CFD Simulationen, Gas- und Partikelmessungen aus Projekt EFRE-Korr	Mehr Zeit für Sulfatierung
	Einströmung 1. Zug vergleichmäßigen	CFD Simulationen	Messtechnisch auf Grund Kow-how-Mangel noch nicht nachgewiesen; großer Aufwand
	Vermeidung von nicht-sulfatierbaren Alkalimetallchloriden	Die "Stellschraube" ist noch nicht gefunden	???

Abbildung 7: Darstellung Geometrie Feuerraum

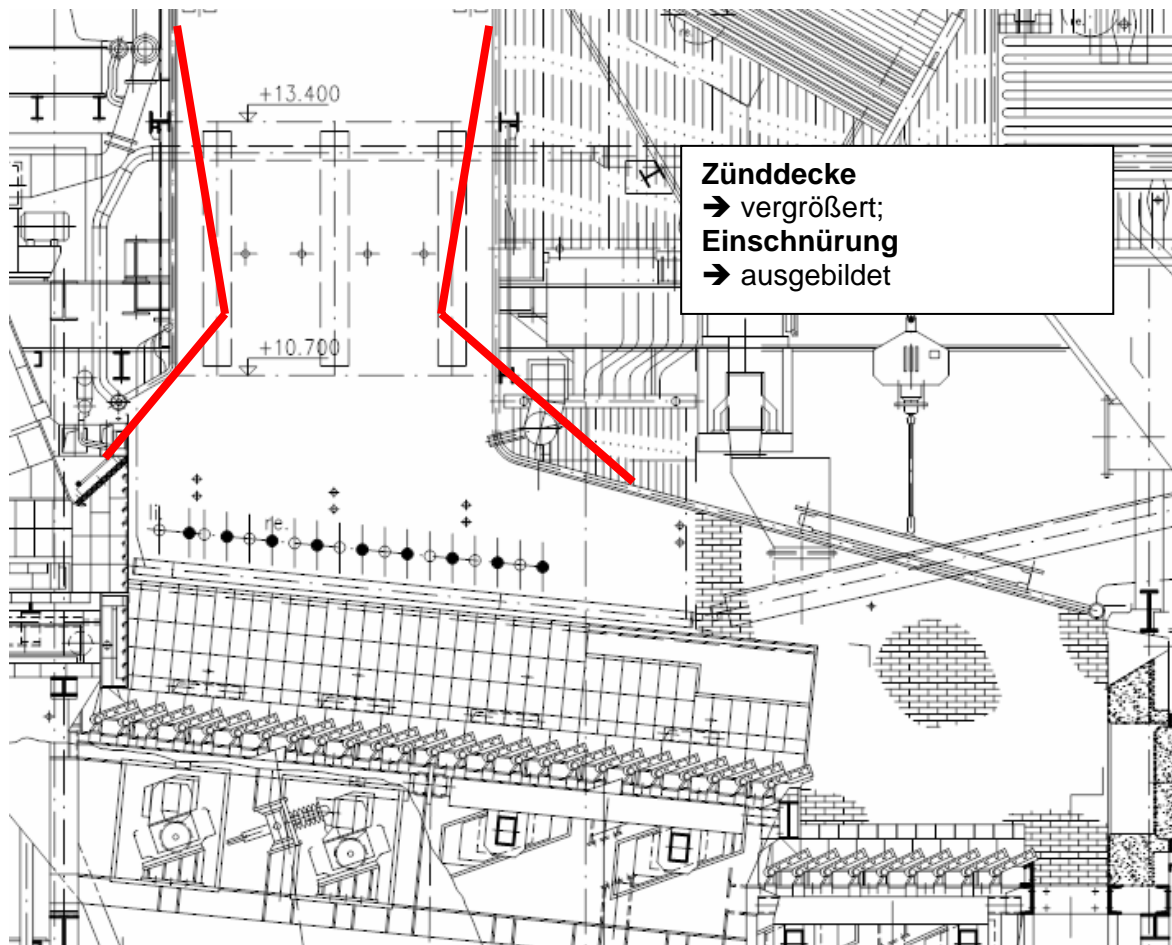


Abbildung 8: Vision Umbau Geometrie

3.2.2 Verbrennungsluftführung

Unmittelbar mit der Geometrie des Feuerraumes ist die Verbrennungsluftführung im Zusammenhang zu betrachten.

