



BMU-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht

zum Vorhaben

Nachrüstung der neuen und innovativen VLN-Technologie (Very Low NO_x) im
Müllheizkraftwerk in Coburg

BMU-Aktenzeichen: ZGII4-42155-9/124

KfW-Aktenzeichen: MBc3 - 001842

Fördernehmer

Zweckverband für Abfallwirtschaft in Nord-West-Oberfranken

Umweltbereiche

Integrierter Umweltschutz / Luftreinhaltung / Energie

Laufzeit des Vorhabens

08.12.2010 - 31.03.2013

Autoren

Dipl.-Ing. P. Baj / Dipl.-Ing. G. Papa / Dr.-Ing. R. Koralewska

**Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit**

Coburg / München, Juli 2013

Berichts-Kennblatt

BMU-Aktenzeichen: ZGII4-42155-9/124	KfW-Aktenzeichen: MBc3 - 001842
Titel des Vorhabens: Nachrüstung der neuen und innovativen VLN-Technologie (Very Low NO _x) im Müllheizkraftwerk in Coburg	
Autoren: Baj, Peter Papa, Georg Koralewska, Ralf	Vorhabensbeginn: 08.12.2010 Vorhabensende: 31.03.2013
Fördernehmer: Zweckverband für Abfallwirtschaft in Nord-West-Oberfranken Von-Werthern-Str. 6 96487 Dörfles-Esbach	Veröffentlichungsdatum: 30.07.2013 Seitenzahl: 59
Gefördert im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
Kurzfassung / Summary Durch verbesserte Energieeffizienz und verminderte Emissionen bei der thermischen Abfallbehandlung stellt die VLN-Technologie eine effektive feuerungsseitige Primärmaßnahme dar. Bei gleichzeitiger Senkung des Abgasvolumenstroms und der NO_x-Emissionen bleiben die üblichen Prozessanforderungen, wie Feuerungsstabilität und Ausbrandqualität, sicher erhalten. Zusätzlich wird der Aufwand zur sekundärseitigen Stickoxidminderung (SNCR-System) signifikant reduziert. Dies spart nicht nur anfallende Kosten für das Reduktionsmittel und unter Umständen anfallende Sekundärenergieaufwendungen, sondern ermöglicht auch wesentlich geringere Emissionen bei gleichbleibendem oder sogar sinkendem Investitions- und Betriebsaufwand. Durch den Einsatz der VLN-Technologie ergibt sich eine deutlich verbesserte Stickstoffbilanz. Der Ammoniakverbrauch wird trotz der tieferen NO_x-Emissionen nicht erhöht und die NH₃-Emissionen werden signifikant verringert. The VLN technology is an effective primary measure to improve energy efficiency and reduce emissions in the thermal treatment of waste by influencing the combustion process. The flue gas volume flow and the NO_x emissions are reduced, whereas the other process requirements such as combustion stability and burnout quality can be reliably met. In addition, the effort for the secondary NO_x reduction measure (SNCR system) is significantly reduced. This saves costs for the reduction agent and the consumption of secondary energy (if necessary) on the one hand, and on the other allows emission levels to be reduced significantly, while maintaining or even cutting investment and operating costs. The nitrogen balance is markedly improved by using the VLN technology. Ammonia consumption does not increase despite lower NO_x emission levels and NH₃ emission levels are significantly reduced.	
Schlagwörter: Thermische Abfallbehandlung, Feuerungstechnik, Primärmaßnahmen, DeNO _x , Very-Low-NO _x , SNCR, Kesselascherückführung, Korrosionssonde	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 5 Elektronischer Datenträger: 1	Veröffentlichung im Internet www.umweltbundesamt.de www.zaw-coburg.de

Kurzfassung

Das Müllheizkraftwerk Coburg (MHKW Coburg) wurde 1988 in Betrieb genommen. Die Anlage dient der thermischen Abfallbehandlung und energetischen Nutzung von Hausmüll und Gewerbeabfällen für die Erzeugung von Strom- und Fernwärme. Sie besteht aus:

- 2x Mülllinien
- 1x Kohlelinie (Ausfall-Reserve für die Mülllinien bei Fernwärmeerzeugung)
- 2x Turbo-Generatoren
- Fernwärme-Erzeugung/-Auskopplung

Die Jahres-Kapazität für den Mülldurchsatz beträgt ca. 140.000 Mg bei einem durchschnittlichen Heizwert von ca. 10.500 KJ/kg.

Ursprünglich wurde die Anlage für NO_x -Werte von 400 mg/Nm^3 geplant und errichtet. Im Rahmen der 17. BImSchV wurden in 1995/1996 beide Mülllinien mit dem MARTIN-Wasser-SNCR-System mit dem Betriebsmittel Ammoniakwasser nachgerüstet, mit dem genehmigungskonform und sicher NO_x -Werte von unter 200 mg/Nm^3 erreicht werden.

Im Rahmen dieser Nachrüstung wurde die Genehmigung des MHKW Coburg angepasst:

- | | |
|---|----------------------------|
| • Tages-Mittelwert NO_x (Reingas) | 200 mg/Nm^3 , tr. |
| • Halbstunden-Mittelwert NO_x (Reingas) | 400 mg/Nm^3 , tr. |
| • Halbstunden-Mittelwert NH_3 (Reingas) | 10 mg/Nm^3 , tr. |
| • Verweilzeit nach der letzten Sekundär-Verbrennungsluft-Zugabe | 0,2 Sekunden |

Die Ansprüche an umweltfreundliche und nachhaltige Abfallverbrennungsanlagen sowie die geplante Herabsetzung des NO_x -Grenzwertes führten zu Überlegungen weiterführender NO_x -Reduzierungsmaßnahmen entsprechend dem Stand der Technik. Hierfür wäre der Einsatz eines SCR-Katalysators möglich, der jedoch hohe Investitions- sowie Betriebskosten verursacht und grundsätzlich zu Einbußen bei der Energieeffizienz (R1-Kriterium) führt. Deswegen wurde am MHKW Coburg die bestehende Feuerung der Linie 1 auf die innovative MARTIN VLN-Technologie (Very-Low- NO_x) umgerüstet, die es erlaubt, im Zusammenhang mit dem SNCR-System neben dem sehr geringen NO_x -Wert im Tagesmittel am Kamin von unter 80 mg/Nm^3 (tr., ohne O_2 -Bezugsrechnung bei $\text{O}_2 \leq 11 \text{ Vol.-%}$) auch einen geringen NH_3 -Schlupf als Halbstundenmittelwert am Kesselende von $\leq 10 \text{ mg/Nm}^3$ (tr., ohne O_2 -Bezugsrechnung) bei erhöhtem energetischen Wirkungsgrad zu erreichen. Durch Reduzierung des Roh- NO_x im Abgas mittels dieser Primärmaßnahme sinkt zudem der NH_4OH -Verbrauch der SNCR-Anlage signifikant.

Die **VLN (Very Low NO_x) - Technologie** stellt ein von der MARTIN GmbH patentiertes Verfahren zur NO_x Reduzierung dar, das in Kooperation mit Partnerunternehmen entwickelt wurde und in die Kategorie der Primärmaßnahmen eingeordnet werden kann. Es basiert auf dem Prinzip der Gasrezirkulation, zeigt jedoch eine völlig neue Art der Prozessführung auf und kann daher weitergehende Fortschritte im Bereich der NO_x -Reduktion, der Energieeffizienz und einer Vereinfachung der Bauweise erzielen.

Die VLN-Technologie bedient sich einer „internen Rezirkulation“ und entnimmt einen Teil des Gases im hinteren Feuerraum im Bereich der Rostausbrandzone. Wie in Abbildung 1 dargestellt, wird mittels eines Gebläses ca. 25% des Gases dem unteren Feuerraum bei Temperaturen im Bereich von $160 - 280^\circ\text{C}$ entnommen, um im oberen Feuerraum durch zwei Düsenreihen wieder eingebracht zu werden. Dabei kommt das Prinzip des reduzierten Sauerstoffangebots im Feuerraum zur Anwendung.

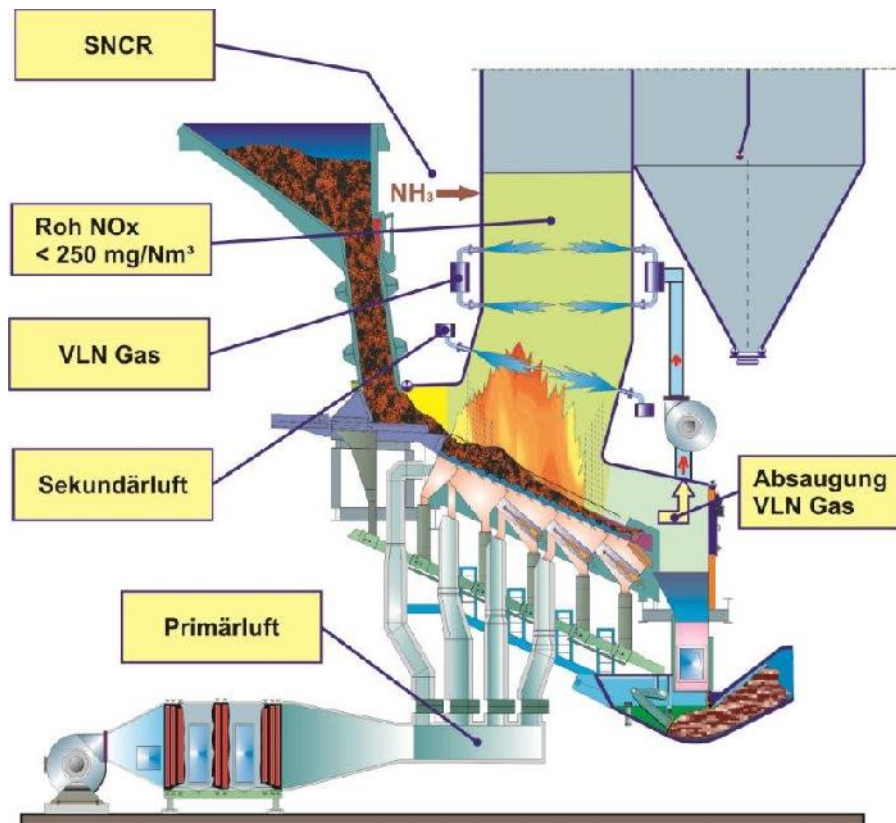


Abbildung 1: MARTIN VLN-Technologie (NO_x : tr., 11% O_2 bez.)

Ein großer Vorteil dieser Technologie ist das zuverlässige Erreichen eines vollständigen Feststoffausbrands bei gleichzeitig niedrigem Sauerstoffangebot im Feuerraum und somit einer Reduzierung der Brennstoff- NO_x -Bildung. Überschüssige Verbrennungsluft des Brennbetts wird der internen Rezirkulation zugeführt. Weiterhin kann der Gesamtluftüberschuss ohne Einbußen im Gasausbrand gesenkt werden. Durch eine „Wiederverwendung“ des Rost-Verbrennungsluftüberschusses durch die VLN-Eindüsung kann Sekundärgas reduziert und dennoch die Turbulenz, sowie die Durchmischung des Abgases einer konventionellen Feuerung übertroffen werden. Bei zusätzlicher Sekundärmaßnahme zur NO_x -Reduktion durch ein SNCR-System wird durch die VLN-Gaszuführung die Vermischung mit eingedüstem NH_4OH begünstigt.

Zusammenfassend ergeben sich folgende Vorteile für den Verbrennungs- und Anlagenbetrieb:

- Senkung des Sauerstoffangebots im unteren Feuerraum
- Zusätzliche Ebene der Durchmischung des Abgases
- Absenkung des Gesamtluftüberschusses
- Verbesserung der Energieeffizienz der Gesamtanlage
- Vielfältige Kombinationsmöglichkeiten mit einem SNCR-System
- Reduzierung des Reduktionsmittelverbrauchs vom SNCR-System

In Abbildung 2 ist der Verlauf des Verbrennungsluftüberschusses der konventionellen Verbrennung und der VLN-Technologie gegenübergestellt. Dargestellt sind Massenströme deren λ sich auf den gesamten Brennstoff bezieht. In beiden Fällen setzt sich das Abgas lediglich aus Primär- und Sekundärluft zusammen. Rechts im Bild ist dargestellt, wie ca. 25% des VLN-Gases (äquivalent $\lambda = 0,3$) über dem Rost abgesaugt und über der Sekundärluft wieder zugegeben wird. Somit herrschen unterhalb der Sekundärluft unterstöchiometrische Verhältnisse.

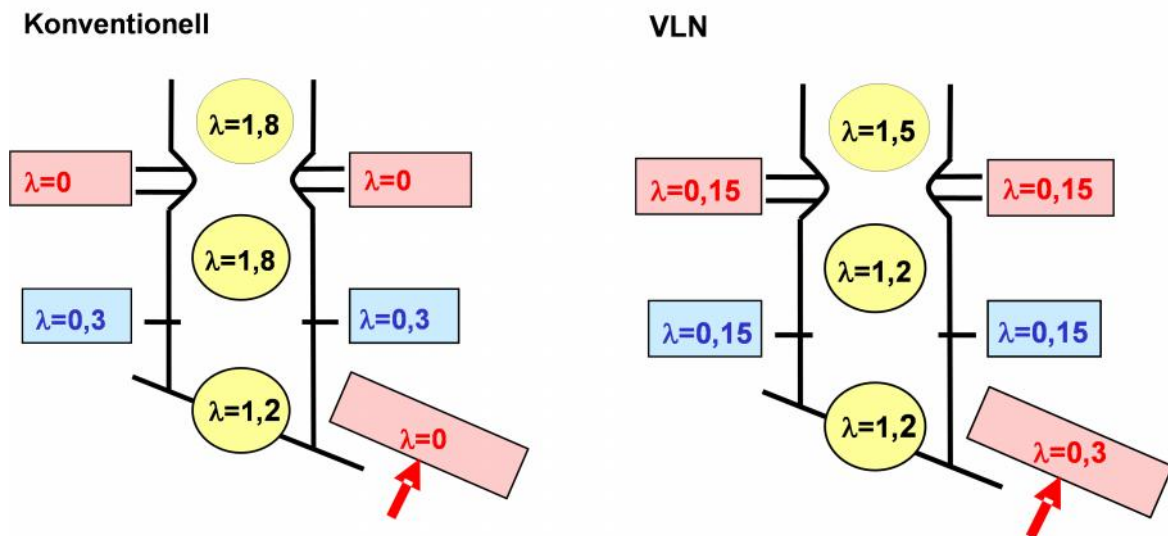


Abbildung 2: Vergleich Luftführung konventioneller / VLN-Betrieb

Aus Abbildung 2 ist ersichtlich, dass die interne Rezirkulation keine weitere Zugabe von Verbrennungsluft darstellt, sondern lediglich im Prozess bereits vorhandenes VLN-Gas zur Durchmischung und Homogenisierung des Abgases genutzt wird. Ab der Sekundärluftebene herrschen im Feuerraum überstöchiometrische Verhältnisse, wodurch der Verbrennungsprozess abgeschlossen wird.

Ebenso wird die Energieeffizienz gesteigert, da der Abgasverlust wegen des niedrigeren Abgasmassenstroms, bei gleichbleibender Abgastemperatur, reduziert wird. Es kann jedoch nicht nur mehr Energie aus dem Abgas gewonnen werden, sondern es ergeben sich zusätzliche Energieeinspareffekte bei allen abgasbehandelnden und -fördernden Komponenten, wie beispielsweise dem Saugzug.

Ausführliche Betriebserfahrungen mit dem Einsatz der VLN-Technologie konnten seit über fünf Jahren in den folgenden großtechnischen Abfallverbrennungsanlagen gesammelt werden:

- Bristol (USA, 2006/2007)
- Thiverval (F, 2007)
- Oita (J, 2007)
- St. Gallen (CH, seit 2010)

Die Nachrüstung der Linie 1 des MHKW Coburg war die erste großtechnische Umsetzung einer Abfallverbrennungsanlage in Europa. Basierend auf den positiven Ergebnissen wird auch die Linie 2 des MHKW Coburg in 2013 auf die MARTIN VLN-Technologie umgerüstet. Die zweite bereits in Betrieb befindliche VLN-Anlage wurde als Neuanlage in Honolulu errichtet.

Die **MARTIN SNCR-Systeme** basieren auf dem Prinzip der selektiven nichtkatalytischen Reduktion (SNCR, Selective Non Catalytic Reduction) und sind an die spezifischen Bedingungen der MARTIN Feuerung sowie deren Strömungsverhältnisse angepasst. Dabei werden die Stickoxide aus dem Verbrennungsvorgang durch Eindüsung von 25 Gew.-%-igem Ammoniakwasser (NH_4OH) in den Feuerraum innerhalb eines Temperaturbereiches von 850°C - 1.050°C in der Gasphase zu Stickstoff (N_2) und Wasser (H_2O) reduziert. Aufgrund der Abhängigkeit vom Tem-

peraturfenster an der Eindüsstelle, der Vermischung mit dem Abgas sowie der stattfindenden Nebenreaktionen muss Ammoniak im Überschuss zugegeben werden.

Folgende MARTIN SNCR-Systeme können eingesetzt werden:

- MARTIN Druckluft-SNCR-System
- MARTIN Wasser-SNCR-System
- MARTIN Dampf-SNCR-System

Beim MARTIN Druckluft-SNCR-System wird die Ammoniakwasserlösung mit Druckluft und beim MARTIN Dampf-SNCR-System mit Dampf in den Feuerraum eingedüst. Am MHKW Coburg ist an beiden Linien das MARTIN Wasser-SNCR-System installiert, bei dem über Flüssigkeitsdruckdüsen die 25 Gew.-%ige Ammoniakwasserlösung mit Wasser als Zerstäubermedium eingedüst wird (Abbildung 3).

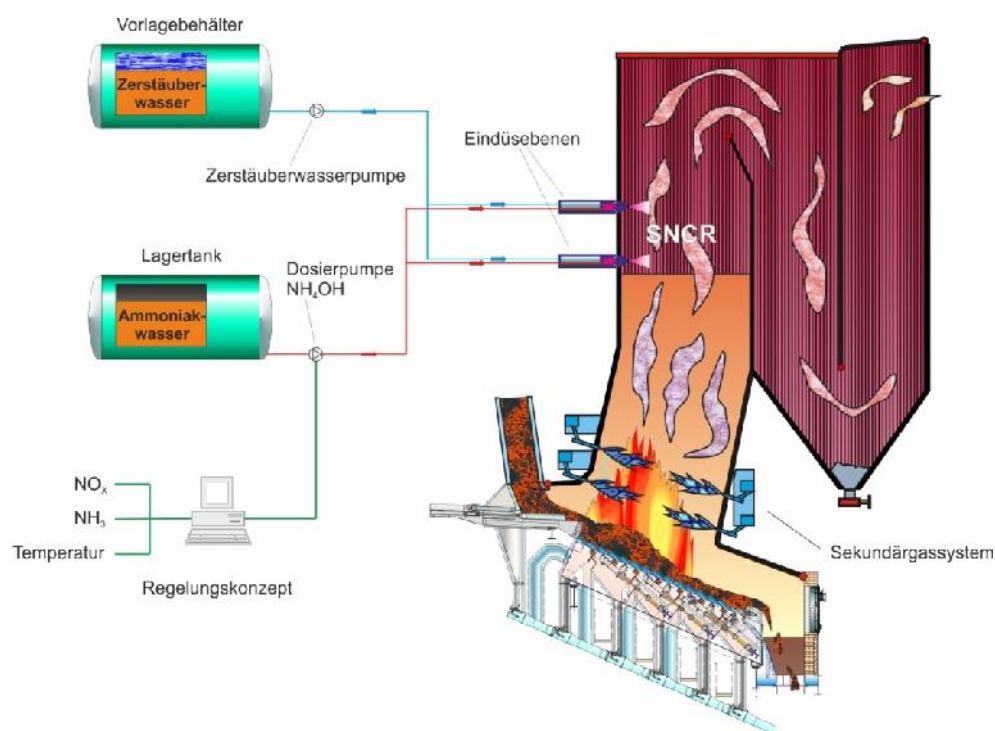


Abbildung 3: MARTIN Wasser-SNCR-System

Zur bedarfsorientierten Eindüsung und optimalen Ausnutzung des Ammoniakwassers bei variierenden NO_x-Rohgaskonzentrationen und Feuerungsbedingungen werden entsprechende Regelungskonzepte eingesetzt. Über eine Balanceregulierung wird dabei das Ammoniakwasser in Abhängigkeit von der aktuellen Temperatur an den Eindüsstellen (Laständerungen, Reisezeit) über zwei Ebenen stufenlos verteilt.

Für die **Nachrüstung** der bestehenden Linie 1 des MHKW Coburg mit der **MARTIN VLN-Technologie**, wurden bauliche Veränderungen durchgeführt.

Um die Absaugung des VLN-Gases aus dem hinteren Verbrennungsraum zu ermöglichen, musste die Umlenkung des Abgases vom zweiten in den dritten Zug angepasst werden. Der bestehende Aschetrichter 2./3. Zug war nach unten hin offen und wurde im Rahmen der Nachrüstung geschlossen. Außerdem wurden VLN-Gasabsaugöffnungen in die hintere Hänge-

decke oberhalb des Rostendes und Austragsschnecken mit Anbauteilen eingebaut. Die Fließrichtung des Ascheaustrags des Horizontalzugs wurde um 180° gedreht, sodass die anfallende Kesselasche, wie auch die Kesselasche aus dem 2./3. Zug zusammen gefördert wird.

Um das VLN-Gas zur Eindüsebene zu fördern und dort einzudüsen, wurden entsprechende Rohrleitungen verlegt, sowie ein Gebläse, Absperr- und Regelklappen installiert. Jeweils ein VLN-Gas Sammler befindet sich bei der Absaugung sowie auf der rechten und linken Kessel-seite. Die Eindüsung erfolgt über zwei Düsenreihen (obere / untere VLN-Gasebene) ausgehend von den zwei oberen Sammlern.

Mit der Nachrüstung der VLN-Technologie wurde auch das vorhandene MARTIN Wasser-SNCR-System an die geänderten Verhältnisse im Feuerraum angepasst (Eindüsöffnungen, Einbau weiterer Eindüsebene, Anpassung Regelungskonzept).

Außerdem wurde die bestehende Feuerungsleistungsregelung auf die MARTIN Infrared Combustion Control (MICC) umgestellt, die eine Fuzzy-Regelung, eine Infrarotkamera einschließlich Bildauswertung für die Prozessoptimierung sowie eine Betriebsdatenerfassung und -visualisierung umfasst.

Im Rahmen der Nachrüstung der Linie 1 des MHKW Coburg auf die MARTIN VLN-Technologie wurde auch eine **Kesselascherückführung** installiert. Zunächst wurde die Kesselasche in einem Kippcontainer erfasst und über den Müllbunker in die Feuerung zurückgeführt (Not-Entaschung). In einer 2. Ausbaustufe erfolgte der Umbau auf ein kontinuierliches Kesselasche-Rezirkulierungs-System (Rezyklierung) mit pneumatischer Förderung der Kesselasche direkt in die Feuerung.

Zusätzlich wurde im Zuge des Umbaus an der Linie 1 das bereits installierte MARTIN Wasser-SNCR-System optimiert.

Nach der Nachrüstung der Linie 1 des MHKW Coburg auf die MARTIN VLN-Technologie und die Inbetriebnahme durch die MARTIN GmbH wurden die folgenden **Untersuchungen** durchgeführt:

Probetrieb (12.10. - 08.11.2011)

Um den Nachweis der vertraglich gewährleisteten Garantiewerte und Betriebsdaten zu erbringen, wurden während des vierwöchigen Probetriebs gemäß zuvor festgelegtem Testprogramm die Betriebsdaten erfasst und ausgewertet.

Abnahmemessungen (21.11. - 02.12.2011)

Basierend auf den Vorgaben der Genehmigungsbehörden waren innerhalb von vier Monaten nach der Inbetriebnahme, spätestens jedoch mit den jährlichen Funktionsprüfungen für das Jahr 2011, die Anforderungen an die Verbrennungsbedingungen gemäß §13 Abs. 2a der 17. BImSchV mittels Abnahmemessungen nachzuweisen.

Gutachten der 17. BImSchV-Feuerraumtemperaturen (12.2011 - 01.2012)

Auf Basis eines Berechnungsprogramms des Ing.-Büros VWT waren thermodynamische Berechnungen mit messtechnischer Überprüfung zum Verhalten des Kessels der Linie 1 durchzuführen, um den Einfluss der VLN-Technologie auf die lastabhängigen Feuerraumtemperaturen bei der genehmigungsrelevanten Verweilzeit von 0,2 Sekunden für die Erstellung der Kalibrierfunktion für den Emissionswerterechner zu verifizieren.

Roh-NO_x-Messungen (29.01. - 07.02.2013)

Durch Roh-NO_x-Messungen im konventionellen und VLN-Betrieb bei mehreren Lastpunkten sollte die Wirksamkeit der VLN-Technologie als wesentliche Primärmaßnahme zur NO_x-Reduzierung ohne Betrieb des SNCR-Systems nachgewiesen werden.

Messungen Korrosionssonden (09.2012 - 25.02.2013)

Durch den Einbau von 3 Korrosionssonden der CORRMORAN GmbH an verschiedenen Kesselöffnungen sollte vergleichend der Einfluss der Feuerungsführung (Konventioneller / VLN-Betrieb bei verschiedenen Lastfällen) auf die Korrosion im Kessel, in Bezug auf Membranwände und Überhitzerrohre bestimmt werden.

Ergebnisse und Diskussion

Nach den Umbauarbeiten erfolgte durch die MARTIN GmbH in Zusammenarbeit mit dem MHKW Coburg die erfolgreiche Inbetriebnahme sowie Optimierung der MARTIN VLN-Technologie mit anschließendem Probetrieb. Alle vertraglich relevanten Garantiewerte für den VLN-Betrieb wurden im Probetrieb sicher eingehalten und zum Teil deutlich unterschritten. Während im konventionellen Betrieb NO_x-Werte von ca. 180 mg/Nm³ auftraten, konnte durch die VLN-Technologie der NO_x-Wert am Kamin signifikant auf 80 mg/Nm³ gesenkt werden, ohne dabei den NH₄OH-Verbrauch von ca. 30 l/h im Vergleich zum konventionellen Betrieb zu erhöhen. Bei einem gleichzeitigen NH₃-Schlupf am Kesselende von nur 2 - 3 mg/Nm³ stehen hier sogar noch Reserven zur Verfügung. Außerdem wurde bereits während des Probetriebs nachgewiesen, dass sich die CO-Emissionen im Rohgas (Kesselende) sowie die Dampfqualität und -stabilität aufgrund der Nachrüstung nicht verschlechtert haben. Alle relevanten Betriebswerte haben sich beim VLN-Betrieb im Vergleich zum konventionellen Betrieb nicht verschlechtert bzw. blieben in der gleichen Größenordnung.

Basierend auf den Ergebnissen des Probetriebs und da alle vertraglich relevanten Garantiewerte für den VLN-Betrieb sicher eingehalten und zum Teil deutlich unterschritten wurden, erfolgte die vorläufige Übernahme der Linie 1 durch den ZAW zum 11.11.2011.

