

**Erste Betriebserfahrungen nach dem Umbau
einer nassen Rauchgasreinigungsanlage
auf eine trockene Rauchgasreinigungsanlage
in der MVA Weisweiler**

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 3 |
| 1.1 | <i>Allgemeine Angaben zur MVA Weisweiler</i> | 3 |
| 1.2 | <i>Optimierung RRA</i> | 3 |
| 2 | RRA-Verfahren mit NaHCO₃ und Niedertemperatur-Katalysator | 5 |
| 2.1 | <i>Aufbau der trockenen Rauchgasreinigung</i> | 5 |
| 3 | Durchführung der Umbaumaßnahme | 9 |
| 3.1 | <i>Abwicklung, Bau, Inbetriebnahme</i> | 9 |
| 3.2 | <i>Integration in den Anlagenbestand</i> | 11 |
| 4 | Erste Betriebserfahrungen nach dem Umbau der RRA | 14 |
| 4.1 | <i>Energetische Betrachtung</i> | 14 |
| 4.2 | <i>Roh- und Reingasdaten, Betriebsmittelverbräuche</i> | 15 |
| 4.3 | <i>Verhalten bei hohen Rohgaswerten</i> | 16 |
| 4.4 | <i>Erfahrungen mit der Katalysatorregeneration</i> | 16 |
| 4.5 | <i>Kurzzeitstillstand Linie 1</i> | 19 |
| 5 | Zusammenfassung | 19 |
| 6 | Literatur | 20 |

1 Einleitung

1.1 Allgemeine Angaben zur MVA Weisweiler

Die MVA Weisweiler GmbH & Co. KG ist eine so genannte "PPP-Gesellschaft".

"Public-Private-Partnership" steht für die erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen der "öffentlichen" (kommunalen) AWA Entsorgung GmbH und der privaten Entsorgungsgesellschaft Niederrhein mbH als gleichberechtigte Teilhaber der Betreibergesellschaft.

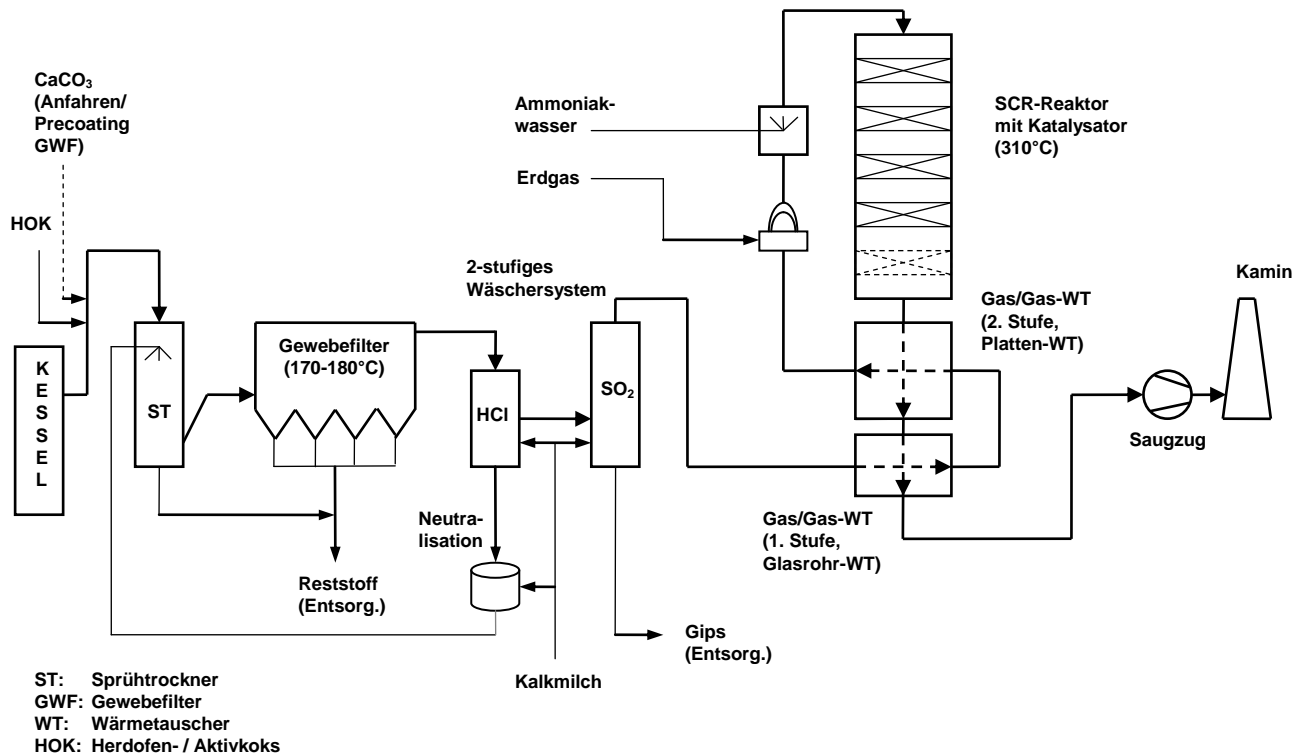
Die MVA Weisweiler ist eine moderne Müllverbrennungsanlage, bestehend aus 3 unabhängigen Verbrennungslinien, in der pro Jahr ca. 360.000 Tonnen Abfall verbrannt werden können. Damit bietet die MVA Weisweiler Entsorgungssicherheit für etwa 850.000 Bürgerinnen und Bürger. Das Entsorgungsgebiet erstreckt sich über den Kreis und Stadt Aachen, Kreis Düren (kommunale Abfälle), Euregio (Belgien und Niederlande) bis hin zu überregionalen Gewerbeabfällen.

Bei Nennlast der Anlage werden pro Stunde ca. 51,5 Tonnen Dampf pro Linie erzeugt und zum Antrieb einer Turbine zur Stromerzeugung im benachbarten Braunkohlekraftwerk Weisweiler genutzt (elektrische Leistung 35 Megawatt, ausreichend für ca. 60.000 Haushalte).

1.2 Optimierung RRA

Die nasse Rauchgasreinigungsanlage bestand im Wesentlichen aus Sprühtrockner, Gewebefilter, einem zweistufigen Wäschersystem, SCR-Reaktor mit Wärmeverschiebesystem, Erdgasbrenner und Katalysator, Saugzug und Kamin sowie den peripheren Einrichtungen Kalkmilchstation, Gipsaufbereitung, HOK-Eindüssystem, Reststoffförderung und -lagerung.

Abbildung 1 – Schema der nassen Rauchgasreinigung (Altanlage)



Aufgrund anstehender umfangreicherer, abnutzungsbedingter Sanierungsmaßnahmen, vorwiegend im Bereich der Wäschersysteme, wurden seitens MVA Weisweiler GmbH & Co. KG Überlegungen angestellt, inwieweit es hierzu Alternativen gibt, die Rauchgasreinigungsanlage unter folgenden Gesichtspunkten weiter zu optimieren:

- Senkung der Energieverbräuche / Verbesserung der Energiebilanz
- Senkung der Betriebskosten
- Reduzierung der CO₂-Emissionen
- Möglichst kurze Umschlusszeiten

In einer ersten Projektstudie wurden durch ete.a GmbH Anfang 2007 insgesamt fünf verschiedene Verfahrenskonzepte, basierend auf Trockensorptionsverfahren mit Kalkhydrat oder Natriumbicarbonat als Sorbens, jeweils kombiniert mit einem SCR- oder SNCR-Verfahren zur Entstickung, verglichen und bewertet. In Anbetracht des aufgezeigten Einsparpotentials gegenüber der nassen Rauchgasreinigung von ca. 3 Mio. €/a, wurden zwei Verfahren (1 x

Kalkhydrat, 1 x Natriumbicarbonat, jeweils mit SCR) ausgewählt und vor einer endgültigen Verfahrensentscheidung einem weiteren Planungsschritt (Basic-Engineering) unterzogen, um die in der ersten Konzeptstudie gewonnenen Erkenntnisse zu bestätigen. Auf eine weitere Vertiefung der in der ersten Studie noch enthaltenen Verfahrensvarianten mit SNCR wurde vor dem Hintergrund der bestehenden Genehmigung (Tagesmittelwert NO_x = 100 mg/m³) sowie der zum damaligen Zeitpunkt schon in Diskussion befindlichen gesetzlichen Grenzwertverschärfung für NO_x verzichtet.