Bei einer Veränderung von z.B. der Sekundärluftführung ist immer die Lage der SL-Ebenen und damit die Geometrie der Feuerung und des Kesseleintritts relevant.

Änderungen im Unterwindbereich durch den Einsatz von n (= Anzahl Unterwindzonen) über Umrichter geregelte Verbrennungsluftgebläse stellt eher eine Möglichkeit dar die Anlagentechnik komplexer als notwendig zu gestalten. Ich glaube nicht, dass es relevant ist ob über einen Unterwindzone 2.750 m^3 oder 2799 m^3 Luft pro Stunde zur Verfügung gestellt wird. Außerdem ist das wohl eher eine Sache der Regelung.

Maßnahme	Zielsetzung	Basis / Randbedingungen	Erfolg / Gefahr
Änderungen an Verbrennungsluftführung	Optimierung Gasausbrand	Nur in Verbindung mit Geometrie-Feuerraum; Bereich Sekundarluft über CDF möglich; Bereich Unterwind auf Grund ungenügender Datenlage (Entgasung, Unstanz, ...) noch nicht möglich ==> s. Rostmodell	Messtechnisch auf Grund Kow-how-Mangel noch nicht nachgewiesen; großer Aufwand
	Optimierung Durchmischung	Nur in Verbindung mit Geometrie-Feuerraum; Bereich Sekundarluft über CDF möglich; Bereich Unterwind auf Grund ungenügender Datenlage (Entgasung, Unstanz, ...) noch nicht möglich ==> s. Rostmodell	Messtechnisch auf Grund Kow-how-Mangel noch nicht nachgewiesen; großer Aufwand
	Optimierung Einströmung 1. Zug	Nur in Verbindung mit Geometrie-Feuerraum; Bereich Sekundarluft über CDF möglich; Bereich Unterwind auf Grund ungenügender Datenlage (Entgasung, Unstanz, ...) noch nicht möglich ==> s. Rostmodell	Messtechnisch auf Grund Kow-how-Mangel noch nicht nachgewiesen; großer Aufwand
	Optimierung UW Verteilung (Reduzierung taubastrag)	Erfahrung des Anlagenbauers,	Was passiert wenn in UW Zone 1 500 m ³ /h mehr Luft durchgehen?
	Rauchgasrezirkulation, optimale angepasste Lage, Verwendung des "richtigen" Gases	Wirkung als zusätzlicher Mischer	Reaktionsprozesse auf Gas- und Partikelseite dürfen nicht negativ beeinflusst werden