Zum Nachweis der im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter wurden in Abstimmung mit der Regierung von Oberfranken und dem Bay. LfU Abnahmemessungen für 25 Mg/h sowie 31 Mg/h Dampfleistung mit folgenden Ergebnissen durchgeführt:

- Der Mittelwert der Feuerraumtemperatur aus den beiden Betriebsmessungen war in beiden Lastfällen deutlich oberhalb 850 °C. Die Temperaturen unterhalb der VLN-Gasebene sind, wie für die SNCR-Eindüsung ausgelegt, nahe 1.000 °C. Oberhalb der VLN-Gasebene sind die Messwerte um ca. 100 °C niedriger.
- Die NO_x-Konzentrationen am Kamin wurden stabil und gut geregelt mit $\leq 80 \text{ mg/Nm}^3$ gefahren. Durch die SNCR-Regelung wurde die Menge des NH₄OH sowie die Verteilung auf die beiden Ebenen den Feuerungsbedingungen schnell und optimal angepasst, so dass der NH₃-Schlupf bereits am Kesselende als Mittelwert deutlich $< 10 \text{ mg/Nm}^3$, tr. war.
- Für 25 Mg/h und 31 Mg/h Dampfleistung unterschritten am Kamin alle Emissionsmesswerte deutlich die geforderten Werte gemäß Genehmigungsbescheid. Die Zusammensetzung des VLN-Gases hat keinen Einfluss auf die sichere Einhaltung der Werte gemäß Genehmigungsbescheid am Kamin.
- Für 25 Mg/h und 31 Mg/h Dampfleistung hatten sich nach der Nachrüstung der VLN-Technologie im Vergleich zum vorherigen konventionellen Betrieb die Emissionsmesswerte grundsätzlich nicht verschlechtert bzw. sind in der gleichen Größenordnung geblieben. Eine

signifikante Verbesserung war aufgrund der VLN-Technologie bei den NO_x -Werten festzustellen.

- Die Kesselascheerfassung und -rückführung hat sich nach einigen Optimierungen verfahrens- bzw. anlagentechnisch gut bewährt. Die gemessenen Mengen stimmen gut mit den Auslegungs- und Anzeigewerten überein.
- Die Werte gemäß Genehmigungsbescheid für die Originalsubstanz der entschlackten HMV-Rohschlacke werden sicher eingehalten.
- Im Rahmen der Schwankungsbreite bei der Analyse von Rostschlacken ist eine signifikante Veränderung der Rostschlackenqualität durch die Kesselascherückführung nicht erkennbar.

Die thermodynamischen Untersuchungen für die lastabhängigen Feuerraumtemperaturen bei der genehmigungsrelevanten Verweilzeit von 0,2 Sekunden wurden anhand der Konstruktionszeichnungen des Kessels, einer großen Bandbreite unterschiedlicher Lastfälle in Kombination mit drei Brennstoffen für den mittelferschmutzten Kessel durchgeführt. Die Verweilzeit von 0,2 Sekunden über 850 °C wird bei mittelferschmutztem Kessel sowie den untersuchten Lastfällen und typischen Heizwerten in der Nachbrennzone oberhalb der Sekundärlufteindüsung sicher erreicht. Zudem bestätigten die weiterhin geringen CO-Konzentrationen im Abgas mit dem guten Ausbrand der Abgase in der Nachbrennzone die durchgeführten Berechnungen.

Durch Roh- NO_x -Messungen im konventionellen und VLN-Betrieb bei den Lastpunkten 20 Mg/h, 25 Mg/h und 31 Mg/h Dampf sollte die Wirksamkeit des VLN-Verfahrens ohne SNCR nachgewiesen werden, da die Reduktion des Luftüberschusses im unteren Feuerraum zu einer Reduzierung der Brennstoff- NO_x -Bildung und damit Absenkung der Roh- NO_x -Konzentration führt. Im konventionellen Betrieb zeigte sich, dass die Roh- NO_x -Werte am Kesselende, vor allem bei 31 Mg/h Dampf, teilweise über 500 mg/Nm³ lagen. Bei diesen Roh- NO_x -Konzentrationen und gleichzeitig niedrigem NO_x -Sollwert waren die NH_3 -Schlupfwerte am Kesselende sehr hoch und unruhig, da die SNCR-Anlage bei hohem Ammoniakwasserverbrauch deutlich überstöchiometrisch betrieben werden musste (ca. 1/3 höherer NH_4OH -Verbrauch). Im VLN-Betrieb waren die Roh- NO_x -Werte sowie die NH_3 -Schlupfwerte am Kesselende im Vergleich zum konventionellen Betrieb signifikant geringer. Durch den alleinigen VLN-Betrieb ohne SNCR konnte die Roh- NO_x -Konzentration am Kesselende um 29% (25 Mg/h Dampf) bis zu 45% (31 Mg/h Dampf) abgesenkt werden. Bei allen Roh- NO_x -Messungen wurden keine Werte gemäß Genehmigungsbescheid überschritten.

Die große Anzahl an Korrosionssonden, die an der Linie 1 zum Einsatz kamen in Kombination mit der Möglichkeit zwischen zwei sehr unterschiedlichen Feuerungsführungen zu wechseln, ermöglichte es, Korrosionszusammenhänge zu erkennen und zu untersuchen, die sonst nur im Labormaßstab möglich sind. Die wichtigsten Einflussfaktoren für die Korrosion sind:

- Konzentration korrosiver Abgasbestandteile
- Abgastemperatur
- Rohrwandtemperatur
- Durchmischung der Abgase
- Strömungsgeschwindigkeit

Klare Abhängigkeiten des Korrosionssignals von der Last und somit der lokalen Abgastemperatur konnten nachgewiesen werden. Bei allen Testreihen zeigte sich, dass das Korrosionssignal bei VLN-Betrieb geringer oder vergleichbar wie bei konventionellem Betrieb ist. Ein geringeres Korrosionssignal wurde hauptsächlich bei tieferen Lasten im VLN-Betrieb aufgezeichnet. Bei höheren Lasten war der Unterschied kleiner. Grundsätzlich kann dieser Effekt auf die verbesserte Durchmischung und Homogenisierung des Abgases durch die zusätzlichen Eindü-

ebenen zurückgeführt werden. Für manche Lastpunkte war sogar ein Faktor 2 feststellbar. Besonders wichtig war dieser Unterschied für den Sensor, mit dem die Auswirkungen auf den Überhitzer untersucht wurden. Daraus ließ sich schließen, dass die VLN-Technologie nicht nur die NO_x-Emissionen reduziert, sondern tendenziell auch das Korrosionspotenzial im Kessel verringern kann. Genauere Aussagen lassen sich jedoch erst durch mehrjährige Beobachtungen ermitteln.

Zusammenfassung und Ausblick

Durch verbesserte Energieeffizienz und verminderte Emissionen bei der thermischen Abfallbehandlung stellt die VLN-Technologie eine effektive feuerungsseitige Primärmaßnahme dar. Bei gleichzeitiger Senkung des Abgasvolumenstroms und der NO_x-Emissionen bleiben die üblichen Prozessanforderungen, wie Feuerungsstabilität und Ausbrandqualität, sicher erhalten. Zusätzlich wird der Aufwand zur sekundärseitigen Stickoxidminderung (SNCR-System) signifikant reduziert. Dies spart nicht nur anfallende Kosten für das Reduktionsmittel und unter Umständen anfallende Sekundärenergieaufwendungen, sondern ermöglicht auch wesentlich geringere Emissionen bei gleichbleibendem oder sogar sinkendem Investitions- und Betriebsaufwand. Durch den Einsatz der VLN-Technologie ergibt sich eine deutlich verbesserte Stickstoffbilanz. Der Ammoniakverbrauch wird trotz der tieferen NO_x-Emissionen nicht erhöht und die NH₃-Emissionen werden signifikant verringert.

An der Linie 1 des MHKW Coburg erfolgt eine Reduzierung der NO_x-Emissionen um 25.000 - 30.000 kg/Jahr. Die um 10% geringere Abgasmenge führt bei den sonstigen Reingasfrachten ebenfalls zu einer Reduktion um ca. 10%. Entsprechend der Verbesserung des energetischen Wirkungsgrades von ca. 5% ergibt sich eine CO₂ Einsparung von 2.500 Mg CO₂/Jahr.

Die beschriebenen positiven Betriebserfahrungen an der Linie 1 des MHKW Coburg belegen die Wirksamkeit und Effektivität der innovativen MARTIN VLN-Technologie. Da sich diese Technologie für den ZAW bewährt hat, wird in 2013 auch die Linie 2 des MHKW Coburg auf die MARTIN VLN-Technologie umgerüstet. Darüber hinaus besteht großes Interesse an dieser Technologie, so dass in den kommenden Jahren drei weitere Abfallverbrennungsanlagen damit ausgerüstet werden:

- KVA Buchs (CH, 2013)
- KVA Bazenheid (CH, 2013)
- Durham/York (CA, 2014)

Summary

The Coburg waste-to-energy (WTE) plant was commissioned in 1988. The plant thermally treats and recovers energy from municipal and commercial waste. This energy is used to produce electricity and district heat. The plant consists of:

- 2 waste lines
- 1 coal line (takes over production of district heat if waste lines fail)
- 2 turbo generators
- Production/supply of district heat

The annual waste throughput capacity is approx. 140,000 Mg at an average heating value of approx. 10,500 KJ/kg.

The plant was originally planned and built for NO_x values of 400 mg/Nm³. Following the 17th BImSchV (Seventeenth ordinance on the implementation of the Federal Emission Control Act), the MARTIN water SNCR system, which uses aqueous ammonia as an operating medium, was retrofitted in both lines in 1995/1996. With this system, NO_x values below 200 mg/Nm³, the daily limit defined in the permit, can be consistently achieved.

The permit for the Coburg WTE plant was adjusted in the context of the above-mentioned retrofitting measure.

- | | |
|--|------------------------------|
| • Daily NO _x average (clean gas) | 200 mg/Nm ³ , dry |
| • Half-hourly NO _x average (clean gas) | 400 mg/Nm ³ , dry |
| • Half-hourly NH ₃ average (clean gas) | 10 mg/Nm ³ , dry |
| • Residence time after the last addition of secondary combustion air | 0.2 seconds |

The demands placed on environmentally friendly and sustainable WTE plants and the planned reduction in the NO_x limit led to considerations regarding more far-reaching NO_x measures in line with the state of the art. Such a measure could be the installation of an SCR catalytic converter. However, this would involve high investment and operating costs and adversely affect energy efficiency (R1 criterion). Therefore the combustion system in line 1 of the Coburg WTE plant was upgraded to include the innovative MARTIN Very-Low-NO_x (VLN) technology, which, in conjunction with the SNCR system, makes it possible to achieve a very low daily NO_x average at the stack of less than 80 mg/Nm³ (dry, without O₂ reference calculation if O₂ ≤ 11 % by vol.), a low half-hourly NH₃ slip average at the boiler outlet of ≤ 10 mg/Nm³ (dry, without O₂ reference calculation) with an increased energy efficiency. What is more, the decreased raw NO_x concentration in the flue gas brought about by this primary measure results in a significant reduction in the SNCR system's NH₄OH consumption.

The **VLN (Very-Low-NO_x) technology** is a process for reducing NO_x concentrations that was patented by MARTIN GmbH and developed in cooperation with partner companies. It can be classified as a primary measure. The procedure is based on the principle of gas recirculation, but involves a completely new approach to process control and can therefore bring about further progress in terms of NO_x reduction, energy efficiency and a simplified design.

The VLN technology avails itself of an "internal recirculation" process in which part of the gas is extracted from the rear section of the furnace in the vicinity of the grate burnout zone. As shown in figure 1, approx. 25 % of the gas is extracted by means of a fan from the lower part of the furnace at temperatures between 160 and 280 °C and reinjected in the upper part of the furnace via two nozzle rows. This process makes use of the principle of reduced oxygen supply in the furnace.

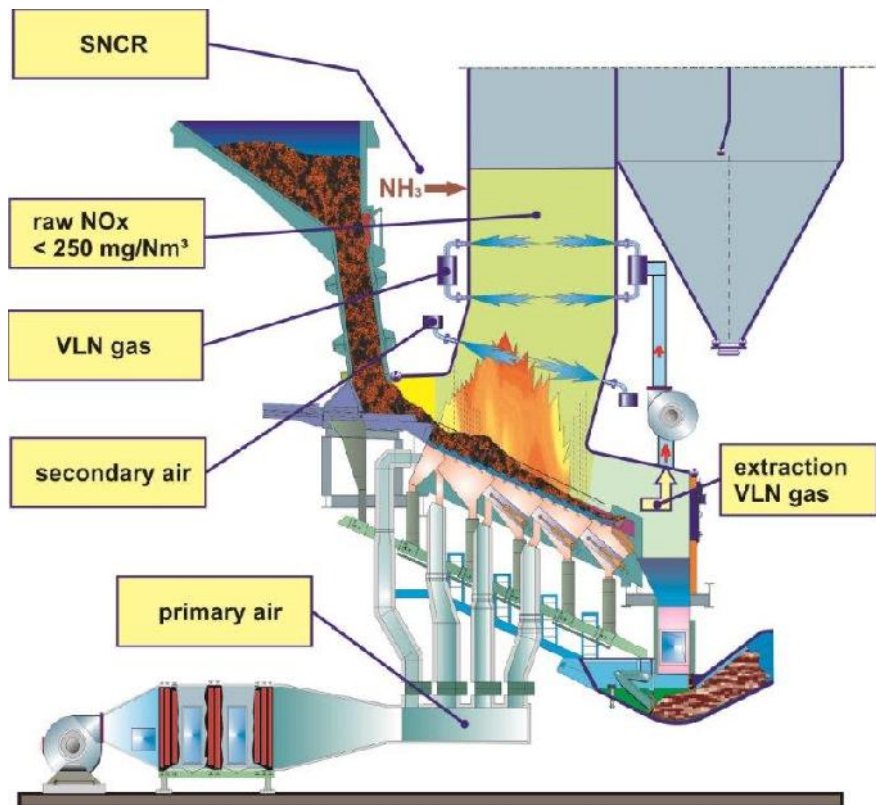


Figure 1: MARTIN VLN technology (NO_x : dry, referred to 11% O_2)

A significant advantage of this technology is that complete burnout of the solid matter can be consistently achieved, while the oxygen supply in the furnace is decreased to reduce the formation of fuel NO_x . Excess combustion air from the fuel bed is supplied to the internal recirculation process. In addition, the total excess air can be decreased without adversely affecting the gas burnout. By reusing the excess grate combustion air when injecting VLN gas into the furnace, the secondary gas flow can be reduced. Nevertheless, the resulting flue gas turbulence is stronger and the flue gas is mixed more thoroughly than in a conventional combustion system. If an SNCR system is used as a secondary NO_x reduction measure, the supplied VLN gas will promote mixing of the reagents with the injected NH_4OH .

In summary, there are the following advantages for the combustion process and plant operation:

- Reduction of oxygen supply in the lower part of the furnace
- Additional level for flue gas mixing
- Reduction in total excess air
- Improved energy efficiency of the overall plant
- Numerous possible combinations with an SNCR system
- Decreased consumption of reduction agent in the SNCR system

Figure 2 shows a comparison of the excess combustion air levels in conventional and VLN operation. The figure illustrates mass flows whose λ refers to the total fuel quantity. In both cases, the flue gas consists only of primary and secondary air. The right diagram shows how approx. 25 % of the VLN gas (equivalent to $\lambda = 0.3$) is extracted above the grate and reintroduced into the furnace above the secondary air level. As a result, substoichiometric conditions prevail below the secondary air level.

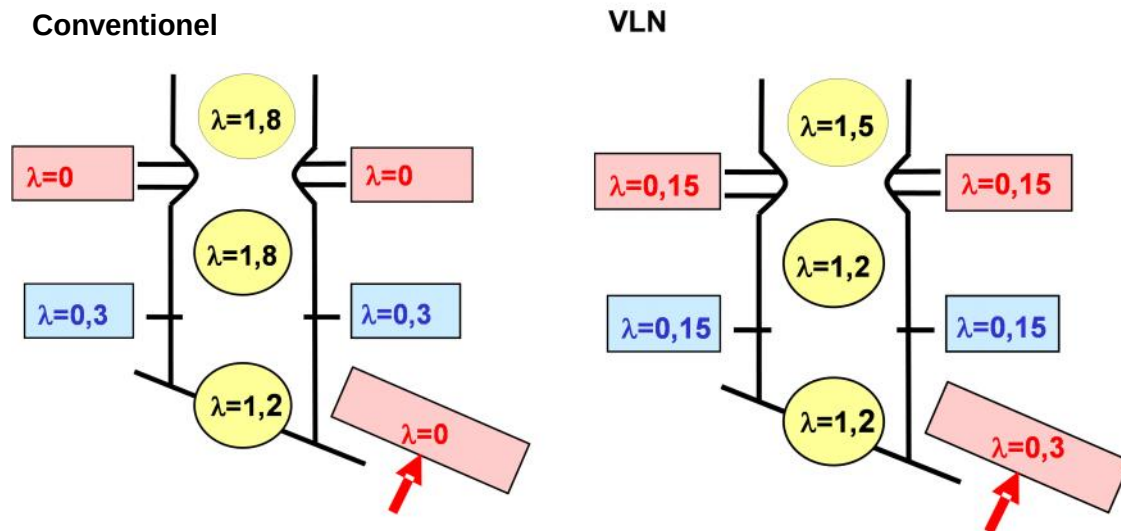


Figure 2: Comparison between air control in conventional and VLN operation

Figure 2 shows that no additional combustion air is supplied to the furnace during internal recirculation but that VLN gas already participating in the process is used to mix and homogenize the flue gas. Hyperstoichiometric conditions prevail in the furnace at the secondary air level and above. The combustion process is thus concluded.

Moreover, energy efficiency increases because the flue gas loss is reduced due to the lower flue gas mass flow, while the flue gas temperature remains unchanged. However, not only can more energy be recovered from the flue gas, but also the energy consumption of all components used to treat and convey flue gas, e.g. the induced draught fan, is reduced.

Over a period of more than five years, extensive operating experience has been gained with the VLN technology in the following industrial-scale waste-to-energy plants:

- Bristol (USA, 2006/2007)
- Thiverval (F, 2007)
- Oita (J, 2007)
- St. Gallen (CH, since 2010)

The retrofitting measure performed in line 1 of the Coburg WTE plant was the first project during which the technology was implemented in a European industrial-scale WTE plant. Due to the positive results achieved, a MARTIN VLN system will also be retrofitted in line 2 of the Coburg WTE plant in 2013. The second VLN plant to be commissioned so far was built as a new plant in Honolulu.

The **MARTIN SNCR systems** are based on the principle of selective non-catalytic reduction (SNCR) and are tailored to the specific conditions and flow profiles of the MARTIN combustion system. In the gas phase, the SNCR systems reduce the nitrogen oxides produced during the combustion process to nitrogen (N_2) and water (H_2O) by injecting 25 % (by weight) aqueous ammonia (NH_4OH) within a temperature range from 850 °C to 1050 °C into the furnace. Ammonia must be injected in excess because the effectiveness of the reduction process depends on the temperature window at the injection point, thorough mixing with the flue gas and the secondary reactions taking place.

The following MARTIN SNCR systems can be used:

- MARTIN compressed-air SNCR system
- MARTIN water SNCR system
- MARTIN steam SNCR system

In the MARTIN compressed-air SNCR system, the aqueous ammonia solution is injected into the furnace by means of compressed air. In the MARTIN steam SNCR system, steam is used for the same purpose. Both lines of the Coburg WTE plant are equipped with the MARTIN water SNCR system, which injects aqueous ammonia (25 % by weight) into the furnace via pressure nozzles using water as an atomizing agent (figure 3).

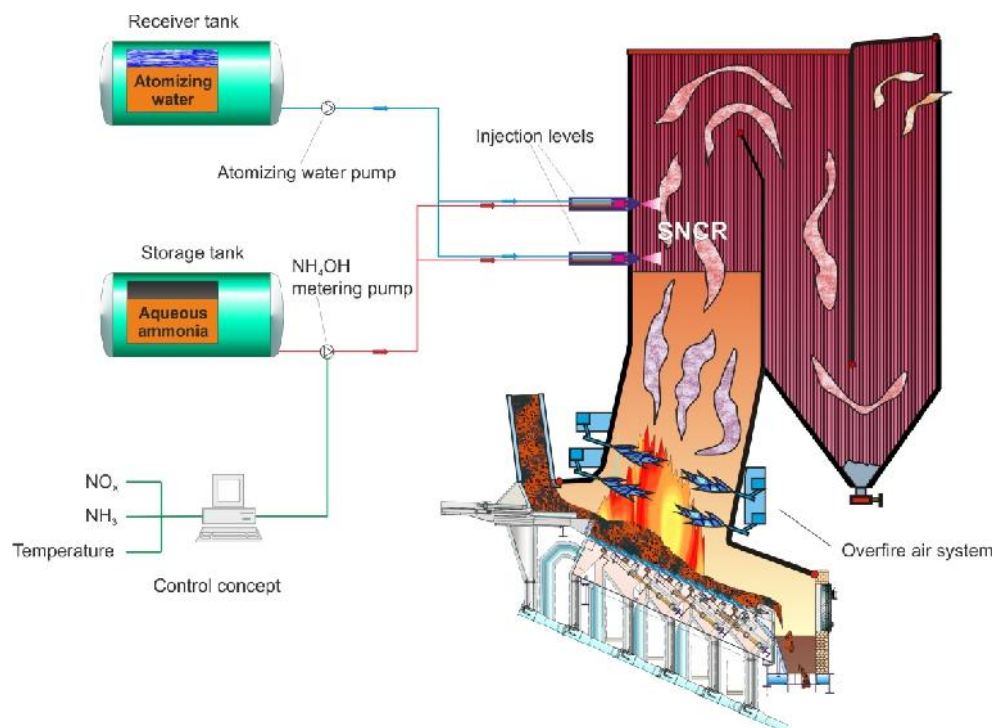


Figure 3: MARTIN water SNCR system

Several control concepts are used to ensure demand-oriented injection and optimal use of aqueous ammonia at varying NO_x raw gas concentrations and combustion conditions. With the help of a balance controller, the aqueous ammonia is continuously distributed via two levels as a function of the current temperatures at the injection points (load changes, service period).

Structural changes were made to line 1 of the Coburg WTE plant for **retrofitting the MARTIN VLN technology**.

The point where the flue gas passes from the 2nd to the 3rd boiler pass had to be adjusted so that the VLN gas can be extracted from the rear part of the furnace. The bottom of the boiler hopper in the 2nd/3rd pass was open and was closed during the retrofitting measure. Moreover, VLN gas extraction openings were provided in the rear arch of the furnace above the rear end of the grate and discharge screws with add-on parts were fitted. The direction of the ash discharge flow in the horizontal pass was turned by 180° so that the boiler ash produced in this pass and in the 2nd/3rd pass can be transported together.

Pipes, a fan and shut-off and control dampers were installed so that the VLN gas can be supplied to the injection level and subsequently injected. One VLN gas header each is located

at the extraction point and on the left and right side of the boiler. The VLN gas is injected via two nozzle rows (upper/lower VLN gas level), which are supplied by the two upper headers.

When retrofitting the VLN system, the existing MARTIN water SNCR system was also adjusted to the changed conditions in the furnace (injection openings, installation of additional injection level, adjustment of the control concept).

What is more, the existing combustion control system was converted to the MARTIN Infrared Combustion Control (MICC) system, which comprises fuzzy control, an infrared camera including image analysis for process optimization as well as operational data logging and visualization.

A **boiler ash recirculation** system was also installed when retrofitting the MARTIN VLN technology in line 1 of the Coburg WTE plant. As a first step, the boiler ash was collected in a tipping container and returned to the combustion system via the refuse pit (emergency ash removal). Then a continuous boiler ash recirculation system was installed. The system feeds the boiler ash directly back to the combustion system by means of compressed air.

The modification of line 1 also involved an optimization of the MARTIN water SNCR system.

The **tests** described below were carried out once MARTIN GmbH had retrofitted and started up the MARTIN VLN technology in line 1 of the Coburg WTE plant.

Trial operation (12/10 - 08/11/2011)

During trial operation, the operating data was recorded and evaluated in accordance with a pre-defined test programme to prove compliance with the values and operating data guaranteed by contract.

Performance test (21/11 - 02/12/2011)

According to the requirements made by the approval authorities, compliance with the combustion conditions defined in section 13, paragraph 2 a of the 17th BImSchV (Seventeenth ordinance on the implementation of the Federal Emission Control Act) had to be proven by means of performance tests within four months after start-up or, at the latest, during the annual functional tests for the year 2011.

Check of furnace temperatures for compliance with 17th BImSchV (12/2011 - 01/2012)

Based on a program code of the engineering firm VWT, thermodynamic calculations regarding the behaviour of the boiler in line 1 had to be performed and verified by means of measurements to find out, for the implementation of the calibrating function for the continuous emission monitoring system, how the VLN technology influences the load-dependent furnace temperatures at a residence time of 0.2 seconds (relevant for the permit).

Raw NO_x measurements (29/01 - 07/02/2013)

Raw NO_x measurements were to be performed in conventional and VLN operation at various load points to prove that the VLN technology is an effective and essential primary measure to reduce the NO_x concentration, even when the SNCR system is not in operation.

Measurements performed with corrosion probes (09/2012 - 25/02/2013)

Three corrosion probes supplied by CORRMORAN GmbH were installed at various boiler openings to compare the influence of combustion control (in conventional and VLN operation at different load points) on corrosion on the membrane walls and superheater tubes of the boiler.

Results and discussion

On completion of the modification work, the MARTIN VLN technology was successfully started up and optimized by MARTIN GmbH in cooperation with the Coburg WTE plant. Subsequently trial operation took place. During trial operation, all contractually guaranteed values for VLN operation were consistently complied with. Some of the readings were even significantly below the guaranteed values. In VLN operation, the NO_x value at the stack was lowered significantly to 80 mg/Nm^3 , down from approx. 180 mg/Nm^3 in conventional operation, without increasing NH_4OH consumption (approx. 30 l/h) in comparison to conventional operation. Since the NH_3 slip at the boiler outlet was only $2 - 3 \text{ mg/Nm}^3$, there is even more room for improvement. What is more, it was proven during trial operation that the CO emissions in the raw gas (boiler outlet) and the steam quality and steam stability had not been adversely affected by the retrofitting measure.

In VLN operation, all relevant operating values were as good as in conventional operation or of the same order of magnitude.

ZAW (the local joint waste management authority) preliminarily accepted line 1 as of 11/11/2011 due to the good results achieved during trial operation and the fact that all contractually guaranteed values for VLN operation were consistently complied with. Some of the readings were even significantly below the guaranteed values.

Performance test measurements for steam outputs of 25 Mg/h and 31 Mg/h were carried out in consultation with the District Government of Upper Franconia and the Bavarian Environmental Agency to prove compliance with the parameters defined in the permit. The results were as follows:

- In both load cases, the average furnace temperature, calculated on the basis of the values provided by the two process measurement devices, was significantly higher than 850°C . The temperatures below the VLN gas level are close to 1000°C , as designed for SNCR injection. Above the VLN gas level, the measured values are approx. 100°C lower.
- The NO_x concentrations at the stack were kept at a stable level and well controlled ($\leq 80 \text{ mg/Nm}^3$). With the help of the SNCR control system, the NH_4OH flow and the distribution between the two levels was quickly and optimally adjusted to the prevailing combustion conditions so that, even at the boiler outlet, the average NH_3 slip was significantly below 10 mg/Nm^3 (dry).
- At steam outputs of 25 Mg/h and 31 Mg/h , all emission values at the stack were significantly below the values required in the permit. The composition of the VLN gas does not influence consistent compliance with the values at the stack specified in the permit.
- The emission values at steam outputs of 25 Mg/h and 31 Mg/h did not increase or were of the same order of magnitude after the plant had been converted from conventional to VLN operation. The NO_x values were significantly improved with the help of the VLN technology.
- The boiler ash collection and recirculation system has proven its worth in terms of process and plant engineering after several optimizations. The measured quantities correspond well with the design values and those reported to the approval authorities.
- The values defined by the permit for the solids in the untreated bottom ash produced during the combustion of household waste are consistently complied with.
- The boiler ash recirculation has no significant influence on bottom ash quality in the range of analyses fluctuation.