Anhand der im Rahmen des Basic-Engineerings erarbeiteten Bewertungen wurde aufgezeigt, dass die Variante „Natriumbicarbonat + SCR“ hinsichtlich der Integration in die bestehende Infrastruktur und vor dem Hintergrund einer möglichst „einfachen“ Prozessführung und Bedienung, gegenüber der Variante „Kalkhydrat + SCR“, zu bevorzugen ist. Vorteile waren neben dem deutlich geringeren Umschlusssaufwand (Minimierung der Stillstandzeit) auch bei der Inbetriebnahme und dem späteren Betrieb, Wartung und Instandhaltung aufgrund der einfacheren Anlagentechnik zu erwarten [1], [2].

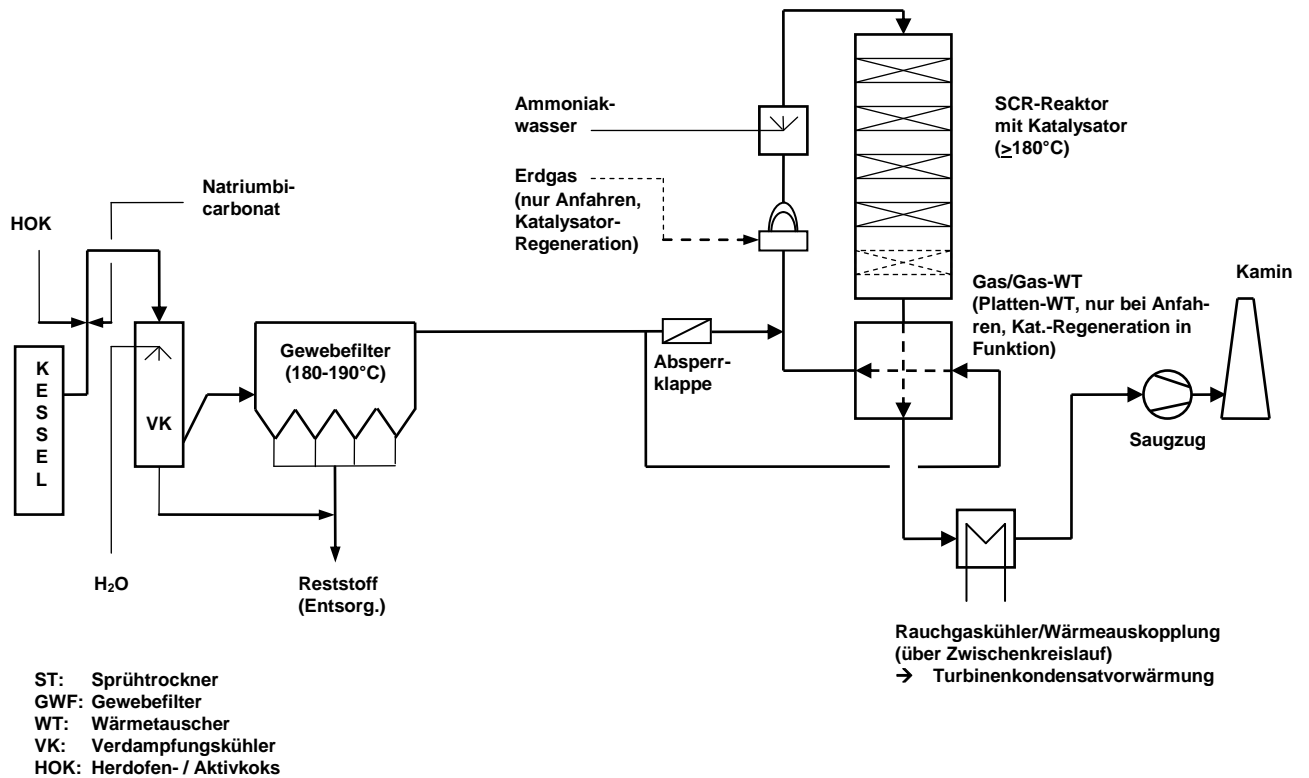
- Das in den Konzeptstudien ausgewiesene Einsparpotential von ca. 3 Mio. €/a wurde für beide Varianten bestätigt.
- Das Verfahren „Natriumbicarbonat + SCR“ stellte im Vergleich zur Variante „Kalkhydrat + SCR“ in der MVA Weisweiler die kostengünstigere Variante dar (Kostenvorteil ca. 200.000 €/a).
- Der Umbaufwand und Eingriff in die Altanlage war für Variante „Kalkhydrat + SCR“, überwiegend bedingt durch den erforderlichen aufwendigen Umbau des Verdampfungskühlers am höchsten, respektive bei Variante „Natriumbicarbonat + SCR“ am geringsten.
- Aus Gründen der Kostensenkung, Verbesserung der Energiebilanz und nicht zuletzt aus Gründen der Klimarelevanz, war die Idee zum Umbau dieser Rauchgasreinigungsanlage als sinnvolle Maßnahme anzusehen.

2 RRA-Verfahren mit NaHCO₃ und Niedertemperatur-Katalysator

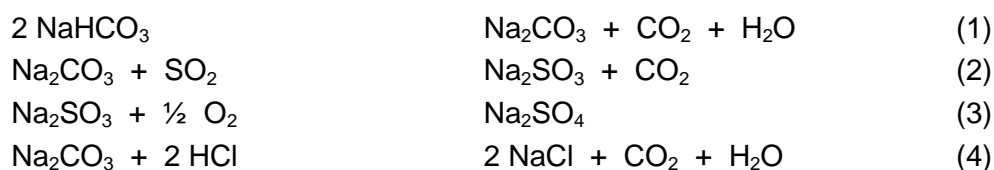
2.1 Aufbau der trockenen Rauchgasreinigung

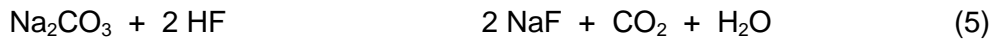
Das Rauchgasreinigungsverfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass die Abscheidung der Schadstoffe mit Ausnahme der Stickoxide (NO_x) im Flugstromverfahren nach dem Prinzip der Trockensorption, also ohne Abkühlung der Rauchgase auf die Sättigungstemperatur (entspr. 100% relativer Rauchgasfeuchte), erfolgt.