Abbildung 9: Darstellung Verbrennungsluftführung

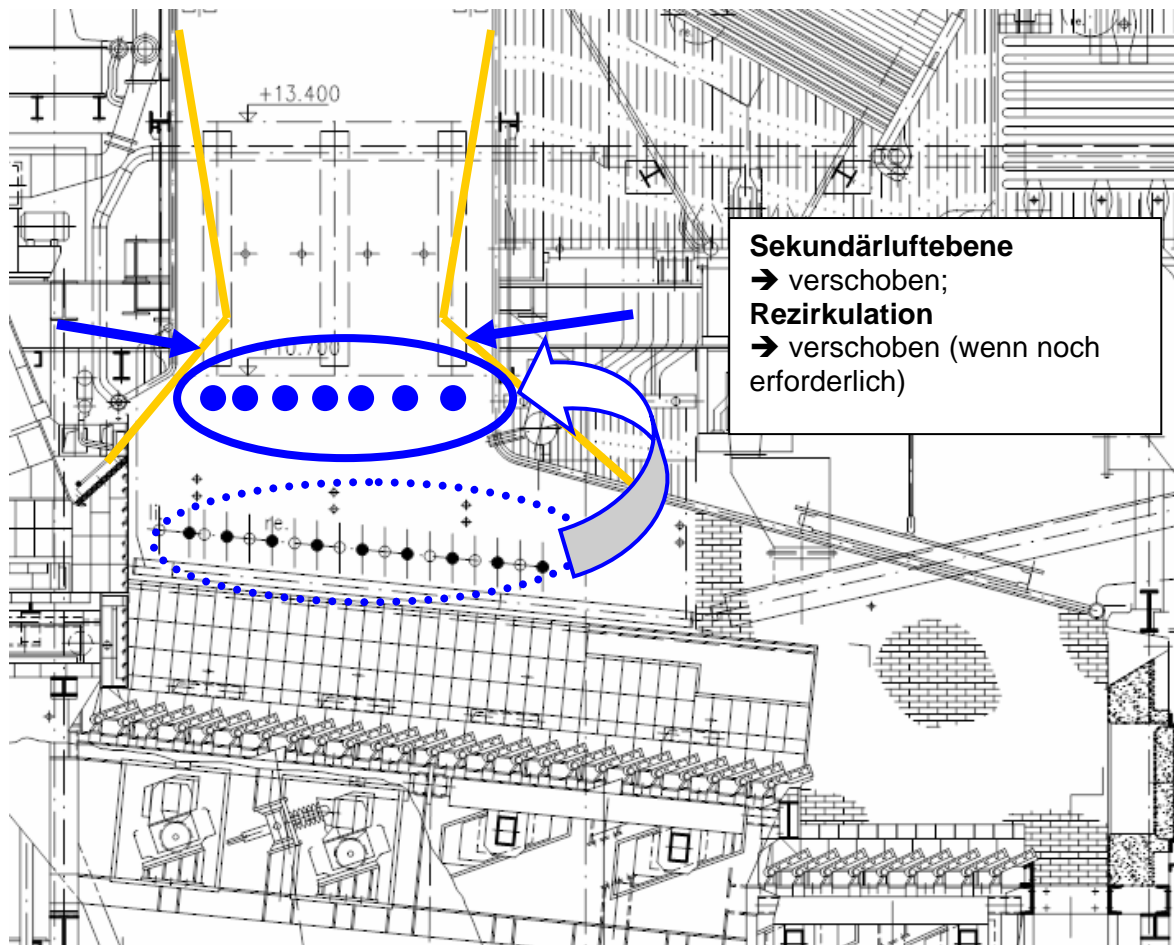


Abbildung 10: Vision Verbrennungsluftführung

3.2.3 Rost

Der Umbau eines Rostsystems mit dem alleinigen Hintergrund den rauchgasseitigen Output positiv zu beeinflussen ist unrealistisch. Der Erfolg dieser Maßnahme ist nicht abzuschätzen, sondern müsste messtechnisch mit großem Aufwand (Messungen vor und nach Umbau) nachgewiesen werden. Anlass für den Umbau eines Rostsystems sind die in Abb. 11 angeführten Punkte.

Ob derzeit das Know-how wirklich verfügbar ist, um allein durch einen Rostumbau das Korrosions- und / oder Verschmutzungsverhalten einer Anlage positiv zu beeinflussen, ist äußerst fraglich.