The thermodynamic evaluations concerning the load-dependent furnace temperatures at the residence time defined in the permit (0.2 seconds) were carried out on the basis of the boiler design drawings and a wide range of load cases in combination with three fuels (typical heating values) for a medium-fouled boiler. At the above conditions, a residence time of 0.2 seconds at $> 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ is consistently complied with in the post-combustion zone above the secondary air injection level. What is more, the calculations performed are confirmed by the fact that CO concentrations in the flue gas remained at a low level and that good flue gas burnout values were achieved in the post-combustion zone.

Raw NO_x measurements were to be carried out in conventional and VLN operation at steam outputs (load points) of 20 Mg/h, 25 Mg/h and 31 Mg/h to prove that the VLN process is effective without the SNCR system because a reduction of excess air in the lower part of the furnace decreases the formation of fuel NO_x and thus the raw NO_x concentration. In conventional operation, some raw NO_x values at the boiler outlet exceeded 500 mg/Nm^3 , especially at a steam output of 31 Mg/h. At the above-mentioned raw NO_x concentrations, in combination with a low NO_x set point, the NH_3 slip values at the boiler outlet were very high and unstable since the SNCR system had to be operated well above the stoichiometric level, consuming large quantities of aqueous ammonia (NH_4OH consumption increased by approx. 1/3). In VLN operation, the raw NO_x values and the NH_3 slip values at the boiler outlet were significantly lower than in conventional operation. In VLN operation without the SNCR system, the raw NO_x concentration at the boiler outlet was reduced by values between 29 % (steam output of 25 Mg/h) and 45 % (steam output of 31 Mg/h). No raw NO_x reading exceeded the values defined in the permit.

The large number of corrosion probes used in line 1 and the fact that two very different sets of combustion control settings could be selected made it possible to detect and analyse the causes of corrosion in a way that would otherwise only be possible in a laboratory. The most important factors that have an influence on corrosion are:

- Concentration of corrosive flue gas components
- Flue gas temperature
- Tube wall temperature
- Flue gas mixing
- Flow speed

The above investigations have clearly proven that the corrosion signal depends on the load and consequently the local flue gas temperature. All test series have shown that the corrosion signal in VLN operation is lower than or comparable to the signal in conventional operation. A lower corrosion signal was mainly recorded at lower loads in VLN operation. The difference was smaller at higher loads. This effect can be attributed to the fact that the additional injection levels make it possible to mix and homogenize the flue gas better. At some load points, the corrosion signal even differed by a factor of 2. This difference was particularly important for the sensor used to examine the effects on the superheater. This suggested that the VLN technology not only decreases NO_x emissions but also tends to reduce the corrosion potential in the boiler. However, more detailed insight can only be gained by conducting observations over several years.

Summary and outlook

The VLN technology is an effective primary measure to improve energy efficiency and reduce emissions in the thermal treatment of waste by influencing the combustion process. The flue gas volume flow and the NO_x emissions are reduced, whereas the other process requirements

such as combustion stability and burnout quality can be reliably met. In addition, the effort for the secondary NO_x reduction measure (SNCR system) is significantly reduced. This saves costs for the reduction agent and the consumption of secondary energy (if necessary) on the one hand, and on the other allows emission levels to be reduced significantly, while maintaining or even cutting investment and operating costs. The nitrogen balance is markedly improved by using the VLN technology. Ammonia consumption does not increase despite lower NO_x emission levels and NH₃ emission levels are significantly reduced.

The NO_x emissions in line 1 of the Coburg WTE plant were reduced by 25,000 - 30,000 kg per year. Due to a 10 % decrease in the flue gas flow, the other clean gas loads are reduced by approx. the same amount. An increase in energy efficiency of approx. 5 % results in a reduction in CO₂ emissions of 2,500 Mg per year.

The positive experience made during operation of line 1 shows that the innovative MARTIN VLN technology is effective and efficient. Since this technology has proven its worth for ZAW, it will also be retrofitted in line 2 of the Coburg WTE plant in 2013. Other customers have also shown great interest in the technology. As a result, it will be installed in three more WTE plants in the years to come:

- KVA Buchs (CH, 2013)
- KVA Bazenheid (CH, 2013)
- Durham/York (CA, 2014)

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	20
1.1	Kurzbeschreibung Zweckverband für Abfallwirtschaft in Nordwest-Oberfranken	20
1.2	Ausgangssituation.....	20
2	Vorhabensumsetzung	21
2.1	Ziel des Vorhabens	21
2.2	Darstellung der technischen Lösung	21
2.3	Umsetzung des Vorhabens	24
2.3.1	MARTIN VLN-Technologie	24
2.3.2	Zusätzliche Nachrüstungen.....	25
2.4	Behördliche Anforderungen.....	25
2.5	Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	27
3	Ergebnisse	27
3.1	Bewertung der Vorhabensdurchführung	27
3.2	Stoff- und Energiebilanz	28
3.2.1	E-Eigenverbrauch bzw. Energieeffizienz / Stromabgabe	28
3.2.2	SNCR / Ammoniakwasser-Mengen / -Verbräuche.....	28
3.2.3	Kesselasche-Rezyklierung	29
3.3	Umweltbilanz.....	29
3.4	Messprogramme	29
3.4.1	Durchgeführte Untersuchungen	29
3.4.2	Ergebnisse und Diskussion	29
3.5	Wirtschaftlichkeitsanalyse	47
4	Empfehlungen	47
4.1	Erfahrungen aus der Praxiseinführung	47
4.1.1	Betriebs-Erfahrungen mit der VLN-Technolgie	49
4.1.2	Betriebs-Erfahrungen mit der optimierten SNCR-Anlage.....	50
4.1.3	Betriebs-Erfahrungen mit dem Kessel-Asche-Rezyklierungs-System.....	50
4.2	Modellcharakter.....	51
4.3	Zusammenfassung.....	51
5	Anhang.....	52
5.1	Abkürzungsverzeichnis	52
5.2	Stoff- / Energiebilanz MHKW Coburg	53

1 EINLEITUNG

1.1 KURZBESCHREIBUNG ZWECKVERBAND FÜR ABFALLWIRTSCHAFT IN NORDWEST-OBERFRANKEN

Der im Jahre 1974 von den Landkreisen Coburg, Kronach, Lichtenfels und der Stadt Coburg gegründete Zweckverband für Abfallwirtschaft in Nordwest-Oberfranken (ZAW) ist zuständig für die umweltschonende Entsorgung und effektive Verwertung der in der Region Coburg, Kronach und Lichtenfels anfallenden Abfälle von zirka 267.000 Einwohnern. Kernstück der Abfallentsorgung für die Region ist das 1988 in Betrieb genommene Müllheizkraftwerk in Coburg-Neuses. Ergänzt wird das Müllheizkraftwerk von zwei angeschlossenen Umladestationen und einer Deponie, die für nicht brennbare Abfälle, aber auch als Not- und Ausfalldeponie für brennbare Abfälle genutzt werden kann.

Aufgabe des Verbandes ist es, die Entsorgung der im Verbandsgebiet anfallenden Abfälle nach den Zielvorgaben des Bayerischen Abfallwirtschaftsgesetzes sicherzustellen. Der ZAW hat gemäß seiner Verbands- und Betriebssatzung folgende Aufgaben:

- Errichtung und Betrieb eines Müllheizkraftwerkes (MHKW)
- Errichtung und Betrieb von Müllumladestationen für Kronach und Lichtenfels
- Schaffung und Betrieb einer Ausfall- und Reststoffdeponie
- Errichtung und Betrieb einer Wertstoffsortieranlage
- Einführung und Bestandspflege der flächendeckenden Altpapiertonne
- Durchführung von Problemmüllsammlungen
- Gewerbeabfallberatung

Die restlichen verbleibenden abfallwirtschaftlichen Aufgaben werden von den Landkreisen Coburg, Kronach, Lichtenfels und der Stadt Coburg selbst wahrgenommen (z.B. Abfallberatung für Haushalte, Grüngutkompostierung, Sammlung und Transport von Haus- und Sperrmüll, Wertstoffhöfe, Bauschuttentsorgung, etc.).

1.2 AUSGANGSSITUATION

Das Müllheizkraftwerk Coburg (MHKW Coburg) wurde 1988 in Betrieb genommen. Die Anlage dient der thermischen Abfallbehandlung und energetischen Nutzung von Hausmüll und Gewerbeabfällen für die Erzeugung von Strom- und Fernwärme. Sie besteht aus:

- 2x Mülllinien
- 1x Kohlelinie (Ausfall-Reserve für die Mülllinien bei Fernwärmeerzeugung)
- 2x Turbo-Generatoren
- Fernwärme-Erzeugung/-Auskopplung

Die Jahres-Kapazität für den Mülldurchsatz beträgt ca. 140.000 Mg bei einem durchschnittlichen Heizwert von ca. 10.500 KJ/kg.

Ursprünglich wurde die Anlage für NO_x-Werte von 400 mg/Nm³ geplant und errichtet. Im Rahmen der 17. BImSchV wurden in 1995/1996 beide Mülllinien mit dem MARTIN-Wasser-SNCR-System mit dem Betriebsmittel Ammoniakwasser nachgerüstet, mit dem genehmigungskonform und sicher NO_x-Werte von unter 200 mg/Nm³ erreicht werden.

Im Rahmen dieser Nachrüstung wurde die Genehmigung des MHKW Coburg angepasst:

- | | |
|---|------------------------------|
| • Tages-Mittelwert NO _x (Reingas) | 200 mg/Nm ³ , tr. |
| • Halbstunden-Mittelwert NO _x (Reingas) | 400 mg/Nm ³ , tr. |
| • Halbstunden-Mittelwert NH ₃ (Reingas) | 10 mg/Nm ³ , tr. |
| • Verweilzeit nach der letzten Sekundär-Verbrennungsluft-Zugabe | 0,2 Sekunden |

2 VORHABENSUMSETZUNG

2.1 ZIEL DES VORHABENS

Die Ansprüche an umweltfreundliche und nachhaltige Abfallverbrennungsanlagen sowie die geplante Herabsetzung des NO_x-Grenzwertes führten beim ZAW zu Überlegungen weiterführender NO_x-Reduzierungsmaßnahmen entsprechend dem Stand der Technik. Hierfür wäre der Einsatz eines SCR-Katalysators möglich, der jedoch hohe Investitions- sowie Betriebskosten verursacht und grundsätzlich zu Einbußen bei der Energieeffizienz (R1-Kriterium) führt. Deswegen wurde am MHKW Coburg die bestehende Feuerung der Linie 1 auf die innovative MARTIN VLN-Technologie (Very-Low-NO_x) umgerüstet, die es erlaubt, im Zusammenhang mit dem SNCR-System neben dem sehr geringen NO_x-Wert im Tagesmittel am Kamin von unter 80 mg/Nm³ (tr., ohne O₂-Bezugsrechnung bei O₂ ≤ 11 Vol.-%) auch einen geringen NH₃-Schlupf als Halbstundenmittelwert am Kesselende von ≤ 10 mg/Nm³ (tr., ohne O₂-Bezugsrechnung) bei erhöhtem energetischen Wirkungsgrad zu erreichen. Durch Reduzierung des Roh-NO_x im Abgas mittels dieser Primärmaßnahme sinkt zudem der NH₄OH-Verbrauch der SNCR-Anlage signifikant.

2.2 DARSTELLUNG DER TECHNISCHEN LÖSUNG

Die **VLN (Very Low NO_x) - Technologie** stellt ein von der MARTIN GmbH patentiertes Verfahren zur NO_x Reduzierung dar, das in Kooperation mit Partnerunternehmen entwickelt wurde und in die Kategorie der Primärmaßnahmen eingeordnet werden kann. Es basiert auf dem Prinzip der Gasrezirkulation, zeigt jedoch eine völlig neue Art der Prozessführung auf und kann daher weitergehende Fortschritte im Bereich der NO_x-Reduktion, der Energieeffizienz und einer Vereinfachung der Bauweise erzielen.

Die VLN-Technologie bedient sich einer „internen Rezirkulation“ und entnimmt einen Teil des Gases im hinteren Feuerraum im Bereich der Rostausbrandzone. Wie in Abbildung 2.1 dargestellt, wird mittels eines Gebläses ca. 25% des Gases dem unteren Feuerraum bei Temperaturen im Bereich von 160 - 280°C entnommen, um im oberen Feuerraum durch zwei Düsenreihen wieder eingebracht zu werden. Dabei kommt das Prinzip des reduzierten Sauerstoffangebots im Feuerraum zur Anwendung.

Ein großer Vorteil dieser Technologie ist das zuverlässige Erreichen eines vollständigen Feststoffausbrands bei gleichzeitig niedrigem Sauerstoffangebot im Feuerraum und somit einer Reduzierung der Brennstoff-NO_x-Bildung. Überschüssige Verbrennungsluft des Brennbetts wird der internen Rezirkulation zugeführt. Weiterhin kann der Gesamtluftüberschuss ohne Einbußen im Gasausbrand gesenkt werden. Durch eine „Wiederverwendung“ des Rost-Verbrennungsluftüberschusses durch die VLN-Eindüsung kann Sekundärgas reduziert und dennoch die Turbulenz, sowie die Durchmischung des Abgases einer konventionellen Feuerung übertroffen werden. Bei zusätzlicher Sekundärmaßnahme zur NO_x-Reduktion durch ein SNCR-System wird durch die VLN-Gaszuführung die Vermischung mit eingedüstem NH₄OH begünstigt.

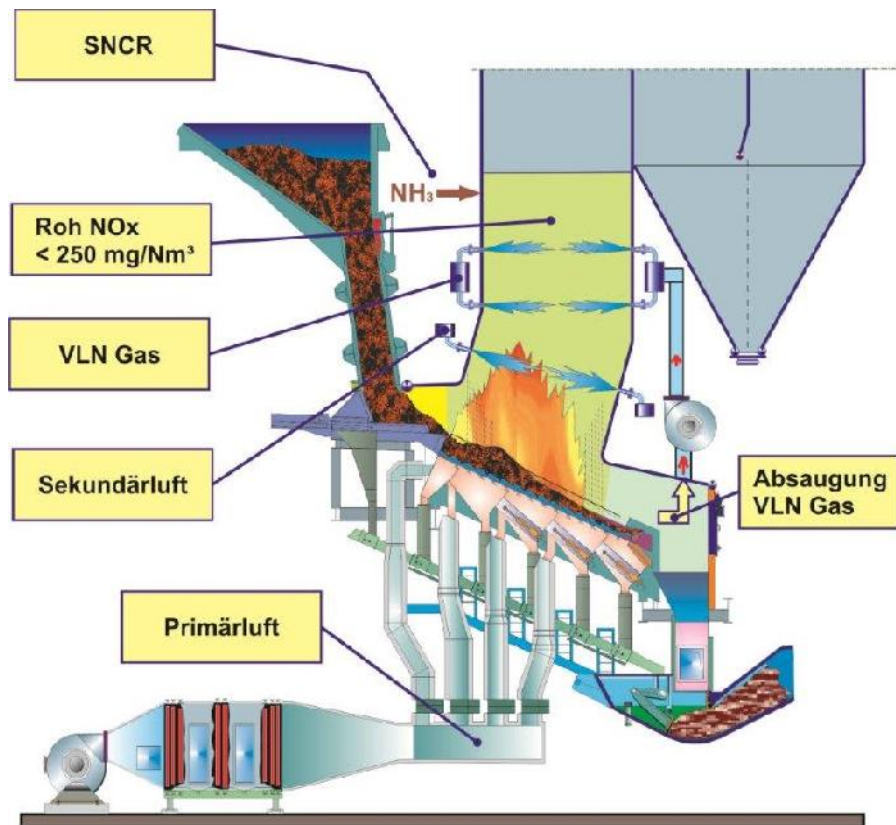


Abbildung 2.1: MARTIN VLN-Technologie (NO_x , tr., 11% O_2 bez.)

Zusammenfassend ergeben sich folgende Vorteile für den Verbrennungs- und Anlagenbetrieb:

- Senkung des Sauerstoffangebots im unteren Feuerraum
- Zusätzliche Ebene der Durchmischung des Abgases
- Absenkung des Gesamtluftüberschusses
- Verbesserung der Energieeffizienz der Gesamtanlage
- Vielfältige Kombinationsmöglichkeiten mit einem SNCR-System
- Reduzierung des Reduktionsmittelverbrauchs vom SNCR-System

In Abbildung 2.2 ist der Verlauf des Verbrennungsluftüberschusses der konventionellen Verbrennung und der VLN-Technologie gegenübergestellt. Dargestellt sind Massenströme deren λ sich auf den gesamten Brennstoff bezieht. In beiden Fällen setzt sich das Abgas lediglich aus Primär- und Sekundärluft zusammen. Rechts im Bild ist dargestellt, wie ca. 25% des VLN-Gases (äquivalent $\lambda = 0,3$) über dem Rost abgesaugt und über der Sekundärluft wieder zugegeben wird. Somit herrschen unterhalb der Sekundärluft unterstöchiometrische Verhältnisse.

Aus Abbildung 2.2 ist ersichtlich, dass die interne Rezirkulation keine weitere Zugabe von Verbrennungsluft darstellt, sondern lediglich im Prozess bereits vorhandenes VLN-Gas zur Durchmischung und Homogenisierung des Abgases genutzt wird. Ab der Sekundärluftebene herrschen im Feuerraum überstöchiometrische Verhältnisse, wodurch der Verbrennungsprozess abgeschlossen wird.

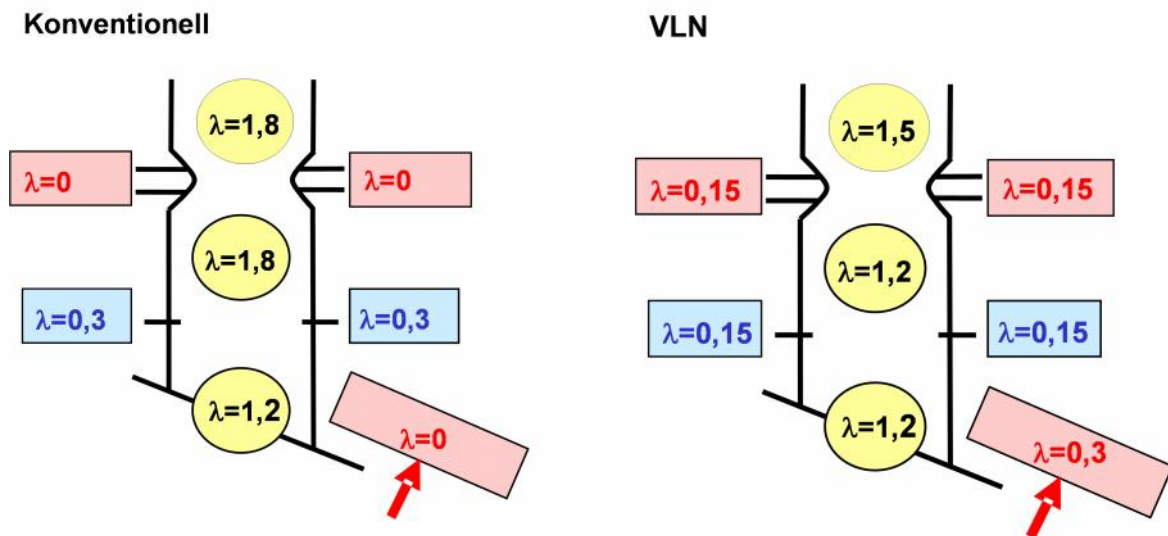


Abbildung 2.2: Vergleich Luftführung konventioneller / VLN-Betrieb

Ebenso wird die Energieeffizienz gesteigert, da der Abgasverlust wegen des niedrigeren Abgasmassenstroms, bei gleichbleibender Abgastemperatur, reduziert wird. Es kann jedoch nicht nur mehr Energie aus dem Abgas gewonnen werden, sondern es ergeben sich zusätzliche Energieeinspareffekte bei allen abgasbehandelnden und -fördernden Komponenten, wie beispielsweise dem Saugzug.

Ausführliche Betriebserfahrungen mit dem Einsatz der VLN-Technologie konnten seit über fünf Jahren in den folgenden großtechnischen Abfallverbrennungsanlagen gesammelt werden:

- Bristol (USA, 2006/2007)
- Thiverval (F, 2007)
- Oita (J, 2007)
- St. Gallen (CH, seit 2010)

Die Nachrüstung der Linie 1 des MHKW Coburg war die erste großtechnische Umsetzung einer Abfallverbrennungsanlage in Europa. Basierend auf den positiven Ergebnissen wird auch die Linie 2 des MHKW Coburg in 2013 auf die MARTIN VLN-Technologie umgerüstet. Die zweite bereits in Betrieb befindliche VLN-Anlage wurde als Neuanlage in Honolulu errichtet.

Die **MARTIN SNCR-Systeme** basieren auf dem Prinzip der selektiven nichtkatalytischen Reduktion (SNCR, Selective Non Catalytic Reduction) und sind an die spezifischen Bedingungen der MARTIN Feuerung sowie deren Strömungsverhältnisse angepasst. Dabei werden die Stickoxide aus dem Verbrennungsvorgang durch Eindüsung von 25 Gew.-%-igem Ammoniakwasser (NH_4OH) in den Feuerraum innerhalb eines Temperaturbereiches von 850 °C - 1.050 °C in der Gasphase zu Stickstoff (N_2) und Wasser (H_2O) reduziert. Aufgrund der Abhängigkeit vom Temperaturfenster an der Eindüsstelle, der Vermischung mit dem Abgas sowie der stattfindenden Nebenreaktionen muss Ammoniak im Überschuss zugegeben werden.

Folgende MARTIN SNCR-Systeme können eingesetzt werden:

- MARTIN Druckluft-SNCR-System
- MARTIN Wasser-SNCR-System
- MARTIN Dampf-SNCR-System

Beim MARTIN Druckluft-SNCR-System wird die Ammoniakwasserlösung mit Druckluft und beim MARTIN Dampf-SNCR-System mit Dampf in den Feuerraum eingedüst. Am MHKW Coburg ist an beiden Linien das MARTIN Wasser-SNCR-System installiert, bei dem über Flüssigkeitsdruckdüsen die 25 Gew.-%ige Ammoniakwasserlösung mit Wasser als Zerstäubermedium eingedüst wird (Abbildung 2.3).

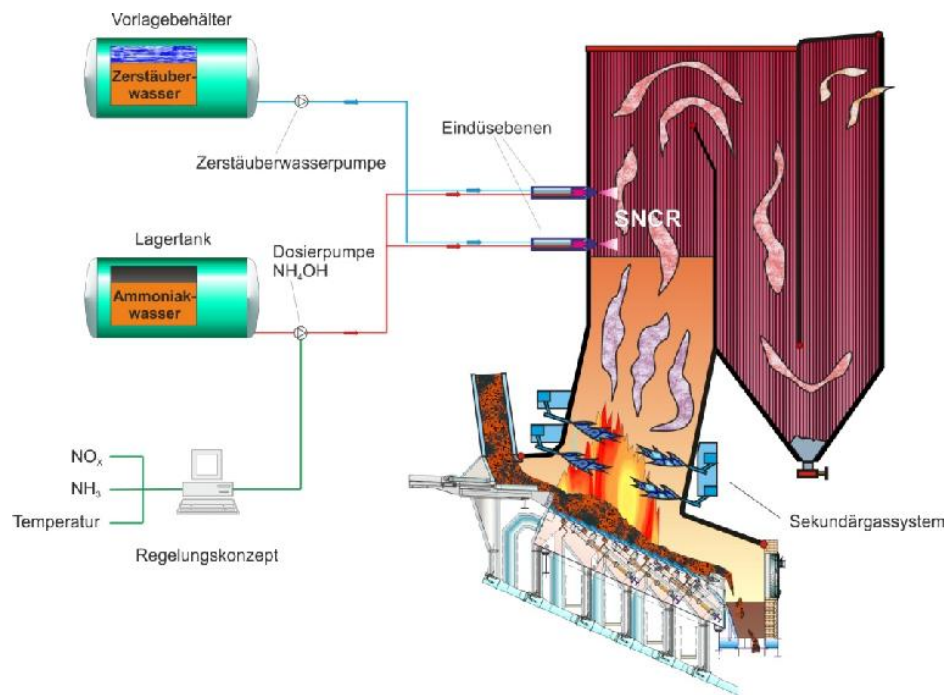


Abbildung 2.3: MARTIN Wasser-SNCR-System

Zur bedarfsorientierten Eindüsung und optimalen Ausnutzung des Ammoniakwassers bei variierenden NO_x -Rohgaskonzentrationen und Feuerungsbedingungen werden entsprechende Regelungskonzepte eingesetzt. Über eine Balanceregung wird dabei das Ammoniakwasser in Abhängigkeit von der aktuellen Temperatur an den Eindüsstellen (Laständerungen, Reisezeit) über zwei Ebenen stufenlos verteilt.

2.3 UMSETZUNG DES VORHABENS

2.3.1 MARTIN VLN-TECHNOLOGIE

Für die Nachrüstung der bestehenden Linie 1 des MHKW Coburg mit der MARTIN VLN-Technologie, wurden bauliche Veränderungen durchgeführt.

Um die Absaugung des VLN-Gases aus dem hinteren Verbrennungsraum zu ermöglichen, musste die Umlenkung des Abgases vom zweiten in den dritten Zug angepasst werden. Der bestehende Aschetrichter 2./3. Zug war nach unten hin offen und wurde im Rahmen der Nachrüstung geschlossen. Außerdem wurden VLN-Gasabsaugöffnungen in die hintere Hängendecke oberhalb des Rostendes und Austragsschnecken mit Anbauteilen eingebaut. Die Fließrichtung des Ascheaustrags des Horizontalzugs wurde um 180° gedreht, sodass die anfallende Kesselasche, wie auch die Kesselasche aus dem 2./3. Zug zusammen gefördert wird.

Um das VLN-Gas zur Eindüsebene zu fördern und dort einzudüsen, wurden entsprechende Rohrleitungen verlegt, sowie ein Gebläse, Absperr- und Regelklappen installiert. Jeweils ein

VLN-Gas Sammler befindet sich bei der Absaugung sowie auf der rechten und linken Kessel-seite. Die Eindüsung erfolgt über zwei Düsenreihen (obere / untere VLN-Gasebene) ausgehend von den zwei oberen Sammlern.

Mit der Nachrüstung der VLN-Technologie wurde auch das vorhandene MARTIN Wasser-SNCR-System an die geänderten Verhältnisse im Feuerraum angepasst (Eindüsöffnungen, Einbau weiterer Eindüsebene, Anpassung Regelungskonzept).

Außerdem wurde die bestehende Feuerungsleistungsregelung auf die MARTIN Infrared Combustion Control (MICC) umgestellt, die eine Fuzzy-Regelung, eine Infrarotkamera einschließlich Bildauswertung für die Prozessoptimierung sowie eine Betriebsdatenerfassung und -visualisierung umfasst.

2.3.2 ZUSÄTZLICHE NACHRÜSTUNGEN

Im Rahmen der Nachrüstung der Linie 1 des MHKW Coburg auf die MARTIN VLN-Technologie wurde auch eine Kesselascherückführung (Abbildung 2.4) installiert. Zunächst wurde die Kesselasche in einem Kippcontainer erfasst und über den Müllbunker in die Feuerung zurückgeführt (Not-Entaschung). In einer 2. Ausbaustufe erfolgte der Umbau auf ein kontinuierliches Kesselasche-Rezyklierungs-System (Rezyklierung) mit pneumatischer Förderung der Kesselasche direkt in die Feuerung.

Zusätzlich wurde im Zuge des Umbaus an der Linie 1 das bereits installierte MARTIN Wasser-SNCR-System optimiert.

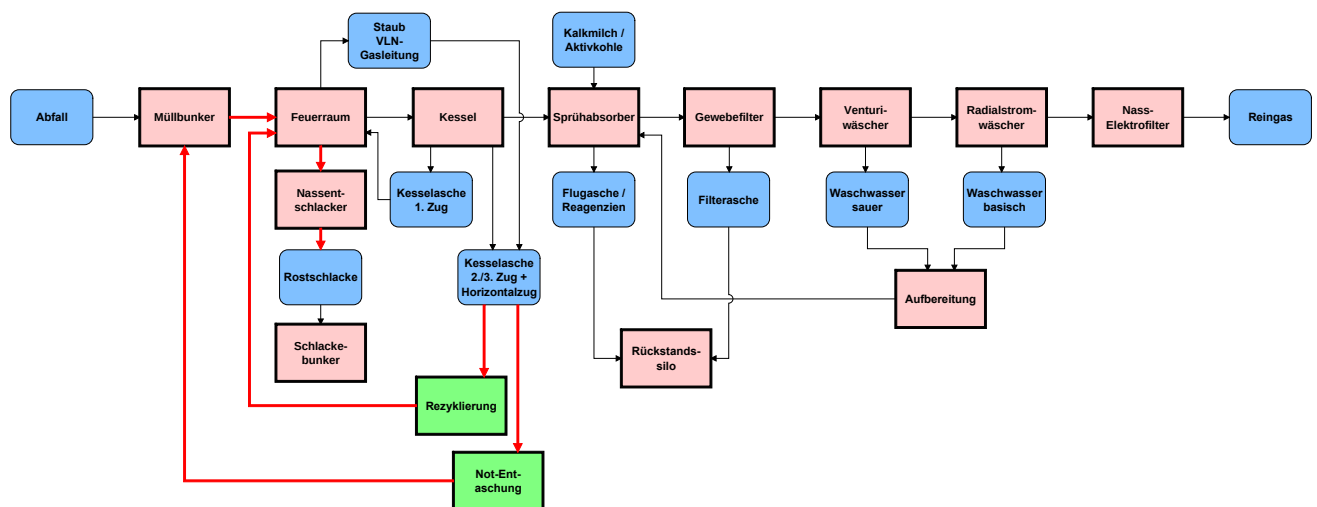


Abbildung 2.4: Kesselascherückführung MHKW Coburg Linie 1

2.4 BEHÖRDLICHE ANFORDERUNGEN

Mit Schreiben des ZAW vom 24.08.2010 erfolgte für die Nachrüstung der bestehenden Linie 1 des MHKW Coburg mit der MARTIN VLN-Technologie eine Änderungsanzeige an die Regierung von Oberfranken, als zuständige Genehmigungsbehörde, mit den erforderlichen Antragsunterlagen. Ergänzend wurde eine Verpflichtungserklärung des ZAW vorgelegt, in der alle gegenüber der Genehmigungsbehörde durchzuführenden Nachweise aufgelistet sind:

- Nach erfolgtem Abschluss der Umbaumaßnahmen wird der Regierung von Oberfranken, sowie dem Bayerischen Landesamt für Umwelt die aktuelle Bestands- und Ausführungsplanung des Umbaus vorgelegt.
- Innerhalb von vier Monaten nach der Inbetriebnahme, spätestens jedoch mit den jährlichen Funktionsprüfungen für das Jahr 2011, werden die Anforderungen an die Verbrennungsbedingungen gemäß 17.BImSchV bzw. gemäß der Auflagen des Genehmigungsbescheids vom 30.01.2006 mittels entsprechenden Messungen bzw. durch Gutachten nachgewiesen.
- Durch einen fachlich geeigneten Gutachter wird ein unabhängiges Gutachten erstellt, das die Einhaltung der Verbrennungsbedingungen gemäß 17.BImSchV bzw. gemäß Auflage 3.1. des Genehmigungsbescheids vom 30.01.2006 belegt. Ebenfalls werden im Rahmen dessen die in der Änderungsmitteilung ausgelegten Temperatur- und Verweilzeiten im Bereich der VLN-Ebene verifiziert.
- Nach der Inbetriebnahme der Linie 1, spätestens mit den jährlichen Funktionsprüfungen für das Jahr 2011, erfolgt die Kalibrierung der Betriebsmesseinrichtungen für die Überwachung der Mindesttemperatur und Emissionsparameter. Werden gegenüber den rechnerischen Auslegungswerten signifikante Verschlechterungen im Temperaturverlauf festgestellt, erfolgt eine Abstimmung vor der Kalibrierung der o.g. Betriebsmesseinrichtungen mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt.
- Nach einer angemessenen Betriebsdauer der umgerüsteten Linie 1 wird der Regierung von Oberfranken sowie dem Bayerische Landesamt für Umwelt ein Erfahrungsbericht vorgelegt. Der Bericht wird u.a. erhobene Emissionssfrachten, Emissionskonzentrationen, Abgasvolumenstrom, Reststoffanalysen und die Energieeffizienz der Anlage beinhalten.
- Am Ende des Probetriebs wird eine offizielle Abnahmemessung durchgeführt. Diese erfolgt unter anderem gemäß §13 Abs. 2a der 17.BImSchV. Bestandteile der Abnahmemessungen sind alle unter Punkt 10.4 der Änderungsmitteilung aufgeführten Parameter bzw. Messungen. Die Art und Weise sowie Umfang der Messungen erfolgt im Einvernehmen mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt.
- Innerhalb des ersten Jahres nach abgeschlossener Inbetriebnahme erfolgt eine vierteljährliche, separate Beprobung der Rostschlacke der umgerüsteten Linie 1. Art und Weise sowie Umfang der Analysen erfolgt gemäß bestehender Regelung.
- Bei festgestellter Verschlechterung der Rostschlackequalität aufgrund der Kesselascherückführung, die eine Verwendung gemäß den gesetzlichen Anforderungen erschwert, wird die Kesselasche aus der Rückführung der separaten Entsorgung zugeführt.
- Eine Erhöhung der Brandgefahr sowie der Staubentwicklung im Müllbunker bei Notentaschungsbetrieb (Ausnahme bei Störungen des Rezyklierungssystems) durch Rückführung der Kesselasche ist nicht zu erwarten. Die Wirksamkeit des staubdichten Kesselascheaustragsystems wird kontinuierlich überwacht.
- Die im Rahmen der Kesselascherückführung in den Müllbunker verbrachten Mengen werden ermittelt und im Betriebstagebuch dokumentiert. Eine Zusammenfassung der rückgeführten Kesselaschemengen wird in den Jahresemissionsbericht mit aufgenommen.
- Betriebsanweisungen bzw. Einzelanweisungen des MHKW Coburg werden im Rahmen der Umrüstung erstellt bzw. angepasst.

Mit Schreiben vom 15.12.2010 erfolgte die Stellungnahme der Regierung von Oberfranken mit dem Inhalt, dass das Änderungsvorhaben immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungspflichtig ist und die Änderungen an der Dampf-Kessel-Anlage vom Gewerbeaufsichtsamt gemäß Betriebs-Sicherheits-Verordnung gesondert bewertet werden. Die Kesselascherück-

führung ist nur gemäß Betriebs-Sicherheits-Verordnung zusätzlich bei der Prüfung durch den TÜV zu berücksichtigen.

Vom Gewerbeaufsichtsamt wurde aufgrund der erforderlichen von ZAW eingereichten gesonderten Antragsunterlagen die „Erlaubnis gemäß Betriebs-Sicherheits-Verordnung“ erteilt.

2.5 ERFASSUNG UND AUFBEREITUNG DER BETRIEBSDATEN

Zur Beurteilung der Feuerung sowie des VLN-Betriebs wurden sowohl aktuelle Betriebsdaten des MHKW Coburg erfasst, als auch Messungen und Probenahmen mit anschließender analytischer Auswertung durchgeführt.

Die Betriebsmessungen erfolgten mit den am MHKW Coburg eingebauten Messgeräten. Die Temperaturen wurden mit Thermoelementen und dem IR-Pyrometer im 2. Zug gemessen. Auch die Temperaturen unter- (Höhenkote 16 m) und oberhalb (Höhenkote 18 m) der VLN-Gaseindüsebene wurden mit Thermoelementen bestimmt.

Sämtliche Daten wurden direkt im Prozessleitsystem (PLS) kontinuierlich aufgezeichnet. Für die Auswertung wurden vom MHKW Coburg die Datensätze der Messwerte (csv-Dateiformat) im 5 Sekundenabstand für die Messzeiträume zur Verfügung gestellt.

Die verbrannten Müllmengen wurden über die Krangewichte erfasst und protokolliert. Die Gewichte der Kesselascheerfassungs- und -transportcontainer wurden an der Fahrzeugwaage des MHKW Coburg gemessen und protokolliert.

Im Rahmen von Messkampagnen erfolgte auch die Beprobung sowie Analyse der Reststoffe Rostschlacke, Kesselasche und Gewebefilterrückstand.

Zusätzlich zu der Erfassung der MARTIN Messungen im PLS erfolgte zur Visualisierung des Messverlaufs die parallele Aufzeichnung mit dem Datenerfassungssystem CITECT. Weitere Messungen wurden von Fachkundigen durchgeführt.

3 ERGEBNISSE

3.1 BEWERTUNG DER VORHABENSDURCHFÜHRUNG

Nach Abschluss der Umbauarbeiten erfolgte durch die MARTIN GmbH in Zusammenarbeit mit dem MHKW Coburg die erfolgreiche Inbetriebnahme sowie Optimierung des VLN-Verfahrens an der Linie 1. Der Probetrieb wurde gemäß Programm durchgeführt und vom ZAW, als erfolgreich durchgeführt, anerkannt. Alle vertraglich relevanten Garantiewerte für den VLN-Betrieb wurden während des Probetriebs eingehalten und zum Teil deutlich unterschritten.

Die vorläufige Übernahme durch den ZAW mit allen Gefahr- und Schutzpflichten erfolgte zum 11.11.2011. Seit diesem Zeitpunkt wird die Linie 1 erfolgreich im VLN-Betrieb gefahren und es erfolgten keine signifikanten Einschränkungen des bestimmungsgemäßen Betriebs.

Aus Sicht des ZAW sowie der MARTIN GmbH wurde das gesamte Vorhaben termingerecht und ohne signifikante Beeinträchtigungen bearbeitet und umgesetzt. Die im großtechnischen Anlagenbetrieb aufgetretenen Störungen und Mängel wurden in gemeinsamen Einvernehmen durch entsprechende Modifikationen schnellstmöglich behoben. Der bestimmungsgemäße Betrieb der Linie 1 mit dem VLN-Verfahren konnte dabei stets aufrecht erhalten werden. Die MARTIN VLN-Technologie hat die Funktionalität der großtechnischen Versuche bei der Nachrüstung an der Linie 1 des MHKW Coburg uneingeschränkt bestätigt.

3.2 STOFF- UND ENERGIEBILANZ

Im Anhang 5.2 sind die für den Umbau der Linie 1 auf das VLN-Verfahren relevanten betrieblichen und bilanzierten Daten der Stoff- und Energiebilanz für den

- konventionellen Betrieb der Linien 1 und 2 der Jahre 2009 und 2010 und
- VLN-Betrieb der Linie 1 und parallelen konventionellen Betrieb der Linie 2 im Zeitraum 09.2011(ab Inbetriebnahme) bis Ende 2012

beigefügt. Die Auswertung dieser Daten wird nachfolgend diskutiert.

3.2.1 E-EIGENVERBRAUCH BZW. ENERGIEEFFIZIENZ / STROMABGABE

Der E-Eigenverbrauch bzw. spezifische E-Eigenverbrauch bei VLN-Betrieb der Linie 1 und parallelem konventionellem Betrieb der Linie 2 beträgt ca. $0,035 \text{ MW}_{\text{elektrisch}} / \text{MW}_{\text{thermisch}}$ (siehe II 2.4.1) und liegt somit in der gleichen Größenordnung wie auch der jeweilige spezifische E-Eigenverbrauch bei konventionellem Betrieb der Linien 1 und 2 in den Jahren 2009 und 2010. D.h., dass bei jeweils gleichen Betriebsstunden, wie im konventionellen Betrieb der Linien 1 und 2 in 2009 und 2010, der E-Eigenverbrauch der Linie 1 (VLN-Betrieb) und Linie 2 auch ca. 14.000 MWh gewesen wäre.

Während der Planungsphase bzw. während der Erstellung der Antragsunterlagen wurde insbesondere wegen der geringeren Saugzugleistung ein geringerer E-Eigenverbrauch und damit eine entsprechende höhere Stromabgabe erwartet.

Im anschließenden VLN-Betrieb der Linie 1 zeigte sich jedoch, dass insbesondere wegen der zu modifizierenden VLN-Gas-Absaugung (Beruhigungskammer) zur Staubminimierung auch zusätzliche Förderschnecken und eine Zellenradschleuse für den Staubaustrag und als Ergänzung zur Asche-Rezyklierung mittels Transportcontainer eine kontinuierliche Asche-Rezyklierung mit zusätzlich einem Knollenbrecher und Förderluftgebläse nicht vorhersehbare, zusätzlichen E-Eigenverbräuchen benötigt wurden. Somit scheint derzeit keine Mehr-Strom-Abgabe aufgrund einer Ersparnis des E-Eigenverbrauchs möglich zu sein.

3.2.2 SNCR / AMMONIAKWASSER-MENGEN / -VERBRÄUCHE

Während des ersten längeren VLN-Betriebs an der Linie 1 (ca. 5.400 Stunden) wurde ein wesentlich höherer Ammoniakwasser-Verbrauch als erwartet ermittelt (siehe II/1 B/1.4.1: $3,43 \text{ l/t}_{\text{Müll}}$ bzw. 1.4.2: $29,7 \text{ l/h}$). Der Grund hierfür war eine noch nicht optimal eingestellte SNCR-Regelung. Die Optimierung der SNCR-Regelung wurde im Januar 2013 durchgeführt, so dass daraus resultierend ein wesentlich geringerer Ammoniakwasser-Verbrauch gemessen wurde (siehe III/1 A/1.2.1: $2,3 \text{ l/t}_{\text{Müll}}$ bzw. 1.2.2: 22 l/h).

Der technisch richtige Vergleich zwischen konventionellem Betrieb und VLN-Betrieb zur Ermittlung der Ersparnis des Ammoniakwasser-Verbrauches bei VLN-Betrieb wurde gesondert bei jeweils einem gleichen Sollwert von 80 mg/Nm^3 im Reingas untersucht. Im Betriebsbereich zwischen der Normal-Last (25 t_D/h) und Maximal-Last (31 t_D/h) beträgt die Ammoniakwasser-Ersparnis bei VLN-Betrieb im Vergleich zum konventionellen Betrieb ca. 25 %. Somit ist bei einem konventionellen Betrieb der Linie 2 mit vorstehender Randbedingung (anstatt ca. 22 l/h bei VLN-Betrieb der Linie 1) von ca. $27,5 \text{ l/h}$ Ammoniakwasser-Verbrauch auszugehen.

Bei ca. 8.000 Betriebsstunden hätte somit die Linie 2 bei konventionellem Betrieb einen Ammoniakwasser-Mehrverbrauch von ca. $5,5 \text{ l/h}$ bzw. 44.000 l (44 m^3) pro Jahr gehabt.

3.2.3 KESSELASCHE-REZYKLIERUNG

Die während ca. 5.400 Stunden rezyklierte Kesselaschemenge betrug bei VLN-Betrieb der Linie 1 ca. 586,312 t (siehe II./1 B/1.3). Die spezifischen Kennzahlen betragen ca. 12,5 kg_{KA}/t_{Müll} bzw. ca. 1,25 % der Müllmenge. Hochgerechnet auf eine jährliche Betriebszeit von ca. 8.000 Stunden (hieraus resultieren ca. 135.000 t_M/pro Jahr) fällt eine Kesselasche-Rezirkulations-Menge von 870 t an. Hiervon wurden im bisherigen Betrieb vom 1., 2. und 3. Kessel-Zug schon ca. 50 % (in diesem Fall ca. 435 t) direkt der Rostschlacke im Entschlacker zugeführt. Im jetzigen Rezirkulations-Betrieb der Linie 1 wird über die Feuerung und damit nach einer thermischen Behandlung die Gesamtmenge der Kesselasche mit der Rostschlacke ausge-tragen.

3.3 UMWELTBILANZ

An der Linie 1 des MHKW Coburg erfolgt eine Reduzierung der NO_x-Emissionen um 25.000 - 30.000 kg/Jahr. Die um 10% geringere Abgasmenge führt bei den sonstigen Reingasfrachten ebenfalls zu einer Reduktion um ca. 10%. Entsprechend der Verbesserung des energetischen Wirkungsgrades von ca. 5% ergibt sich eine CO₂ Einsparung von 2.500 Mg CO₂/Jahr.

3.4 MESSPROGRAMME

3.4.1 DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN

Nach der Nachrüstung der Linie 1 des MHKW Coburg auf die MARTIN VLN-Technologie und die Inbetriebnahme durch die MARTIN GmbH wurden die folgenden Untersuchungen durchge-führt:

- Probetrieb (12.10. - 08.11.2011)
- Abnahmemessungen (21.11. - 02.12.2011)
- Gutachten der 17. BImSchV-Feuerraumtemperaturen (12.2011 - 01.2012)
- Roh-NO_x-Messungen (29.01. - 07.02.2013)
- Messungen Korrosionssonden (09.2012 - 25.02.2013)

Nachfolgend werden die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchungen detailliert dargestellt.

3.4.2 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

3.4.2.1 Probetrieb

Um den Nachweis der vertraglich gewährleisteten Garantiewerte und Betriebsdaten zu er-bringen, wurden nach der erfolgreichen Inbetriebnahme sowie Optimierung der MARTIN VLN-Technologie während des vierwöchigen Probetriebs in Zusammenarbeit mit dem MHKW Coburg gemäß zuvor festgelegtem Testprogramm die Betriebsdaten erfasst und ausgewertet.

Die vertraglich geregelten Garantien für den VLN-Betrieb:

- Abgasmenge ($\leq 36.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$)
- NO_x-Emissionen am Kamin ($\leq 90 \text{ mg}/\text{Nm}^3$)
- NH₃-Schlupf am Kesselende ($\leq 10 \text{ mg}/\text{Nm}^3$)
- NH₄OH-Verbrauch ($\leq 50 \text{ l}/\text{h}$)

jeweils im NOP (Normal Operation Point) des Feuerungsleistungsdiagramms, wurden während des Probetriebs nachgewiesen. Abbildung 3.1 zeigt den Verlauf der Werte NO_x am Kamin,

NH₃-Schlupf am Kesselende und den NH₄OH-Verbrauch, jeweils über einen Zeitraum von vier Stunden im NOP (Dampfmengensollwert 25 Mg/h), bei den unterschiedlichen Betriebsweisen.

Der positive Effekt der VLN-Technologie ist hier deutlich zu erkennen. Während im konventionellen und im Halbautomatik (T3000) Betrieb jeweils NO_x-Werte von ca. 180 mg/Nm³ gemessen wurden, konnte durch VLN der NO_x-Wert am Kamin auf etwa 80 mg/Nm³ (tr., unbezogen) gesenkt werden, ohne dabei den NH₄OH-Bedarf von ca. 30 l/h im Vergleich zum konventionellen Betrieb zu erhöhen. Bei einem gleichzeitigen NH₃-Schlupf am Kesselende von nur 2-3 mg/Nm³ stehen hier sogar noch Reserven zur Verfügung.

Außerdem wurde während des Probetriebs nachgewiesen, dass sich die CO-Emissionen im Rohgas (Kesselende) sowie die Dampfqualität und -stabilität aufgrund der Umrüstung nicht verschlechtert haben. Den Verlauf der oben genannten Werte nach der Umrüstung auf die VLN-Technologie zeigt Abbildung 3.2. Zusätzlich wurde hier der Verlauf der O₂-Konzentration aufgezeichnet. Hier wurden die Daten über drei Tage jeweils als Halbstundenmittelwerte aufgenommen und dargestellt. Der Lastfall war auch hier wieder der NOP (Dampfmengensollwert 25 Mg/h) im VLN-Betrieb. Der Sollwert für den O₂-Gehalt am Kesselende betrug 7,5 Vol.-%.

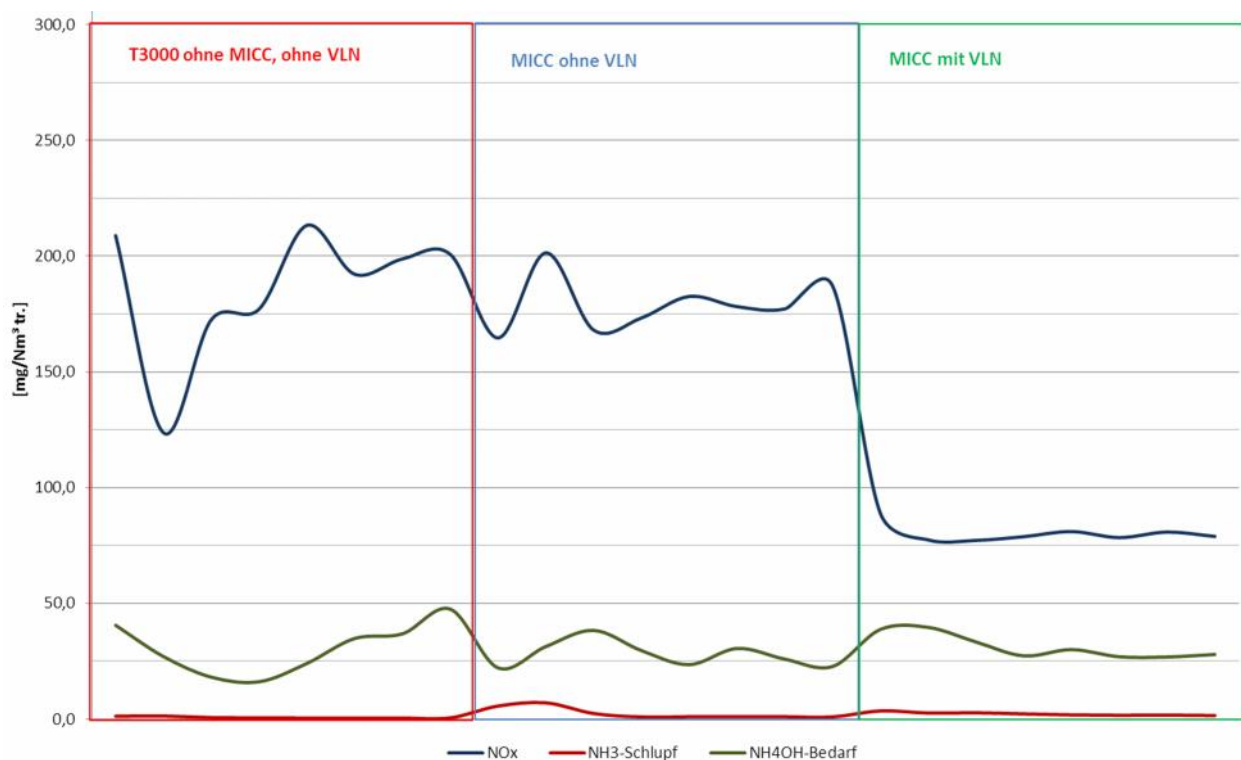


Abbildung 3.1: NO_x, NH₃-Schlupf und NH₄OH-Verbrauch im NOP

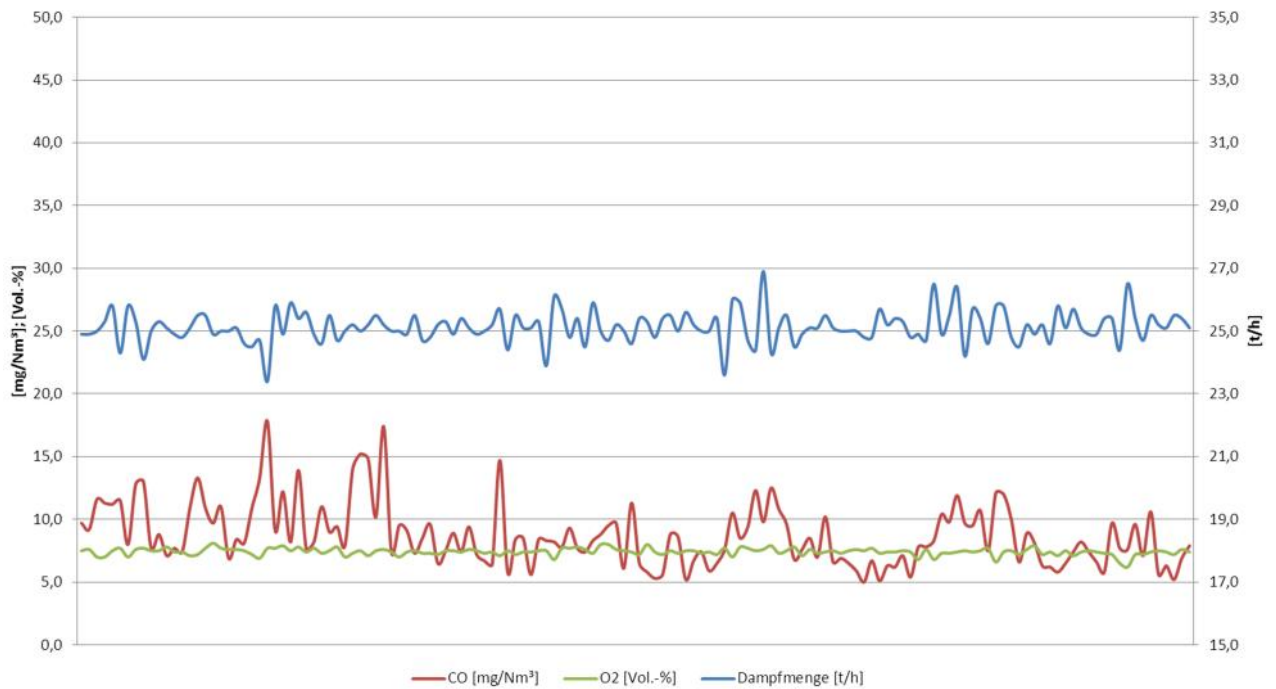


Abbildung 3.2: Dampfmenge, CO-Emission und O₂-Gehalt im NOP

Der Abgasvolumenstrom (Abgasmenge am Kesselende bezogen auf 7 Vol.-% O₂) wird in Abbildung 3.3 dargestellt. Hierbei handelt es sich um die Tagesmittelwerte aus zehn Tagen VLN-Betrieb im NOP.