Abbildung 2 – Schema der trockenen Rauchgasreinigung mit NaHCO_3



In einem ersten Prozessschritt werden die aus dem Kessel austretenden Rauchgase durch Eindüsung von Prozesswasser im Verdampfungskühler auf die Betriebstemperatur im Gewebefilter von ca. 180 - 190°C abgekühlt. Die für die Wasserverdampfung notwendige Enthalpie wird dem Rauchgas entzogen, hierbei kühlt es sich entsprechend der verdünnten Wassermenge ab. Nach Einstellung der Prozessstemperatur werden die sauren Schadgase, Staub, Schwermetalle und Dioxine/Furane trocken am Gewebefilter mittels eingesetzter Sorbentien Natriumbicarbonat (NaHCO_3) und Aktivkoks (HOK) abgeschieden. Diese werden wegen Maximierung der Verweilzeit im Rauchgasstrom bereits vor dem Verdampfungskühler in den Rauchgasstrom eingeblasen. Die Abscheidung der sauren Schadgase erfolgt durch chemische Reaktionen der gasförmigen Rauchgasbestandteile mit Natriumbicarbonat gemäß folgenden Reaktionsgleichungen:





Bei Rauchgastemperaturen bereits ab ca. 140°C zersetzt sich das in den Rauchgaskanal ein-geblasene Natriumbicarbonat spontan gemäß (1). Bei dieser „thermischen Aktivierung“ entsteht durch die Abspaltung von CO₂ und H₂O Soda (Natriumcarbonat, Na₂CO₃). Die frisch gebildete Soda ist aufgrund der bei der thermischen Aufspaltung entstehenden großen Oberfläche sehr reaktionsfreudig und reagiert mit den sauren Schadgasen gemäß (2) bis (5). Bei höheren Temperaturen läuft die Aufspaltung prinzipiell schneller ab, was zu einer Erhöhung der Reaktionsfreudigkeit führt. Neben der Temperatur spielt die Feinheit und Verweilzeit des Natriumbicarbonat im Rauchgas für die Effektivität der Reaktionen nach (1) bis (5) eine Rolle. Eine möglichst frühe Zugabe von Natriumbicarbonat sowie dessen Korngröße (Aufmahlgrad, Feinheit) begünstigt die Abscheidebedingungen bzw. minimiert wegen des besseren Ausnutzungsgrades (Stöchiometrie) den Absorbenseinsatz.

Die Aufmahlung von Natriumbicarbonat zur Erzielung der benötigten Korngröße erfolgt unmittelbar vor der Einblasung in den Rauchgasstrom mit geeigneten Mühlen (Sichtermühlen, 2 x 100% je Linie installiert), da das sehr fein aufgemahlene Natriumbicarbonat ungünstige Lager-eigenschaften hat. In den Vorratssilos wird wegen der wesentlich besseren Lagereigenschaften entsprechend gröberes Material gelagert.

Im Rauchgas enthaltene Spurenstoffe, wie Dioxine/Furane (PCDD/PCDF) sowie verschiedene Schwermetalle werden adsorptiv an kohlenstoffhaltigen Sorbentien (HOK) angelagert. Zum Einsatz kommt ein mahlaktivierter Herdofenkoks aus Braunkohle. Durch das Herstellungsverfahren wird eine große aktive Oberfläche auf den Kokspartikeln erzeugt. Die Dioxine und Dibenzofurane lagern sich auf Grund der chemischen Ähnlichkeit an diese Oberflächen an. Schwermetalle oder ihre Salze werden durch Bindungen an reaktive Zentren auf der Oberfläche gehalten. Der beladene Herdofenkoks wird gemeinsam mit den nach (2) bis (5) gebildeten Reaktionssalzen und dem im Rauchgas vom Kessel enthaltenen Flugstaub im Gewebefilter abgeschieden und aus dem Prozess ausgeschleust.

Die optimale Prozesstemperatur der Trockensorptionsstufe wird von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Reaktionsbedingungen für Natriumbicarbonat
- Adsorptionsvorgänge an Aktivkoks (HOK)
- Betriebstemperatur des Katalysators in der SCR-DeNO_x-Anlage

Eine möglichst hohe Betriebstemperatur begünstigt die thermische Aktivierung und damit auch die Reaktivität des eingesetzten Natriumbicarbonats, andererseits verschlechtern sich die Bedingungen für die Schwermetallabscheidung mit zunehmend höherer Prozesstemperatur.

Die Prozesstemperatur der Trockensorption beträgt daher ca. 180°C, um die vorgenannten Anforderungen gleichermaßen gut zu erfüllen. Darüber hinaus bietet die gewählte Betriebstemperatur die Möglichkeit, die nachfolgende Entstickung ohne weitere Nachaufheizung zu betreiben (Niedertemperatur-SCR), was den Verzicht auf den Einsatz großer Mengen hochwertiger Primärenergie (Erdgas) zur nachträglichen Rauchgasaufheizung bedeutet.

Die Reduktion der Stickoxide erfolgt nach dem SCR-Verfahren („**S**elective **C**atalytic **R**eduction“). Dabei wird die Eigenschaft von Katalysatoren genutzt, kinetisch gehemmte chemische Reaktionen soweit zu beschleunigen, dass sie in technischen Anlagen bei niedrigen Temperaturen zu hinreichenden Umsatzraten führen. Ohne Katalysator laufen diese Reaktionen mit genügender Geschwindigkeit nur bei Temperaturen oberhalb 800°C ab, mit Katalysator jedoch bereits bei Temperaturen weit unterhalb 400°C. Beim SCR-Verfahren werden Stickoxide (NO und NO₂) mittels Ammoniak (NH₃) und Sauerstoff (O₂) mit Hilfe der Katalysatoren bei entsprechender Temperatur zu molekularem Stickstoff (N₂) und Wasserdampf (H₂O) umgesetzt. Es verbleiben keine zu deponierenden oder zu behandelnden Rückstände.

Als Reduktionsmittel wird Ammoniakwasser eingesetzt, da das in Ammoniakwasser gelöste NH₃ selektiv mit den Stickstoffoxiden reagiert und keine unerwünschten Nebenprodukte bildet. Die Reaktion von NO_x mit NH₃ lässt sich durch die folgenden Haupt-Reaktionsgleichungen beschreiben:



Als Nebenreaktion tritt eine Oxidation von SO₂ zu SO₃ im Katalysator auf, die gemäß der folgenden Reaktionsgleichung abläuft:



Die untere Einsatztemperatur wird bei SO_x-haltigen Rauchgasen durch die Bildung (Desublimation) von Ammoniumsulfat bzw. Ammoniumhydrogensulfat („Bisulfat“) in den Katalysatorporen maßgeblich bestimmt:



Da es in den Katalysatorporen infolge von Kapillareffekten zu einer Konzentrationserhöhung von NH₃ und SO₃ kommt, setzt die Bildung der Salze schon bei höheren Temperaturen ein, als aufgrund des Phasengleichgewichtes zu erwarten wäre. Dadurch können sich zum Teil klebrige Salze bilden, sich auf dem Katalysator abscheiden und durch die damit einhergehende Verrin-

gerung der aktiven Oberfläche kann der Katalysator inaktiv werden. Die Reaktionen nach (9) und (10) sind jedoch reversibel und bereits gebildete Salze können thermisch wieder zersetzt werden. Aufgrund der Niedertemperatur-Fahrweise der SCR-DeNO_x-Anlage wird der Katalysator in zyklischen Abständen durch Aufheizen mit dem vorhandenen Erdgasbrenner thermisch regeneriert. Aus diesem Grund wurde auch das Wärmeverschiebesystem der SCR (Platten-Wärmetauscher) erhalten bzw. in das Anlagenkonzept integriert. Es erlaubt die Aufheizung des Katalysators auf die Regenerationstemperatur mit dem bisher eingesetzten Erdgasbrenner praktisch ohne bzw. mit nur geringfügigen Lasteinschränkungen und vermeidet Probleme durch zu hohe Austrittstemperaturen aus dem Katalysator an nachgeschalteten Anlagenkomponenten (Saugzug, Kompensatoren, Kamin).

Bevor der Saugzug das gereinigte Rauchgas über den Kamin in die Atmosphäre fördert, wird dem aus der SCR-DeNO_x-Anlage mit ca. 180°C austretendem Rauchgas mittels eines Rauchgaskühlers Wärmeenergie entzogen.

Die aus dem Rauchgas gewonnene Enthalpie wird zur Vorwärmung des Turbinenkondensates eingesetzt und trägt somit zur Verbesserung der Energiebilanz bzw. Energieeinsparung bei (■Linie 1 - 3 im Nennlastbetrieb ca. 4,6 MW, Reduzierung von Hilfsdampfverbrauch).

3 Durchführung der Umbaumaßnahme

3.1 Abwicklung, Bau, Inbetriebnahme

Ein wichtiges Bewertungskriterium beim Engineering war die Minimierung der Umschlusszeit. Im Rahmen der Vorplanung wurde das Ziel einen Anlagenstillstand auf maximal 4 Wochen zu beschränken vorgegeben. Mit zunehmender Planungstiefe und durch Gespräche mit möglichen Anbietern ergab sich ein ca. dreiwöchiger Zeitbedarf für das zeitführende Gewerk Rauchgas-kanalbau, einschließlich der vorangestellten Demontagen.

Alle erforderlichen Arbeiten wurden in Bezug auf ihre Stillstandsrelevanz überprüft. Es zeigte sich, dass die Montage und Inbetriebnahme der Natriumbicarbonateindüstechnik unabhängig von einem Anlagenstillstand war. Somit wurde diese Montage vorgezogen und die gesamte Eindüsanlage (Mühlen, Gebläse) inkl. Rohrleitungssystem etc. bereits bei noch laufendem Verbrennungsbetrieb aufgebaut, getestet und in Betrieb genommen. An nur zwei Tagen „Probetrieb“ konnte somit die gesamte Natriumbicarbonatmahl – und -eindüstechnik bei noch laufender Wäschertechnik vor den eigentlichen Umschlussarbeiten eingestellt und getestet werden.

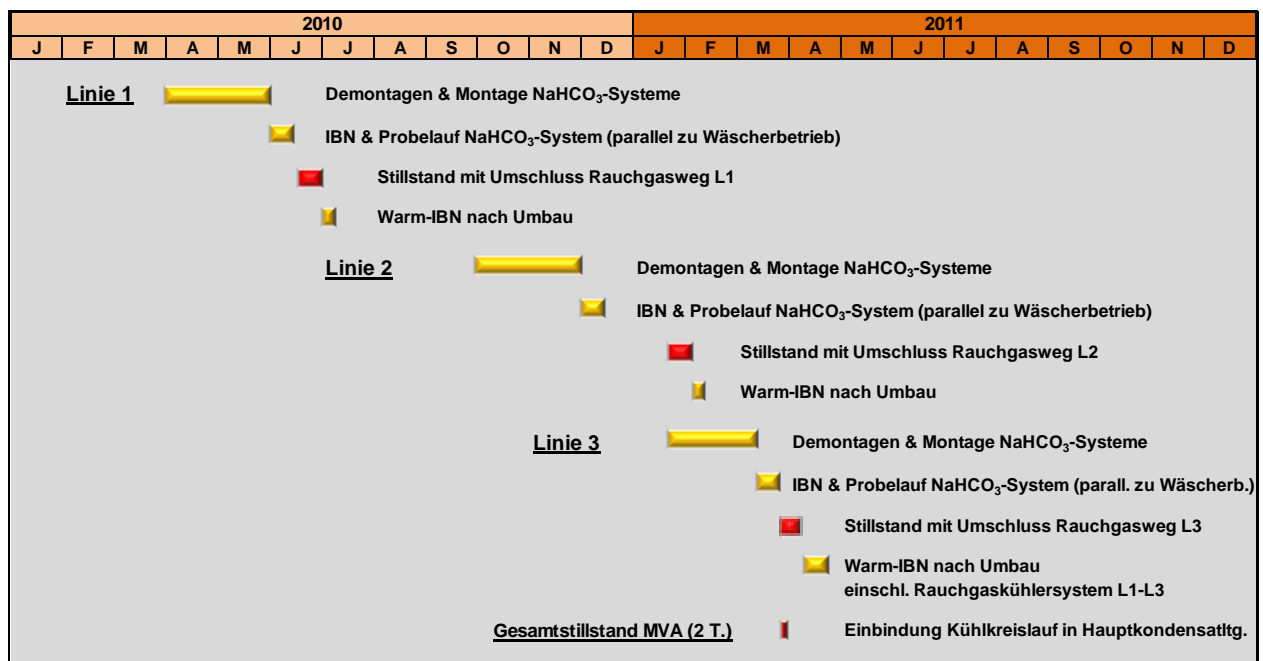
Anschließend wurde die Verbrennungslinie abgestellt und der Rauchgaskanal geschnitten, demontiert und der neue Kanal eingebracht.

Bei Berücksichtigung einer Bonusregelung mit den Lieferanten und der Portion Glück, dass bei den Montagearbeiten alle zeitlich kritischen Kranarbeiten witterungsbedingt zügig und termingerecht stattfinden konnten sowie die baulichen und planerischen Ansätze für die Schnittstelle zwischen der bestehenden Dokumentation und der baulichen Realität im Wesentlichen übereinstimmten, konnten alle vorgefertigten Kanalteile korrekt eingebunden, zusammengefügt und im vorhandenen Stahlbau befestigt werden. Somit wurde bereits nach 17 Tagen der Rauchgaskanalumschluss abgeschlossen.

Unmittelbar nach der Meldung „Rauchgaskanal rauchgasdicht“ wurden noch notwendige sonstige Systemtests durchgeführt und der Kessel mit der neuen Rauchgasreinigungstechnik ohne Emissionsüberschreitung bei vollständiger Emissionsüberwachung erfolgreich hochgefahren und ohne Unterbrechung in den Dauerbetrieb übergeführt.

Für die beiden übrigen Linien wurden die Umschlussarbeiten durch weitere Optimierungen im Montagekonzept noch weiter auf 14 und für die letzte Linie auf 12 Tage verkürzt. Nach den positiven Erfahrungen des ersten Linienumbaus wurden die übrigen Linien ins Zeitfenster der jeweiligen fälligen Kesselrevision integriert und konnten somit „zeitneutral“ realisiert werden.

Abbildung 3 – Terminablauf Umbauphasen RRA 1 - 3



3.2 Integration in den Anlagenbestand

Ziel der neuen Anlagenkonzeption war es, möglichst viel der vorhandenen Technik, falls möglich, weiter nutzen zu können. Insofern wurden alle Systeme und Komponenten auf eine Eignung für die weitere Nutzung mit einer trockenen Rauchgasreinigung hin untersucht. Da im vorgeschalteten Bereich der Verbrennung keine Änderungen vorgesehen wurden, blieb die Auslegung der Rauchgasreinigung im Wesentlichen bestehen. Es zeigte sich, dass die nachfolgenden Systeme erhalten werden konnten.

Sprühtrockner:

Der ehemalige Sprühtrockner lässt sich ohne weitere technische Änderung als Verdampfungskühler zur Konditionierung des Rauchgases auf die Prozesstemperatur von 185 °C nutzen. Da die Prozesstemperatur nun mehr noch ca. 10 K höher liegt als zuvor, ist die Auslegung nicht zu verändern. Als Eindüsmedium wird lediglich Prozesswasser verwendet. Im Gegensatz zu früher treten keinerlei Anbackungen an den Sprühtrocknerwandungen mehr auf.

Gewebefilter:

Nach einem Praxisversuch mit Natriumbicarbonat im Jahr 2008 zeigte sich, dass der Gewebefilter im Volllastbetrieb und bei einer Eindüsmenge von ca. 800 kg/h zumindest über mehrere Stunden ausreichend dimensioniert ist. Ebenso traten bei diesem Versuch die erwarteten guten Abscheideleistungen ein. Daher wurden keine technischen Änderungen an Gewebefilter durchgeführt. Der jetzt laufende, problemlose Dauerbetrieb bestätigt diese Vorgehensweise. Insofern wurden beim Umbau lediglich neue Filterschläuche eingesetzt. Die Materialwahl änderte sich hierbei nicht. Der Schlauchtausch wurde letztendlich notwendig, weil die alten Schläuche nach mehreren Jahren Betrieb und mehrfachen Trocken- und Nassreinigungen ausrangiert werden mussten. Mit der trockenen Rauchgasreinigung waren an Linie 1 nach ca. 17 Monaten Betrieb keine Filterreinigungen mehr erforderlich.

Siloanlagen:

Aufgrund des guten Zustandes der Kalksilos wurde beschlossen, diese für Natriumbicarbonat weiter zu benutzen. Bauliche Änderungen waren abgesehen von den Austragsorganen nicht erforderlich. Nach den ersten Betriebsmonaten wurden nun noch Auflockerungsdüsen eingebaut, da „Brückenbildung“ die Füllstandsüberwachung erschwert hat. Die Brückenbildung ist bei der Kalklagerung ebenfalls aufgetreten, insofern handelt es sich hierbei nicht um ein Natriumbicarbonat bedingtes Problem, jedoch ist die Füllstandsinformation bei deutlich höherem Natriumbicarbonatverbrauch für die ausreichende Natriumbicarbonatmengenbevorratung wichtiger. Zusätzlich wurde das ursprüngliche Gipsilo zum dritten Natriumbicarbonatsilo umgerüstet, um auch für längere Wochenenden und Feiertagszeiträume ausreichende Natri-

umbicarbonatmengen vorhalten zu können. Dieses Silo wird seit mehr als 17 Monaten mit unverändertem Drehkranzaustrag betrieben (Flachbodensilo). Nach aufgetretenen Schäden durch mangelnde Schmierung am Austrag, welche in der Vergangenheit beim Gipsbetrieb ebenfalls vorgekommen sind, wird demnächst das Silo mit einem Trichtereinsatz zum Spitzbodensilo umgerüstet.

Katalysator:

Zur weiteren Nutzung des vorhandenen Katalysators (noch aus Erstbestückung) als Niedertemperaturkatalysator wurde nach Aktivitätsuntersuchungen beschlossen, die Katalysatormodule nicht auszutauschen, sondern durch eine „Waschung“ (Ultraschallbad) zu reinigen. Des Weiteren wurden die Katalysatoren anschließend mit Vanadiumpentoxid angereichert und somit aufdotiert. Die bereits mit 4 Katalysatorlagen ausgestattete SCR-Anlage kann trotz von 320°C auf 185°C abgesenkter Betriebstemperatur die geforderten Reingaswerte problemlos einhalten.

Herdofenkokseindüsanlage:

Zur Unterstützung der Schwermetall- und Dioxinabscheidung wurde bereits 2002 eine Herdofenkokseindüsanlage mit einem Eindüsvermögen von 5 – 25 kg/h je Linie erstellt. Zur Erhöhung der Abscheideleistung und zur Schaffung von Reserve für Rohgasspitzen wurde die Eindüstechnik durch den Tausch von Komponenten (Vorlagebehälter, Dosierschnecken etc.) auf die Eindüsmengen von 10 – 60 kg/h aufgerüstet. Die Eindüstechnik beinhaltet keine Redundanzen und beinhaltet Komponenten die für alle drei Rauchgasreinigungsanlagen zuständig sind. Um mehr Ausfallsicherheiten zu erreichen wird hier zurzeit über Redundanzanlagen nachgedacht, welche eventuell auch den Einsatz anderer (z. B. dotierte) Adsorbentien ermöglichen.

Kamin:

Der Kamin beinhaltet drei separat gemauerte Schornsteinröhren, welche für die prozessbedingte Temperaturerhöhung von ca. 120°C auf 140°C problemlos geeignet sind. Bei der temporär möglichen Fahrweise ohne den nachgeschalteten Kühler sind jedoch Rauchgasaustrittstemperaturen von ca. 185°C möglich. Hierfür sind die ursprünglichen Kompensatoren der Dehnungsfugen ungeeignet. Diese wurden daher während des Umbaustillstandes getauscht. Zusätzlich wurden zeitgleich auch kleinere erforderliche Schornsteinrohrsanierungsarbeiten durchgeführt. Im Rauchgasweg vor Kamin wurden bereits in den vorherigen Revisionen sukzessive - soweit erforderlich – Kompensatoren gegen temperaturbeständigere Ausführungen getauscht.

Für noch nicht vorhandene Anlagenteile müssten geeignete Standorte ermittelt werden. Die Standorte sollten zu dem entsprechenden Platzangebot auch möglichst unabhängig vom laufenden Anlagenbetrieb ausbaubar sein.

Natriumbicarbonat-Eindüstechnik:

Die neu zu bauende Eindüstechnik wurde auf nicht genutzten Flächen im Nebenanlagengebäude sowie im darunterliegenden Bereich der zur Gipsaufbereitung genutzten Flächen aufgebaut. Durch den schrittweisen Umbau konnten nach Fertigstellung der ersten Linie Teilkomponenten der alten Rauchgasreinigung abgebaut werden (z.B. Gips-Zentrifuge, Gips-Transportbänder). An den dort frei gewordenen Flächen wurde jeweils die für die nächste Linie notwendige Eindüstechnik aufgebaut. Bei der letzten Linie wurde identisch dazu vorgegangen, um möglichst wenige Stillstände des Verbrennungsbetriebes zu ermöglichen.

Wärmerückgewinnung:

Die neuen Rauchgaskühler haben die Aufgabe, die Rauchgastemperatur nach Katalysator um ca. 40 K abzukühlen. Die Energie wird zur Speisewasseraufwärmung genutzt und substituiert Hilfsdampf, der somit zur Stromproduktion genutzt werden kann. Baulich wurden die Kühler unterhalb des alten Glasrohrwärmetauschers (GRWT) kurz vor dem Saugzug vorgesehen. Zum Einbau der Kühler musste zuerst der alte GRWT mit ca. 10.000 folienbeschichteten Glasröhren und ca. 30 t Edelstahlgehäuse demontiert werden. Erst anschließend konnte der neue Wärmetauscher aufgestellt werden. Die erforderlichen Fundamente wurden bereits im Vorfeld ersetzt.

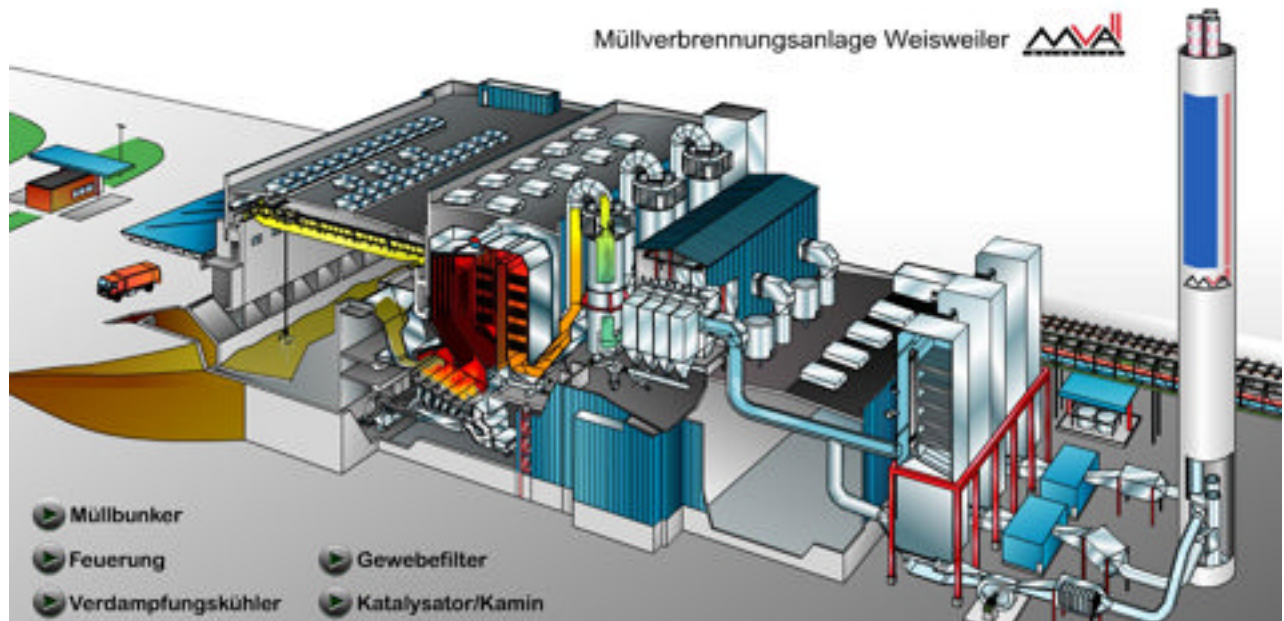
Rauchgaskanal:

Durch Entfall der Wäscher musste der Rauchgasweg zwischen Gewebefilteraustritt und Katalysator durch neue Rauchgaskanäle wieder geschlossen werden. Die Kanalführung musste innerhalb des Gebäudes verlaufen, da der konstruktive und genehmigungsrechtliche Aufwand (Windlasten, Prüfstatik, Außenansicht, Gebäudehöhe etc.) für einen außenliegenden Verlauf als zu aufwendig eingestuft wurde.

Saugzug:

Die weitere Nutzung des Saugzuges bei höheren Rauchgastemperaturen war für den mechanischen Aufbau kein Problem. Beschichtungen sind ebenfalls für den neuen Temperaturbereich ausgelegt, bzw. aufgrund des geringen Feuchtegehalts nicht mehr erforderlich. Durch den stark veränderten Druckverlust (weniger Widerstände durch Wäscher, Einbauten, Tropfenabscheider etc.) wurde der Drehzahlbereich um ca. 30 % von ca. 1.100 U/min auf ca. 800 U/min abgesenkt. Durch die bereits vorhandene Frequenzumrichtertechnik konnte der neue Drehzahlbereich abgedeckt werden.

Abbildung 4 – RRA nach dem Umbau



4 Erste Betriebserfahrungen nach dem Umbau der RRA

4.1 Energetische Betrachtung

Mit dem neuen Anlagenkonzept sollten neben dem technischen Aspekt – Vereinfachung der Anlagentechnik - auch energetische Einsparpotentiale erreicht werden. Durch Wegfall der Rauchgaswiederaufheizung für den Katalysator wurde nahezu der gesamte Erdgasverbrauch für die Katalysatorbrenner eingespart. Lediglich zum Anfahren und für Katalysatorenregenerierungen wird mit der neuen Anlagenschaltung Erdgas benötigt. Durch den Wegfall diverser Elektroantriebe im Wäschersystem (Wäscherpumpen, Zentrifugen, Oxiluftgebläse etc.) und nicht zuletzt der Reduzierung des Stromverbrauchs der Saugzugmotoren konnte die benötigte elektrische Leistung deutlich reduziert werden. Die zur Rauchgaskühlung verwendeten Wärmetauscher entziehen pro Linie ca. 1,6 MW Wärmeleistung. Hiermit wird das Speisewasser vorgewärmt und Hilfsdampf zur Aufheizung eingespart. Eine weitere Wärmeentnahme ist theoretisch möglich, jedoch mangels Nutzung nicht realisiert. Somit ergeben sich jährlich insgesamt folgende Energieeinsparungen für drei Linien:

Erdgas: ca. 50 Mio. kWh/a
 Strom: ca. 16 Mio. kWh/a
 Dampf: ca. 23 Mio. kWh/a

4.2 Roh- und Reingasdaten, Betriebsmittelverbräuche

In der nachfolgenden Tabelle sind typische Roh- und Reingasdaten der RRA nach dem Umbau aufgeführt, soweit diese mit kontinuierlichen Messgeräten erfasst werden (Mittelwerte aus den Linien 1 - 3).

Tabelle 1 – Übersicht Roh- und Reingasdaten (Tagesmittelwerte)

| Komponente | Konz. (TMW) | Rohgas | Reingas* |
|--------------------|---------------------------|--------|----------|
| HCl | mg/m ³ i.N.tr. | 1.468 | 3,8 |
| SO ₂ | mg/m ³ i.N.tr. | 473 | 8,3 |
| NOx | mg/m ³ i.N.tr. | 291 | 75 |
| NH ₃ ** | mg/m ³ i.N.tr. | - | 1,0 |
| Staub | mg/m ³ i.N.tr. | - | 0,7 |
| Hg | mg/m ³ i.N.tr. | - | 0,004 |

* Daten stammen aus Emissionswertrechner

** NH₃-Messung nur an Linie 1 installiert

Folgende Additivmengen werden der Rauchgasreinigung im Mittel pro Linie zur Erzielung der o.g. Emissionswerte zugesetzt:

Natriumbicarbonat: ca. 400 kg/h
 HOK: ca. 20 kg/h
 Ammoniakwasser: ca. 16 l/h

Für die Auslegung der Rauchgasreinigung mit NaHCO₃ wurde ein Gesamt-Stöchiometriefaktor von 1,25 zu Grunde gelegt. Mit sporadisch durchgeführten Reststoffanalysen konnten Stöchiometriefaktoren zwischen 1,12 und 1,15 nachgewiesen werden und liegen damit unterhalb des bilanzierten Wertes.

4.3 Verhalten bei hohen Rohgaswerten

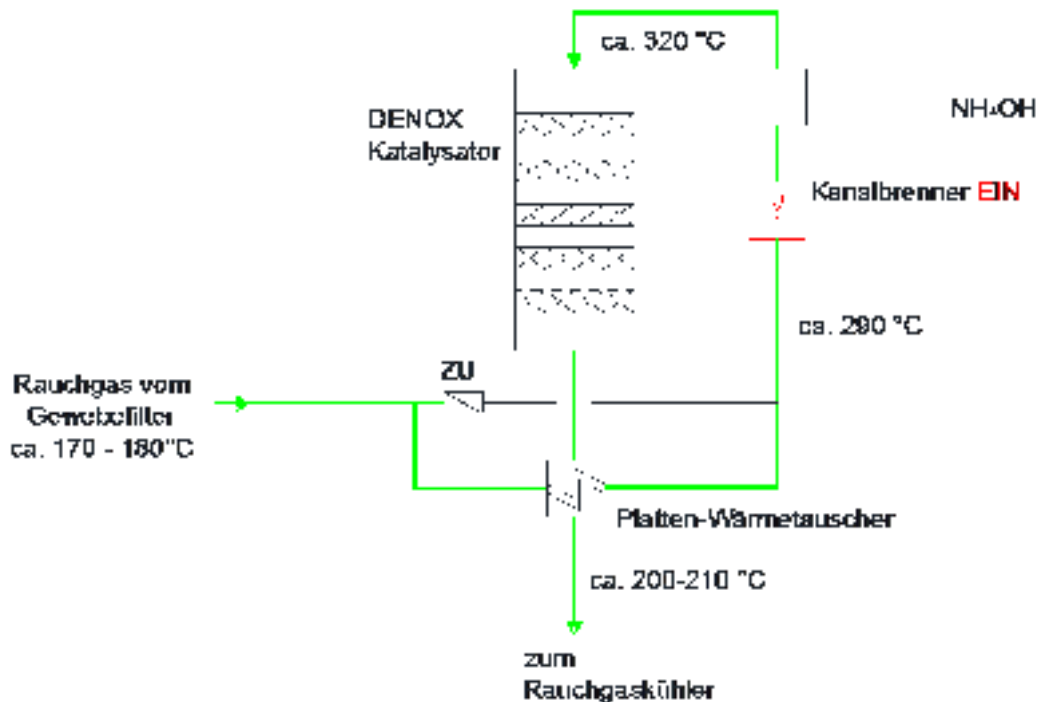
Bei der abgeschalteten nassen Wäsche waren Änderungen der Emissionen im zeitlichen Verlauf durch die Pufferkapazität der Wäscher relativ träge. Da die Wäscher im Vergleich zu anderen Anlagen deutlich kleiner waren, wurden bei starken Anstiegen jedoch auch zusätzliche Maßnahmen, wie Erhöhung der Waschwassermengen oder Lastabsenkungen erforderlich. Insofern ist die erforderliche zügige Reaktion, die der Natriumbicarbonatprozess mit sich bringt nicht ganz unbekannt. In der Praxis wird durch entsprechende Regelkreise die Fahrweise der Natriumbicarbonatendüstetechnik in Abhängigkeit der SO_2 - und HCl-Rohgasfrachten automatisch realisiert. Bei stärkeren Anstiegen wird ein zweiter Natriumbicarbonatendüsstrang automatisch zugeschaltet.

4.4 Erfahrungen mit der thermischen Katalysatorregeneration

Die thermische Regeneration des Katalysators wird seit der Inbetriebnahme in Intervallen von ca. 1.000 Betriebsstunden der SCR durchgeführt. Je nach Betriebszustand der Feuerung hat es sich als vorteilhaft herausgestellt, die Kesselleistung um ca. 5 – 10%, bezogen auf den Regelsollwert der Dampfleistung von 51,5 t/h t abzusenken, um stabilere Betriebszustände während der Katalysatorregenerierung zu erhalten. Weiterhin wird die Gewebefiltertemperatur nach erfolgreichem SCR-Brennerstart durch entsprechende Änderung der Solltemperatur im Verdampfungskühler temporär etwas abgesenkt (auf ca. 170°C – 180°C), so dass, bedingt durch die Grädigkeit des Wärmeverschiebesystems, die Austrittstemperatur der SCR ca. 200 – 210°C beträgt. Durch diese Maßnahme wird sichergestellt, dass die maximal zulässige Eintrittstemperatur von 220°C in den Rauchgaskühler bzw. 200°C in den nachgeschalteten Saugzug nicht erreicht wird.

Die Katalysatortemperatur wird durch schrittweises Anheben des Regler-Sollwertes des Erdgasbrenners gleichmäßig erhöht, bis bei ca. 320°C eine Haltezeit von ca. 1 - 2 Stunden angestrebt wird. Wichtige Indikatoren für die Überwachung der Regenerationsphase sind die ständige Beobachtung der Reingasmessungen für Staub, NO_x , NH_3 (zurzeit nur an Linie 1 verfügbar) sowie die Dosiermenge an Ammoniakwasser, die mit steigender Temperatur am Katalysator im Automatikbetrieb der Regelung zurückgeregelt wird, bedingt durch die Freisetzung von NH_3 .

Abbildung 5 – Zustand der SCR während der Regeneration (Haltephase ca. 320°C)



Bei einigen der bisher durchgeführten Regenerationszyklen wurde ein Anstieg der NH_3 - und/oder der Staubkonzentration am Kamin beobachtet (siehe Abbildung 7). Durch entsprechende Beharrung bei der aktuellen Temperatur oder gegebenenfalls auch Zurücknahme der Temperatur, kann der Regenerationsablauf so gesteuert werden, dass die Regeneration keine Grenzwertverletzungen zur Folge hat. Das erste Mal wurde dieses Phänomen nach einem auf ca. 1.500 Betriebsstunden gestreckten Regenerationsintervall beobachtet, die meisten der bisher durchgeführten Regenerationen wurden jedoch ohne besonderen Auffälligkeiten durchgeführt.

Die Dauer einer Katalysatorregeneration beläuft sich in der MVA Weisweiler zwischen 8 – 14 Stunden, gerechnet ab dem Zeitpunkt des Brennerstarts bis zum Abschalten des Brenners am Ende der Haltezeit. Die Aufheizzeit wird gemäß den bis heute vorliegenden Erfahrungen bis zu einer Temperatur von ca. 260°C durch den Aufheizgradienten von ca. 10 – 20 K/h bestimmt, darüber wird der Gradient mit 5 – 10 K/h vorgegeben, wobei jede weitere Temperatursteigerung stets in Abhängigkeit von T vor und hinter KAT ≤ 10 K erfolgen. Die anschließende Abkühlphase des SCR-Systems bis auf die Dauer-Betriebstemperatur von ca. 180°C beträgt etwa 6 - 8 Stunden.

Abbildung 6 – „Normale“ Katalysatorregeneration (hier: verkürzte Haltezeit)

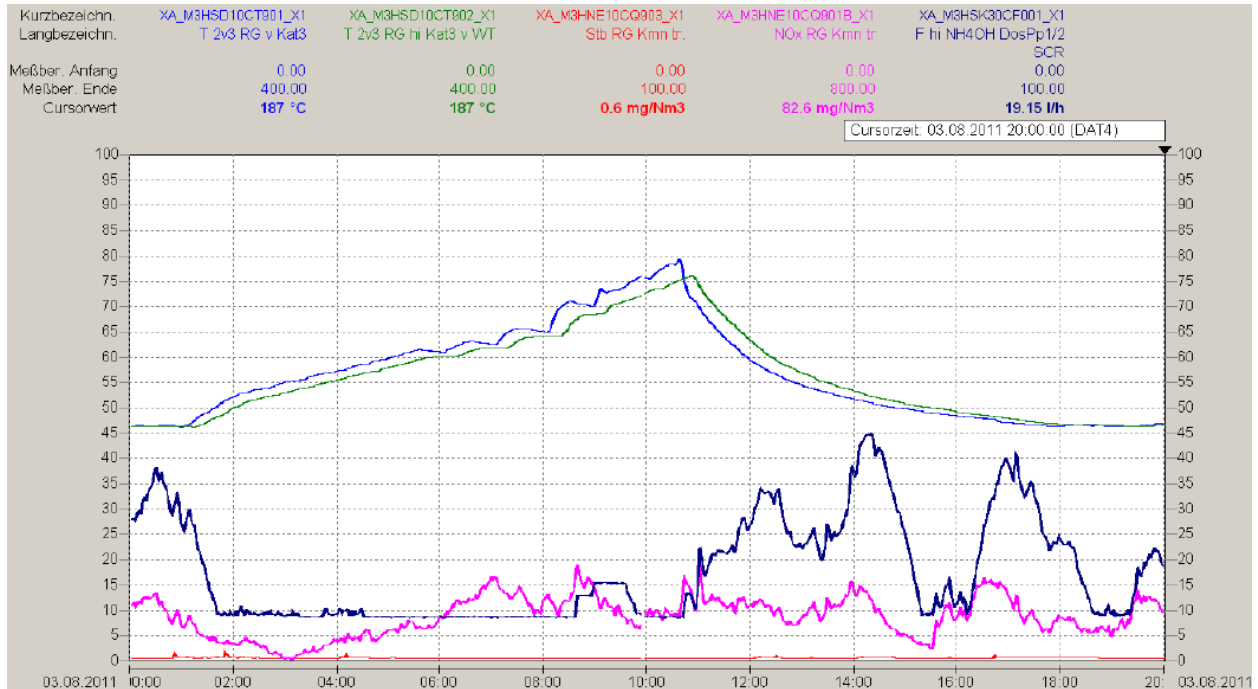
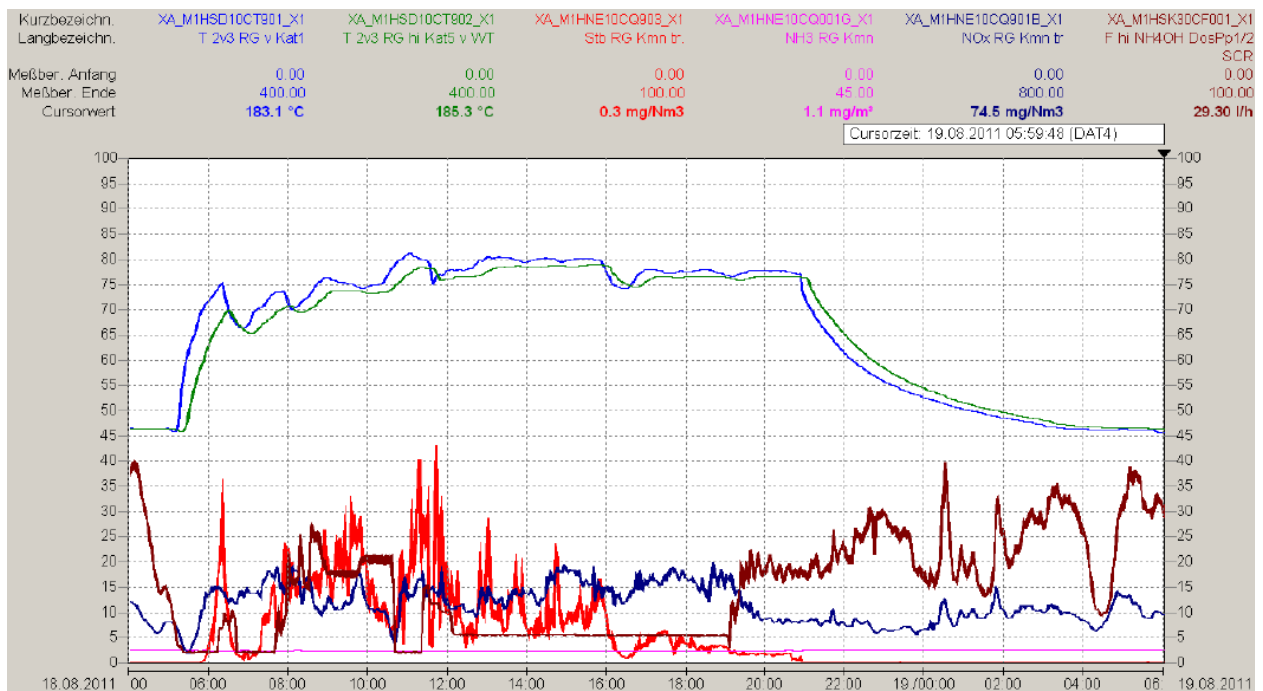


Abbildung 7 – Katalysatorregeneration mit schneller Aufheizphase und Staub-Peaks



4.5 Kurzzeitstillstand Linie 1

Im Rahmen des Gesamtstillstandes der MVA am 22. - 24.03.2011, der u. a. zur Einbindung des Kühlkreislaufes der Rauchgaskühler in den Hauptkondensatkreislauf genutzt wurde, ergab sich erst nach ca. 9 Monaten kontinuierlichem Betrieb der Linie 1 seit dem Umbau die Gelegenheit, einige Bereiche der RRA zu inspizieren. Dies war generell der erste Stillstand nach dem Wiederaufstart, aus dem Betrieb heraus ergab sich bis dato keine Notwendigkeit zum Abfahren. Die Eindrücke der ersten Kurz-Inspektion waren wie folgt:

- Im Bereich der Wassereindüsung im Kopf des Verdampfungskühlers wurden trotz der Zugabe von Natrumbicarbonat und A-Koks im senkrecht aufsteigenden Kanal vor dem Verdampfungskühler keine Anbackungen an den Düsenlanzen sowie Delta-Flügeln festgestellt.
- Der zylindrische Körper des Verdampfungskühlers (soweit ohne Einrüstung einsehbar), der Verdampfungskühlerboden und Übergang zum Gewebefilter zeigten lediglich einen gleichmäßigen dünnen weißen Belag, aber keine nennenswerten Anbackungen oder Staubwächten, die die Notwendigkeit zur Reinigung nach sich gezogen hätte.
- Der Staubaustrag des Gewebefilters (Trichter) wies ebenfalls keine nennenswerten Materialansammlungen auf, ebenso waren die Filterschläuche frei von Verklebungen.
- SCR, Katalysator: keine Auffälligkeiten.
- Im Bereich des Rauchgaskühlers bzw. der beschichteten Abströmhaube trat eine Beschädigung der Beschichtung im Einwirkungsbereich eines Messstutzens auf, vermutlich durch Schwingungen verursacht.

5 Zusammenfassung

Ausgehend von steigenden Energiepreisen – im Wesentlichen die Erdgaspreise für den Katalysator und Strom für Pumpen und Gebläse – wurde über technische Optimierungsmöglichkeiten der nassen Rauchgasreinigung nachgedacht. Unter Berücksichtigung des Anlagenalters und den entsprechend anstehenden Sanierungsmaßnahmen im Wäscherbereich und bei den Wärmeverschiebungssystemen ergaben sich nicht unerhebliche Ersatzinvestitionen. Dies eröffnete auch die Diskussion über grundsätzliche verfahrenstechnische Umstellung z. B. auf ein Trockenverfahren. Nach intensiven verfahrenstechnischen und anlagentechnischen Untersuchungen ergab sich für die bestehende Anlagenkonstellation das Trockenverfahren mit dem Additiv Natriumbicarbonat als technisch einfach integrierbare und auch als wirtschaftlichste

Umstellungsvariante. Diese konnte den Vorplanungen entsprechend in kurzer Zeit erfolgreich umgesetzt werden. Nach den ersten 17 Monaten Dauerbetrieb an Linie 1 und auch an den beiden anderen Linien in kürzeren Zeiträumen zeigt sich, dass Natriumbicarbonat als Abscheidemittel zuverlässig dauerhaft eindüsbar ist und der Katalysator mit einer Niedertemperaturfahrweise ausreichendes Reaktionspotential hat. Der Gewebefilter ist mit dem neuen Reaktionsprodukt zuverlässig zu betreiben, der nicht mehr hygroskopische Filterstaub problemlos förderbar und die energetischen Einsparpotentiale haben sich sicher eingestellt.

Das anlagentechnische Gesamtkonzept stellt sich wirtschaftlich dar und ist technisch deutlich einfacher zu betreiben und instand zu halten als die bisherige nasse Rauchgasreinigungsanlage.

6 Literatur

- [1] Wiedl, A., Heymann, A., Hartig, S.: „Bewertung verschiedener Optimierungskonzepte für den Umbau einer nassen Rauchgasreinigungsanlage einer MVA“; Vortrag anlässlich 5. Potsdamer Fachtagung „Optimierung in der thermischen Abfall- und Reststoffbehandlung“, 21./22. Februar 2008
- [2] Fries, A., Hentschel, G.: „Energieoptimierter Umbau der Rauchgasreinigung in der MVA Weisweiler“ ; Vortrag anlässlich VDI-Fachtagung „Thermische Abfallbehandlung“ in Würzburg, 13./14. Oktober 2011