Maßnahme	Zielsetzung	Basis / Randbedingungen	Erfolg / Gefahr
Änderungen am Rostsystem	Verlängerung Standzeiten Rostbelag	Erfahrung, Werkstofftest, Konstruktive Verbesserung	bis zu 4 facher Standzeit (Hauptbrandzone) bei Wasserkühlung; Abführen der Wärme; Luftvorwärmung erforderlich
	Gleichmäßiger Vordruck über Fläche einer Unterwindzone	Ist Ersterbenswert, Bei luftgekühlten Rosten nicht dauerhaft realisierbar	Vermeiden von "Schmiedefever" Einfluss auf Emissionen, uf Grund der Brennstoffschwankungen und Schütthöhen fraglich
	Optimierte Luftverteilung	CFD aber nur in Verbindung Geometrie und Luftführung	
	Schürwirkung erzielen	Schnelle Eingriffmaßnahme bei trägem System	Vergleichmäßigung der Energieentzündung, Verbesserung Ausbrand

Abbildung 11: Darstellung Rostsystem

4 Wirtschaftliche Betrachtung

In nachfolgender Tabelle (Abbildung 12) sind die Kosten für die sekundären Schutzmaßnahmen für einen Betriebszeit von 10 Jahren aufgezeigt. Basis dieser Kosten sind Einschätzungen und Erfahrungswerte von GKS und somit nicht unmittelbar mit anderen Anlagen vergleichbar.

Schutzmaßnahmen für 10 Jahre Betrieb					
Kosten für Montage und Demontage (Basis 10 m ²) incl. Nebenleistungen (Isolierarbeiten, SSR, Bestiften/Halteteile)					
	k€	Standzeit [Bh] von	Standzeit [Bh] bis	Bemerkung	
1. Zug	Feuerfest				
	Masse, plastisch	61,0	15.000	15.000	
	Masse, spritz	56,5	15.000	15.000	
	Platten, kleb	31,1	15.000	30.000	
	Platten, gieß	46,5	15.000	22.500	
	Platten, hinterlüftet	24,3	30.000	45.000	
	Metallische Schutzschichten				
	Schweißplattiert				
	Vorfertigung in Werkstatt	75,3		75.000	
	Vor-Ort	54,8		75.000	
therm Spritzen				keine Betrachtung, da keine ausreichende Standzeit bzw. spez. zu teuer	
Standzeit bewerteter Austausch der V-Wand ohne sekundäre Schutzmaßnahmen	85,2	15.000	22.500		
3. Zug	Überhitzer				
	ÜH ohne weitergehende SM	1.000,0	7.500	15.000	
	ÜH mit weitergehenden SM	866,7	15.000	22.500	
	ÜH (nur End-ÜH mit Inconell) Rest konventionell	1.025,0		30.000	Annahme der Standzeit! Es liegen noch keine belastbaren Standzeiten vor
	ÜH (nur End-ÜH mit Inconell) Rest konventionell	820,0		37.500	Annahme der Standzeit! Es liegen noch keine belastbaren Standzeiten vor
therm. Spritzen				Es liegen keine ausreichenden Erfahrungen und belastbare Standzeiten vor um eine Bewertung darzustellen	
RG-Weg	Additive				
	Dosierung in RG Strom	132,0	?	?	keine belastbaren und reproduzierbaren Ergebnisse

Abbildung 12: Wirtschaftlichkeit von Schutzmaßnahmen

Es wurde versucht alle relevanten Positionen wie Ausbrucharbeiten, Sandstrahlreinigung, Bestiftung/Halteteile und Isolierung zu berücksichtigen. Gerüstkosten wurden nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass die Arbeiten im Rahmen einer ordentlichen Revision durchgeführt werden.

Für die vom Durchsatz abhängigen Kosten ist eine Anlage mit 60.000 t/a zu Grunde gelegt.

Feuerfest:

Werden die jeweils angeführten Standzeiten erreicht, so zeigt sich ein Vorteil für die Zustellung mit einem hinterlüfteten Plattensystem. Auch geklebte Platten zeigen ein akzeptables wirtschaftliches Ergebnis. Der Einsatz von plastischen Massen („spritze“ und „schmier“) sollte weitestgehend vermieden werden, da hier der Aufwand für Sandstrahlreinigung und tw. Ent- und Bestiftung deutlich in die Kosten einfließen.

