

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 15

Umweltechnik

Dipl.-Ing. Wilhelm Kleffner,
Raubling

Nr. 203

**Maßnahmen zur
Minderung von
partikelgetragenen,
sauren Emissionen
aus schwerölbefeuerten
Kraftwerken**

HLuHB Darmstadt



14213465

Inhalt:

1. Einleitung	1
2. Problemstellung, Anlagenbeschreibung	2
2.1 Allgemein	2
2.1.1 Auftreten „saurer Partikel“ vor und nach Inbetriebnahme von RRA	2
2.1.2 Auswirkungen außerhalb des Kraftwerksgeländes	2
2.2 Kraftwerk Ingolstadt	4
2.2.1 Schaltung und Rauchgasdaten	4
2.2.2 Änderungsmaßnahmen für den Brennstoff HS-Sonderqualität	7
2.2.2.1 Brennstoffe	7
2.2.2.2 Brennstoffversorgung	7
2.2.2.3 Dampferzeuger	8
2.2.3 Nachgerüstete Anlagenteile	8
2.2.3.1 DeNO _x -Anlage	8
2.2.3.2 Luftvorwärmer	9
2.2.3.3 Elektrofilteranlage	9
2.2.3.4 Wärmetauscher der REA	9
2.2.3.5 Rauchgasentschwefelungsanlage	10
2.2.4 Situation vor und nach Inbetriebnahme der RRA	10
2.2.4.1 Vor Inbetriebnahme der RRA	10
2.2.4.2 Nach Inbetriebnahme der RRA Block 4	11
2.2.4.3 Nach Inbetriebnahme der RRA Block 3	11
3. Grundlagen	12
3.1 Erscheinungsformen und Verhalten der sauren Emissionen	12
3.1.1 Erscheinungsformen / Spezies des sauren Auswurfes	12
3.1.1.1 Aerosole	12
3.1.1.2 Tropfen	14
3.1.1.3 Partikel	15
3.2 Verbrennungs- und anlagenspezifische Einflüsse auf die SO₂-Bildung	15
3.2.1 SO ₂ in Feuerungsabgasen	15
3.2.1.1 Theoretisches Gleichgewicht der Konversion von SO ₂ zu SO ₃	16
3.2.1.2 Luftüberschuß bei der Verbrennung	19
3.2.1.3 Oxidation von SO ₂ zu SO ₃ durch Reaktion mit NO _x	20
3.2.1.4 Katalytisch unterstützte Umsetzung von SO ₂ zu SO ₃ im Dampferzeuger	22
3.2.1.5 Reaktions- und Adsorptionsvorgänge in Ablagerungen und Verschmutzungen	25
3.2.1.6 Schwefelgehalt des Brennstoffes	28
3.2.1.7 Dampferzeugerlast und Aufenthaltszeit der Rauchgase	30
3.2.1.8 Konversionsrate des DeNO _x -Katalysators	33
3.2.2 SO ₂ verringemde Mechanismen	42
3.2.2.1 Kalzium- und Magnesiumverbindungen	42
3.2.2.2 Ruß	43
3.2.2.3 Ammoniak	44
3.2.3 SO ₂ -Konversionsrate des Gesamtsystems	45

3.3 Säuretaupunkt und Kondensation	48
3.3.1 Säuretaupunkt	48
3.3.1.1 Zustandsdiagramm $H_2O - H_2SO_4$ und Schwefelsäurekonzentration	49
3.3.1.2 Relation zwischen Säuretaupunkt, SO_2 - und H_2O -Gehalt der Rauchgase	51
3.3.1.3 Meßprinzipien und Methoden zur Bestimmung des Schwefelsäuretaupunkts und Relation der Ergebnisse	52
3.3.2 Kondensation und Tropfenwachstum	54
3.3.2.1 Tropfenkondensation, Keimbildung	54
3.3.2.2 Filmkondensation	56
3.4 Partikelbildung innerhalb des Rauchgassystems	58
3.4.1 Unterschreitung des Säuretaupunkts	58
3.4.1.1 Korrosive Wirkung der Schwefelsäure auf unlegierten („schwarzen“) Stahl	60
3.4.1.2 Korrosive Wirkung der Schwefelsäure auf hochlegierte Stähle	62
3.4.2 Korrosive Partikel aus dem Brennstoff	65
4. Anlagenspezifische Einflüsse auf die SO_2-Bildung und -Minderung	66
4.1 Bereich Dampferzeuger	66
4.1.1 Brennstoff und Feuerung	66
4.1.2 DeNO _x -Katalysator	67
4.1.3 Luftvorwärmer (Luvo)	69
4.2 Bereich Rauchgasreinigung	73
4.2.1 Elektrofilter	73
4.2.2 Rohgaswärmetauscher vor REA	76
4.2.3 Wäscher der REA	78
4.2.4 Reingaswärmetauscher hinter REA	79
4.3 Partikelquellen im Rauchgasweg	81
5. Versuche im Kraftwerk Ingolstadt	82
5.1 Verlauf der SO_2-Konzentration im Rauchgasweg	82
5.2 Additivzugaben zur SO_2-Minderung und deren Einflüsse / Ergebnisse	83
5.2.1 MgO-Additivzugabe zum Brennstoff	83
5.2.2 NH_3 -Zugabe vor Economizer	84
5.2.3 $Ca(OH)_2$ -Dosierung vor Zwischenüberhitzer	86
5.2.4 $CaCO_3$ -Dosierung vor Zwischenüberhitzer	87
5.2.5 $Mg(OH)_2$ bzw. $Ca(OH)_2$ vor Luftvorwärmer	88
5.2.6 MgO-Dosierung hinter Luftvorwärmer	89
5.2.7 NH_3 -Dosierung hinter Luftvorwärmer	90
5.2.8 $CaCO_3$ - und $Ca(OH)_2$ -Dosierung vor Rohgaskühler vor REA	92
5.3 Mechanische Maßnahmen	93
5.3.1 Absenkung der Rauchgastemperatur hinter Luftvorwärmer	93
5.3.2 Optimierung der Anströmung und Sanierung der durch Korrosion und Schwingungen geschädigten Module des Rohgaskühlers vor REA	96

5.3.3 Stillstandsreinigung am Reingaswärmetauscher	97
5.3.4 Naßelektrofilter (Versuchsstrecke)	98
5.4 Übersicht über die durchgeführten Versuche zur SO₂-Minderung.....	99
6. Lösung des Problems im Kraftwerk Ingolstadt	102
6.1 Rauchgaskanalsystem und Schornsteinmauerwerk.....	102
6.1.1 Zustand der Stahlkanäle	102
6.1.1.1 Rohgassystem vor REA	102
6.1.1.2 Reingassystem hinter REA	103
6.1.2 Kamin mit Mauerwerksröhre.....	104
6.1.3 Kondensationsvorgänge am Mauerwerk und Schwefelsäureaufnahme	108
6.2 Sanierungsvarianten für die gemauerte Schornsteinröhre	115
6.2.1 Vorgaben für Konstruktionsprinzip zur Sanierung der Mauerwerks-Röhre	115
6.2.2 Technische Lösungsansätze	116
6.2.2.1 Beschichtung der vorhandenen Mauerwerksröhre.....	116
6.2.2.2 Erneuerung der Mauerwerksröhre und Vermeidung der Auskühlung	116
6.2.2.3 Stahl-/Edelstahlröhre.....	116
6.2.2.4 Block-Lining-System	117
6.2.2.5 Glas-Auskleidung.....	119
6.2.2.6 GFK-Röhre.....	119
6.2.3 Bewertung der Varianten und Ausführungswahl.....	121
6.3 Durchgeführtes Sanierungskonzept.....	122
6.3.1 Konstruktion der GFK-Röhre	122
6.3.2 Ausführungsfehler Außenabdichtung zwischen GFK-Röhre und Mauerwerk und Folgen..	125
6.3.3 Betriebserfahrungen mit der GFK-Röhre nach Fehlerbeseitigung	127
6.4 Änderung des Anfahrprogrammes, Systemvorwärmung.....	130
6.5 Ausblick auf die weitere Vorgehensweise.....	130
7. Zusammenfassung der Versuche und Maßnahmen, Betrachtung der Übertragbarkeit auf andere Großkraftwerke	132
8. Quellennachweis.....	135