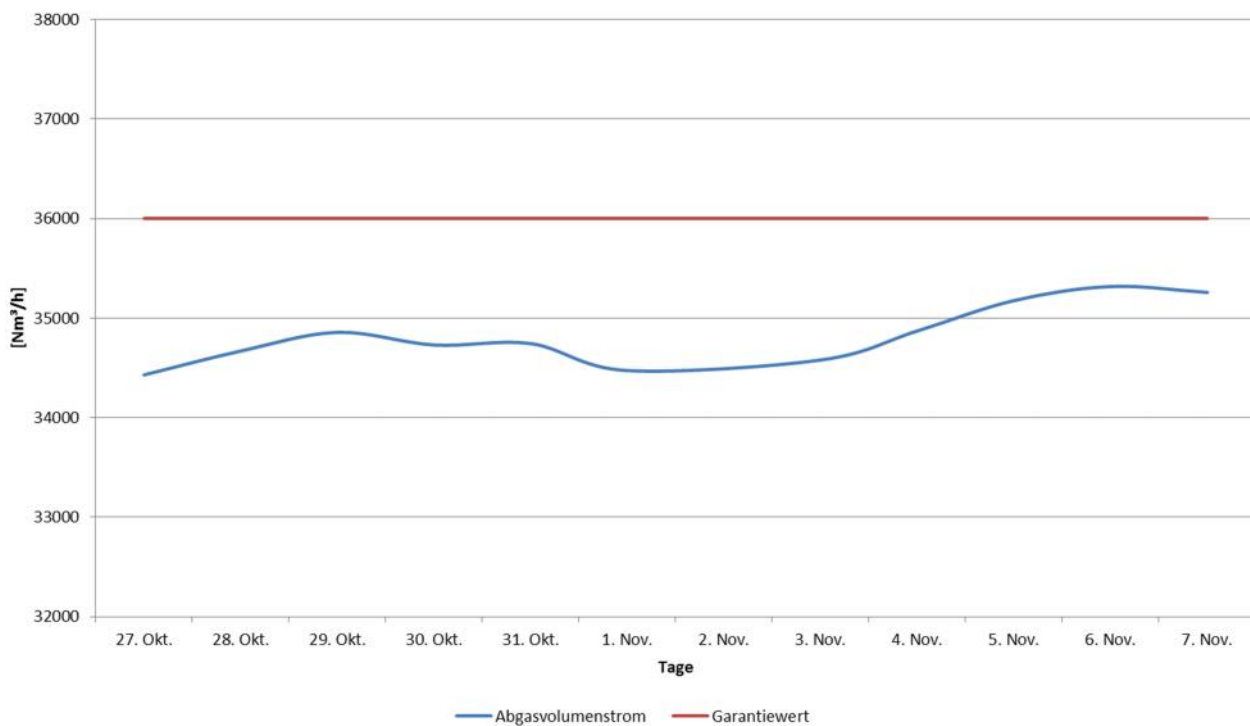


Abbildung 3.3: Abgasvolumenstrom am Kesselende

Alle vertraglich relevanten Garantiewerte für den VLN-Betrieb wurden im Probetrieb sicher eingehalten und zum Teil deutlich unterschritten. Alle relevanten Betriebswerte haben sich beim VLN-Betrieb im Vergleich zum konventionellen Betrieb nicht verschlechtert bzw. blieben in der gleichen Größenordnung.

Basierend auf den Ergebnissen des Probetriebs und da alle vertraglich relevanten Garantiewerte für den VLN-Betrieb sicher eingehalten und zum Teil deutlich unterschritten wurden, erfolgte die vorläufige Übernahme der Linie 1 durch den ZAW zum 11.11.2011.

3.4.2.2 Abnahmemessungen

Basierend auf den Vorgaben der Genehmigungsbehörden waren innerhalb von vier Monaten nach der Inbetriebnahme, spätestens jedoch mit den jährlichen Funktionsprüfungen für das Jahr 2011, die Anforderungen an die Verbrennungsbedingungen gemäß §13 Abs. 2a der 17. BImSchV mittels Abnahmemessungen nachzuweisen. Der 8-stündige Mess- und Beprobungsbetrieb erfolgte am 24.11.11 mit 25 Mg/h Dampf (NOP) sowie am 29.11.11 mit 31 Mg/h Dampf (Nennlast).

Zur Beurteilung der **Feuerung des VLN-Verfahrens** wurden die Parameter im 8 h-Zeitraum der Abnahmemessungen betrachtet. Am 24.11.11 (VLN 25 Mg/h) wurden als Mittelwert 8,16 Mg/h Hausmüll und am 29.11.11 (VLN 31 Mg/h) als Mittelwert 9,96 Mg/h Hausmüll mit einem durchschnittlichen Heizwert von ca. 10.500 kJ/kg verbrannt.

In den Abbildungen 3.4 und 3.5 sind die O₂-Werte am Kesselende sowie der Verlauf der Dampfmengen beim VLN-Betrieb 25 Mg/h und 31 Mg/h Dampfleistung dargestellt.

Die hohe Auflösung (5 s-Werte) stellt im Vergleich zu ½ h- sowie 1 h-Mittelwerten jede Schwankung sehr detailliert dar. Dennoch ist festzustellen, dass sich in dem 8 h-Aufzeichnungszeitraum für beide Lastfälle die O₂-Stabilität im Vergleich zum Sollwert in einem akzeptablen Schwankungsbereich befindet. Bei den Dampfmengen sind deutlich die beiden Dampfeinbrüche bei 31 Mg/h Dampfleistung zu erkennen, die auf sporadische Schwankungen im Müllinput (Heizwertreduzierung) zurückzuführen waren. Folgende Mittelwerte wurden erreicht:

- VLN-Betrieb 25 Mg/h: O₂ KE: 7,4 Vol.-% / Dampf: 25,09 Mg/h
- VLN-Betrieb 31 Mg/h: O₂ KE: 6,8 Vol.-% / Dampf: 29,98 Mg/h

Die Abbildungen 3.6 und 3.7 zeigen den Temperaturverlauf im Feuerraum (MW), am IR-Pyrometer sowie unter- und oberhalb der VLN-Gasebene bei VLN-Betrieb 25 Mg/h und 31 Mg/h Dampfleistung. Die mittlere Feuerraumtemperatur ist in beiden Fällen auch bei Dampfeinbrüchen deutlich oberhalb 850 °C.

Die Temperaturen unterhalb der VLN-Gasebene (Höhenkote 16 m) sind, wie für die SNCR-Eindüsung ausgelegt, nahe 1.000 °C und mit der mittleren Feuerraumtemperatur vergleichbar. Oberhalb der VLN-Gasebene (Höhenkote 18 m) sind die Messwerte um ca. 100 °C niedriger.

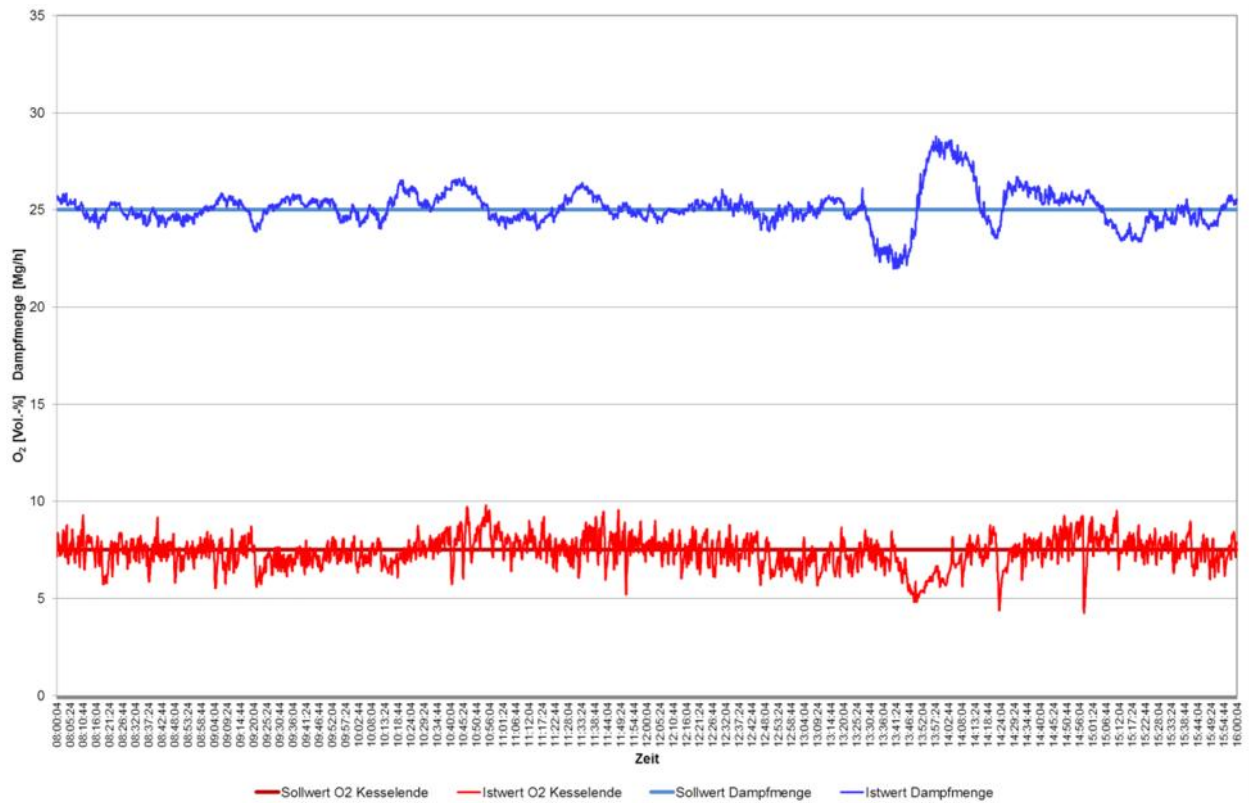


Abbildung 3.4: O₂ Kesselende / Dampfmenge bei VLN-Betrieb 25 Mg/h (24.11.11)

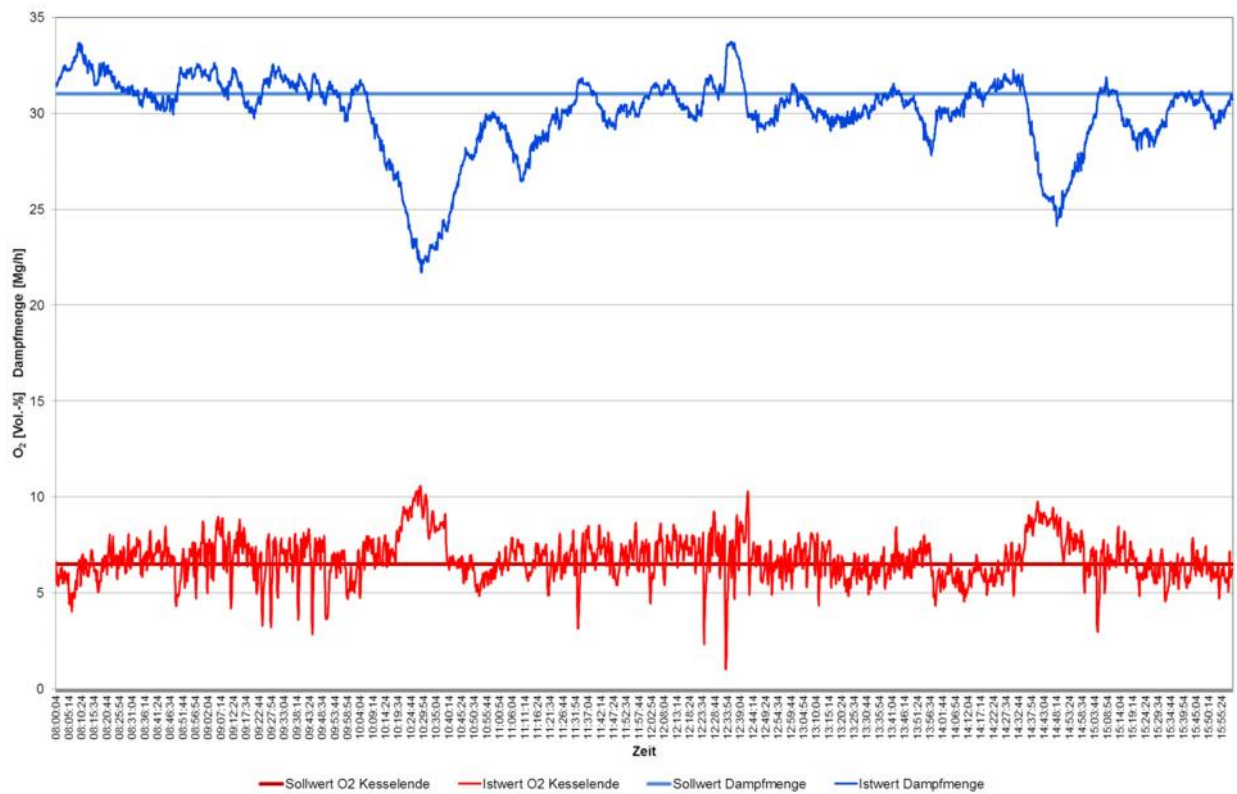


Abbildung 3.5: O₂ Kesselende / Dampfmenge bei VLN-Betrieb 31 Mg/h (29.11.11)

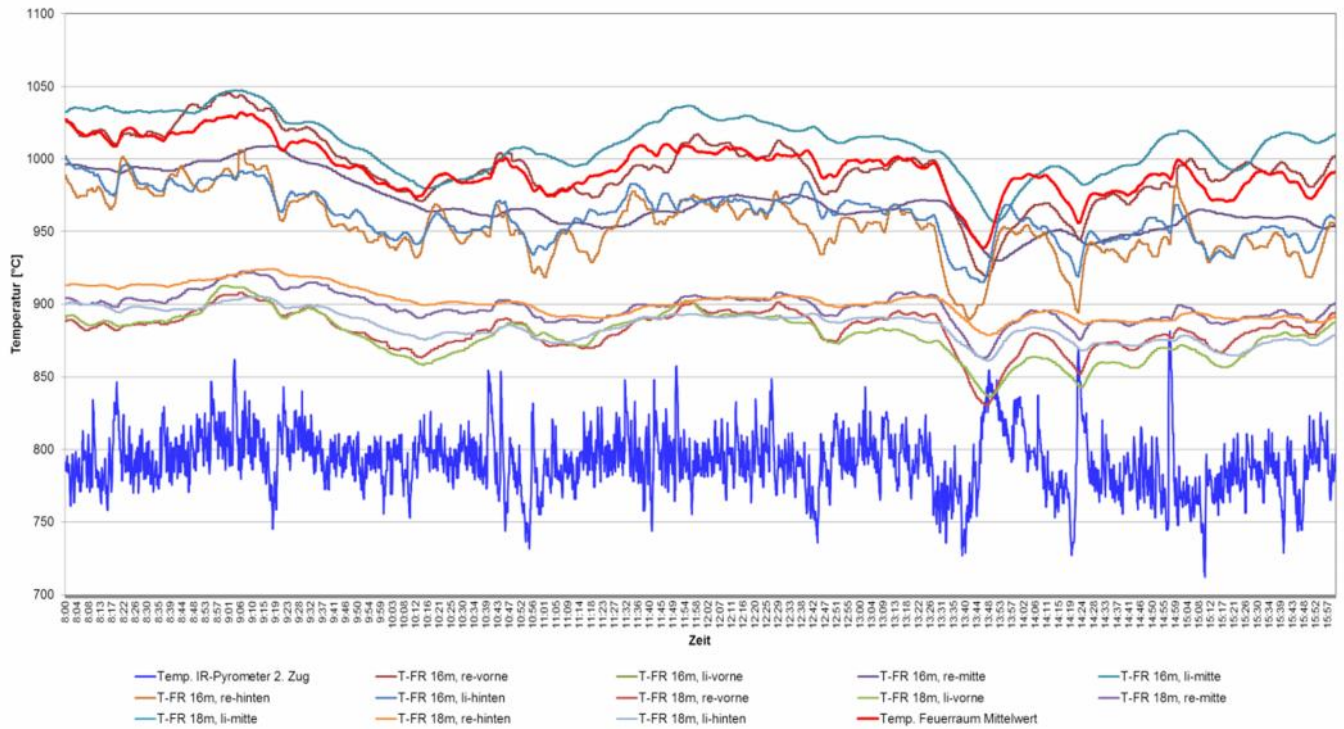


Abbildung 3.6: Temperaturverlauf Feuerraum / IR-Pyrometer / unter- + oberhalb VLN-Gasebene bei VLN-Betrieb 25 Mg/h (24.11.11)

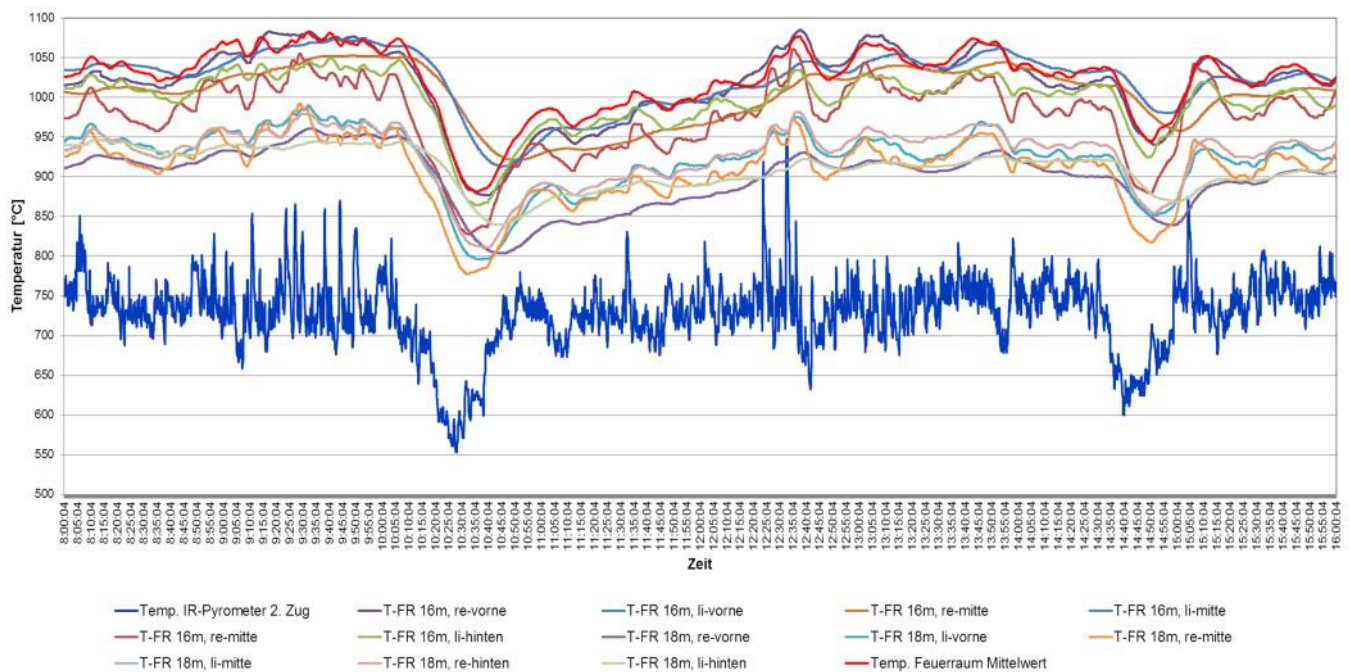


Abbildung 3.7: Temperaturverlauf Feuerraum / IR-Pyrometer / unter- + oberhalb VLN-Gasebene bei VLN-Betrieb 31 Mg/h (29.11.11)

In Tabelle 3.1 sind die Mittelwerte von Konzentrationen untersuchter Parameter am Kesselende (vor AGR) und Kamin (nach AGR) bei VLN-Betrieb für 25 Mg/h und 31 Mg/h Dampfleistung zusammengestellt. Der Verlauf am Kamin über den Messzeitraum ist in den nachfolgenden Abbildungen 3.8 - 3.13 dargestellt. Bei den Messwerten am Kesselende handelt es sich um normierte (273 K / 1013 hPa / trocken) und bzgl. O₂ **unbezogene** Werte, am Kamin um **validierte** Werte (273 K / 1013 hPa / trocken / Bezug nur bei O₂ ≥ 11 Vol.-%)! In den Abbildungen wurden die Skalierungen zur besseren Vergleichbarkeit für die jeweiligen Parameter gleich gewählt. Außerdem sind die für das Reingas am Kamin gemäß Genehmigungsbescheid festgelegten Werte eingezeichnet.

Tabelle 3.1: Mittelwerte von Konzentrationen untersuchter Parameter am Kesselende / Kamin bei VLN-Betrieb 25 + 31 Mg/h (24./29.11.11; normiert + unbezogen / validiert)

Parameter	Einheit	Kesselende Rohgas		Kamin Reingas	
		24.11.2011 VLN 25 Mg/h	29.11.2011 VLN 31 Mg/h	24.11.2011 VLN 25 Mg/h	29.11.-01.12. 2011 VLN 31 Mg/h
PCDD/PCDF	ng TE/Nm ³	1,003	2,98	n.b.	0,0094
Gesamtstaub	mg/Nm ³	2360,00	1584,00	1,36	1,60
HCl	mg/Nm ³	722,01	696,41	0,04	0,14
SO ₂	mg/Nm ³	26,39	100,23	21,73	23,72
NO _x	mg/Nm ³	114,28	113,81	76,67	76,93
NH ₃	mg/Nm ³	0,74	2,78	0,00	0,00
CO	mg/Nm ³	15,84	30,93	6,08	17,61
Gesamt-C	mg/Nm ³	n.b.	n.b.	0,65	0,67
Sauerstoffgehalt	Vol.-%	7,40	6,80	9,84	9,11
Temperatur	°C	240,00	241,00	87,03	86,33
Feuchte	Vol.-%	13,53	14,10	22,85	23,84

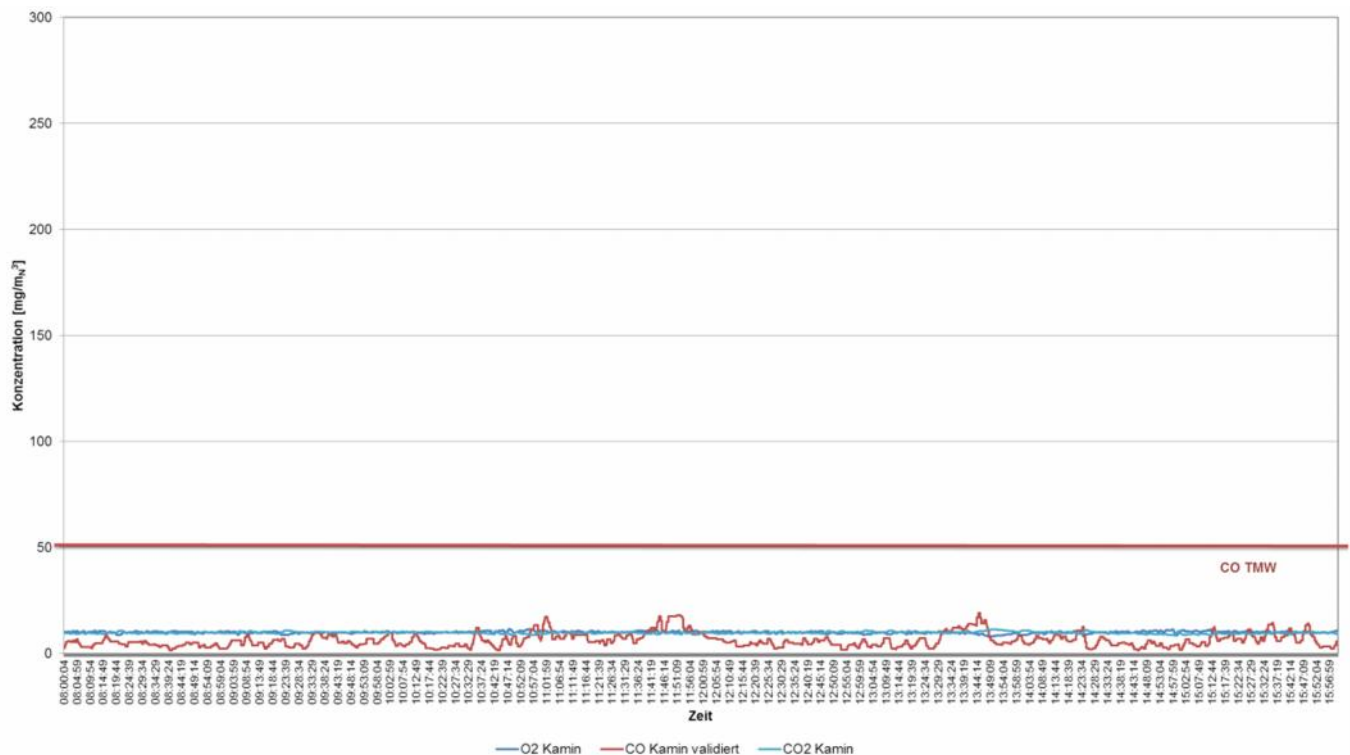


Abbildung 3.8: O₂- / CO- / CO₂-Konzentration am Kamin bei VLN-Betrieb 25 Mg/h (24.11.11; validiert)

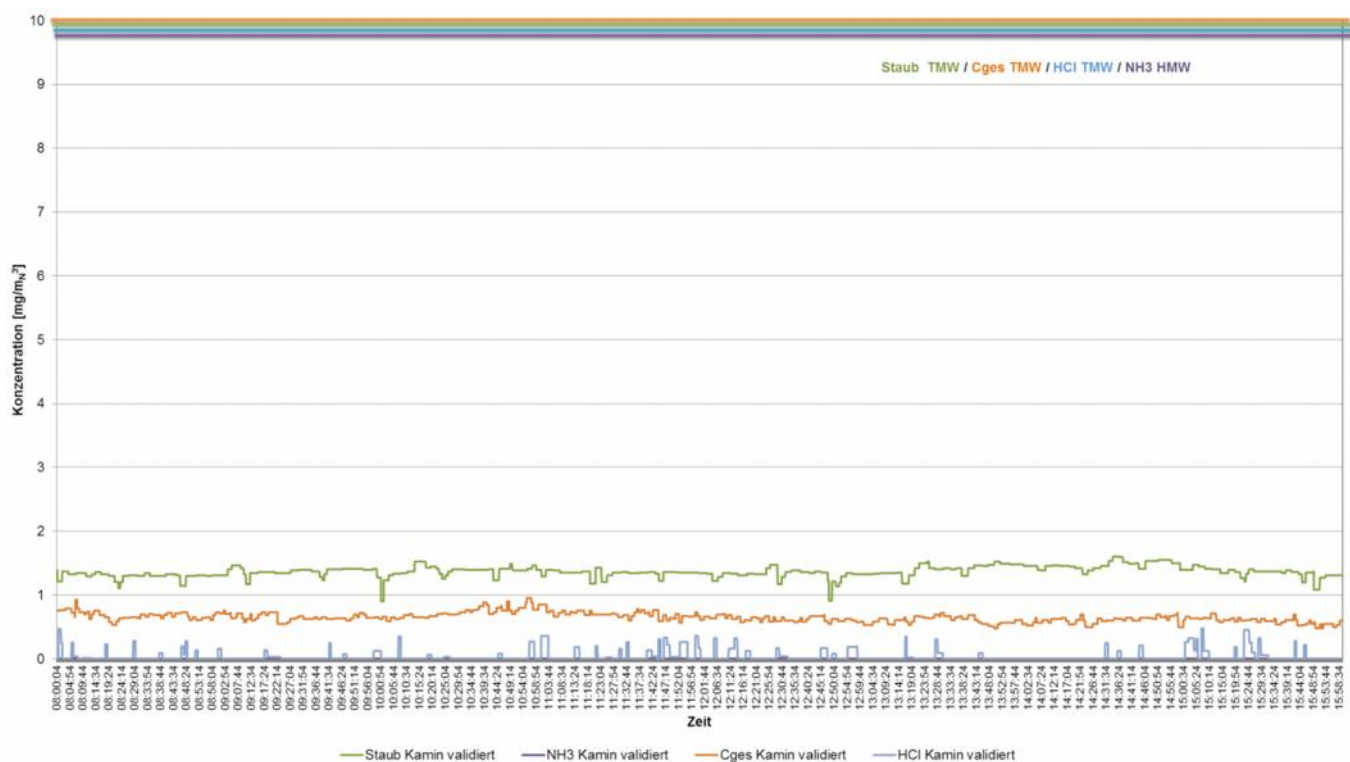


Abbildung 3.9: Staub- / NH₃- / C_{ges}- / HCl-Konzentration am Kamin bei VLN-Betrieb 25 Mg/h (24.11.11; validiert)

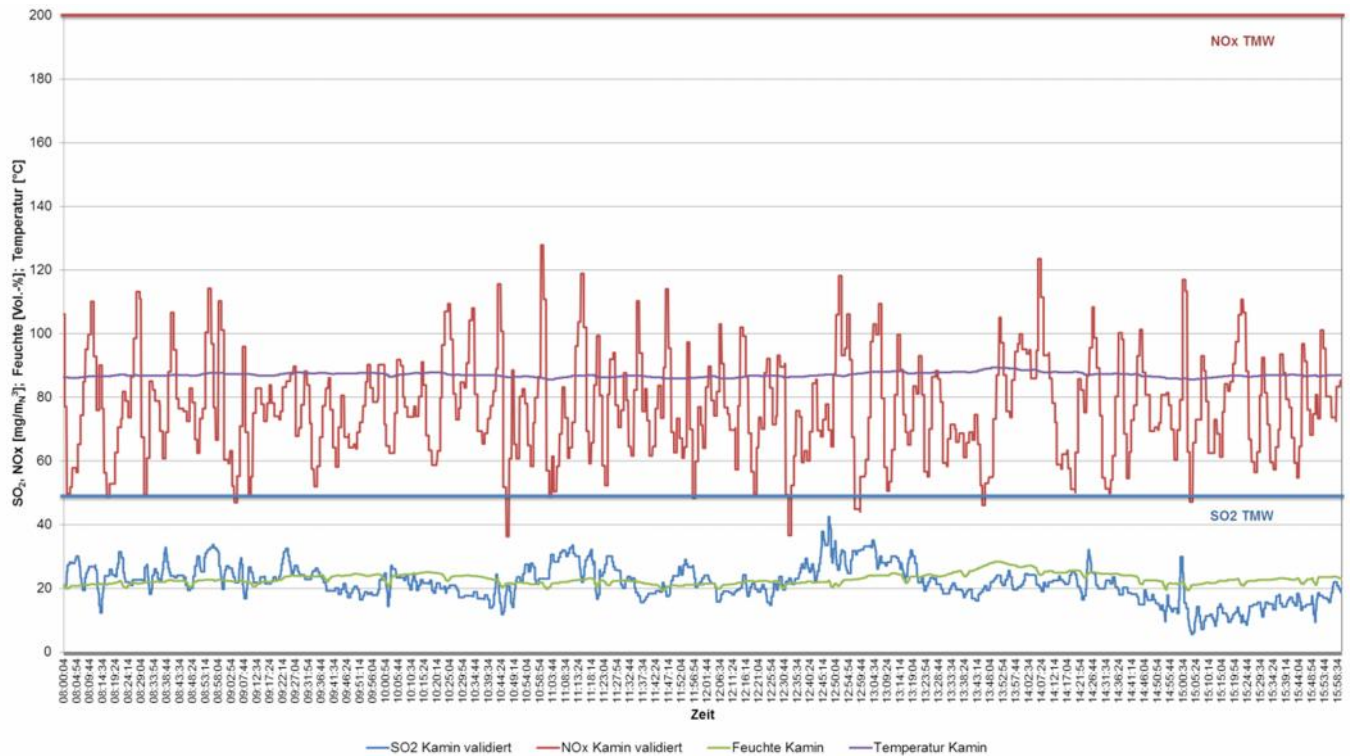


Abbildung 3.10: SO₂- / NO_x-Konzentration / Feuchte / Temperatur am Kamin bei VLN-Betrieb 25 Mg/h (24.11.11; validiert)

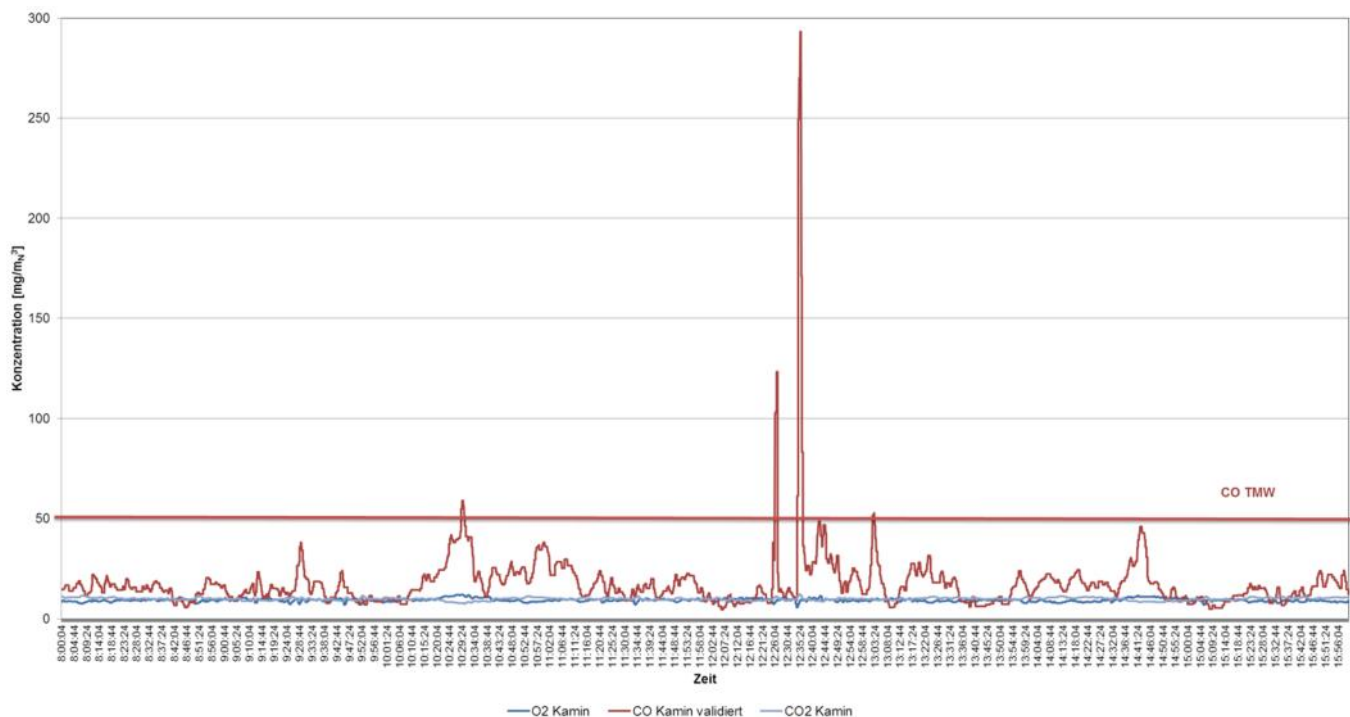


Abbildung 3.11: O₂- / CO- / CO₂-Konzentration am Kamin bei VLN-Betrieb 31 Mg/h (29.11.11; validiert)

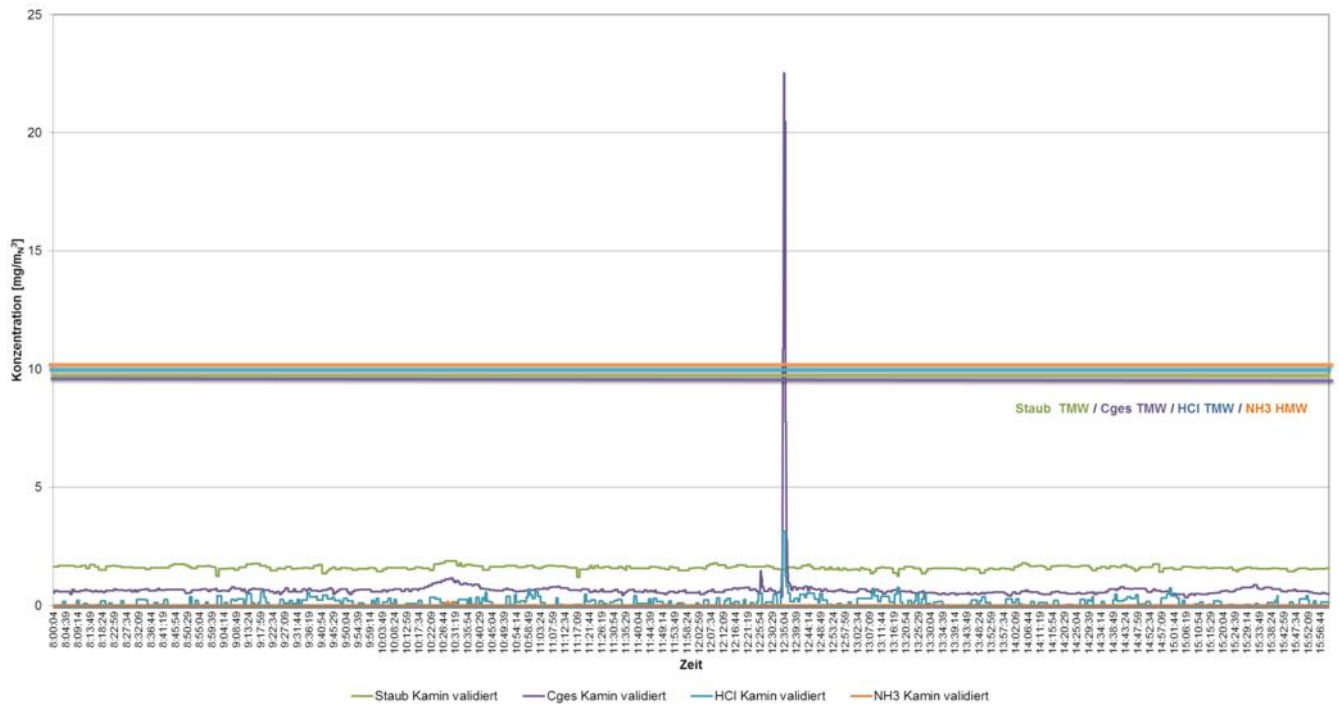


Abbildung 3.12: Staub- / NH_3 - / C_{ges} - / HCl-Konzentration am Kamin bei VLN-Betrieb 31 Mg/h (29.11.11; validiert)

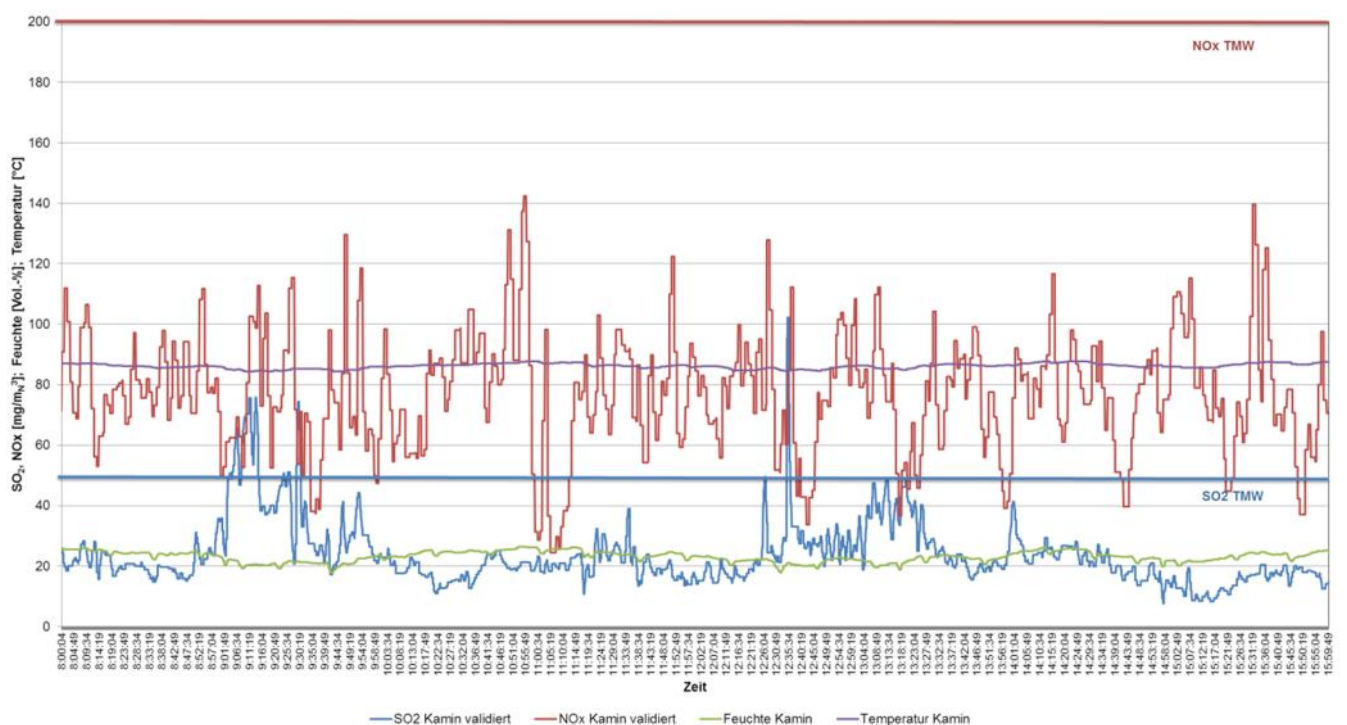


Abbildung 3.13: SO_2 - / NO_x -Konzentration / Feuchte / Temperatur am Kamin bei VLN-Betrieb 31 Mg/h (29.11.11; validiert)

Die PCDD/PCDF-Werte im Rohgas am Kessellende sind sehr stark müllabhängig, liegen aber im Bereich von Erfahrungswerten aus anderen Messkampagnen. Am Kamin wird der Grenzwert von $0,1 \text{ ng TE/Nm}^3$ deutlich unterschritten, was in Abbildung 3.14 im Detail dargestellt wird.

Die NO_x -Konzentrationen am Kesselende liegen bei beiden Dampfleistungen bei ca. 114 mg/Nm^3 und am Kamin bei ca. 77 mg/Nm^3 . Die Regelgröße war auf einen NO_x -Sollwert am Kamin von 80 mg/Nm^3 eingestellt; die Regelung wird somit stabil gefahren. Durch die SNCR-Regelung werden die Menge des NH_4OH sowie die Verteilung auf die beiden Ebenen den Feuerungsbedingungen schnell und optimal angepasst. Der NH_3 -Schlupf ist bereits am Kesselende als Mittelwert wesentlich $< 10 \text{ mg/Nm}^3$, bei 31 Mg/h Dampfleistung sind einzelne, nicht signifikante Peaks zu erkennen. Am Kamin wird nach der Abgasreinigung (basischer Wäscher) für beide Lastfälle kein NH_3 mehr detektiert.

Für 25 Mg/h und 31 Mg/h Dampfleistung unterschreiten am Kamin alle Mittelwerte deutlich die Werte gemäß Genehmigungsbescheid der dargestellten Parameter. Bei 25 Mg/h Dampfleistung zeigt sich dies deutlich auch im Verlauf über den gesamten Messzeitraum. Bei 31 Mg/h Dampfleistung sind kurzzeitige, nicht signifikante Peaks über den Messzeitraum zu erkennen (CO , $\text{C}_{\text{ges.}}$, SO_2), die aufgrund der sehr feinen Messwertauflösung (alle 5 s) dargestellt werden.

Die Gesamtstaub-Konzentrationen am Kesselende und am Kamin bei VLN-Betrieb für 25 Mg/h und 31 Mg/h Dampfleistung im Vergleich zu den Werten gemäß Genehmigungsbescheid werden in Abbildung 3.15 im Detail mit logarithmischen Maßstab dargestellt. Am Kamin werden für beide Lastfälle die Werte gemäß Genehmigungsbescheid deutlich unterschritten. Die Werte am Kesselende können müllabhängig stark schwanken und sind im Bereich von Erfahrungswerten an anderen Hausmüllverbrennungsanlagen ($1.000 - 4.000 \text{ mg/Nm}^3$).

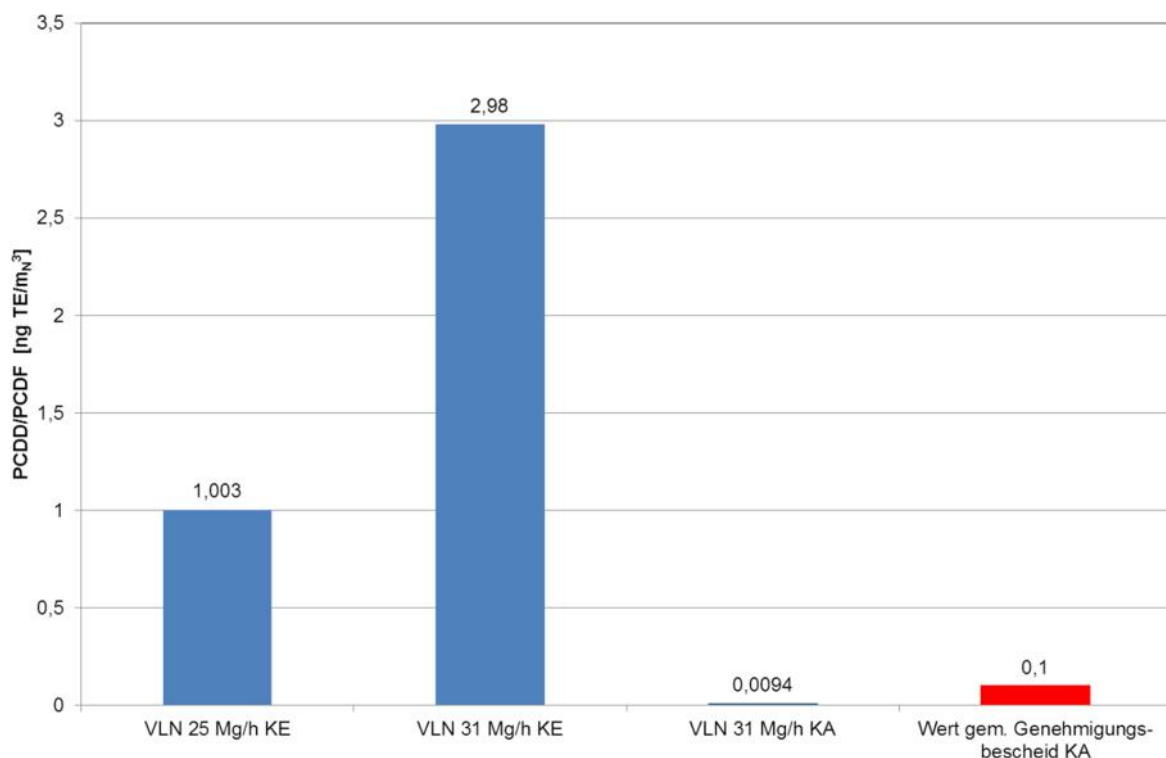


Abbildung 3.14: PCDD/PCDF-Konzentrationen am Kesselende bei VLN- Betrieb 25 + 31 Mg/h (24./29.11.11; normiert + unbezogen) + Kamin bei VLN- Betrieb 31 Mg/h (29.11.11; normiert + unbezogen) im Vergleich zu dem Wert gemäß Genehmigungsbescheid am Kamin

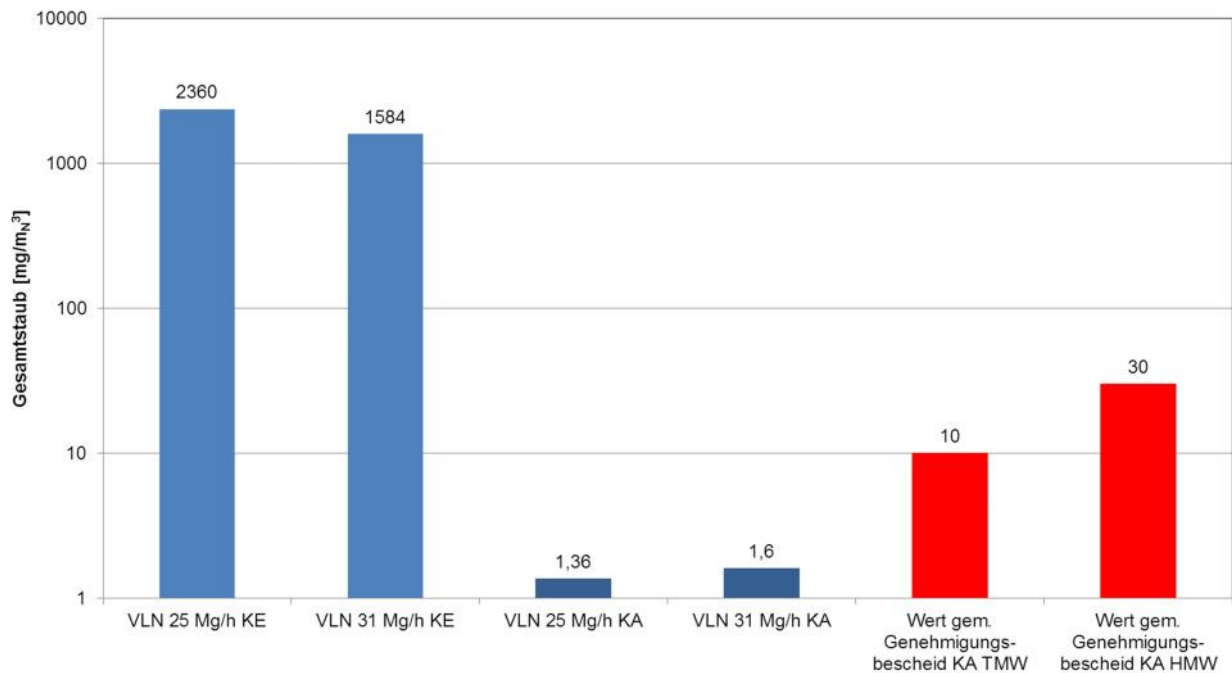


Abbildung 3.15: Gesamtstaub-Konzentrationen am Kesselende + Kamin bei VLN-Betrieb 25 + 31 Mg/h (24./29.11.11; normiert + unbezogen) im Vergleich zu den Werten gemäß Genehmigungsbescheid (log. Maßstab)

In Tabelle 3.1 sind Mittelwerte von Konzentrationen genehmigungsrelevanter Emissions- und Betriebsmessungen am Kamin (Reingas) vor/nach Umrüstung auf das VLN-Verfahren unter Angabe der Werte gemäß Genehmigungsbescheid zusammengestellt. Bei den Messwerten am Kamin handelt es sich um **validierte** Werte (273 K / 1013 hPa / trocken / Bezug nur bei $O_2 \geq 11$ Vol.-%)! Die Daten für den konventionellen Betrieb vor der Umrüstung sowie dem VLN Betrieb nach der Umrüstung stammen aus einer Mittelwertbildung von repräsentativen Tagesmittelwerten bei bestimmungsgemäßen Betrieb für 25 Mg/h und 31 Mg/h Dampfleistung.

Wie bereits dargestellt, werden am Kamin für beide Lastfälle sowohl im konventionellen Betrieb, als auch VLN Betrieb die Werte gemäß Genehmigungsbescheid deutlich unterschritten. Außerdem haben sich nach der Umrüstung auf das VLN-Verfahren im Vergleich zum vorherigen konventionellen Betrieb die Werte für die aufgelisteten Parameter grundsätzlich nicht verschlechtert bzw. sind in der gleichen Größenordnung geblieben. Die etwas erhöhten Messungen für Gesamtstaub sind auf technische Störungen des Nasselektrofilters an der Linie 1 zurückzuführen, die schon vor der Revision 2012 behoben wurden. Eine signifikante Verbesserung ist aufgrund des VLN-Verfahrens bei den NO_x -Werten festzustellen.

Im Zeitraum vom 05.09.11 - 31.12.11 wurden an der Linie 1 25.038 Mg Hausmüll verbrannt und eine **Kesselaschemenge** von 290,47 Mg zurückgeführt. Dies entspricht einem durchschnittlichen spezifischen Kesselascheanteil von 11,6 kg/Mg Abfall bzw. 1,16%. Die gemessenen Werte stimmen gut mit den Auslegungs- und Anzeigewerten überein.

Tabelle 3.1: Mittelwerte von Konzentrationen genehmigungsrelevanter Emissions- und Betriebsmessungen am Kamin (Reingas) vor/nach Umrüstung auf das VLN-Verfahren (normiert + unbezogen / validiert)

Parameter	Einheit	Konventioneller Betrieb vor Umrüstung		Abnahmemessungen nach Umrüstung		VLN Betrieb nach Umrüstung		Werte gem. Genehmigungsbescheid ROF 30.01.06; Reingas		
		MW konv. 25 Mg/h	MW konv. 31 Mg/h	24.11.2011 VLN 25 Mg/h	29.11.2011 VLN 31 Mg/h	MW VLN 25 Mg/h	MW VLN 31 Mg/h	TMW	HMW	über jeweilige Probenahmezeit
PCDD/PCDF (NATO)	ng TE/m _N ³	--	--	--	0,0094	--	--	--	--	0,10
Gesamtstaub (17. BlmSchV)	mg/m _N ³	0,75	0,66	1,36	1,60	1,59	1,63	10,00	30,00	--
Metalle (17. BlmSchV)										
Quecksilber	mg/m _N ³	--	--	--	0,003	--	--	0,03	0,05	--
Summe Cd + Ti	mg/m _N ³	--	--	--	0,002	--	--	--	--	0,05
Summe Sb...Sn	mg/m _N ³	--	--	--	0,010	--	--	--	--	0,50
Summe As...Cr	mg/m _N ³	--	--	--	0,004	--	--	--	--	0,05
HF	mg/m _N ³	--	--	--	0,100	--	--	1,00	4,00	--
HCl	mg/m _N ³	0,18	0,41	0,04	0,14	0,25	0,28	10,00	60,00	--
SO ₂	mg/m _N ³	24,84	22,86	21,73	23,72	23,28	24,26	50,00	200,00	--
NO _x	mg/m _N ³	166,69	179,06	76,67	76,93	76,07	76,20	200,00	400,00	--
NH ₃	mg/m _N ³	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	--	10,00	--
CO	mg/m _N ³	10,22	24,15	6,08	17,61	9,58	11,77	50,00	100,00	--
Gesamt-C	mg/m _N ³	1,09	0,81	0,65	0,67	0,71	0,55	10,00	20,00	--
Sauerstoffgehalt	Vol.-%	10,12	8,87	9,84	9,11	10,04	8,96	--	--	--
Temperatur	°C	84,93	85,06	87,03	86,33	86,88	86,45	--	--	--
Feuchte	Vol.-%	22,95	23,46	22,85	23,84	23,22	24,22	--	--	--

Im Genehmigungsbescheid für das MHKW Coburg vom 30.01.06 werden für die Analysen der **Reststoffe** Rostschlacke, Kesselasche und Gewebefiltrerrückstand die folgenden Untersuchungen unterschieden:

- Originalsubstanz der entschlackten HMV-Rohschlacke
- Eluat der aufbereiteten und feucht gealterten Schlacke bzw. Schlackefractionen
- In den Abgasreinigungsanlagen anfallende Abfälle

Alle im Rahmen der Abnahmemessungen durchgeführten Analysen erfolgten an frischen, entschlackten und ungealterten Rostschlacken (Rohschlacken), so dass lediglich die Untersuchungen an der Originalsubstanz zum Vergleich mit den Werten gemäß Genehmigungsbescheid herangezogen werden können. Die Eluate sind, da **keine Alterung** erfolgte, **nicht** vergleichbar! Die Gewebefiltrerrückstände wurden als Einzelstoffstrom direkt erfasst. Die Beurteilung der in den Abgasreinigungsanlagen anfallenden Abfälle wird mit der im Silo anfallenden Mischung aus mehreren Stoffströmen durchgeführt.

In Abbildung 3.16 werden die Analysenwerte bezogen auf die Werte der im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter für die Originalsubstanz der entschlackten HMV-Rohschlacke bei VLN-Betrieb für 25 Mg/h (63, 24.11.11) und 31 Mg/h (68, 29.11.11) Dampfleistung dargestellt. Dabei werden die Analysen aus der Doppelbestimmung der beiden Laborproben (a + b) aus der gleichen Grundgesamtheit verglichen.

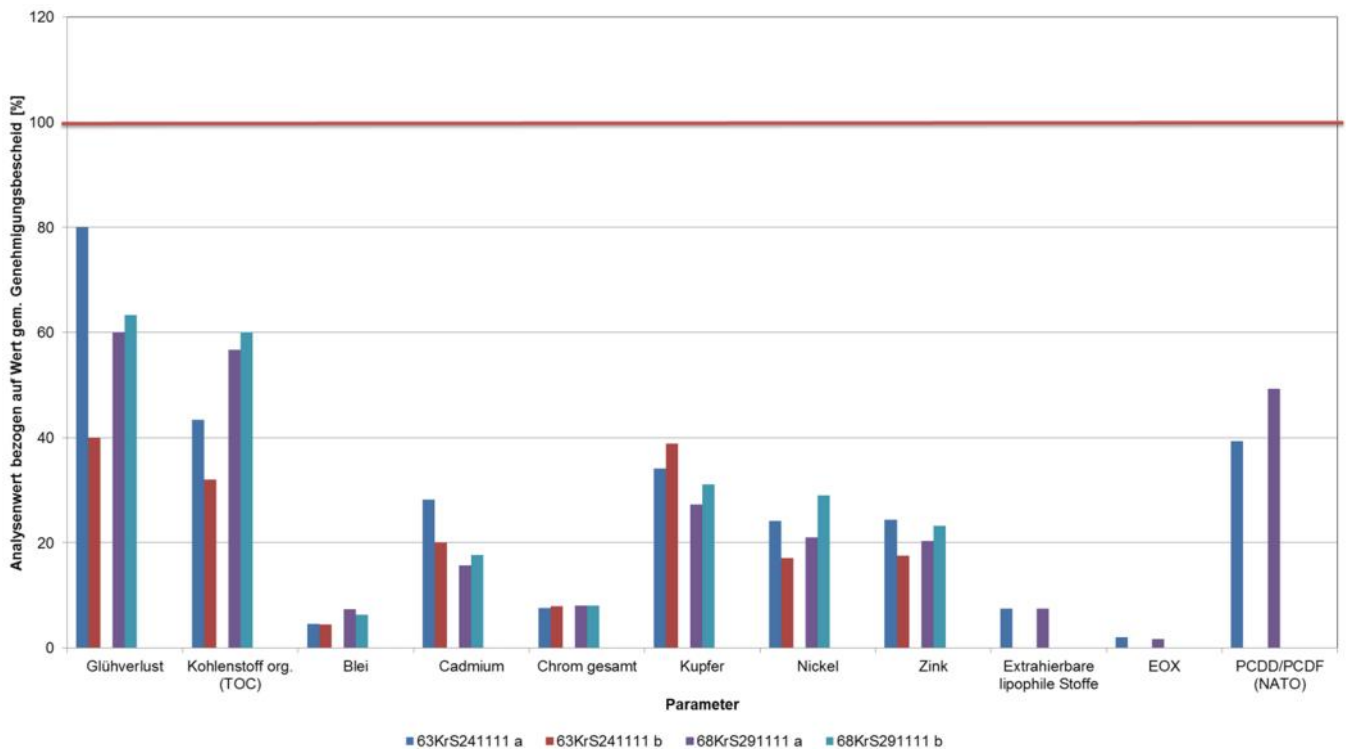


Abbildung 3.16: Analysenwerte bezogen auf die Werte der im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter für die Originalsubstanz der entschlackten HMV-Rohschlacke bei VLN-Betrieb 25 +31 Mg/h (63, 24.11.11/68, 29.11.11)

Die beiden Laborproben zeigen bei der Analyse im gleichen Labor im Rahmen der Schwankungsbreiten akzeptable Ergebnisunterschiede. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Werte gemäß Genehmigungsbescheid für die Originalsubstanz der entschlackten HMV-Rohschlacke sicher eingehalten werden. Im Rahmen der Schwankungsbreite ist zudem eine signifikante Veränderung der Rostschlackenqualität durch die Kesselascherückführung nicht erkennbar.

Die Ergebnisse der Abnahmemessungen lassen sich für 25 Mg/h sowie 31 Mg/h Dampfleistung wie folgt zusammenfassen:

- Der Mittelwert der Feuerraumtemperatur aus den beiden Betriebsmessungen war in beiden Lastfällen deutlich oberhalb 850 °C. Die Temperaturen unterhalb der VLN-Gasebene sind, wie für die SNCR-Eindüsung ausgelegt, nahe 1.000 °C. Oberhalb der VLN-Gasebene sind die Messwerte um ca. 100 °C niedriger.
- Die NO_x-Konzentrationen am Kamin wurden stabil und gut geregelt mit ≤ 80 mg/Nm³ gefahren. Durch die SNCR-Regelung wurde die Menge des NH₄OH sowie die Verteilung auf die beiden Ebenen den Feuerungsbedingungen schnell und optimal angepasst, so dass der NH₃-Schlupf bereits am Kesselende als Mittelwert deutlich < 10 mg/Nm³, tr. war.
- Für 25 Mg/h und 31 Mg/h Dampfleistung unterschritten am Kamin alle Emissionsmesswerte deutlich die geforderten Werte gemäß Genehmigungsbescheid. Die Zusammensetzung des VLN-Gases hat keinen Einfluss auf die sichere Einhaltung der Werte gemäß Genehmigungsbescheid am Kamin.

- Für 25 Mg/h und 31 Mg/h Dampfleistung hatten sich nach der Nachrüstung der VLN-Technologie im Vergleich zum vorherigen konventionellen Betrieb die Emissionsmesswerte grundsätzlich nicht verschlechtert bzw. sind in der gleichen Größenordnung geblieben. Eine signifikante Verbesserung war aufgrund der VLN-Technologie bei den NO_x-Werten festzustellen.
- Die Kesselascheerfassung und -rückführung hat sich nach einigen Optimierungen verfahrens- bzw. anlagentechnisch gut bewährt. Die gemessenen Mengen stimmen gut mit den Auslegungs- und Anzeigewerten überein.
- Die Werte gemäß Genehmigungsbescheid für die Originalsubstanz der entschlackten HMV-Rohschlacke werden sicher eingehalten.
- Im Rahmen der Schwankungsbreite bei der Analyse von Rostschlacken ist eine signifikante Veränderung der Rostschlackenqualität durch die Kesselascherückführung nicht erkennbar.

3.4.2.3 Gutachten der 17. BImSchV-Feuerraumtemperaturen

Auf Basis eines Berechnungsprogramms des Ing.-Büros VWT waren thermodynamische Berechnungen mit messtechnischer Überprüfung zum Verhalten des Kessels der Linie 1 durchzuführen, um den Einfluss der VLN-Technologie auf die lastabhängigen Feuerraumtemperaturen bei der genehmigungsrelevanten Verweilzeit von 0,2 Sekunden für die Erstellung der Kalibrierfunktion für den Emissionswerterechner zu verifizieren.

Die thermodynamischen Untersuchungen wurden anhand der Konstruktionszeichnungen des Kessels, einer großen Bandbreite unterschiedlicher Lastfälle in Kombination mit drei Brennstoffen für den mittelverschmutzten Kessel durchgeführt.

Das Nomogramm (Abbildung 3.17) zeigt im linken Teil die Abgastemperatur über der Last nach einer Verweilzeit von 0,2 und 2 Sekunden für verschiedene Heizwerte. Auf der rechten Seite ist die Abgastemperatur über dem Abgasweg nach Zugabe der letzten Verbrennungsluft dargestellt. Die Lesart für das Diagramm ist anhand von zwei Beispielen eingetragen (Pfeile). Ausgehend von einer Last wird im linken Teil des Nomogramms für einen Heizwert und eine Verweilzeitebene die Abgastemperatur abgelesen. Im rechten Teil kann dann mit der Abgastemperatur für einen Heizwert und eine Verweilzeitebene der Abgasweg abgelesen werden.

Es zeigt sich, dass die genehmigungsrelevante 0,2 Sekunden Verweilzeitebene für alle Lastfälle und Abfälle den ersten Meter des Abgasweges nicht überschreitet. Die 2 Sekunden Verweilzeitebene liegt im Fall des mittleren Müllheizwertes ab ca. 26 Mg/h Dampfmassenstrom über der ersten VLN-Ebene. Bei tiefem Müllheizwert befindet sich die 2 Sekunden Verweilzeitebene ab einem Dampfmassenstrom von ca. 25 Mg/h bereits über der ersten VLN-Ebene.

Da der hauptsächliche Betriebsbereich der Linie 1 zwischen 25 und 31 Mg/h Dampfmassenstrom liegt, ist davon auszugehen, dass sich die 2 Sekunden Verweilzeitebene größtenteils über der ersten VLN-Ebene befindet. Da bei den VLN-Ebenen vergleichsweise kaltes Gas (ca. 100 °C - 200 °C) eingedüst wird, erfolgt hierdurch eine stärkere Gasabkühlung. Dies wurde grundsätzlich bei der lastabhängigen Temperatur der 2 Sekunden Verweilzeitebene bzw. in dem thermodynamischen Berechnungsmodell berücksichtigt.

Die Verweilzeit von 0,2 Sekunden über 850 °C wird bei mittelverschmutztem Kessel sowie den untersuchten Lastfällen und typischen Heizwerten in der Nachbrennzone oberhalb der Sekundärlufteindüsung sicher erreicht. Zudem bestätigten die weiterhin geringen CO-Konzentrationen im Abgas mit dem guten Ausbrand der Abgase in der Nachbrennzone die durchgeführten Berechnungen.

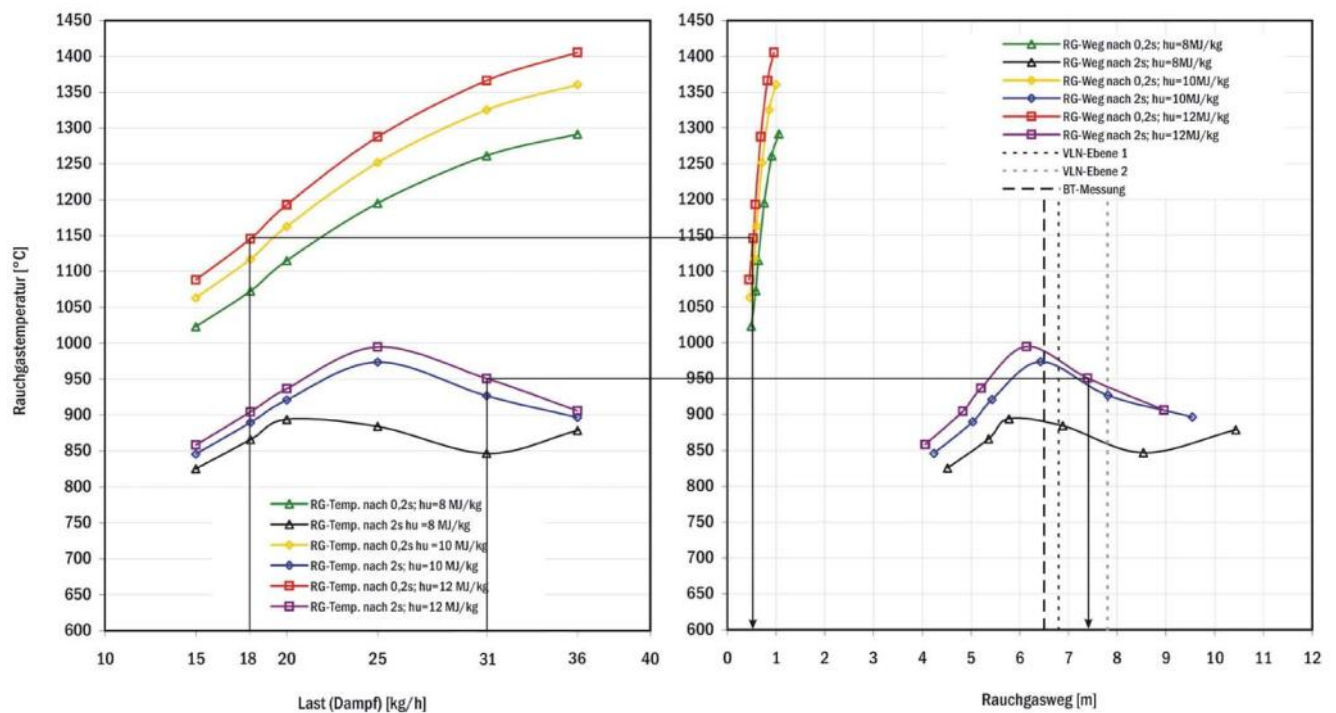


Abbildung 3.17: Nomogramm zum Temperatur-Verweilzeitverhalten (mittelverschmutzter Kessel)

3.4.2.4 Roh-NO_x-Messungen

Durch Roh-NO_x-Messungen im konventionellen und VLN-Betrieb bei den Lastpunkten 20 Mg/h, 25 Mg/h und 31 Mg/h Dampf sollte die Wirksamkeit des VLN-Verfahrens ohne SNCR nachgewiesen werden, da die Reduktion des Luftüberschusses im unteren Feuerraum zu einer Reduzierung der Brennstoff-NO_x-Bildung und damit Absenkung der Roh-NO_x-Konzentration führt.

In Abbildung 3.18 sind die Mittelwerte (tr., unbezogen) der Roh-NO_x-Messungen am Kesselende bei konventionellem und VLN-Betrieb für 20 Mg/h, 25 Mg/h und 31 Mg/h Dampf vergleichend dargestellt.

Im konventionellen Betrieb zeigte sich, dass die Roh-NO_x-Werte am Kesselende, vor allem bei 31 Mg/h Dampf, teilweise über 500 mg/Nm³ lagen. Bei diesen Roh-NO_x-Konzentrationen und gleichzeitig niedrigem NO_x-Sollwert waren die NH₃-Schlupfwerte am Kesselende sehr hoch und unruhig, da die SNCR-Anlage bei hohem NH₄OH-Verbrauch deutlich überstöchiometrisch betrieben werden musste (ca. 1/3 höherer NH₄OH-Verbrauch). Im VLN-Betrieb waren die Roh-NO_x-Werte sowie die NH₃-Schlupfwerte am Kesselende im Vergleich zum konventionellen Betrieb signifikant geringer. Durch den alleinigen VLN-Betrieb ohne SNCR konnte die Roh-NO_x-Konzentration am Kesselende um 29% (25 Mg/h Dampf) bis zu 45% (31 Mg/h Dampf) abgesenkt werden. Bei allen Roh-NO_x-Messungen wurden keine Werte gemäß Genehmigungsbescheid überschritten.

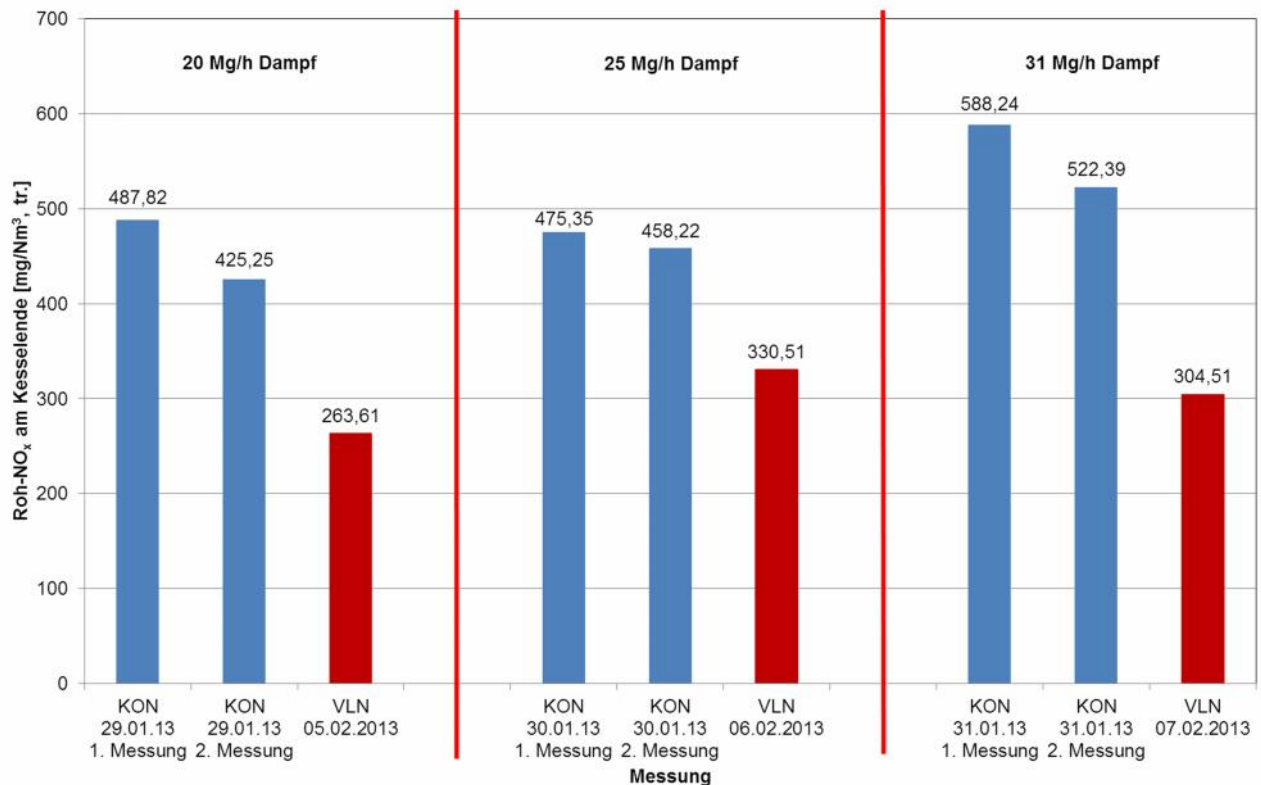


Abbildung 3.18: Mittelwerte der Roh-NO_x-Messungen am Kesselende bei konventionellem und VLN-Betrieb für 20 Mg/h, 25 Mg/h und 31 Mg/h Dampf

3.4.2.5 Messungen Korrosionssonden

Durch den Einbau von drei Korrosionssonden der CORRMORAN GmbH an verschiedenen Kesselöffnungen wurde vergleichend der Einfluss der Feuerungsführung (Konventioneller / VLN-Betrieb bei verschiedenen Lastfällen) auf die Korrosion im Kessel, in Bezug auf Membranwände und Überhitzerrohre bestimmt.

Abbildung 3.19 zeigt exemplarisch mit einer statistischen Methodik aufbereitete Messergebnisse einer Korrosionssonde im 2. Zug. Die Sonde wurde jeweils für 5 Tage bei konventionellem und VLN-Betrieb mit einer Sondenkopftemperatur von 380 °C betrieben. Das Abgas hatte an dieser Messposition je nach Last eine Temperatur von 820 °C - 930 °C. Für den Vergleich von konventionellem zum VLN-Betrieb können die beiden Tendenzlinien (rot / blau) und deren Überlagerung mit der Verteilungshäufigkeit genutzt werden.

Das Korrosionspotenzial im konventionellen Betrieb ist für alle Lastpunkte etwas höher als im VLN-Betrieb. Dies kann neben der etwas geringeren Abgastemperatur im VLN-Betrieb auch auf die bessere Homogenisierung des Abgases durch die VLN-Eindüsung erklärt werden.

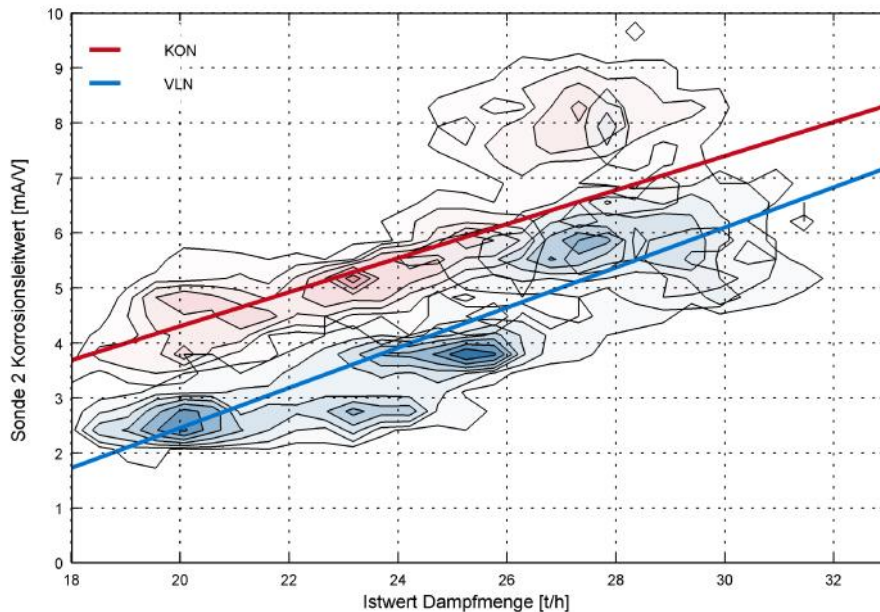


Abbildung 3.19: Vergleich der Korrosionssignale für konventionellen und VLN-Betrieb (Korrosionssonde 2. Zug)

Die große Anzahl an Korrosionssonden, die an der Linie 1 zum Einsatz kamen in Kombination mit der Möglichkeit zwischen zwei sehr unterschiedlichen Feuerungsführungen zu wechseln, ermöglichte es, Korrosionszusammenhänge zu erkennen und zu untersuchen, die sonst nur im Labormaßstab möglich sind. Die wichtigsten Einflussfaktoren für die Korrosion sind:

- Konzentration korrosiver Abgasbestandteile
- Abgastemperatur
- Rohrwandtemperatur
- Durchmischung der Abgase
- Strömungsgeschwindigkeit

Klare Abhängigkeiten des Korrosionssignals von der Last und somit der lokalen Abgastemperatur konnten nachgewiesen werden. Bei allen Testreihen zeigte sich, dass das Korrosionssignal bei VLN-Betrieb geringer oder vergleichbar wie bei konventionellem Betrieb ist. Ein geringeres Korrosionssignal wurde hauptsächlich bei tieferen Lasten im VLN-Betrieb aufgezeichnet. Bei höheren Lasten war der Unterschied kleiner. Grundsätzlich kann dieser Effekt auf die verbesserte Durchmischung und Homogenisierung des Abgases durch die zusätzlichen Eindüsen zurückgeführt werden. Für manche Lastpunkte war sogar ein Faktor 2 feststellbar. Besonders wichtig war dieser Unterschied für den Sensor, mit dem die Auswirkungen auf den Überhitzer untersucht wurden. Daraus ließ sich schließen, dass die VLN-Technologie nicht nur die NO_x -Emissionen reduziert, sondern tendenziell auch das Korrosionspotenzial im Kessel verringern kann. Genauere Aussagen lassen sich jedoch erst durch mehrjährige Beobachtungen ermitteln.

3.5 WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSE

Bei einem Investitionsvolumen von ca. 3,5 Mio Euro, das sich mit Sicherheit aus den spezifischen Rahmenbedingungen im MHKW Coburg ergeben hat, muss gesagt werden, dass die Erwartung an die Wirksamkeit der Emissionsminderung größer war, als die wirtschaftlichen Vorteile. Dennoch wurde die Frage nach der Wirtschaftlichkeit gründlich analysiert. Nach einem Betriebsjahr ist es schwierig festzustellen, ob die angenommenen Effizienzsteigerungen auch wirklich eingetreten sind. Während dieser Zeit sind auch verschiedene Betriebszustände getestet worden, die nicht unbedingt dem „normalen Betrieb“ entsprechen.

Die Verbesserung des Kesselwirkungsgrades lässt sich über den Zeitraum von einem Jahr relativ sicher nachweisen. Die erzeugte Dampfmenge pro Mg Abfall (heizwertbezogen) konnte mit einem ca. 4 % höheren Wert errechnet werden. Bei der Eigenbedarfsenkung werden einige Jahre erforderlich sein, um eine verlässliche Zahl nennen zu können. Bei der Stromaufnahme zeigten zumindest die großen Stromverbraucher (z.B. Saugzug, Frischlüfter) eine positive Tendenz. Beim Ammoniakwasserverbrauch, der weitestgehend von der Abfallzusammensetzung abhängt, sind auch mehrere Jahre erforderlich, um eine sichere Aussage treffen zu können. Nach einem Jahr waren aber durchaus Verbrauchseinsparungen feststellbar.

Es ist davon auszugehen, dass sich die erwarteten Effizienzsteigerungen beim Amortisieren der Investitionen innerhalb eines überschaubaren Zeitraums positiv auswirken.

Die Halbierung der Stickstoffoxidemissionen zahlte sich für alle Betriebszustände sofort aus.

4 EMPFEHLUNGEN

4.1 ERFAHRUNGEN AUS DER PRAXISEINFÜHRUNG

In den letzten 20 Jahren hat das MHKW Coburg viel Erfahrung mit der Erprobung verschiedener neuartiger Technologien gesammelt. Es gab umfangreiche Maßnahmen (z.B. MARTIN SYNCOM-Verfahren) und auch einfache Projekte. Das Betriebspersonal hat es in jedem Fall gut bewältigen können.

Bei der Nachrüstung der VLN-Technologie war der Umfang der Änderungen am Kessel selbst überschaubar. Die Anpassung des bestehenden SNCR-Systems mit neuer Ammoniakwasserpumpenstation und zweiter Eindüseebene stand gegenüber dem Umbau des Feuerraumes mit zwei VLN-Gas-Absaugstutzen und dem kompletten Umbau des Trichters 2./3. Zug. Die damit verbundene Änderung des Kesselascheaustrags sollte so einfach wie möglich gelöst werden. Die Kesselasche sollte gemäß der Berechnungen einmal pro Schicht mit einem Transportcontainer zum Müllbunker gefahren und dort abgekippt werden.

Die Umbaumaßnahmen wurden vor der Kesselrevision vorbereitet und innerhalb der geplanten Revisionszeit (ca. 4 Wochen) vollständig umgesetzt.

Im Leitstand wurde das analoge Feuerungsbild des Rostes auf dem Bildschirm, durch eine Kombination aus Infrarotbild der Brennbettfläche des ersten Rostdrittels und dem Diagramm des Temperaturverlaufs der letzten 30 Minuten ersetzt. Das Infrarotbild von der Feuerraumdecke wurde schnell vom Betriebspersonal als zusätzliche Information zu der vorhandenen optischen Feuerraumkamera am Rostende aufgenommen.

Das gesamte Verfahren bedeutet keinen zusätzlichen Arbeitsaufwand für das Betriebspersonal. Die automatische Fahrweise mit dem MICC (MARTIN Infrared Combustion Control) sorgte sogar für eine deutliche Beruhigung in der Dampferzeugung. Die Umschaltung zwischen den beiden Ammoniakwassereindüseebenen funktioniert automatisch ohne Eingriff durch das Personal.

Der erhöhte Arbeitsaufwand für den Bereich der Entaschung 2./3. Zug war nicht durch die VLN-Technologie, sondern durch die örtlichen Gegebenheiten bedingt. Diese Randbedingungen und das Unfallrisiko haben dazu geführt, dass nach einem Jahr das System auf pneumatische Förderung umgestellt worden ist. Die Nachrüstung an der Linie 2 wird beim Umbau in 2013 sofort so ausgeführt.

Nach einem Jahr des VLN-Betriebs lässt sich feststellen, dass die Einhaltung von angestrebtem $80 \text{ mg/Nm}^3 \text{ NO}_x$ mit einem NH_3 -Schlupf von unter 5 mg/Nm^3 am Kesselende kein großes Problem darstellt. Die automatische Regelung sorgt für einen sicheren und störungsfreien Betrieb.

Es wurden die relevanten Betriebswerte bzw. Tagesmittelwerte für den Zeitraum vom 12.11.2011 (nach Ende des Probebetriebs) bis zum 18.04.2013, d.h. für ca. 256 Tage (ca. 8,5 Monate) zusammengestellt und analysiert.

Die wichtigsten dieser Betriebswerte sind die vertraglichen Garantiewerte der MARTIN GmbH mit dem ZAW.

Nachfolgend wird ein Vergleich der wichtigsten durchschnittlichen Langzeit-Ist-Betriebs-Werte mit den Garantie-Werten aufgezeigt:

	Ist-Werte (durchschnittlich)	Garantie-Werte
a) Abgasmenge:	ca. $45.304 \text{ Nm}^3_{\text{tr.}}/\text{h}$ (bei ca. $24,2 \text{ t}_D/\text{h}$ und ca. $10 \% \text{ O}_{2, \text{tr.}}$ vor Kamin) umgerechnet auf NOP ($25 \text{ t}_D/\text{h}$) und $7 \% \text{ O}_{2, \text{tr.}}$:	
	ca. $32.750 \text{ Nm}^3_{\text{tr.}}/\text{h}$	$\leq 36.000 \text{ Nm}^3_{\text{tr.}}/\text{h}$ bei NOP ($25 \text{ t}_D/\text{h}$) (bezogen auf $7 \% \text{ O}_{2, \text{tr.}}$)
b) NO_x (trocken, unbezogen) vor Kamin:	ca. $81,1 \text{ mg/Nm}^3_{\text{tr.}}$ (unbezogen)	$90 \% \text{ TMW} \leq 90 \text{ mg/Nm}^3_{\text{tr.}}$ (unbezogen)
c) NH_3 -Schlupf Kesselende:	ca. $3,5 \text{ mg/Nm}^3_{\text{f.}}$ (unbezogen)	$90 \% \text{ TMW} \leq 10 \text{ mg/Nm}^3_{\text{f.}}$ (unbezogen)

d) NH_4OH -Bedarf:	ca. 27,3 l/h	
	(bei ca. 24,2 t_D/h)	
	hochgerechnet auf NOP	
	(25 t_D/h):	
	ca. 28 l/h	≤ 50 l/h
		im NOP (25 t_D/h)

Aus dem vorstehenden Vergleich der Ist-Langzeit-Betriebs-Werte mit den vertraglichen Garantie-Werten ist ersichtlich, dass die Garantiewerte eingehalten (unterschritten) bzw. teilweise (NH_3 -Schlupf Kesselende und Ammoniak-Wasser-Verbrauch) erheblich unterschritten werden.

Zum Ammoniak-Wasser-Verbrauch ist anzumerken, dass dieser noch niedriger hätte sein können (jetzt ist), weil im Januar 2013 eine Optimierung der SNCR-Regelung erfolgte (im Detail siehe Kapitel 3.2 „Stoff- und Energie-Bilanz“).

Aus den Daten ist zu ersehen, dass durchschnittlich ca. 1/3 der Ammoniak-Wasser-Menge über die untere Ebene (15,95 m) und ca. 2/3 der Ammoniak-Wasser-Menge über die obere Ebene (18,80 m) in den Kessel eingedüst wird.

Zur Leistungsfähigkeit der VLN-Technologie ist zusätzlich anzumerken, dass sogar bei NO_x -Reingas-Werten vor Kamin von ca. 60 $\text{mg}/\text{Nm}^3_{\text{tr}}$ (unbezogen) immer noch Tagesmittelwerte von ca. 4,6 bis ca. 7,2 $\text{mg}/\text{Nm}^3_{\text{f}}$ (unbezogen) für den NH_3 -Schlupf (am Kesselende) eingehalten werden (d.h. immer noch ≤ 10 $\text{mg}/\text{Nm}^3_{\text{f}}$ (unbezogen)). Da es sich aber hierbei nur um 3 Tage (12.11. - 14.11.2011) handelte, wäre ggf. ein Langzeit-Betriebs-Versuch mit der optimierten SNCR-Regelung durchzuführen.

Eine weitere vertragliche Garantie der MARTIN GmbH an den ZAW war, dass sich durch die Umrüstung der Linie 1 auf die VLN-Technologie die vor Durchführung der Umbaumaßnahmen gegebenen Betriebsbedingungen nicht verschlechtern.

Aus den Betriebsdaten kann man insbesondere ersehen, dass die Dampf-Leistungen zwischen ca. 20 t_D/h und ca. 31 t_D/h und ein durchschnittlich guter CO-Wert von ca. 10,8 $\text{mg}/\text{Nm}^3_{\text{tr}}$ wie früher (bei konventionellem Betrieb) eingehalten werden konnten. Insbesondere ist hierbei die gute Dampfstabilität (geringe Soll- / Ist-Abweichungen) durch die MICC-Regelung zu erwähnen, welche einen positiven Einfluss auf die Dampfproduktion sowie Energieausbeute hat.

4.1.1 BETRIEBS-ERFAHRUNGEN MIT DER VLN-TECHNOLGIE

Nach einigen Monaten Betrieb (im Frühjahr 2012) zeigte sich, dass aus anlagenspezifischen Gründen der Staubgehalt im VLN-Gas-Kanal zu hoch war und dadurch das Laufrad und Gehäuse des VLN-Gebläses geschädigt wurde.

Im Rahmen der Revision 2012 wurden deshalb folgende Änderungen durchgeführt:

- Modifizierte VLN-Gas-Ansaugung mit zusätzlicher Beruhigungskammer zur Staubminimierung
- Zusätzliche Schnecken zum Staubabtransport in das Kessel-Asche-Rezyklierungs-System
- Verschleißfesteres Laufrad und Gehäuse-Reparatur (Auftragsschweißung) für das VLN-Gebläse

Die durchschnittlichen CO-Werte sowie Temperaturen im VLN-Gas-Kanal liegen erheblich unter den bezüglich der Anlagensicherheit einzuhaltenden Grenzwerten, bei denen automatisch auf Störungsbetrieb umgeschaltet würde. Im Rahmen der Genehmigung gemäß der Betriebs-Sicherheits-Verordnung wurde in diesem Zusammenhang auch sicher nachgewiesen, dass die Saug- und Druck-Kanäle für einen maximalen Unterdruck und Überdruck ausgelegt / geeignet sind. Bei dem bisherigen Betrieb der VLN-Anlage erfolgten keine Gas- und Staubaustritte in das Kesselhaus.

Nach der Revision 2012 war bis heute die VLN-Anlage der Linie 1 durchgängig effektiv ohne Probleme in Betrieb.

4.1.2 BETRIEBS-ERFAHRUNGEN MIT DER OPTIMIERTEN SNCR-ANLAGE

Seit der Inbetriebnahme der optimierten SNCR-Anlage mit 2 Eindüseebenen auf 15,95 m (untere Ebene) und 18,80 m (obere Ebene) funktioniert diese ohne Probleme.

Wie vorstehend im Detail ausgeführt, erfolgte im Januar 2013 eine Optimierung der SNCR-Regelung, was in Verbindung mit der zweiten Eindüseebene zu einem signifikant niedrigerem Ammoniak-Wasser-Verbrauch (durchschnittlich 1/3 geringere Ammoniak-Wasser-Menge) führte.

4.1.3 BETRIEBS-ERFAHRUNGEN MIT DEM KESSEL-ASCHE-REZYKLIERUNGSSYSTEM

Seit Inbetriebnahme des Kessel-Asche-Rezyklierungs-Systems mittels Transportcontainer Anfang September 2011 bis ca. Ende Oktober 2012 war dieses ohne Probleme in Betrieb.

Aufgrund der oben detailliert dargestellten Randbedingungen (insbesondere kleine Transportcontainer) wurde bis Ende Oktober 2012 ein zusätzliches „Kontinuierliches Kessel-Asche-Rezyklierungs-System“ (Hauptsystem) nachgerüstet. Es müssen dabei nur 2 Bauteile (wegen der Abrasivität der Kesselasche) mit einer optimierten Verschleißschicht versehen werden.

Auch dieses neu entwickelte System (Konstruktion / Auslegung) hat im bisherigen Betrieb ohne Probleme funktioniert (erhebliche Entlastung des Betriebspersonals).

Die Asche-Rezyklierung mittels Transportcontainer dient nur noch als Not-System, falls das „Kontinuierliche Kessel-Asche-Rezyklierungs-System“ nicht betrieben werden kann (Störung / Ausfall bzw. Reparatur / Revision).

Wie mit der Genehmigungsbehörde vereinbart, wurde durch umfangreiche Versuche nachgewiesen, dass durch dieses nachgerüstete System keine Erhöhung (Aufkonzentrierung) der Staubmenge nach Kessel im Vergleich zum bisherigen Betrieb und zum Transportcontainer-System erfolgt.

4.2 MODELLCHARAKTER

Die beschriebenen positiven Betriebserfahrungen an der Linie 1 des MHKW Coburg belegen die Wirksamkeit und Effektivität der innovativen MARTIN VLN-Technologie. Da sich diese Technologie für den ZAW bewährt hat, wird in 2013 auch die Linie 2 des MHKW Coburg auf die MARTIN VLN-Technologie umgerüstet. Darüber hinaus besteht großes Interesse an dieser Technologie, so dass in den kommenden Jahren drei weitere Abfallverbrennungsanlagen damit ausgerüstet werden:

- KVA Buchs (CH, 2013)
- KVA Bazenheid (CH, 2013)
- Durham/York (CA, 2014)

4.3 ZUSAMMENFASSUNG

Durch verbesserte Energieeffizienz und verminderte Emissionen bei der thermischen Abfallbehandlung stellt die VLN-Technologie eine effektive feuerungsseitige Primärmaßnahme dar. Bei gleichzeitiger Senkung des Abgasvolumenstroms und der NO_x-Emissionen bleiben die üblichen Prozessanforderungen, wie Feuerungsstabilität und Ausbrandqualität, sicher erhalten. Zusätzlich wird der Aufwand zur sekundärseitigen Stickoxidminderung (SNCR-System) signifikant reduziert. Dies spart nicht nur anfallende Kosten für das Reduktionsmittel und unter Umständen anfallende Sekundärenergieaufwendungen, sondern ermöglicht auch wesentlich geringere Emissionen bei gleichbleibendem oder sogar sinkendem Investitions- und Betriebsaufwand. Durch den Einsatz der VLN-Technologie ergibt sich eine deutlich verbesserte Stickstoffbilanz. Der Ammoniakverbrauch wird trotz der tieferen NO_x-Emissionen nicht erhöht und die NH₃-Emissionen werden signifikant verringert.

5 ANHANG

5.1 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AGR	Abgasreinigung
Bay. LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
Bh	Betriebsstunden
BImSchV	Bundes-Immissions-Schutz-Verordnung
csv	Comma-separated Values (Dateiformat)
D	Dampf
E	Energie
f.	feucht
GA	Gewebefilterasche / -rückstand
HMW	Halbstundenmittelwert
KA	Kamin
KA	Kesselasche
KE	Kesselende
M	Müll
MHKW	Müllheizkraftwerk
MICC	MARTIN Infrared Combustion Control
min.	minimal
MW	Mittelwert
n.b.	nicht bestimmt
NH ₄ OH	Ammoniakwasser
Nm ³	Normkubikmeter
NOP	Normal Operation Point
Ø	durchschnittlich
PL	Primärluft
PLS	Prozessleitsystem
R	Rückstand
ROF	Regierung von Oberfranken
SL	Sekundärluft
SNCR	Selective Non-Catalytic Reduktion
TMW	Tagesmittelwert
tr.	trocken
VLN	Very-Low-NO _x
Vol.-%	Volumenprozent
ZAW	Zweckverband für Abfallwirtschaft in Nordwest-Oberfranken

5.2 STOFF- / ENERGIEBILANZ MHKW COBURG

I / 2009 Konventioneller Betrieb

Betriebszeit (h) - durchschnittliche Betriebszeit Linien 1 und 2 jeweils 7.924 h

1. Massenbilanzen (gesamt)

1.1	Müllmenge	135.345	t_M
1.2	Dampfmenge	405.545	t_D
1.3	Rückstandsmenge	5.163	t_R
1.3.1	Durchschnittliche spezifische Rückstandsmenge pro Tonne Müll $(1.3 \div 1.1)$	38,1	$\frac{kg_R}{t_M}$
1.3.2	Prozentuale durchschnittliche spezifische Rückstandsmenge pro Tonne Müll $(1.3 \div 1.1) * 100 [\%]$	3,81	$\%$
1.3.3	Durchschnittlicher Massenstrom Rückstand $(1.3 \div h)$	651,6	$\frac{kg_R}{h}$
1.4	Ammoniakwasser-Menge	530.466	l
1.4.1	Durchschnittliche spezifische Ammoniakwasser-Menge pro Tonne Müll $(1.4 \div 1.1)^{1)}$	3,92	$\frac{l}{t_M}$
1.4.2	Durchschnittlicher Volumenstrom Ammoniakwasser $(1.4 \div h)^{1)}$	66,9	$\frac{l}{h}$

2. Energiebilanzen / Energieeffizienz (gesamt)

2.1	Feuerungs-Wärme-Arbeit	401.899	$MWh_{th.}$
2.2	Durchschnittliche spezifische Dampfmenge pro Feuerungs-Wärme-Arbeit $(1.2 \div 2.1)$	1,01	$\frac{t_D}{MWh_{th.}}$
2.3	Brutto-Strom-Erzeugung	55.691	$MWh_{el.}$
2.3.1	Spezifische Brutto-Strom-Erzeugung $(2.3 \div 2.1)$	0,139	$\frac{MWh_{el.}}{MWh_{th.}}$
2.3.2	Wirkungsgrad Brutto-Strom-Erzeugung (%) $(2.3 \div 2.1) * 100 [\%]$	13,9	$\%$
2.4	E-Eigenverbrauch	14.153	$MWh_{el.}$
2.4.1	Spezifischer E-Eigenverbrauch $(2.4 \div 2.1)$	0,035	$\frac{MWh_{el.}}{MWh_{th.}}$

2.5	Netto-Strom-Abgabe	41.619	MWh _{el.}
2.5.1	Spezifische Netto-Strom-Abgabe (2.5 ÷ 2.1)	0,104	$\frac{\text{MWh}_{\text{el.}}}{\text{MWh}_{\text{th.}}}$
2.5.2	Wirkungsgrad Netto-Strom-Abgabe (%) (2.5 ÷ 2.1) *100 [%]	10,4	%
2.6	Netto-Wärme-Abgabe	86.152	MWh _{th.}
2.6.1	Spezifische Netto-Wärme-Abgabe (2.6 ÷ 2.1)	0,214	$\frac{\text{MWh}_{\text{th.}}}{\text{MWh}_{\text{th.}}}$
2.6.2	Wirkungsgrad Netto-Wärme-Abgabe (%) (2.6 ÷ 2.1) *100 [%]	21,4	%
2.7	Netto-Strom- und Wärme-Abgabe (2.5 + 2.6)	127.771	MWh _{el.+th.}
2.7.1	Spezifische Netto-Strom- und Wärme-Abgabe (2.7 ÷ 2.1)	0,318	$\frac{\text{MWh}_{\text{el.+th.}}}{\text{MWh}_{\text{th.}}}$
2.7.2	Wirkungsgrad Netto-Strom- und Wärme-Abgabe (%) (2.7 ÷ 2.1) *100 [%]	31,8	%

I / 2010 Konventioneller Betrieb

Betriebszeit (h) - durchschnittliche Betriebszeit Linien 1 und 2 jeweils 8.172 h

1. Massenbilanzen (gesamt)

1.1	Müllmenge	139.113	t _M
1.2	Dampfmenge	409.973	t _D
1.3	Rückstandsmenge	5.482	t _R
1.3.1	Durchschnittliche spezifische Rückstandsmenge pro Tonne Müll (1.3 ÷ 1.1)	39,4	$\frac{\text{kg}_R}{t_M}$
1.3.2	Prozentuale durchschnittliche spezifische Rückstandsmenge pro Tonne Müll (1.3 ÷ 1.1) * 100 [%]	3,94	%
1.3.3	Durchschnittlicher Massenstrom Rückstand (1.3 ÷ h)	670,8	$\frac{\text{kg}_R}{h}$
1.4	Ammoniakwasser-Menge	426.787	l
1.4.1	Durchschnittliche spezifische Ammoniakwasser-Menge pro Tonne Müll (1.4 ÷ 1.1)	3,07	$\frac{l}{t_M}$
1.4.2	Durchschnittlicher Volumenstrom Ammoniakwasser (1.4 ÷ h)	52,2	$\frac{l}{h}$

2. Energiebilanzen / Energieeffizienz (gesamt)

2.1	Feuerungs-Wärme-Arbeit	402.848	MWh _{th.}
2.2	Durchschnittliche spezifische Dampfmenge pro Feuerungs-Wärme-Arbeit (1.2 ÷ 2.1)	1,02	$\frac{t_D}{\text{MWh}_{th.}}$
2.3	Brutto-Strom-Erzeugung	54.134	MWh _{el.}
	2.3.1 Spezifische Brutto-Strom-Erzeugung (2.3 ÷ 2.1)	0,134	$\frac{\text{MWh}_{el.}}{\text{MWh}_{th.}}$
	2.3.2 Wirkungsgrad Brutto-Strom-Erzeugung (%) (2.3 ÷ 2.1) *100 [%]	13,4	%
2.4	E-Eigenverbrauch	14.246	MWh _{el.}
	2.4.1 Spezifischer E-Eigenverbrauch (2.4 ÷ 2.1)	0,035	$\frac{\text{MWh}_{el.}}{\text{MWh}_{th.}}$
2.5	Netto-Strom-Abgabe	39.973	MWh _{el.}
	2.5.1 Spezifische Netto-Strom-Abgabe (2.5 ÷ 2.1)	0,099	$\frac{\text{MWh}_{el.}}{\text{MWh}_{th.}}$
	2.5.2 Wirkungsgrad Netto-Strom-Abgabe (%) (2.5 ÷ 2.1) *100 [%]	9,9	%
2.6	Netto-Wärme-Abgabe	94.272	MWh _{th.}
	2.6.1 Spezifische Netto-Wärme-Abgabe (2.6 ÷ 2.1)	0,234	$\frac{\text{MWh}_{th.}}{\text{MWh}_{th.}}$
	2.6.2 Wirkungsgrad Netto-Wärme-Abgabe (%) (2.6 ÷ 2.1) *100 [%]	23,4	%
2.7	Netto-Strom- und Wärme-Abgabe (2.5 + 2.6)	134.245	MWh _{el.+th.}
	2.7.1 Spezifische Netto-Strom- und Wärme-Abgabe (2.7 ÷ 2.1)	0,333	$\frac{\text{MWh}_{el.+th.}}{\text{MWh}_{th.}}$
	2.7.2 Wirkungsgrad Netto-Strom- und Wärme-Abgabe (%) (2.7 ÷ 2.1) *100 [%]	33,3	%

II Zeitraum 2011 - 2012

VLN-Betrieb Linie 1 und konventioneller Betrieb Linie 2

Betriebszeit (h) Linien 1 und 2 jeweils 5.400 h

1. A Massenbilanzen (gesamt)

1.1 Müllmenge	90.554 t _M
1.2 Dampfmenge	262.879 t _D
1.3 Rückstandsmenge ²⁾	3.577 t _R
1.3.1 Durchschnittliche spezifische Rückstandsmenge pro Tonne Müll (1.3 ÷ 1.1)	39,5 $\frac{\text{kg}_R}{t_M}$
1.3.2 Prozentuale durchschnittliche spezifische Rückstandsmenge pro Tonne Müll (1.3 ÷ 1.1) * 100 [%]	3,95 %
1.3.3 Durchschnittlicher Massenstrom Rückstand (1.3 ÷ h)	662,4 $\frac{\text{kg}_R}{h}$
1.4 Ammoniakwasser-Menge	274.758 l
1.4.1 Durchschnittliche spezifische Ammoniakwasser-Menge pro Tonne Müll (1.4 ÷ 1.1)	2,96 $\frac{l}{t_M}$
1.4.2 Durchschnittlicher Volumenstrom Ammoniakwasser (1.4 ÷ h)	50,9 $\frac{l}{h}$

1. B Massenbilanzen VLN-Betrieb Linie 1

1.1 Müllmenge	46.798 t _M
1.2 Dampfmenge	132.756 t _D
1.3 Kesselasche-Rezirkulations-Menge ²⁾	586.312 kg _{KA}
1.3.1 Durchschnittliche spezifische Kesselasche-Rezirkulations-Menge pro Tonne Müll (1.3 ÷ 1.1)	12,5 $\frac{\text{kg}_{KA}}{t_M}$
1.3.2 Prozentuale durchschnittliche spezifische Kesselasche-Rezirkulations-Menge pro Tonne Müll (1.3 ÷ 1.1) * 100 [%]	1,25 %
1.3.3 Durchschnittlicher Massenstrom rezirkulierende Kesselasche (1.3 ÷ h)	108,6 $\frac{\text{kg}_{KA}}{h}$
1.4 Ammoniakwasser-Menge	160.546 l
1.4.1 Spezifische Ammoniakwasser-Menge pro Tonne Müll (1.4 ÷ 1.1) ^{3) 4)}	3,43 $\frac{l}{t_M}$
1.4.2 Durchschnittlicher Volumenstrom Ammoniakwasser (1.4 ÷ h)	29,7 $\frac{l}{h}$

1. C Massenbilanzen konventioneller Betrieb Linie 2

1.1 Müllmenge	43.756 t _M
1.2 Dampfmenge	130.123 t _D
1.3 Ammoniakwasser-Menge	114.212 l
1.3.1 Spezifische Ammoniakwasser-Menge pro Tonne Müll (1.3 ÷ 1.1)	$2,61 \frac{l}{t_M}$
1.3.2 Durchschnittlicher Volumenstrom Ammoniakwasser (1.3 ÷ h)	$21,2 \frac{l}{h}$

2. Energiebilanzen / Energieeffizienz (gesamt)

2.1 Feuerungs-Wärme-Arbeit	257.576 MWh _{th.}
2.2 Durchschnittliche spezifische Dampfmenge pro Feuerungs-Wärme-Arbeit (1.2 (II. 1.) ÷ 2.1)	$1,02 \frac{t_D}{MWh_{th.}}$
2.3 Brutto-Strom-Erzeugung ⁵⁾	35.752 MWh _{el.}
2.3.1 Spezifische-Brutto-Strom-Erzeugung ⁵⁾ (2.3 ÷ 2.1)	$0,139 \frac{MWh_{el.}}{MWh_{th.}}$
2.3.2 Wirkungsgrad Brutto-Strom-Erzeugung (%) ⁵⁾ (2.3 ÷ 2.1) *100 [%]	13,9 %
2.4 E-Eigenverbrauch	9.089 MWh _{el.}
2.4.1 Spezifischer E-Eigenverbrauch (2.4 ÷ 2.1)	$0,035 \frac{MWh_{el.}}{MWh_{th.}}$
2.5 Netto-Strom-Abgabe	26.664 MWh _{el.}
2.5.1 Spezifische Netto-Strom-Abgabe (2.5 ÷ 2.1)	$0,104 \frac{MWh_{el.}}{MWh_{th.}}$
2.5.2 Wirkungsgrad Netto-Strom-Erzeugung (%) (2.5 ÷ 2.1) *100 [%]	10,4 %
2.6 Netto-Wärme-Abgabe	67.140 MWh _{th.}
2.6.1 Spezifische Netto-Wärme-Abgabe (2.6 ÷ 2.1)	$0,261 \frac{MWh_{el.}}{MWh_{th.}}$
2.6.2 Wirkungsgrad Netto-Wärme-Abgabe (%) (2.6 ÷ 2.1) *100 [%]	26,1 %
2.7 Netto-Strom- und Wärme-Abgabe (2.5 + 2.6)	93.804 MWh _{el.+th.}

2.7.1 Spezifische Netto-Strom- und Wärme-Abgabe

(2.7 ÷ 2.1)

$$0,364 \frac{\text{MWh}_{\text{el.}+\text{th.}}}{\text{MWh}_{\text{th.}}}$$

2.7.2 Wirkungsgrad Netto-Strom- und Wärme-Abgabe (%)

(2.7 ÷ 2.1) *100 [%]

36,4 %

III Zeitraum Februar bis April 2013 ⁴⁾

VLN-Betrieb Linie 1 und konventioneller Betrieb Linie 2

Betriebszeit (h) der Linien 1 und 2

Linie 1: 1.547 h

Linie 2: 1.559 h

1. A Massenbilanzen VLN-Betrieb Linie 1

1.1 Müllmenge

14.772 t_M

1.2 Ammoniakwasser-Menge

34.034 l

1.2.1 Spezifische Ammoniakwasser-Menge pro Tonne Müll ^{3) 4)}

(1.2 ÷ 1.1)

$$2,30 \frac{\text{l}}{\text{t}_\text{M}}$$

1.2.2 Durchschnittlicher Volumenstrom Ammoniakwasser

(1.2 ÷ h)

$$22,0 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

1. B Massenbilanzen konventioneller Betrieb Linie 2

1.1 Müllmenge

13.995 t_M

1.2 Ammoniakwasser-Menge

35.812 l

1.2.1 Spezifische Ammoniakwasser-Menge pro Tonne Müll

(1.2 ÷ 1.1)

$$2,56 \frac{\text{l}}{\text{t}_\text{M}}$$

1.2.2 Durchschnittlicher Volumenstrom Ammoniakwasser

(1.2 ÷ h)

$$23,0 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

Legende

Indizes

M = Müll

D = Dampf

R = Rückstand

KA = Kesselasche

¹⁾ Höherer Verbrauch an Ammoniakwasser aufgrund der Durchführung der Messkampagne der MARTIN GmbH zum Vergleich der Druckluft- und Wasser- SNCR an der Linie 2.

²⁾ Grundsätzlich erfolgte die Asche-Rezyklierung mittels Container-Betrieb (Not-Entaschung). Etwa 50 % der anfallenden Aschemenge vor dem Umbau von Linie 1 auf den VLN-Betrieb wurde direkt über den Kessel mit in die Schlacke gefördert (Aschemenge vom 2. und 3. Strahlungszug). Deshalb ist auch nur ca. 50 % der anfallenden Aschemenge für die Betrachtung der Asche-Rezyklierung bzw. der Rückstandsmenge relevant. Sonstige Abweichungen liegen in der Toleranz des Müllinputs.

³⁾ Sollwerte NO_x im Reingas:

Linie 1:	ca. 80 mg/m ³ _{tr.}
Linie 2:	ca. 180 mg/m ³ _{tr.}

⁴⁾ Im Januar 2013 wurde die Regelung der SNCR-Anlage an der Linie 1 durch die MARTIN GmbH optimiert. Aus diesem Grund wurden die entsprechenden Massenbilanzen für den Zeitraum Februar bis April 2013 für die Linien 1 und 2 vorstehend zusammengestellt. Der zu hohe spezifische Ammoniakwasser-Verbrauch von 3,43 l/t_M (II1.B) wegen nicht optimaler Einstellung der SNCR-Anlage, sowie durch Störungen an vorstehend genannter Anlage wurde auf 2,30 l/t_M (III 1. A) abgesenkt (nach der Optimierung ist der Wert im plausiblen Bereich).

⁵⁾ Aufgrund der längeren Revision an der Turbine 1 durch Fa. BBS (Wiederinbetriebnahme der Turbine 1 erst am 07.10.2011) ergibt sich für den betrachteten Zeitraum (II) von ca. 5.400 Bh eine ca. 380 MWh geringere Brutto-Strom-Erzeugung. Auf ca. 8.000 Bh hochgerechnet wäre eine Mehr-Strom-Erzeugung von ca. 560 MWh möglich gewesen.