Metallische Schutzschichten bzw. Maßnahmen im ersten Kesselzug:

Hier zeigt sich ein Vorteil für die Schweißplattierung. Der Betreiber muss entscheiden ob er durch umfangreiche Auftragsschweißungen im Kessel extreme Spannungen im Druckkörper in Kauf nehmen möchte. Die Vorgehensweise bei GKS ist auf jeden Fall werkstattgefertigte Paneelen einzusetzen.

Eine Umfangreiche Re-Claddingmaßnahme kann sich, unter Berücksichtigung der auftretenden Spannungen, bei Anlagen als sinnvoll erweisen die einen ausreichend großen Querschnitt des 1. Zuges haben, um mit mehreren Schweißrobotern parallel arbeiten zu können. Bei Schweißleistungen von ca. 0,5 m²pro Maschine und Schicht ist der Einfluss auf die Revisionsdauer zu berücksichtigen.

Das thermische Spritzen hat noch nicht die Güte erreicht die eine gesicherte Aussage zu Standzeit und Kosten zulassen. Hier sei nochmals auf den Vortrag von H. Kummer hingewiesen.

Bei der Bewertung des zustandsorientierten Austausches von ungeschützten Membranwänden ist Korrosions- und Abzehrungsrate zu berücksichtigen. Somit kann ggf. in Teilbereichen diese Maßnahme zielführend sein um von sgn. Voll-Cladding-Varianten (ggf. noch bis in den 2. Kesselzug hinein) weg zu kommen. Der Aufwand für umfangreiche Wanddickenmessungen und vor allem die entsprechende Dokumentation und Auswertung dieser Daten ist nicht unerheblich.

Im **Überhitzerbereich** sind die Erfahrungen mit Schweißplattierung noch nicht sehr umfangreich. Hier ist die Bauform der Überhitzer entscheidend. Die Standzeiten der schweißplattierten Überhitzer müssten in den Bereich von 40.000 Betriebsstunden kommen um ein lukratives Ergebnis zu zielen. Bei Schlangenbauform sehe ich Schwierigkeiten im Bereich der Fertigung. Eine 180° Biegung mit Biegeradius 50 mm und gecladdetem Rohr ist selbst mit modernen Biegemaschinen mit Zieh-Dorn nicht vernünftig darzustellen. Erschwerend kommt

hinzu, dass durch die Aufschweißung unregelmäßige Oberflächen zu Stande kommen können, die zu Rissbildungen am Rohr führen können und der keine Biegematrize gerecht werden kann.

Für die **Additiv-Dosierung** mit der Zielsetzung Korrosionsminderung scheinen sich gute Ansätze zu zeigen. Diese müssen durch Dauerbetrieb und entsprechende Messungen belastbar dargestellt werden. Dieses Verfahren kann die Auswirkungen der Diskrepanz (Output Feuerung real ist anders als erwarteter Input Kessel) an der Schnittstelle zwischen Feuerung und Kessel möglicherweise dauerhaft abschwächen oder gar verhindern.

Zur Verminderung des Verschmutzungsverhaltens ist nur zu sagen, dass jede Betriebsstunde in der eine Anlage zusätzlich Müll durchsetzt sich positiv auswirkt (Abbildung 13). Ein Reinigungsstillstand der vermieden werden kann, schafft zusätzlich Ressourcen beim Fahrpersonal, da keine Freischaltungen und sonstige Arbeiten anfallen die mal eben schnell gemacht werden müssen.

Voraussetzung für alle Additiv-Dosierungen ist, dass alle Maßnahmen mit einem vertretbaren personellen Aufwand abzuwickeln sind. Häufiger Container-Wechsel oder „Wasser- und Chemie-Spiele“ sollten auch schon in der Testphase vermieden werden – dies fördert die Akzeptanz beim Fahrpersonal. Ggf. sind entsprechende technische Einrichtungen zu beschaffen.

Verfügbarkeit	Betriebsstunden	Revision / Zwischenreinigung /Stillstand	Revision	Anzahl ZR	Zwischenreinigung	Ungeplant (Schaden)	Anlagendurchsatz (t/h)	Additiv-Kosten	Mehrung Mülldurchsatz -kumuliert-	Erlös-Zuwachs jeweils auf "BASIS" bezogen
	[h]	[h]	[h]	[-]	[h]	[h]	[t/a]	[T€/a]	[t/a]	[T€/a]
85%	7.452	1.308	756	4	120	72	59.616	13,1		"BASIS"
86%	7.572	1.188	756	3	120	72	60.576	13,3	960	113
88%	7.692	1.068	756	2	120	72	61.536	13,5	1.920	239
89%	7.812	948	756	1	120	72	62.496	13,7	2.880	332
91%	7.932	828	756	-	120	72	63.456	14,0	3.840	447

Mindestanforderung: Gesicherte Verfügbarkeit von über 85 %
Ziel: nahe 90 %

Abbildung 13: Wirtschaftlichkeit Additiveinsatz

5 Zusammenfassung

Schutzmaßnahmen, seien sie primär oder sekundär, sind nicht auf alle Anlagen übertragbar (und teilweise ja zum Glück für den jeweiligen Betreiber gar nicht notwendig). Die Anzahl der Lösungsansätze ist groß und der Bogen spannt sich von Alchemie (muss ja nicht negativ sein) bis zu hochtechnischen Lösungen (die aber manchmal mit nicht belastbaren Verkaufsargumenten angepriesen werden).

In Abbildung 14 sind alle andiskutierten Varianten aufgeführt und abschließend in ihrer Wirksamkeit und Eignung bewertet.

Alle sekundären Maßnahmen haben die Eigenart, dass mit ihnen versucht wird, die Symptome zu bekämpfen und nicht die Ursache. Der Ehrgeiz mit primären Maßnahmen eine zufriedenstellende Lösung zu finden kann auf Grund der Vielzahl der Unwägbarkeiten mit der Zeit in Resignation umschlagen. Wir wollen uns aber nicht entmutigen lassen, da es genügend Beispiele von Anlagen gibt, die hervorragend laufen, auch wenn man nicht genau weiß warum.

Durch die umfangreichen Untersuchungen, die im Rahmen der Forschungsprojekte (EFRE-Korr und NextGenBioWaste und Folgende) erfolgt sind bzw. noch erfolgen werden, wird sich die Erkenntnislage deutlich verbessert, so dass ein brauchbarer und vor allem praktikabler Lösungsansatz gefunden werden kann.

Schutzmaßnahmen						
	Korrosion			Verschmutzung		
	Strahlungszug	2. Zug (Leerzug oder Schotten)	Konvektionsteil	Strahlungszug	2. Zug (Leerzug oder Schotten)	Konvektionsteil
Feuerfest						
Masse, plastisch	+	(+) 4				
Masse, spritz	-	(+) 4				
Platten, kleb	+					
Platten, gieß	+					
Platten, hinterlüftet	++					
Metallische Schutzschichten						
Schweißplattiert	++		+			
therm Spritzen	±		±			
Standzeit bewerteter Austausch ohne sekundäre Schutzmaßnahmen	+		-			
Schutzschalen						
Guß -			+			
Sicromal -			+			
Sonderformen			+			
Reinigungssysteme						
SCS 200				(+) 1	++	
Rußläser			(-) 3			(+)
Wasserlanzenbläser				(+)	(+)	
Klopfwerke					(+)	(+)
Additive						
		(+) 2	(+) 2		(+) 2	(+) 2

- 1: Wenn 1. Zug mit Platten, hinterlüftet ausgeführt
 2: Eindeutiger Nachweis aus Dauerbetrieb liegt noch nicht vor.
 3: Bei falsch eingestellten Blasdrücken
 4: Wenn End-ÜH-Schotten im Einsatz [$f_{T \text{ Rauchgas}}$]

Abbildung 14: Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen