Gemeinschaftskraftwerk
Schweinfurt GmbH
GKS Ÿ Hafenstraße 30 Ÿ 97424 Schweinfurt

VDI Wissensforum

Grenzen der SNCR „ohne“ Zusatzmaßnahmen in MVA

- Versuche zur Anpassung einer „200 mg/m³-SNCR“ an niedrigere NO_x-Reingaswerte -

Von:
Volker Müller, GKS, Schweinfurt
Dr. Ragnar Warnecke, GKS, Schweinfurt

VDI Wissensforum:

Inhalt

1 Einleitung und Zielsetzung ... 3
2 Ist-Stand (NO_x-Grenzwert 200 mg/m³) ... 4
2.1 Feuerung / Kessel ... 4
2.2 SNCR-Anlage im GKS ... 5
2.3 Betriebsmitteldosierung ... 6
2.4 Regelungskonzept ... 9
3 Tagesmittelwert 100 mg/m³ ... 12
3.1 Neue NO_x-Grenzwerte in der 17. BImSchV ... 13
3.2 Grenzkriterien an der Anlage und Entsorgung ... 15
3.3 „Aufbohren“ der Sensorik ... 17
3.3.1 Möglichkeiten der Temperaturmessung ... 18
3.3.2 Sensorik im GKS ... 19
3.4 Regelungskonzept ... 20
3.4.1 Regelung Reingassollwert ... 21
3.4.2 Reduktionsmittel-Dosierung ... 21
3.4.3 Düsensteuerung ... 22
3.4.4 Schlupfregelung ... 24
3.4.5 Maßnahmen Rauchgasreinigung ... 26
4 Betriebserfahrungen ... 28
4.1 Auswirkungen auf die Rückstände ... 31
4.2 Regelverhalten ... 33
4.3 Kosten ... 41
5 Zusammenfassung ... 43

1 Einleitung und Zielsetzung

Die GKS – Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt GmbH (GKS) betreibt im Grundlastwerk zwei Kohlekesselanlagen (IBS 1990) und drei Müllkesselanlagen (IBS 1994). Aufgabe der GKS ist es, die Fernwärmeversorgung von drei Großbetrieben und der Stadt Schweinfurt sicherzustellen. Das Kraftwerk (Kohle und Müll) wird kraftwärmegekoppelt betrieben. Im Kohlekraftwerk wird deutsche Nusskohle als Primärenergieträger eingesetzt. In den Abfallbehandlungsanlagen (MVA) wird der aus ca. zu 85% Restmüll und 15 % haushaltsähnlichem Gewerbemüll bestehende Abfall thermisch behandelt.

Ziel der aktuellen Versuche ist es aufzuzeigen, ob und mit welchen Zusatzmaßnahmen eine Absenkung des NO_x-Reingaswertes mittels der SNCR-Technik für die im GKS vorherrschenden Randbedingungen möglich ist. Wesentlich ist hierbei auf kostenintensive Maßnahmen im Bereich der Rauchgasreinigung (z.B. Strippung oder High-Dust-Katalysator) zu verzichten.

2 Ist-Stand (NO_x-Grenzwert 200 mg/m³)

Im Zuge der Detailplanung des Müllteiles wurde die 17. BImSchV veröffentlicht. Auf Grund dessen wurden die Rauchgasreinigung und die Kesselanlagen im Rahmen eines Nachtrages auf die 17. BImSchV „getrimmt“. Im Bereich der Rauchgasreinigung wurde anstatt des ursprünglich geplanten Elektrofilters ein Gewebefilter eingesetzt. Weiterhin wurde eine HOK-Dosierung zur PCDD/PCDF-Senke vorgesehen. Auf der Kesselseite wurde das Zustellkonzept des Feuerfestsystems an die geforderten Verweilzeitbedingungen angepasst. Eine Entstickungsanlage wurde in diesem Nachtrag nicht berücksichtigt. In Abstimmung mit der Genehmigungsbehörde sollten die primärseitig getroffenen Maßnahmen (Rauchgasrezirkulation, unterstöchiometrische Verbrennung im rostnahen Bereich durch O_2-reduzierte Fahrweise) genügen, um NO_x-Werte von 280 mg/m³ (umgerechnet auf 11 Vol% O_2) zu erreichen.

Eine sekundäre Entstickungseinrichtung (SNCR-Technologie) sollte bis 1996 geplant und eingebaut werden.

2.1 Feuerung / Kessel

Die MV-Anlagen im GKS bestehen jeweils aus luftgekühlten Vorschubrostrosten mit 5 Unterwindzonen und 4 luftgekühlten Seitenwänden (Noell Feuerungssystem). Die Geometrie des Feuerraumes entspricht mehr einer Gegenstrom- als einer Mittelstromfeuerung. Der aufgesetzte 4-zug Vertikalkessel wird mit Frischdampfparametern von 65 bar und 435 °C betrieben.

Diese Geometrie und Feuerführung ermöglichte in Verbindung mit einer Rauchgasrezirkulation auf Grund der gestuften Verbrennungsluftführung die o.g. NO_x-Reingaswerte von 280 mg/m³ in den ersten Betriebsjahren einzuhalten. Hierbei war auf Grund der nicht vorhandenen Ausreinigungsstufe für den Schadstoff NO_x eine Verdünnungsrechnung auf den Bezugssauerstoffgehalt von 11 Vol. % möglich - und erforderlich.

2.2 SNCR-Anlage im GKS

Die Installation der SNCR-Anlage erfolgte nach entsprechender Ausschreibung und genehmigungsrechtlichem Verfahren durch die Fa. Noell, Würzburg.

Die verfahrenstechnischen Hauptkomponenten der SNCR-Anlage sind nach damaligem und heutigem Stand der Technik die Reduktionsmittellagerung und die linienzugeordnete Reduktionsmitteldosierung. Als Reduktionsmittel wird Ammoniakwasser mit 25 Gew.% eingesetzt.

Die SNCR-Anlage im GKS unterscheidet sich gegenüber den sonst üblichen Anlagen im Wesentlichen im Bereich der Lagertechnik (primärer EX-Schutz) und der Eindüstechnik im ersten Kesselzug.

Unter primärerem EX-Schutz ist zu verstehen, dass alle elektrischen Einrichtungen innerhalb des Tankaufstellungsraumes bei Überschreitung des NH_3-Gehaltes von > 15.000 ppm (= UEG) in der Atmosphäre die Anlage stromlos geschaltet wird. Vorgeschaltet erfolgt bei 400 und 800 ppm eine optische und akustische Alarmierung.

Die gleichmäßige Bereitstellung von NH_3-Wasser für die den Linien zugeordneten Dosierpumpen erfolgt über eine im Tankaufstellungsraum installierte Kreislaufpumpenstation.

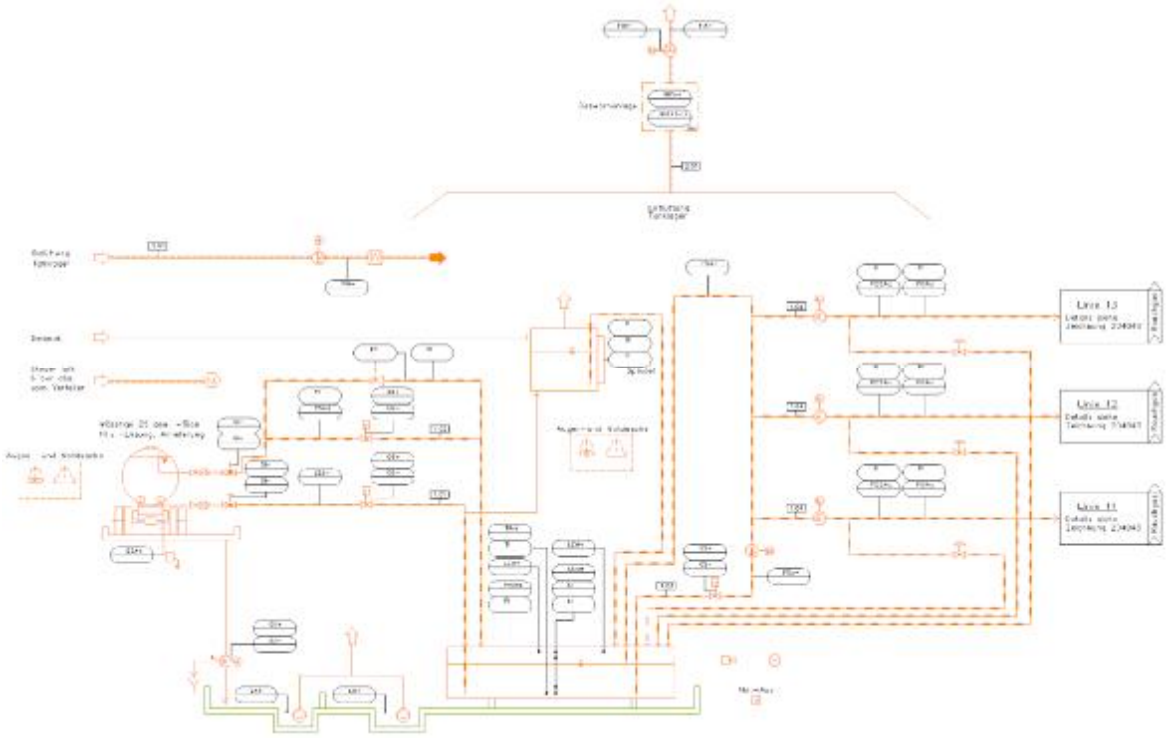


Abbildung 1: V-Schema Tanklager

Die Reduktionsmittelmenge wird über die frequenzgeregelten Dosierpumpen bedarfsgerecht bereitgestellt.

2.3 Betriebsmitteldosierung

Die Eindüsung des NH_3-Wassers erfolgt auf nur einer Ebene in den 1. Kesselzug.

Die Düsenebene befindet sich auf +22 m Gebäudehöhe bzw. 15,5 m oberhalb des Verbrennungsrostes ( ).

Auf Grund der axial schwenkbaren Düsen ist eine 2. oder gar 3. Eindüsebene zur Erreichung des optimalen Temperaturfensters nicht erforderlich. Weiterhin kann durch die axial schwenkbaren Düsen das optimale Temperaturfenster über die gesamte Reisezeit und über den üblichen Lastbereich der Anlage erreicht werden.

Die Ansteuerung der Düsen erfolgte über einen in der Leittechnik hinterlegten Polygonzug der über die Kesseleintrittstemperatur ( ) bestimmt wird.

Um einer mechanischen Blockade der Düsenschutzrohre entgegenzuwirken werden alle vier Düsen bei jeden Rußblasezyklus durch den gesamten Schwenkbereich gefahren (+30° bis – 30°).

Die Höhenlage der Eindüsebene wurde, wie generell üblich, über Temperatur-Netzmessungen ermittelt.

Weiterhin waren aus den Betriebsjahren vor Installation der SNCR Anlage eine ausreichend große Datenbasis von unbeeinflussten NO_x-Werten vorhanden, sodass man von einem Rohgas-NO_x von 350 mg/m³ (Auslegung der Anlage auf 400 mg/m³) ausgehen konnte. Dieser NO_x-Rohgaswert machte für die Einhaltung des 200 mg Grenzwertes lediglich eine Reduktionsrate von 50 % erforderlich.

Abbildung 2: Anordnung der Eindüsebene

Die Dosierlanzen arbeiten als Zweistoffdüsen mit Gegendruckdampf (2,0 bar_u, ca. 180 °C vor Düse) als Treibmittel. Da die Treib- oder Zerstäuberdampfmenge über den gesamten Lastbereich konstant gehalten wird, muss lediglich die NH_3-Wassermenge abhängig vom eingestellten NO_x-Reingaswert variiert werden.

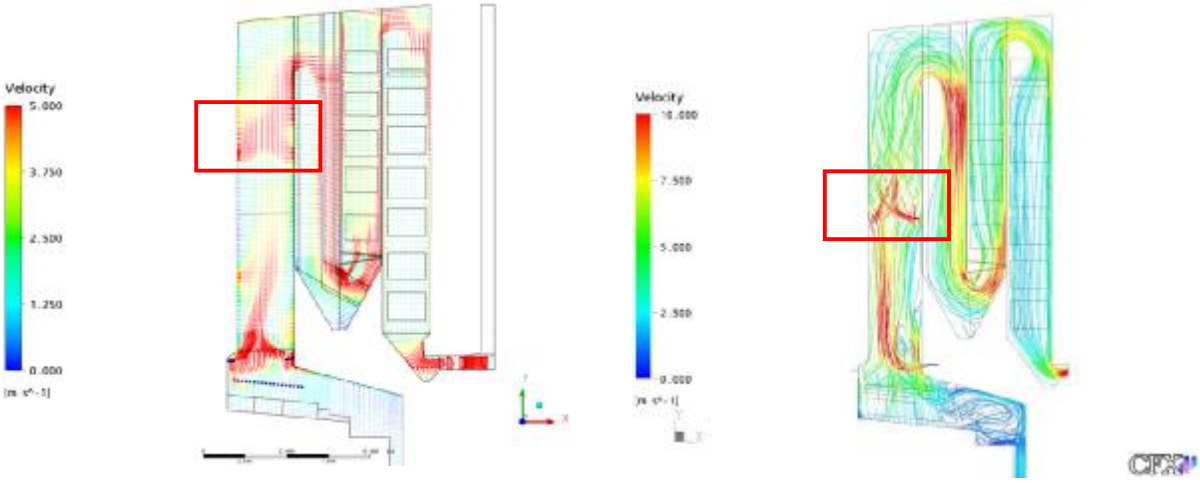


Abbildung 3: CFD-Simulation Geschwindigkeiten; Lage der Eindüsebene

In der Abbildung 3 wird in einer CFD Simulation die Wirkung der Zweistoffdüsen dargestellt. Anhand beider Bilder ist eindeutig die durchmischende Wirkung der Zweistoffdüsen zu erkennen. Der deutliche Geschwindigkeitszuwachs im unmittelbaren Eindüsbereich stellt eine optimale Durchmischung und damit verbundene optimale Reaktionspotentiale für den Entstickungsprozess sicher.

Abbildung 4 zeigt die Ammoniakwasserverteilung auf die vier Düsen je Kessel und eine Düse mit integriertem Schwenkantrieb.

Abbildung 4: örtliche NH_3-Wasserverteiler und Düse mit Schwenkantrieb

Abbildung 5 bildet zur Vervollständigung das R&I Schema der Reduktionsmitteleindüsung einschließlich des Zerstäuberdampf-Systems ab.

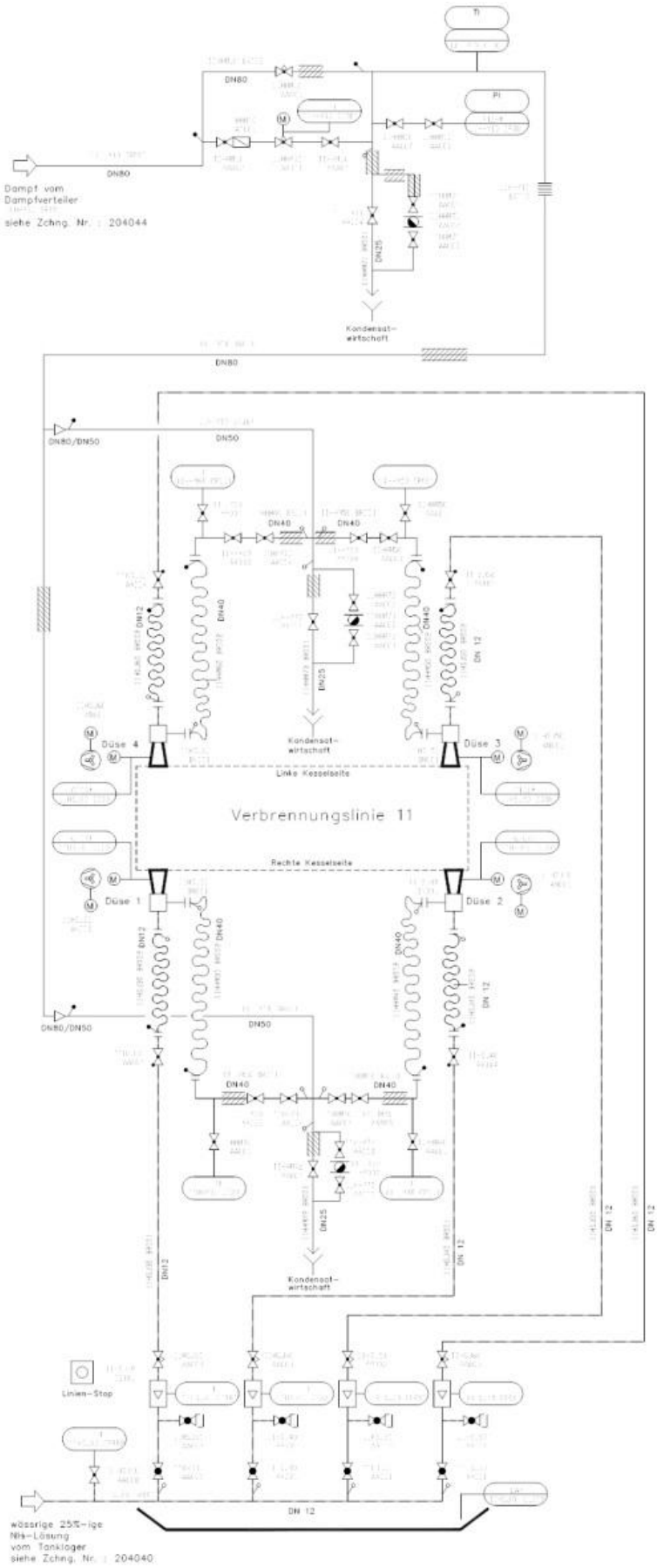


Abbildung 5: R&I Schema Eindüsung

2.4 Regelungskonzept

Das bei allen drei Linien zu Grunde liegende ursprüngliche Regelungskonzept berücksichtigt nachstehende Eckpunkte.

Die Dosierpumpen erhalten die Vorgabe einer Grundlastmenge des NH_3-Wasser als Basiswert. Als Störgröße wird der NO_x Reingaswertes aufschaltet. Es erfolgt keine Tages- bzw. ½ Std.-Mittelwertbildung sondern es wird nur auf den als Sollwert vorgegebenen NO_x Reingaswert als Momentanwert geregelt. Der Sollwert ist im Normalfall auf 180 mg/m³ eingestellt. Sofern ggf. durch einen Ausfall der Dosierpumpen ein „Nachfahren“ erforderlich wird, ist der Sollwert entsprechend anzupassen.

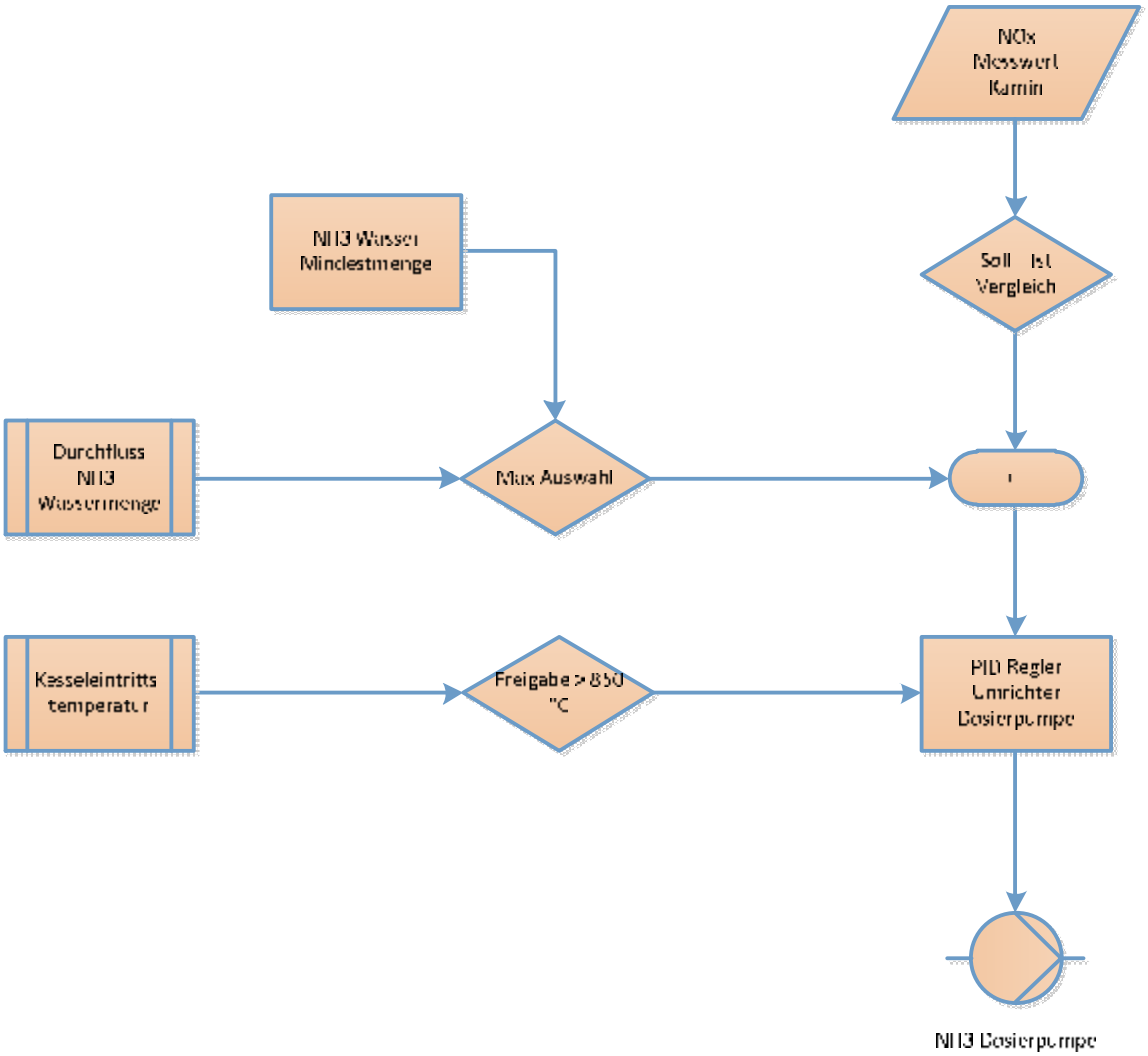


Abbildung 6: Funktionsschema Bestand (NH3-Wasser)

Die Neigung der SNCR-Düsen wird über die Temperaturmessung „Kesseleintritt“ mittels eines hinterlegten Polygonzuges ermittelt (s. Abbildung 8 und 9). Die Sensorik ist eine CO_2-selektive Strahlung-Pyrometer-Messung, die bedingt durch das Messprinzip in die-

sem Temperaturbereich ca. 50 K mehr anzeigen als ein konventionelles Thermoelement. Weiterhin ist die Messung in ihrem Ansprechverhalten deutlich schneller als ein Thermoelement.

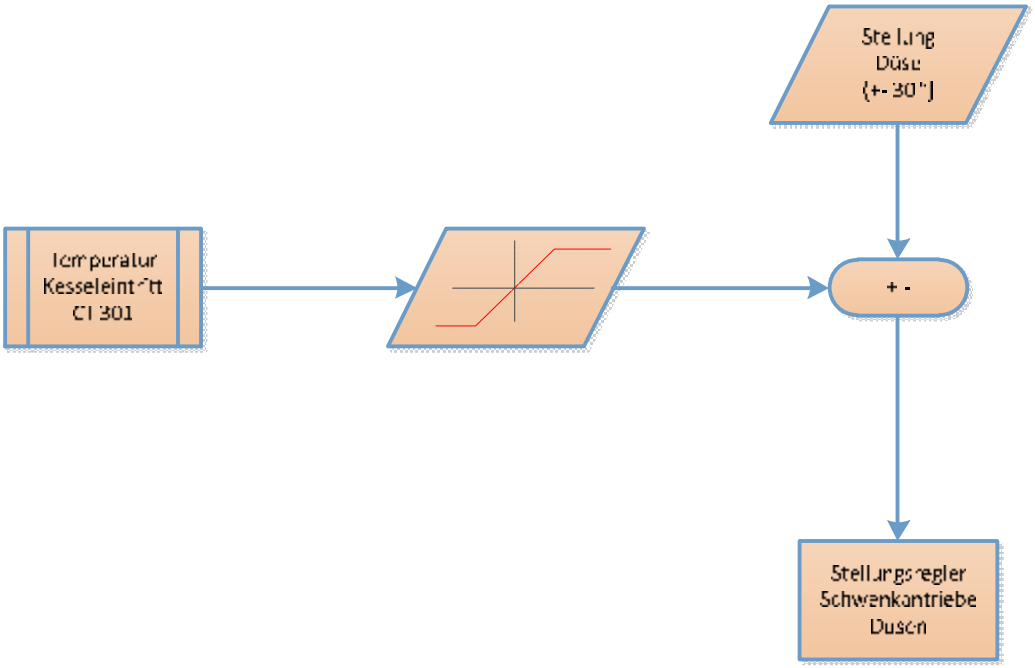


Abbildung 7: Funktionsschema Bestand (Düsensteuerung)

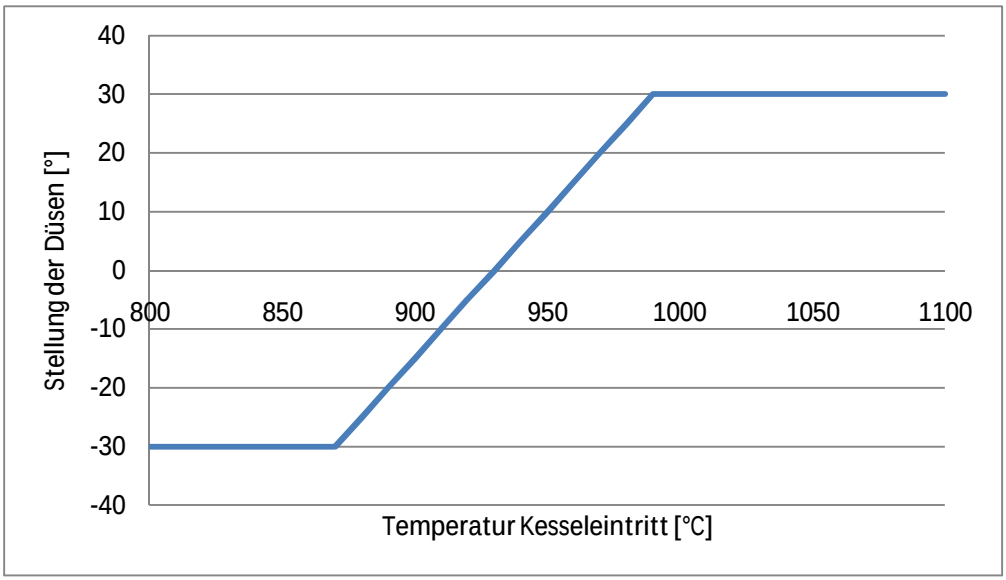


Abbildung 8: Polygonzug Düsensteuerung

Um das Gesamtsystem für die betrieblichen Belange („ruhiges“ Regelverhalten) einzustellen wurde das Ansprechverhalten der Pyrometermessung durch eine Totzeit von 180 s gedämpft. Für die Dosierpumpe ist der Verstärkungsfaktor am Ausgang des PI-Reglers ebenfalls sehr klein eingestellt.

Mit diesem einfachen Regelungskonzept ist es ohne Schwierigkeiten möglich den Tagesmittelwert von 200 mg/m³ einzuhalten.

In Abbildung 9 sind in einer Häufigkeitsverteilung alle ½ Stundenmittelwerte der Jahres 2010 von allen drei Linien dargestellt.

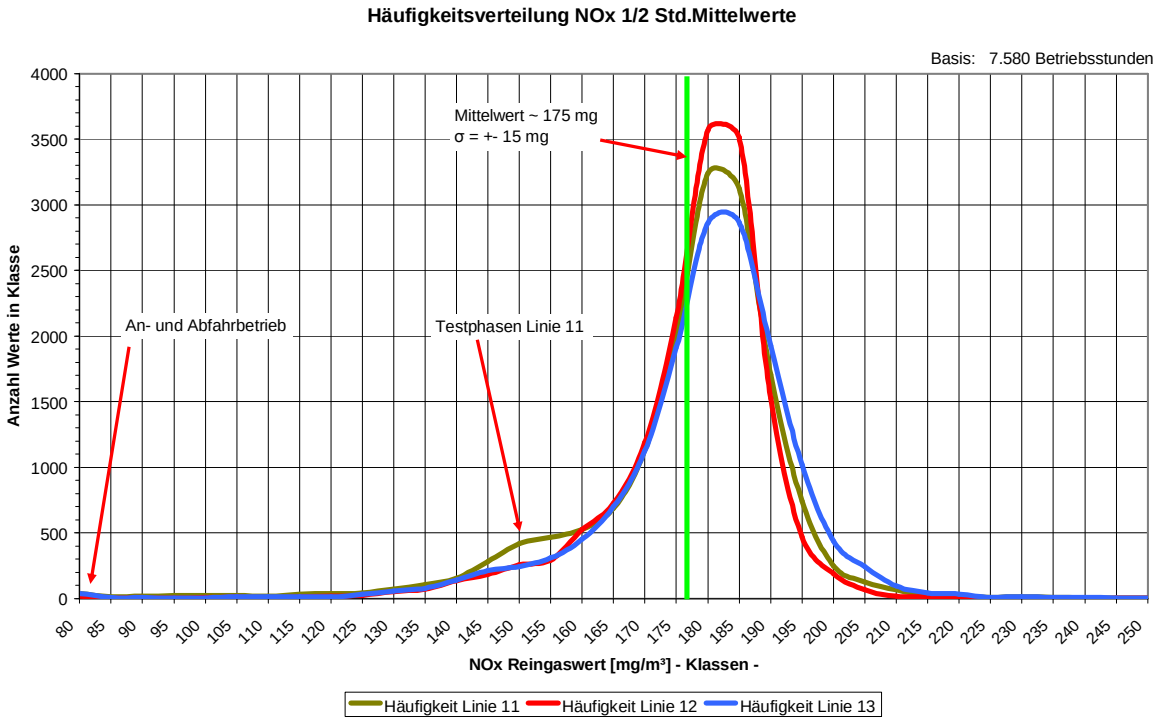


Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung der ½ Stundenmittelwerte der NO_x-Reingaswerte des Jahres 2010

Der erreichte Mittelwert über alle drei Linien liegt bei 175 mg/m³. Der Sollwert liegt bei 180 mg/m³. Die Jahresdurchschnitte der letzten drei Betriebsjahre sind nachfolgend aufgeführt.

Tabelle 1: Jahresmittelwerte NOx Reingaswerte [mg/m³]

	Linie 11	Linie 12	Linie 13
2010	174,14	175,12	176,71
2009	173,90	175,20	178,70
2008	177,40	176,70	177,40

3 Tagesmittelwert 100 mg/m³

Ab 2013 gelten für neue Anlagen mit einer Brennstoffwärmeleistung >50 MW neue NO_x-Grenzwerte (s. Kapitel 3.1)

In Tabelle 2 sind für verschiedene Rohgaswerte (jeweils bei Betriebs-O_2) die jeweiligen Reingaswerte aufgeführt. Hierbei sind die unterschiedlichen Handhabungen im nationalen Recht bemerkenswert. Einige unserer europäischen Nachbarn (z.B. Niederlande) dürfen trotz einer Reinigungsstufe für die Schadstoffkomponente eine Verdünnungsrechnung durchführen. Werden die Reingaskonzentrationen mit diesen Ländern verglichen, so ist (zumindest im Hinterkopf) bei den Konzentrationen der „Verdünnungsrechner“ ein Zuschlag von 20 – 30 % (je nach Betriebs-O_2-Gehalt) zu machen um die Konzentration auf das bundesdeutsche Niveau der 17. BImSchV zu bringen.

In den beiden rechten Spalten ist die erforderliche Entstickungsrate für einen Grenzwert von 200 mg/m³ und 100 mg/m³ ausgehend von der jeweiligen Rohgaskonzentration aufgeführt.

Tabelle 2: Rohgas- / Reingas NOx-Werte mit und ohne O2 Bezug

Rohgas NOx bei Betriebs-O2 [mg/m³ iN, tr.] = Reingas Nox-Konzentration nach 17. BimSchV	Andere EU-Länder (z.B. NL) oder Anlagen ohne Reinigungsstufe				Sollwert NOx [mg/m³]	
	Verdünnungsrechnung erlaubt				200	100
O2 Betrieb [Vol.%]	6,0	7,0	8,0		Beispiel Betriebs-O2 am Kamin: 8,0 Vol% O2	
Rohgas NOx bei Betriebs-O2 [mg/m³ iN, tr.]	[mg/m³ iN, tr.]				Reduktionsrate auf Grenzwert	Reduktionsrate auf Grenzwert
80	53	57	62		-	-
100	67	71	77		-	-
120	80	86	92		-	17%
140	93	100	108		-	29%
160	107	114	123		-	38%
180	120	129	138		-	44%
200	133	143	154		-	50%
220	147	157	169		9%	55%
240	160	171	185		17%	58%
260	173	186	200		23%	62%
280	187	200	215		29%	64%
300	200	214	231		33%	67%
320	213	229	246		38%	69%
340	227	243	262		41%	71%
350	233	250	269		43%	71%
360	240	257	277		44%	72%
380	253	271	292		47%	74%
400	267	286	308		50%	75%
420	280	300	323		52%	76%
440	293	314	338		55%	77%
460	307	329	354		57%	78%
480	320	343	369		58%	79%
500	333	357	385		60%	80%

3.1 Neue NO_x-Grenzwerte in der 17. BImSchV

Die Anpassung der 17. BImSchV vom 27.01.2009 wird neben den bisherigen 200 mg/m³ als Tagesmittewert bzw. 400 mg/m³ als ½ Std-Mittelwert in der Art für Neuanlagen ergänzt, dass

> *„kein Jahresmittelwert folgende Emissionswerte überschreitet:*
>
> *Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid, angegeben als Stickstoffdioxid, ab einer Feuerungswärmeleistung von mehr als 50 MW 100 mg/m³.“*

Diese Novelle der 17. BImSchV soll der Umsetzung der Anforderungen der EU-Richtlinie 2000/76/EG über die Verbrennung von Abfällen in nationales Recht dienen.

Wenn ein Jahresmittelwert eingehalten werden muss, der kleiner als der zulässige Tagesmittelwert ist, heißt dieses im Umkehrschluss, dass der Jahresmittelwert vorsichtshalber jeden Tag eingehalten werden sollte, um den Jahresmittelwert gesichert einhalten zu können. Ausfallzeiten der Entstickungseinrichtung müssen somit (wie bisher auch) entsprechend nachgefahren werden.

Weiterhin werden Bestandsanlagen die eine „wesentliche“ Änderung erfahren unter diese Regelung fallen.

§ 17a Übergangsregelungen für die Einhaltung von Jahresmittelwerten

(1) Die Forderungen zur Einhaltung von Jahresmittelwerten für Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid, angegeben als Stickstoffdioxid, sowie die Anforderungen nach § 14a gelten für Anlagen, die nach dem 31. Dezember 2012 in Betrieb gehen.
(2) Wird eine Anlage nach dem 31. Dezember 2012 wesentlich geändert, gelten die Forderungen zur Einhaltung von Jahresmittelwerten für Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid, angegeben als Stickstoffdioxid, sowie die Anforderungen nach § 14a entsprechend für die Anlagenteile und Verfahrensschritte, die geändert werden sollen, sowie für die Anlagenteile und Verfahrensschritte, auf die sich die Änderung auswirken wird.
(3) Abweichend von Absatz 1 gelten die Forderungen zur Einhaltung von Jahresmittelwerten für Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid, angegeben als Stickstoffdioxid, sowie die Anforderungen nach § 14a nicht für Anlagen,

1. für die bis zum 31. Dezember 2010 ein vollständiger Genehmigungsantrag zur Errichtung und zum Betrieb nach § 4 oder § 16 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes gestellt worden ist oder mit deren Errichtung vor dem 31. Dezember 2011 begonnen worden ist, und
2. die den Betrieb vor dem 31. Dezember 2013 aufgenommen haben.

Abbildung 10: 17. BImSchV ab 2013 (Quelle: BM Justiz)

Was ist unter einer wesentlichen Änderung zu verstehen?

Wenn z.B. ein Anlagenstandort mit drei Linien a´ 21 MW BWL (Summe > 50 MW) an einer Linie Umbaumaßnahmen im Bereich der Feuerung und des Kessels durchführt (z.B. Änderung der Verbrennungsluftführung, Erweiterung Sekundärluft und Verzicht auf Rauchgasrückführung) und allen weiteren Anlagenkomponenten im Bereich der Rauchgasreinigung (- damit auch das Emissionsverhalten der Linie) unverändert bleiben – ist dieses dann eine wesentliche Änderung?

Gesetzt den Fall, dass es eine wesentliche Änderung sei - muss dann diese eine umgebaute Linie den neuen Grenzwert einhalten oder alle drei? Die einzelne Linie liegt ja deutlich unter der 50 MW-Grenze.

Diese Fragestellung ist im Einzelfall mit der jeweils zuständigen Genehmigungsbehörde zu diskutieren.

3.2 Grenzkriterien an der Anlage und Entsorgung

Ausgehend von einem NO_x-Rohgaswert von 400 mg/m³ ist eine Erhöhung der Reduktionsleistung von 50 % auf 75 % zu erbringen. Da mit zunehmender Reduktionsleistung sich aufgrund der erforderlichen Durchmischung auch der Stöchiometriefaktor erhöhen wird, sollte die Anlage auf der Betriebsmittelseite (NH_3-Wasser) ausreichend groß dimensioniert sein (Pumpengröße, Druckverluste und Querschnitte der zugehörigen Rohrleitungen).

Weiterhin ist das Zerstäuberdampfsystem (bei anderen Anlagen Treibwasser und/oder Zerstäuberluft) zu überprüfen und ggf. an die neuen Randbedingungen anzupassen.

Auf dem weiteren Rauchgasweg besteht bei einem zu großen Ammoniakschlupf die Gefahr, dass sich auf Grund unerwünschter Nebenreaktionen Ammoniumsalze bilden.

Das sind im Wesentlichen:

- Ammoniumsulfat
- Ammoniumhydrogensulfat und
- Ammoniumchlorid

Die betrieblichen Problemen, die diese Nebenprodukte erzeugen, sind in einigen Komponenten unterhalb der 350°C Grenze zu finden (Anstieg Druckverlust, Verklebungen und Verbackungen sowie Korrosion). Ebenso kann es zu Problemen auf der Entsorgungsseite der Reststoffe kommen.

Ammoniumsalze bilden sich bei Vorkommen von SO2 /SO3 und HCl im Rauchgas. Die Bildungsrate ist wie im „richtigen Leben“ abhängig von Angebot und Nachfrage.

Das Temperaturfenster in dem sich die für den nachfolgenden Prozess unliebsamen Spezies bilden können liegt zwischen 350° und 200° C

Ammoniumsulfat $(NH_4)_2SO_4$

$$2NH_3 + H_2O + SO_3 \text{ à } (NH4)_2SO_4$$

Ammoniumsulfat ist ein leicht hygroskopisches und stark wasserlösliches Salz. Die thermische Zersetzung findet bei Temperaturen zwischen 235 ° - 280 °C statt.

Ammoniumhydrogensulfat NH_4HSO_4

$$NH_3 + H_2O + SO_3 \text{ à } NH_4HSO_4$$

Ammoniumhydrogensulfat ist ein hygroskopisches und klebriges Salz, es zeigt saure Reaktion (pH nahe 1) damit bei Feuchtigkeitsaufnahme korrosiv. Es bildet sich unterhalb 160 °C. Die Zersetzung erfolgt ab Temperaturen über 120° C unter Freisetzung von NH3.

Ammoniumchlorid NH_4Cl (zersetzt sich bei 338° C)

$$NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$$

Auf Grund des typischen Cl^- / S^--Verhältnisses im Rauchgas wird überwiegend die Bildung von Ammoniumchlorid stattfinden. Alle Ammoniumsalze können in den Prozessstufen die dem Bildungstemperaturfenster nachfolgen zu Beeinträchtigungen (Verklebung, Verbackung) führen.

Der einzige Vorteil dieser Salze ist ihre Wasserlöslichkeit. Somit können verschmutzte Komponenten relativ einfach gereinigt werden (es sei denn es sind Schläuche des Gewebefilters – welche ja so ab und zu mal in Rauchgasreinigungsanlagen vorkommen sollen).

Anlagen, die mit der SNCR-Technologie niedrige NO_x-Reingasemissionen einhalten müssen und eine nassen Rauchgasreinigungsanlage betreiben, müssen teilweise erheblichen Aufwand betreiben um ihre Prozessabwässer vor der Abwasseraufbereitung vom NH_3 zu befreien.

Dann müssen die Abschlämmungen aus den Waschkeisläufen nach der Neutralisation (bzw. Alkalisierung; pH 9 – 11) über dampfbeaufschlagete Rektifikationskolonnen mit anschließender Brüdenkondensation geführt werden, um eine NH_3-Senke vor der Feststoffextraktion und Abwasserabgabe darzustellen.

Anlagen mit einer sauren Schlackewäsche (Verwendung des stark sauren Wäscherwassers der ersten Waschstufe um Schwermetalle aus der Schlacke auszuwaschen) werden an dieser Stelle mit einem SNCR-Prozess scheitern, da die Alkalität der Schlacke NH_3 austreiben wird.

In Tabelle 3 ist eine Abschätzung der Aufkonzentration von NH_3 im Wäscherprozess dargestellt. Bei der Abschätzung ist die zweite Waschstufe des Prozesses nicht berücksichtigt worden, da die Löslichkeit der Ammoniumverbindungen in einer sauren Waschlösung ausgezeichnet ist. Weiterhin sind zwischen der Schlupfmessung und dem Wäscher keine Feststoffsenken (Austrag von Ammoniumsalzen) berücksichtigt.

Tabelle 3: Abschätzung der Aufkonzentration von NH_3 in der 1. Waschstufe

Schlupf nach SNCR	**mg/m³**	5,0	10,0	15,0	20,0
Rauchgasvolumenstrom	m³ iN tr/h	37.000			
Reingasemission NH_3	mg/m³	0,7	0,7	0,7	0,7
Fracht NH3	kg/h	0,2	0,3	0,5	0,7
Waschwasser					
WS 1 (20 m³ Inhalt) Konzentration	mg/l	8,0	17,2	26,5	35,7
Abschlämmung (1,2 m³/h) Fracht	mg/h	9.546	20.646	31.746	42.846
Verbleib im System	mg	149.554	323.454	497.354	671.254
Verdünnung durch Nachspeisung auf	mg/l	7,5	40,7	28,9	25,4
In 24 Stunden					
Input	mg/d	3.818.400	8.258.400	12.698.400	17.138.400
Output	mg/d	229.104	495.504	761.904	1.028.304
Konzentration	**mg/l**	**179,5**	**388,1**	**596,8**	**805,5**

Im Vergleich hierzu sind die tatsächlich ermittelten NH_3-Konzentrationen im Kapitel 4 aufgezeigt.

3.3 „Aufbohren“ der Sensorik

Für einen Versuchsbetrieb und für einen späteren ggf. erforderlichen Regelbetrieb mit abgesenktem NO_x-Reingaswert sind die Anlagen mit zusätzlicher Sensorik auszustatten. Zumindest genügen die Standardausrüstungen nicht den Anforderungen eines Regelkonzeptes zur Schlupfminimierung.

Wesentlich sind hier die die Temperaturen nahe der Eindüsstelle des Reduktionsmittels, um vorhandene Schieflagen aufgrund der sich ständig ändernden Brennstoffzusammensetzung annähernd ausgleichen zu können und das effektivste Temperaturfenster für die Betriebsmitteldosierung zu treffen. Im nachfolgenden Kapitel sind kurz die möglichen Temperaturmessverfahren aufgeführt.

Als zweiter wesentlicher Bereich ist eine NH_3-Schlupfmessung relevant. Diese sollte möglichst nahe der Eindüsstelle des Reduktionsmittels liegen um das Potential für die mögliche Bildung von Ammoniumsalzen zu ermitteln und diesem Bildungsmechanismus anschließend mit einem geeigneten Regelungskonzept entgegenzuwirken.

Sofern mit den o.g. Messtechnik und einem angepassten Regelungskonzept kein oder nur eingeschränkter Erfolg bezüglich des NH_3-Schlupfes erzielt werden kann, müssen weitere Aufbereitungsschritte in der Rauchgaswäsche ergriffen werden.

Möglichkeiten bei einer Nasswäsche:

1. Strippung einer Teilstrommenge der 1. Waschstufe nach Neutralisation
2. Strippung der Abschlämmung nach Neutralisation vor einer Feststoffextraktion (z.B. Gipsausschleusung)

Diese Anlagenerweiterungen sind mit zusätzlichen Investitionen und Betriebskosten verbunden. Sofern die Reststoffentsorgung und die Grenzwerte vor Kamin diese Maßnahmen nicht zwingend erforderlich machen ist eine effektive Vermeidung eines erhöhten NH_3-Schlupfes sinnvoller und effektiver.

3.3.1 Möglichkeiten der Temperaturmessung

Nachfolgend sind die beiden typischen Temperaturmesssysteme und zwei rechnerbasierenden Auswertesysteme aufgeführt.

- **Thermoelemente**: Standardinstrument für Temperaturmessungen im Rauchgasweg. Grundsätzlich ist ein Schutzrohr erforderlich. Auf Grund dessen relativ träge und neigt zu zunehmender Trägheit mit wachsender Belagsdicke.
- **Strahlungs-Pyrometer:** Schnelle Sensorik für die Temperaturmessung (Einstellzeit zwischen 5 ms und 10 min parametrierbar); Genauigkeit (bei 1000°C gegen Umgebungstemperatur) ca. 7 – 8° C (z.B. Fa. Heitronics).
- **Akustische Temperaturmessung (AGAM):** Mittels Druckluft wird am Sender ein Schallsignal erzeugt. Zwischen dem Sender und einem Empfänger wird die Laufzeit des Schallsignals durch den Feuerraum gemessen. Aus der gemessenen Schalllaufzeit wird dann der Temperaturmittelwert entlang der Messstrecke (die sog. Pfadtemperatur) errechnet. Durch Bestimmung mehrerer Pfadtemperaturen in einer Feuerraumebene wird mit tomographischen Verfahren die zweidimensionale Temperaturverteilung im Feuerraumquerschnitt ermittelt. Aufgrund des Messprinzips ist die Messung sehr schnell, driftfrei und ohne Strahlungseinfluss. (Fa. Bonneberg + Drescher)

- Kamerabasierende Beurteilung des Verbrennungsprozesses ggf. mit zusätzlichen mathematischen Modellen (Fa. Powitec mit KIT, Karlsruhe)

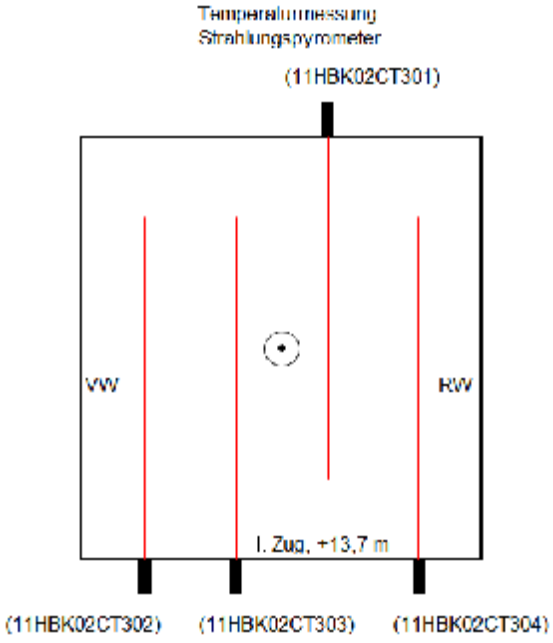
3.3.2 Sensorik im GKS

Bei „kleinen“ Kesselanlagen wie GKS mit ca. 12 m² Querschnittsfläche im 1. Kesselzug und einem einbahnigem Rost stellt sich der Aufwand für Rechner basierende Temperaturmesssysteme als nicht wirtschaftlich dar. Da die Möglichkeiten der Einflussnahme auf den Verbrennungsprozess „überschaubar“ sind, ist auch ein erweiterter Anwendungsbereich (z.B. Integration in die Feuerungsregelung) nicht erforderlich.

Strahlungspyrometer sind bei den Anlagen im GKS seit Jahren ohne Probleme in zwei Bereichen im Einsatz.

- Messung der Temperaturen ca. 2 m oberhalb des Verbrennungsrostes
- Messung der Kesseleintrittstemperatur (1. Zug, +15,2 m; s. Abbildung 2)

Die bestehende Temperaturmessung auf +15,2 m wurde um drei weitere Strahlungspyrometer ergänzt. Somit ist jetzt mit diesen vier Temperaturmessungen eine Aussage über die Temperaturverteilung im ersten Kesselzug 6,8 m vor den SNCR-Düsen möglich.



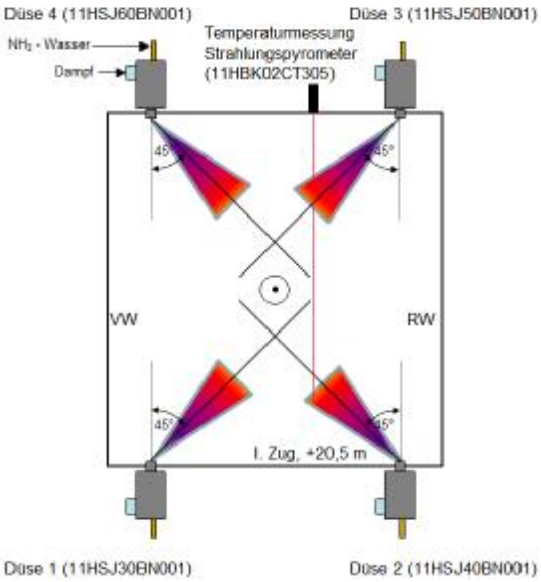


Abbildung 11: IR-Pyrometer Messungen **Abbildung 12: Anordnung Düsen im 1. Zug**

Weiterhin wurde für die Testphase eine Temperaturmessung (ebenfalls ein IR-Pyrometer) auf der Eindüsebene installiert. Eine Aufschaltung auf die Regelung ist bislang nicht vorgesehen. Die Messwerte dienen vielmehr zur Ermittlung des mittleren Temperaturverlaufes über den mit Feuerfestmaterial ausgekleideten ersten Kesselzug (hinterlüftetes System).

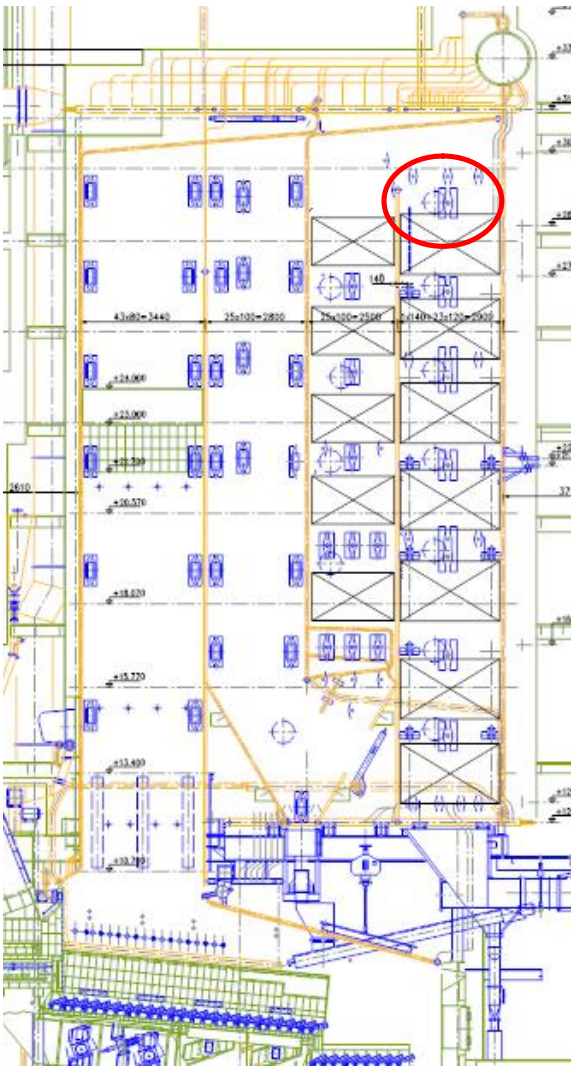


Abbildung 13: Lage Schlupfmessung

Am Übergang zwischen dem dritten und vierten Zug wurde leihweise eine NH_3-Schlupfmessung (laserbasierend) installiert (von Fa. Bischl-Anlagenbau).

Auf Grund der positiven Erfahrungen sind derzeit drei Schlupfmessungen in der Beschaffungsphase. Das Messprinzip der Lasermessung ist ebenfalls seit einiger Zeit im Bereich der Rauchgasreinigung im Einsatz. Dort dient es zur Ermittlung der Rauchgasfeuchte (Anlagenschutz-Kriterium); zusätzlich wird noch die HCl Rohgaskonzentration ermittelt. Der Einbauort wurde gewählt, da die Messstelle vor dem bildungsrelevanten Temperaturniveau von Ammoniumsalzen liegt und keine relevanten Totzeiten zwischen Dosierstelle und Messstelle liegen (ca. 6 sec.).

3.4 Regelungskonzept

Die bisherige Art des Regelungskonzeptes wurde zunächst beibehalten. Dieses allerdings mit dem Bewusstsein, dass eine grundsätzliche Überarbeitung und Anpassung der Regelung bei Dauerbetrieb der Anlage mit 100 mg/m³ NO_x als Reingas-Tagesmittelwert notwendig sein wird.

Die Konzepte der angepassten Regelung werden nachstehend erläutert.

3.4.1 Regelung Reingassollwert

Die Regelung des Reingaswertes erfolgt bislang wie unter Kap. 2.4 und Abbildung 7 dargestellt auf Regelung auf momentanen NO_x-Wert.

Für die Zukunft kann ggf. die Umstellung auf eine ½ Stunden-Mittelwert bzw. Tagesmittelwert Regelung erforderlich werden. Bei anderen Anlagen (z.B. GMVA Oberhausen [Vorstellung auf letzter Kesseltagung]) ist dieses bereits verwirklicht, da auf Grund des Regelverhaltens die erforderliche Regelgüte mit einer Momentanwert-Regelung nicht erreicht wurde (starke Schwankungen bei der Reduktionsmitteldosierung, stark schwankende Reingaswerte oder stark schwankende Schlupfwerte).

Die bisherigen Betriebserfahrungen bei GKS zeigen, dass eine Momentanwert-Regelung unter den derzeitigen Randbedingungen weiterhin beibehalten werden kann.

Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass eine Regelung auf den Tagesmittelwert den Charme von Komfort hat, da bei ggf. auftretenden kurzzeitigen Störungen (z.B. Ausfall der Reduktionsmitteldosierung) einen Sicherheitsautomatismus eingebaut ist, damit der aktuelle Tagesmittelwert eingehalten werden kann.

Unter diesen Voraussetzungen (Regelung auf Tagesmittelwert) sind dann aber zusätzliche Regelkreise bzw. Störgrößenaufschaltungen erforderlich.

3.4.2 Reduktionsmittel-Dosierung

Die bei GKS eingesetzte Düsentechnik gestattet eine flexible Anpassung der Dosierung an die betrieblichen und regelungstechnischen Randbedingungen. Die Verwendung von Gegendruckdampf mit 5,5 bar_{abs} und ca. 180 °C bietet hinsichtlich Druck und Menge ausreichendes Potential für eine Optimierung der Durchmischung im Rauchgasstrom.

> *Hier ist allerdings zu berücksichtigen dass eine zu starke Erhöhung der Zerstäuberdampfmenge zu einer „Verschlimmbesserung“ führt. Diese Erfahrungen haben wir im Rahmen der IBS der SNRC Anlage 1996 erlitten. Damals war auf Grund eines falsch eingestellten Messumformers (Mengenmessung Dampf) die Zerstäuberdampfmenge zu groß (1,5 t/h statt 0,5 t/h). Durch den Impuls des Freistrahls war der Rücksaugeffekt im wandnahen Bereich derart groß, dass sich Beläge aus Calciumsulfat und Flugasche gebildet hatten (Belagsstärke ca. 0,5 bis 0,8 m). Nach der Behebung der falschen Parametrierung und damit erfolgter Reduzierung der Zerstäuberdampfmenge erfolgte eine „Selbstheilung“ der Anlage durch Belagsrückbildung.*

Die Düsenköpfe der Zweistoffdüsen wurden im Rahmen der Versuche im Querschnitt um 3 mm Vergrößert. Hierdurch kann die Zerstäuberdampfmenge leicht erhöht werden, da auf Grund des größeren Querschnittes der Düsenvordruck gesunken ist. Hierdurch wird die Verteilung des NH3-Wassers und die Rauchgasseitige Durchmischung verbessert (Einfluss auf Stöchiometrie und Schlupf).

Abbildung 14: Düsenkopf der Zweistoffdüse mit Schutzrohr

3.4.3 Düsensteuerung

Nach der IBS der zusätzlichen Messstellen und Aufhebung der ursprünglich eingestellten Totzeit wurde anhand der Messdaten deutlich, dass relativ große Temperaturänderungsgeschwindigkeiten (bis zu 100 °K /Min.) bei konstanter Kessellast und Temperaturschieflagen (Vorderwand- / Rückwand) auftreten.

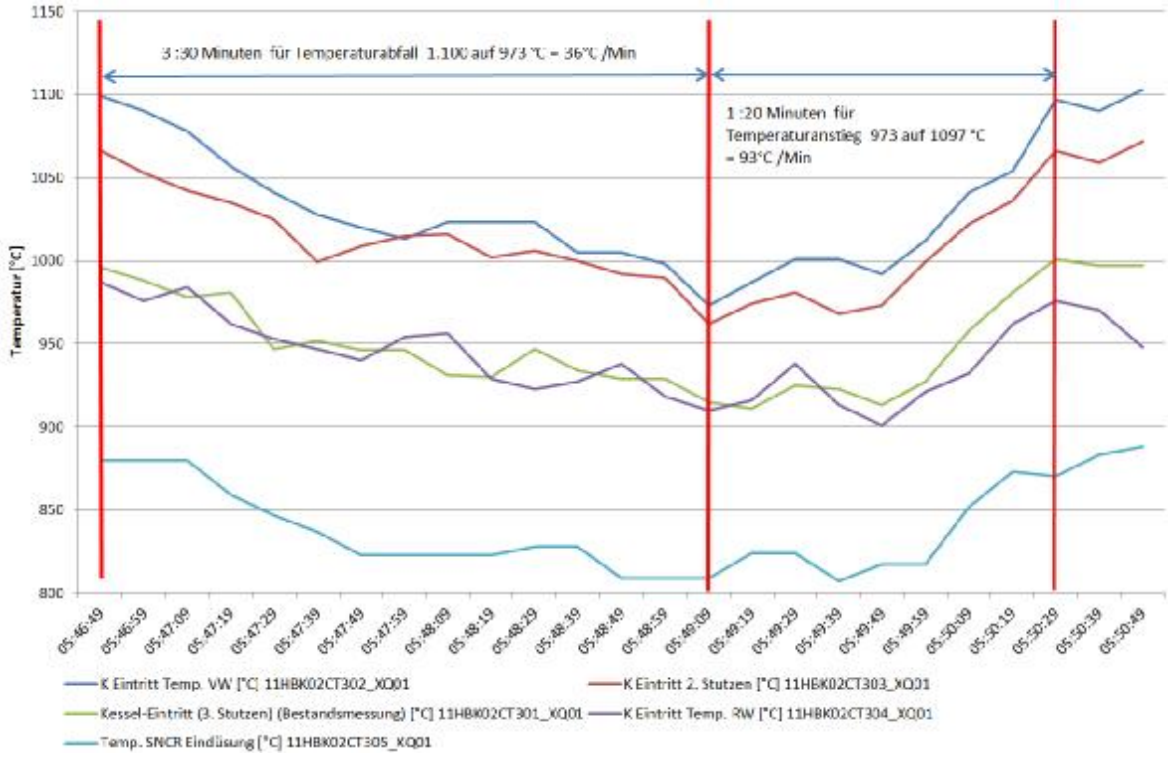


Abbildung 15: Temperaturänderungsgeschwindigkeit

Die Steuerung der Düsenstellung wurde auf Grund dessen wie folgt angepasst:

Aus den beiden vorderwandnahen Temperatur-Messungen wird ein Mittelwert gebildet, der auf die beiden vorderwandnahen Düsen wirkt. Zusätzlich wurde der Polygonzug anhand der ermittelten Temperaturgradienten angepasst, um das optimale Temperaturfenster zu erreichen. Für die beiden rückwandnahen Düsen wurde in Analogie verfahren.

Abbildung 16 zeigt den modifizierten Polygonzug für die Düsensteuerung. Die unterschiedlichen Steigungen gleichen die geringe Veränderung der Eindüshöhe bei Düsenstellung nahe 0 ° aus.

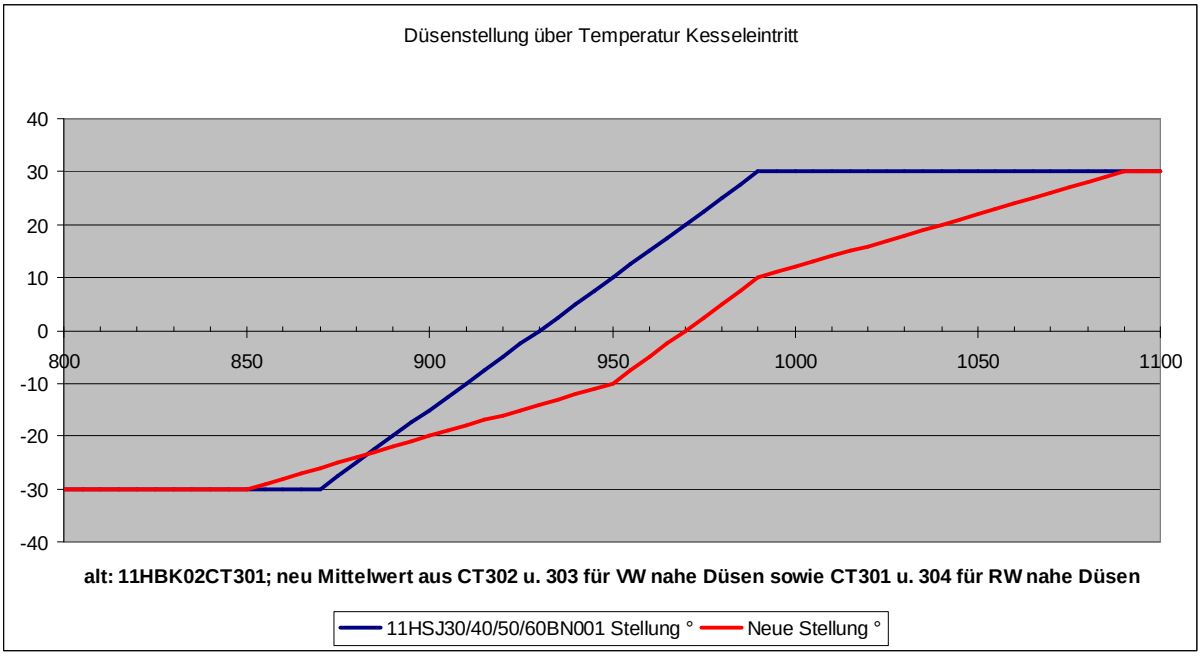


Abbildung 16: Alter und neuer Polygonzug

Da sich die Messstelle zur Ansteuerung der Düsen ca. 6,8 m unterhalb der Eindüsebene befindet, ist der Temperaturabbau über die Kesselhöhe zu berücksichtigen. Dieser Temperaturabbau beträgt im langfristigen Mittel 20 K/m.

3.4.4 Schlupfregelung

Sofern eine Schlupfregelung erforderlich wird, ist sie für die Randbedingungen bei GKS zweistufig auszuführen.

Die erste Stufe besteht aus einer Schrittweisen Reduzierung des Düsenanstellwinkels ab Überschreitung eines NH3 Schwellenwertes (z.B.10 mg NH3). Dieses führt zu einer höheren Reaktionstemperatur und damit verbunden zu einer Reduzierung des NH_3 Schlupfes. Die Reduzierung des Anstellwinkels wird in drei Schritten durchgeführt, die jeweils mit einer Wartezeit von ca. 5 Minuten ausgestattet sind.

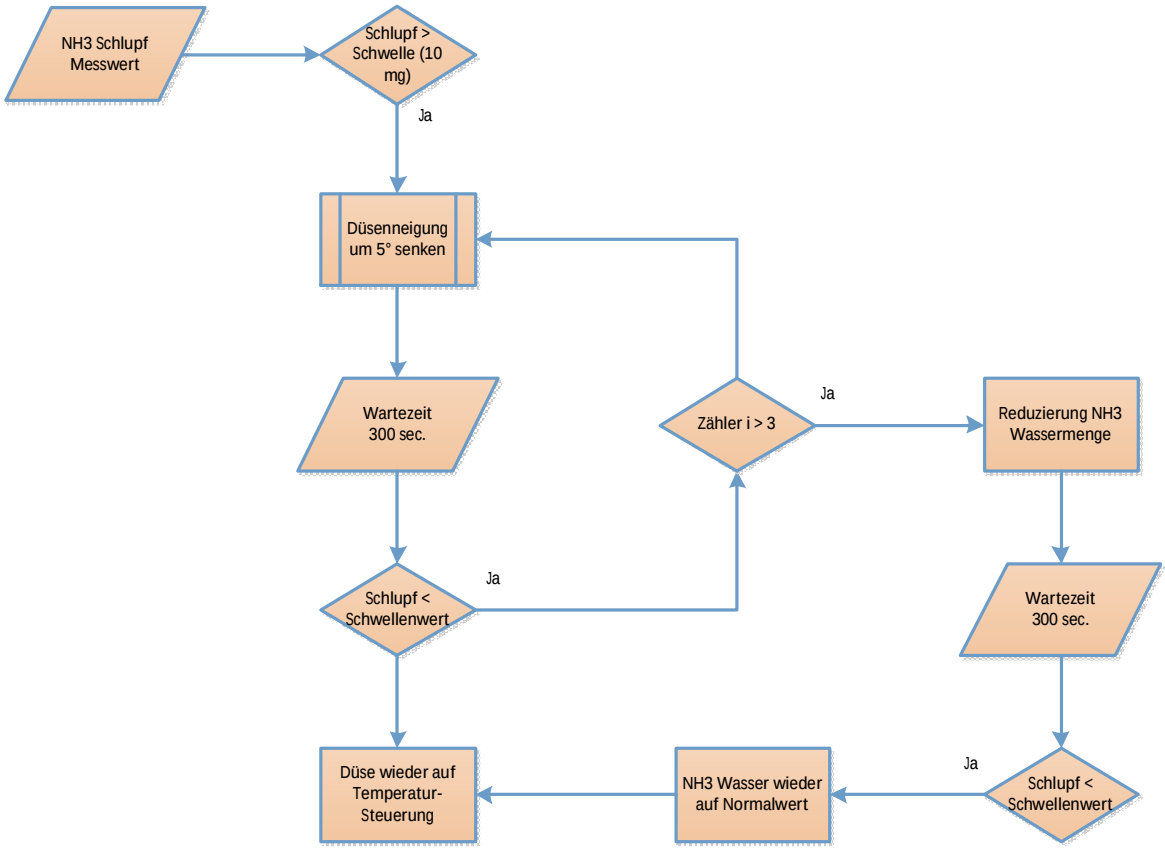


Abbildung 17: Funktionsschema Schlupfregelung

Wird durch diese Maßnahme der NH_3-Gehalt nicht abgesenkt, so erfolgt als zweite Stufe die Reduzierung der Reduktionsmittelmenge in Abhängigkeit des aktuellen Schlupfwertes. Die Berechnung hierzu ist in Tabelle 4 dargestellt.

Kommt der NH_3 Wert wieder unter den Schwellenwert, so wird die Reduktionsmittelmenge wieder auf das normale Niveau gesetzt und die Düsen wieder in die temperaturabhängige Position gestellt.

Tabelle 4: Berechnung der Absenkmenge des NH3-Wassers

Rauchgasvolumenstrom	**35.000**	**m³/h**
aktuelle Reduktionsmittelmenge	25,00	l/h
Konzentration	25,00	Gew. %
Dichte	0,96	kg/l
Reaktiver NH_3 Anteil	6,00	kg/h
theor. NH_3-Gehalt im Rauchgas bei Reduktionsrate **0**	171,43	mg/m³
aktueller NH_3-Messwert (4. Zug)	15,00	mg/m³
entsprechend	8,75	%
Reduzierung der Reduktionsmittelmenge um	8,75	%
entsprechend	2,19	l/h
auf	**22,81**	**l/h**

Im Zusammenhang mit der Schlupfregelung muss der Polygonzug für die Düsenansteuerung nochmals modifiziert werden, um die „Eindüsebene“ näher an das Temperaturoptimum (theoretisch 980 °C) zu bringen. Bei dieser Anpassung kann sowohl das Temperaturniveau (Abbildung 18) als auch der Schwenkbereich von derzeit +- 30° auf +- 45° erweitert werden. Durch die Erweiterung des Schwenkbereiches wird die Eindringtiefe in den Rauchgasstrom und dadurch die Durchmischung beeinflusst.

Eine Prüfen in wie weit eine Anpassung des Polygonzuges über die Reisezeit der Anlage sinnvoll ist, ergibt nur unwesentliche Abweichungen vom durchschnittlichen Temperaturabbau (Ende Reisezeit 19,9 °C; Anfang Reisezeit 21,7 °C).

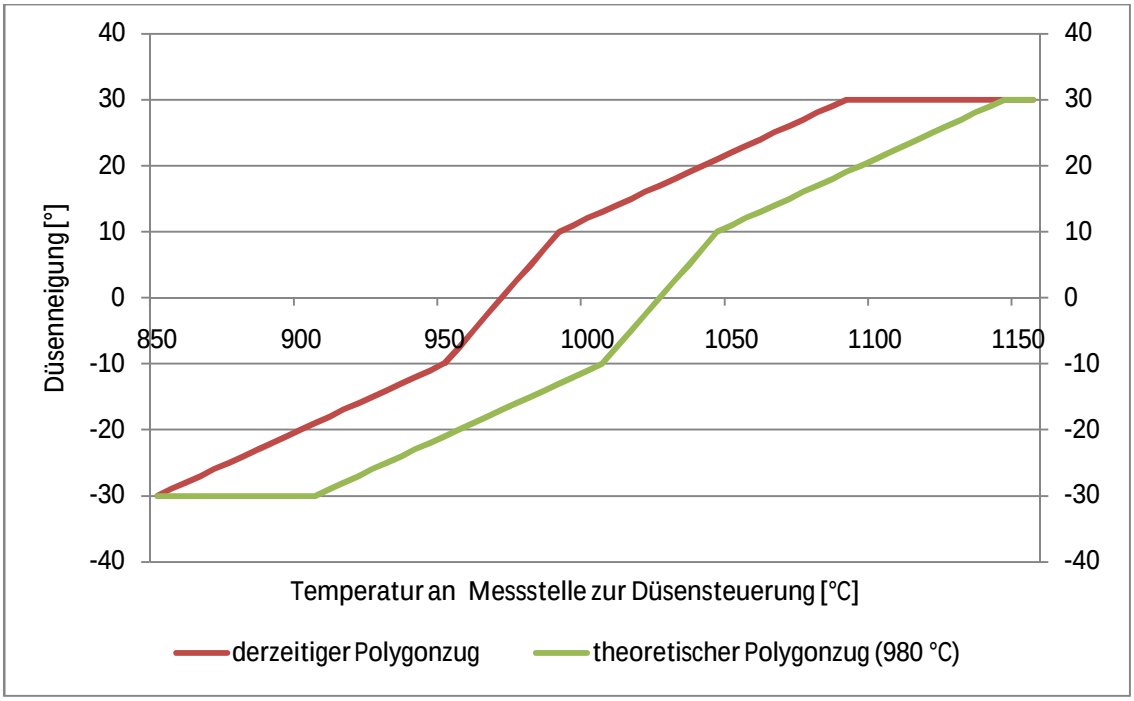


Abbildung 18: Polygonzug Optimierung

3.4.5 Maßnahmen in der Rauchgasreinigung

Die Rauchgasreinigung des GKS kann anhand nachstehender Abbildung der Gesamtanlage nachvollzogen werden.

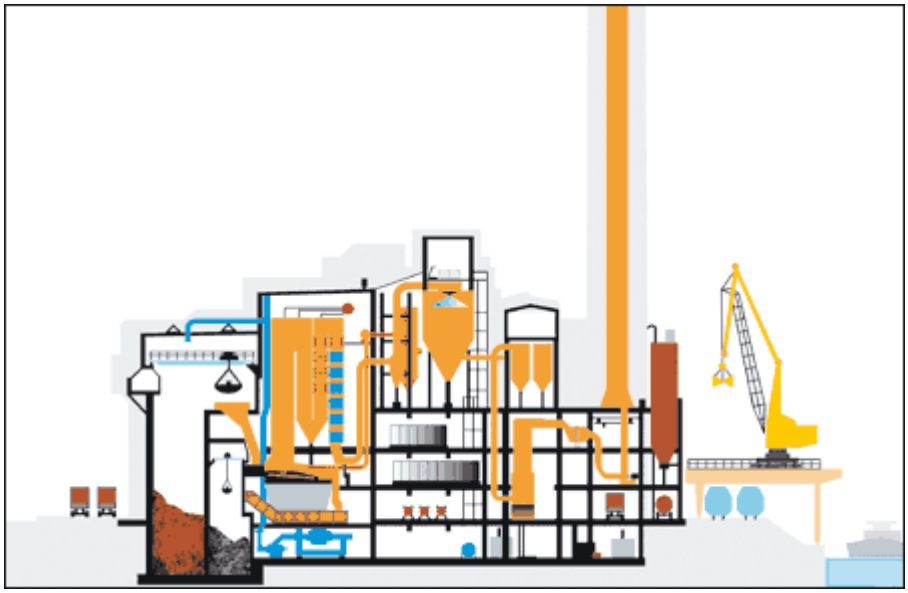


Abbildung 19: Gesamtanlage im Schnitt

Die wesentlichen Komponenten der Rauchgasreinigung sind

- Multizyklon (Vorentstaubung)
- HOK-Dosierung
- Sprühtrockner (Trocknung der Abwässer aus der Wäsche)
- Gewebefilter
- Zweistufige Wäsche (Additiv $CaCO_3$)
- DaGaVo
- Saugzug

Da die Rauchgasreinigung im GKS abwasserfrei betrieben wird, sind hinsichtlich Einleitbedingungen keine Grenz- oder Richtwerte zu beachten.

Die Neutralisation der diskontinuierlichen Abschlämmung aus der ersten Waschstufe wird in einem von allen drei Linien genutzten Sprühtrocknervorlagebehälter mit Natronlauge durchgeführt. Der pH-Wert wird hier von 3,5 – 4,5 auf 7,2 angehoben. Die anschließende Sprühtrocknung und Abscheidung des Produktes im Gewebefilter ermöglicht den Abtransport der Reststoffe in Silofahrzeugen und die Verbringung als Versatzmaterial untertage.

Die Betriebstemperaturen der Komponenten mit partikelabscheidende Funktionen liegen im Bereich der Bildungstemperaturen der Ammoniumsalze (Multizyklon 220 °C, Gewebefilter 165 °C). Um keine negativen Langzeiteffekte (Anstieg Druckverlust durch zusätzliche Salzablagerungen) zu erhalten ist eine funktionierende Schlupfregelung unabdingbar.

Eine erhöhte NH_3-Emission am Kamin ist auf Grund der Nasswäsche nahezu ausgeschlossen. Messungen zeigen gegenüber den weiteren beiden Linien (NO_x-Reingaswert 180 mg) keinen nennenswerten Anstieg der NH_3-Konzentration im Reingas.

Bedingt durch die diskontinuierliche Abschlämmung wird im Wäscher eine Aufkonzentration von Ammoniumsalzen deutlich vermindert (s. hierzu Kapitel 4).

Sofern sich bei der Reststoffentsorgung untertage mittel- oder langfristig Probleme hinsichtlich Ammoniumverbindungen ergeben sollten, ist für die Senke folgendes Konzept vorgesehen.

- Einbau einer Begasung im Sprühtrocknervorlagebehälter (Bei einem pH-Wert von 7,2 und ca. 60 °C Suspensionstemperatur sowie dem hohen Partialdruck von NH3 wird hierdurch das Ammoniak zum großen Teil ausgetrieben)
- Die Beatmungsleitung des drucklosen Behälters wird über einen mit Deionat beaufschlagten Kühler geleitet (T Vorlauf = 15 °C). Die kondensierten Brüden können diskontinuierlich dem NH_3-Lagertank zugeführt werden.

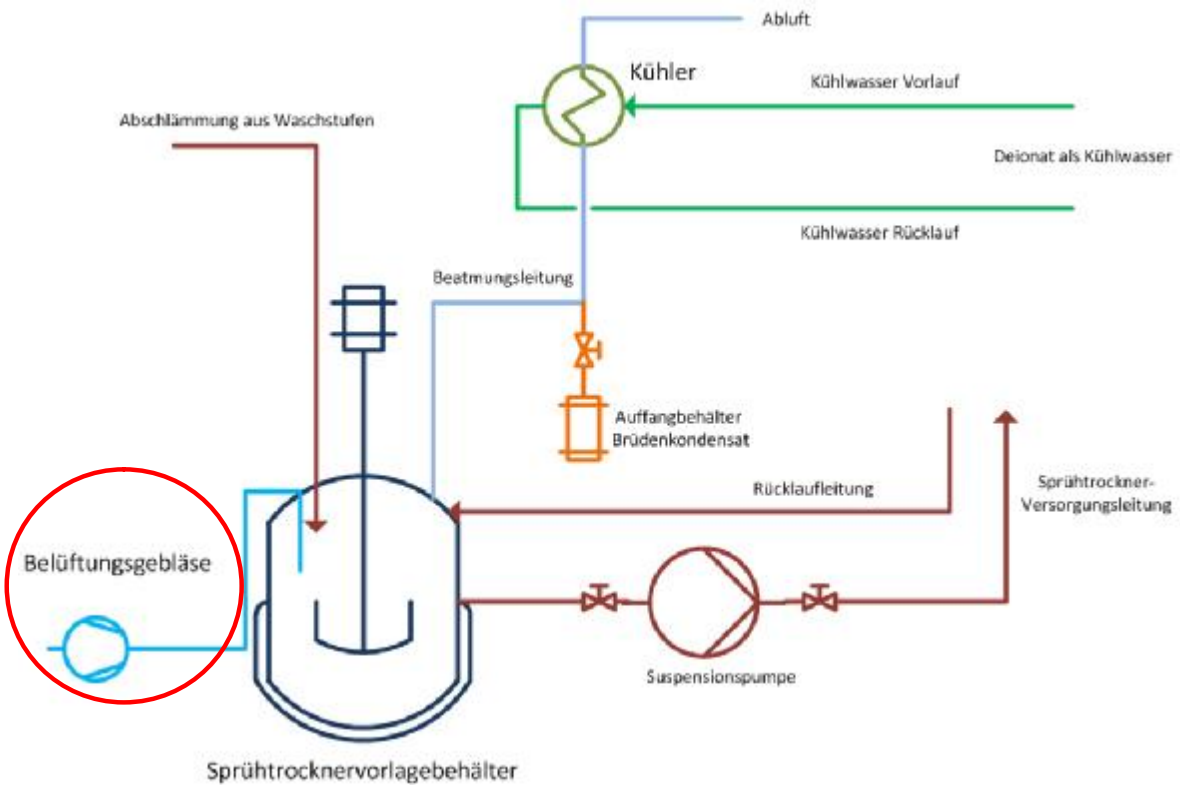


Abbildung 20: Schema Begasung ST-Vorlagebehälter

4 Betriebserfahrungen

Die Absenkung des NO_x-Reingaswertes erfolgte in mehreren Schritten (Tabelle 5).

Tabelle 5:Zeitliche Abfolge der Versuche

	Beginn der Maßnahme	Maßnahme
0	03.09.2010	Einbau Strahlungspyrometer Fab. Heitronics KT19.69 II für Messstellen HBK02CT302 - 304
1	21.12.2010	ca. 14:00 Uhr läuft Linie 11 mit einem Reingas-NOx-Sollwert von 150 mg.
2	12.01.2011	ca. 08:00 Uhr läuft Linie 11 mit einem Reingas-NOx-Sollwert von 120 mg.
3	14.01.2011	Ermittlung Rohgas NOx Abschalten Dosierpumpe von 11:30 bis 11:45 Uhr NOx Reingas 348 - 357 mg/m³; bei Betriebs-O_2
4	17.01.2011	Dämpfung in Leittechnit (180 sec.) entfernt (Versuche SNCR)
5	27.01.2011	Änderung der Düsen-Ansteuerung; vorderwand- und rückwandnahe Mittelwertbildung; separate Ansteuerung; Anpassung Polygonzug
6	04.03.2011	ca. 08:00 Uhr läuft Linie 11 mit einem Reingas-NOx-Sollwert von 100 mg. Versuchsende aufgrund Schaden am ECO am 11.03.2011; Revison vorgezogen

Im ersten Schritt wurde der Reingaswert auf 150 mg/m³ abgesenkt. Nachdem die Regelungen (NH_3-Wasser und Düsenneigung) keinen weiteren Handlungsbedarf zeigten, wurde der Reingaswert in der zweiten Stufe auf 120 mg/m³ und anschließend auf 100 mg/m³ abgesenkt.

Die Anlage musste aufgrund einer Störung im Wasserdampf-Kreislauf nach 7 Tagen Versuchsdauer eine Woche früher als geplant in Revision genommen werden (der Schaden steht in keinem Zusammenhang mit den Versuchen zur NO_x-Reduzierung).

Die nachstehenden Abbildungen ausschnittsweise zeigen die jeweiligen Tagesmittelwerte für NO_x, NH_3-Schlupf und Ammoniakwasserverbrauch. Der maximal zulässige NH_3-Schlupf am Kamin liegt bei 20 mg/m³ (i.N.,tr).

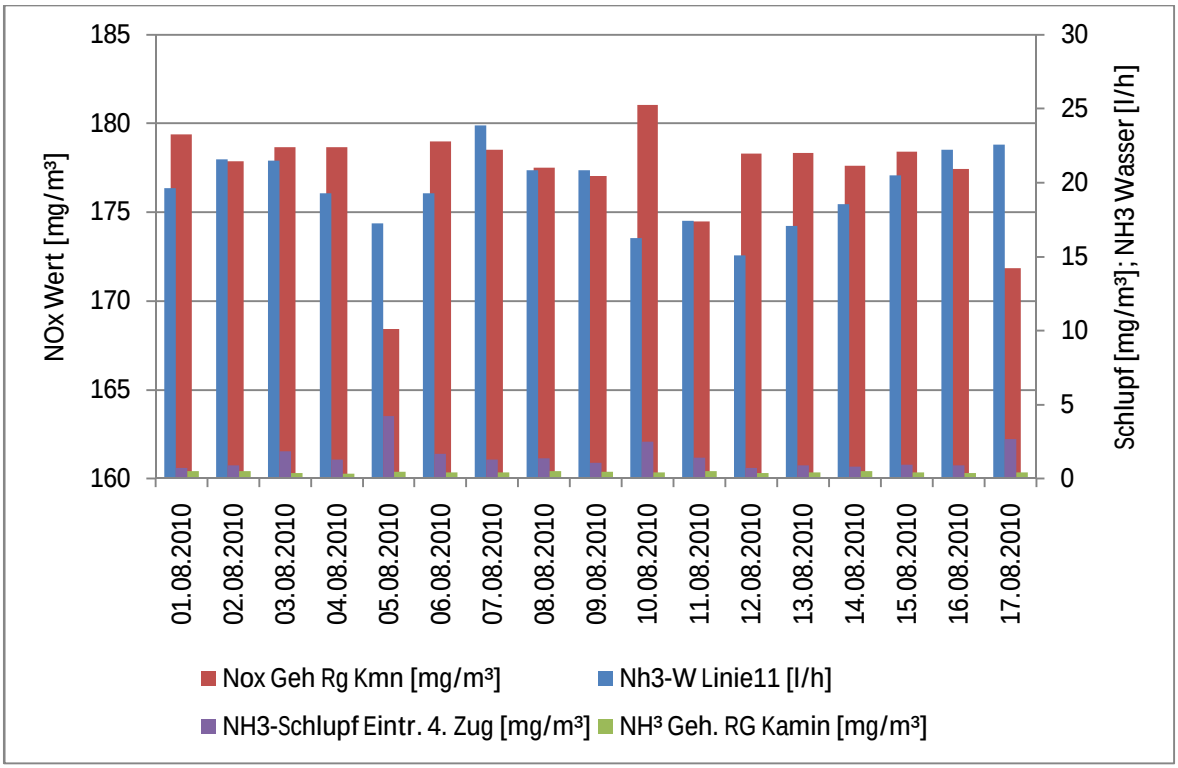


Abbildung 21: NOx Werte 180 mg/m³

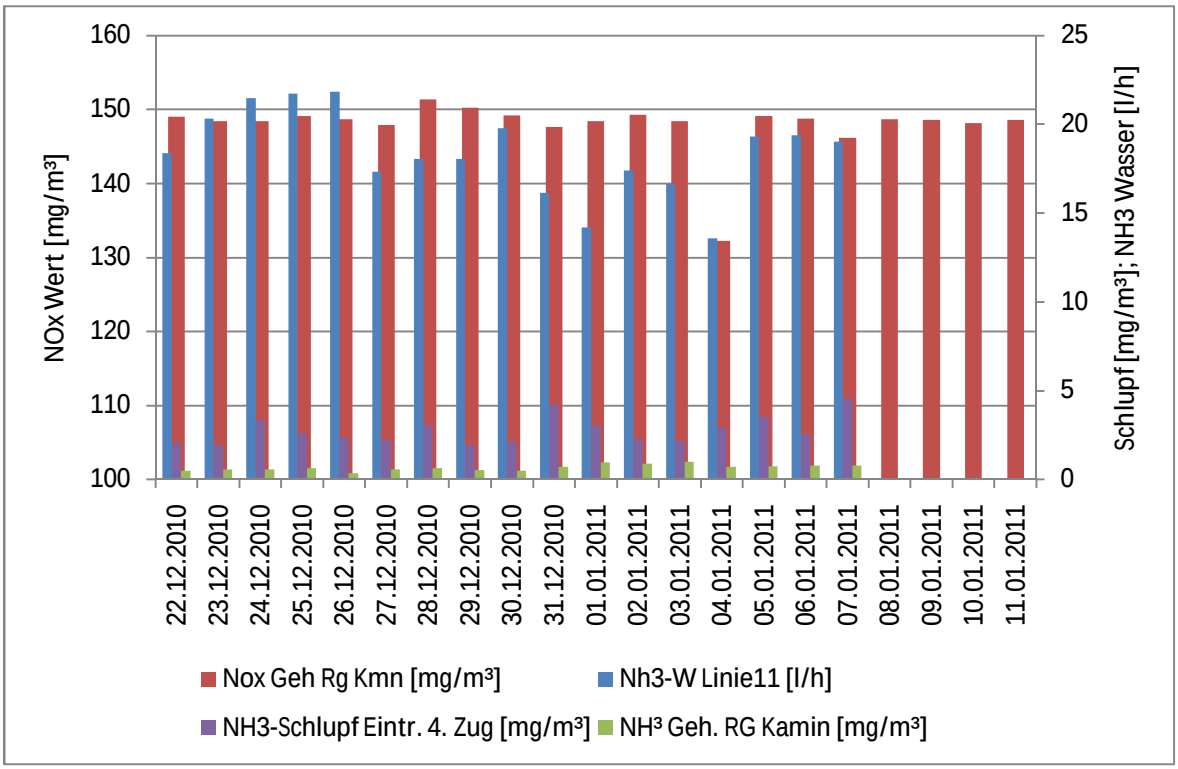


Abbildung 22: NOx Werte 150 mg/m³

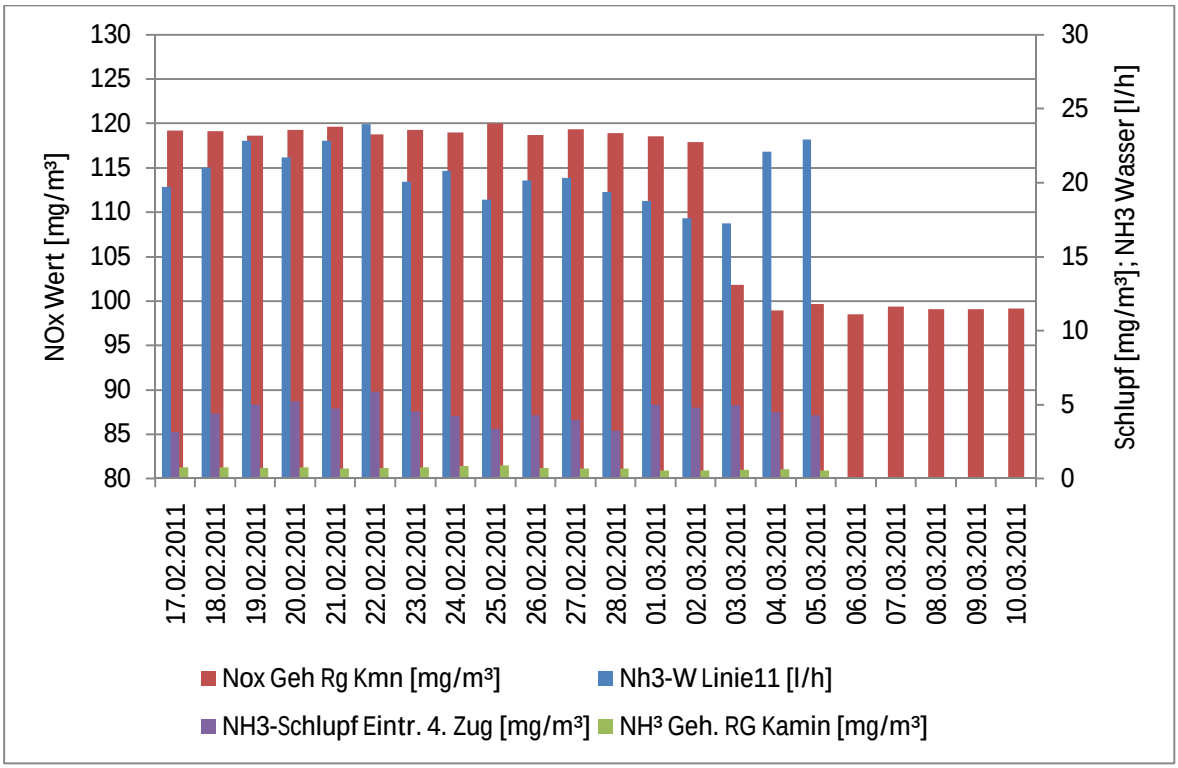


Abbildung 23: NO_x Werte 120 und 100 mg/³

Während der Versuchsphase mit einem Reingassollwert von 120 mg wurde der Rohgas-NO_x-Wert ermittelt. Die Ergebnisse aus der Anfangsbetriebsphase ohne SNCR wurden bestätigt. Der aktuelle NO_x-Rohgaswert liegt bei Betriebs O_2 zwischen 350 und 360 mg/m³ (Abbildung 24).

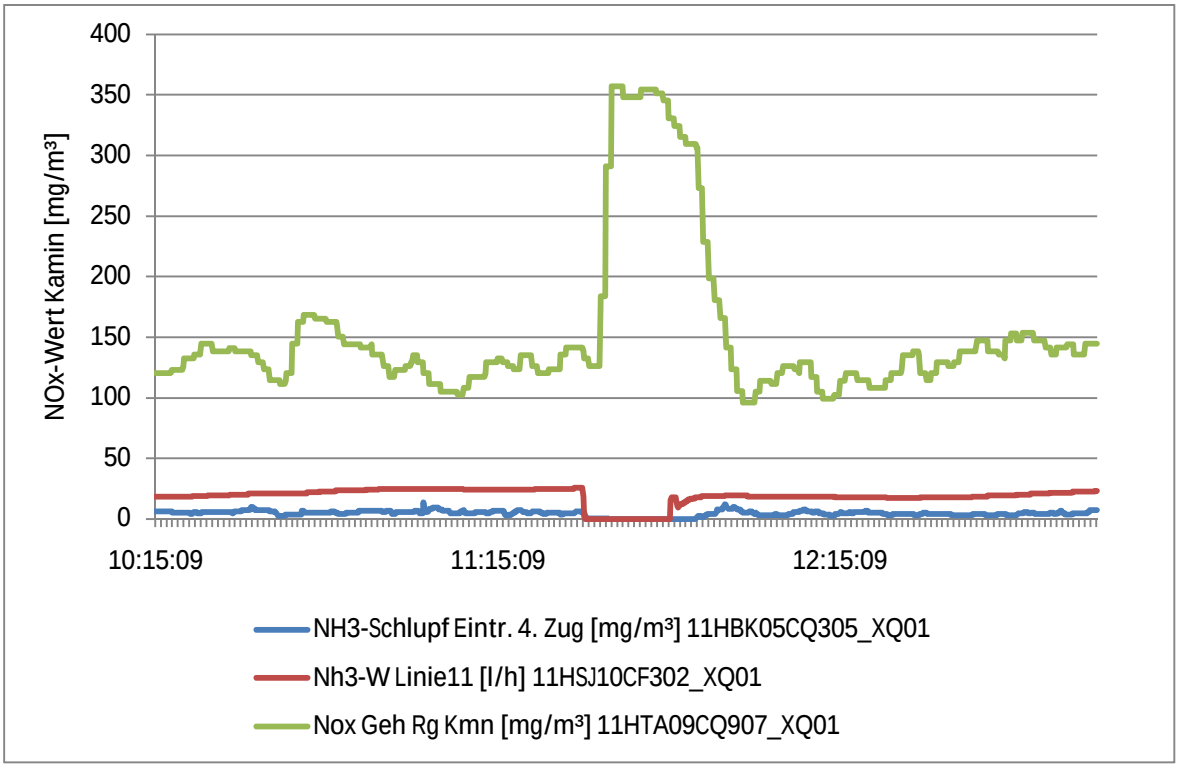


Abbildung 24: Bestimmung NO_x-Rohgaswert

4.1 Auswirkungen auf die Rückstände

Die Feststoffanalysen aus Kessel, Multizyklon und Gewebefilter sind in Tabellen 5 - 6 aufgeführt. Der Vergleich mit den weiteren beiden Linien die ohne abgesenkten NO_x-Reingaswert betrieben wurden weist im Bereich des 4. Zuges auf keine gravierenden Veränderungen hin.

Tabelle 6: Vergleich Kesselaschen L11 und L12

Linie	NO_x Sollwert mg/m³	Kesselasche 4. Zug NH_4 mg/kg	SO_4 g/kg	Cl^- g/kg
	120	19,1	44,9	21,9
11	120	9,4	20,1	38,4
	120	5,2	94,2	47,2
11	100	6,5	18,3	30,1
	180	21,7	22,7	57,8
12	180	5,7	24,1	45,6
	180	8,2	17,8	43,4

Die Ammoniumwerte der Rückstände aus dem Gewebefilter sind um Faktor 2 – 3 größer. In wieweit sich langfristig mit einer solchen Erhöhung betriebliche Probleme ergeben, kann derzeit noch nicht bewertet werden. Die ohnehin erforderliche Einführung der Schlupfregelung wird dieser Konzentrationserhöhung entgegen wirken.

Tabelle 7: Feststoffanalysen Rauchgasreinigung Linie 11 Linie 12

Linie	NO_x Sollwert mg/m³	Multizyklon NH_4 mg/kg	SO_4 g/kg	Cl^- g/kg	Gewebefilter NH_4 mg/kg	SO_4 g/kg	Cl^- g/kg
	120				2600	10,4	380
11	120				2200	10,9	378
	120	11,2	30,1	18,6	2000	10,7	310
11	100	4,2	16,3	48,5	3460	10,3	369
	180				657	13,6	357
12	180				768	13,9	353
	180	3,7	20,3	74,4	1130	10,6	331

Die Analyse der Waschsuspensionen hinsichtlich des Ammoniumgehaltes ist in den nachfolgenden Abbildungen 27 bis 29 dargestellt.

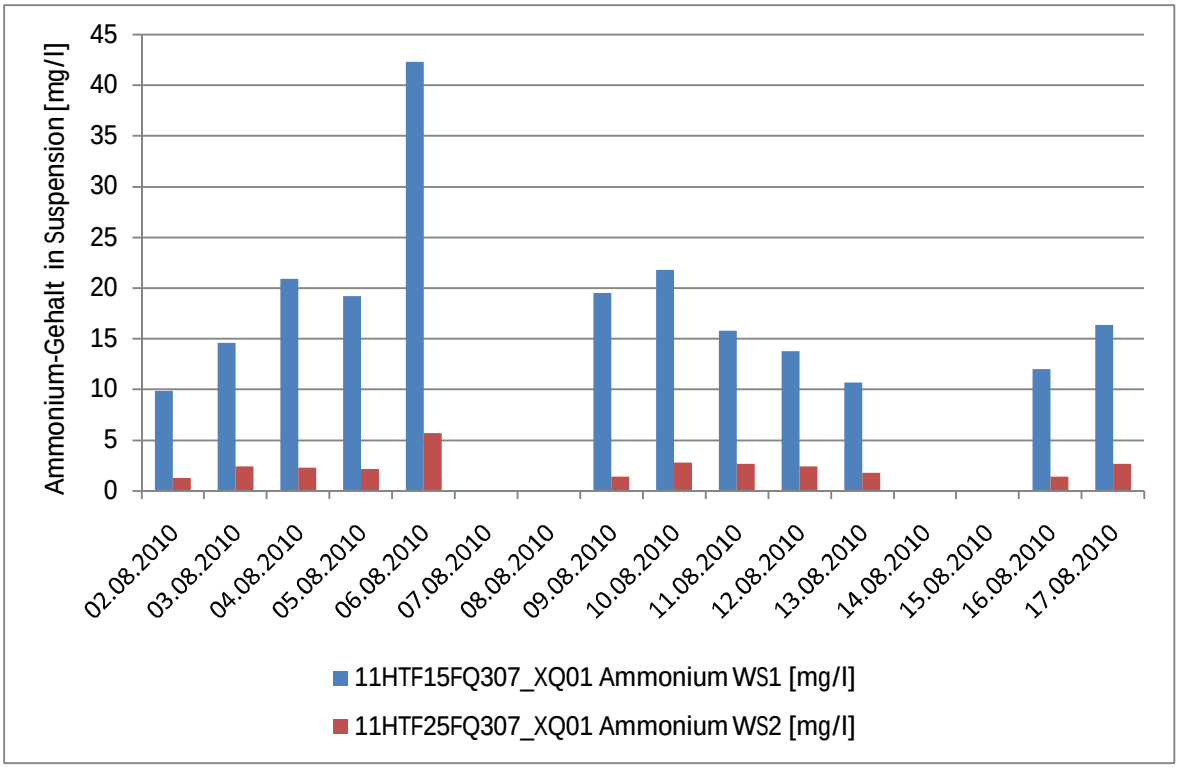


Abbildung 25: Ammonium-Werte bei NO_x Sollwert 180 mg ==> Normalbetrieb

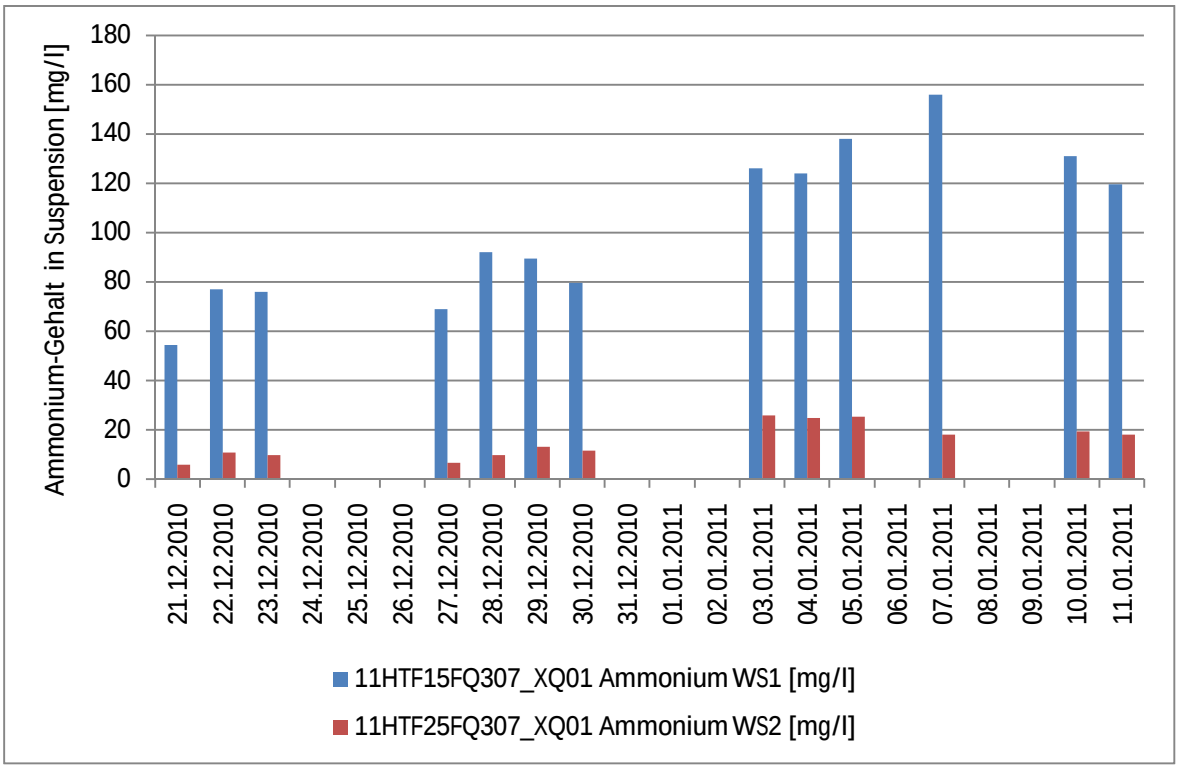


Abbildung 26: Ammonium-Werte bei NO_x Sollwert 150 mg

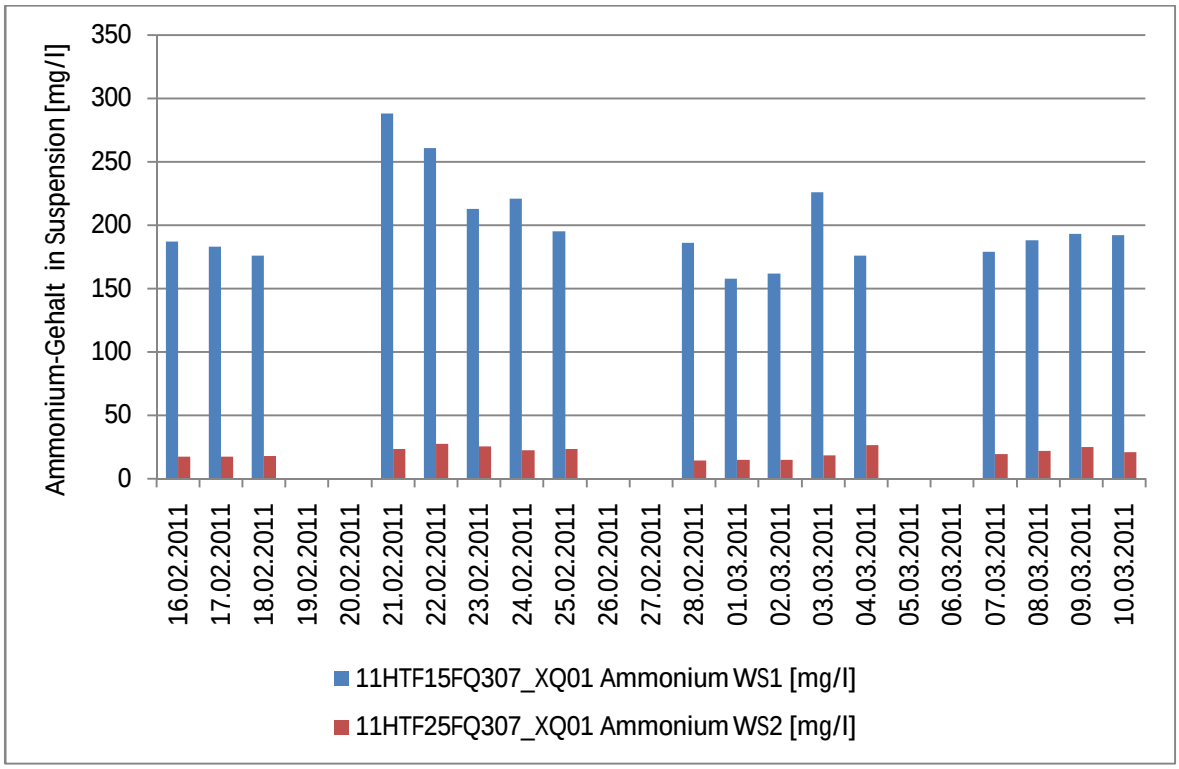


Abbildung 27: Ammonium-Werte bei NO_x Sollwert 120 und 100 mg

Die ermittelten Konzentrationen an NH_3 im Waschwasser liegen im Bereich der im Vorfeld durchgeführten Abschätzung (Kap. 3.2 Tabelle 3).

4.2 Regelverhalten

Nachstehende Abbildungen 28 und 29 zeigen aus der Versuchsphasen mit 100 mg/m³ NO_x-Reingaswert die erreichen Betriebswerte. Die, wenn auch nur kurze, Betriebsphase zeigt, dass sich bei 100 mg/m³ als NO_x-Sollwert Tagesmittelwerte leicht unterhalb von 100 mg/m³ erreichen lassen.

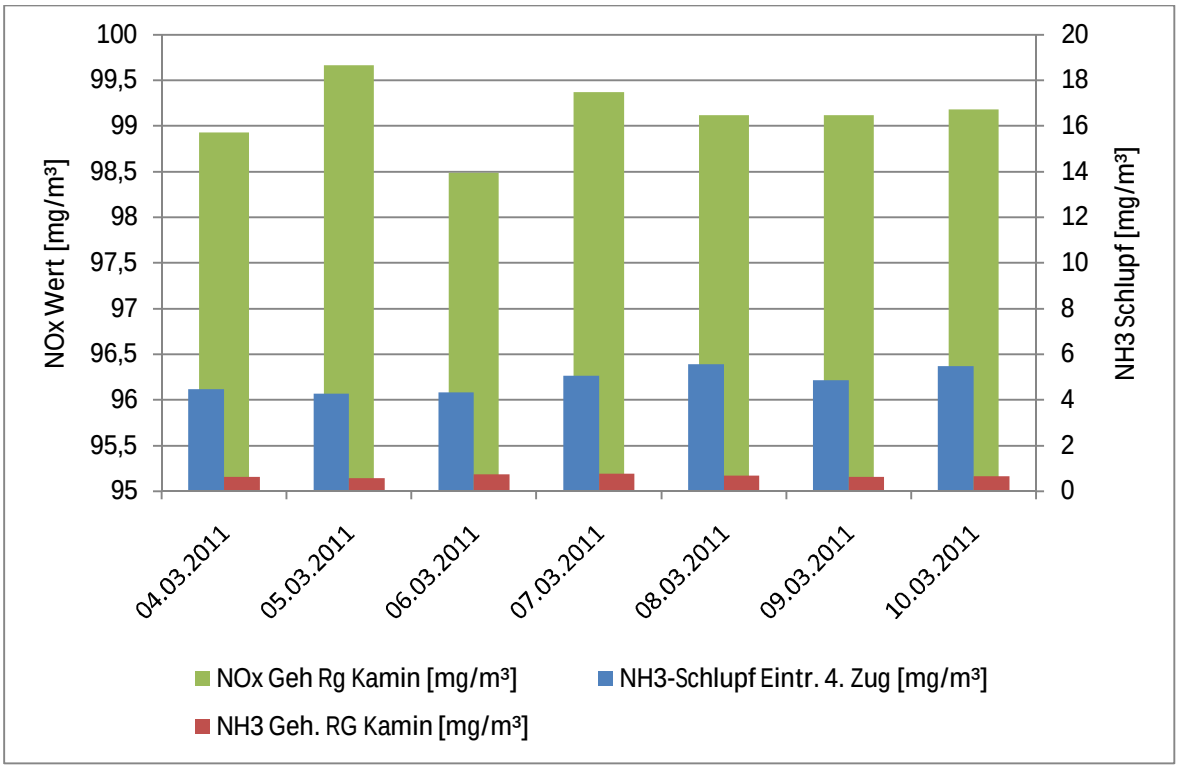


Abbildung 28: Tagesmittelwerte NO_x und Schlupf

Die an der Emissionsmessstelle ermittelten NH_3-Werte liegen unterhalb von 1 mg/m³.

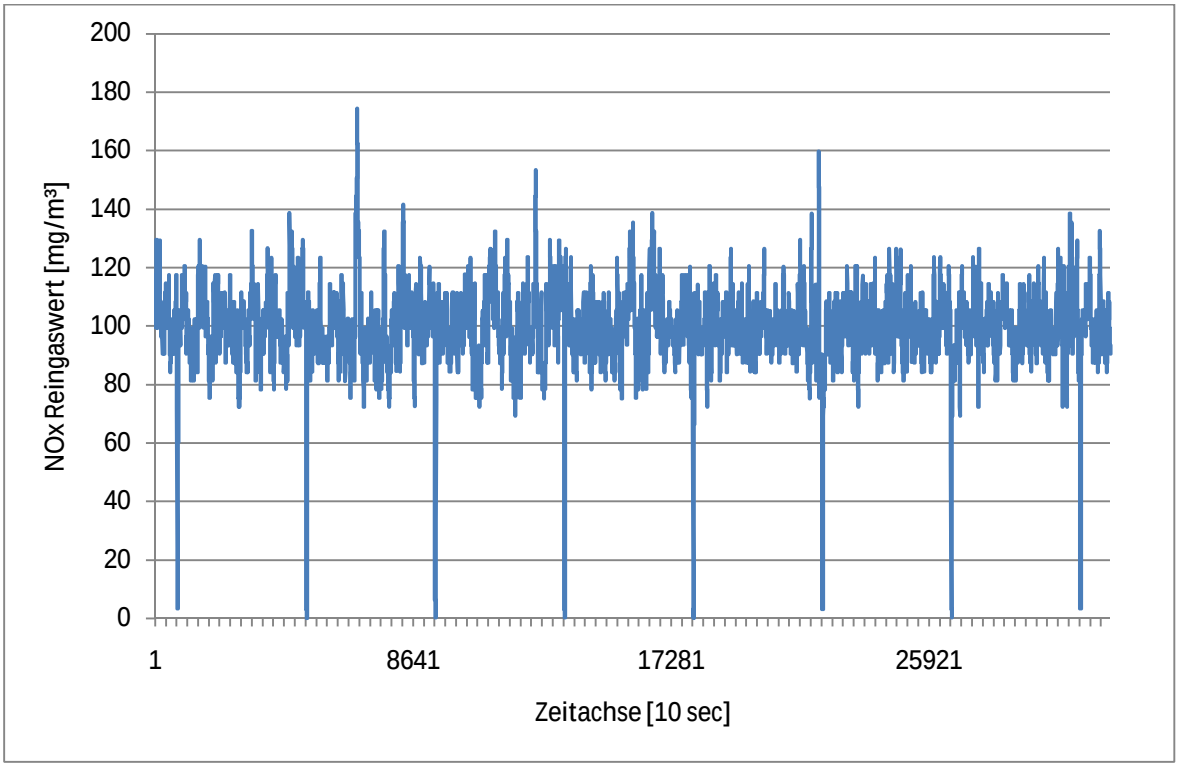


Abbildung 29: Prozesswerte NO_x-Reingaswerte

Die zyklischen negativen Peak´s resultieren aus dem zyklischen automatischen Geräte-abgleich der Emissionsmessung.

Die nachstehenden Abbildungen 30 und 31 zeigen beispielhaft einen Zeitraum von 2 Stunden vom 06.03.2011 (100 mg/m³ NO_x-Sollwert).

Wie bei einer „Gegenstromfeuerung“ zu erwarten, spiegeln die vorderwandnahen Temperaturen das Zündverhalten des Brennstoffes auf dem Rost wieder. Die vorderwandnahen Düsen weisen somit deutlich mehr Bewegung auf als die rückwandnahen Düsen.

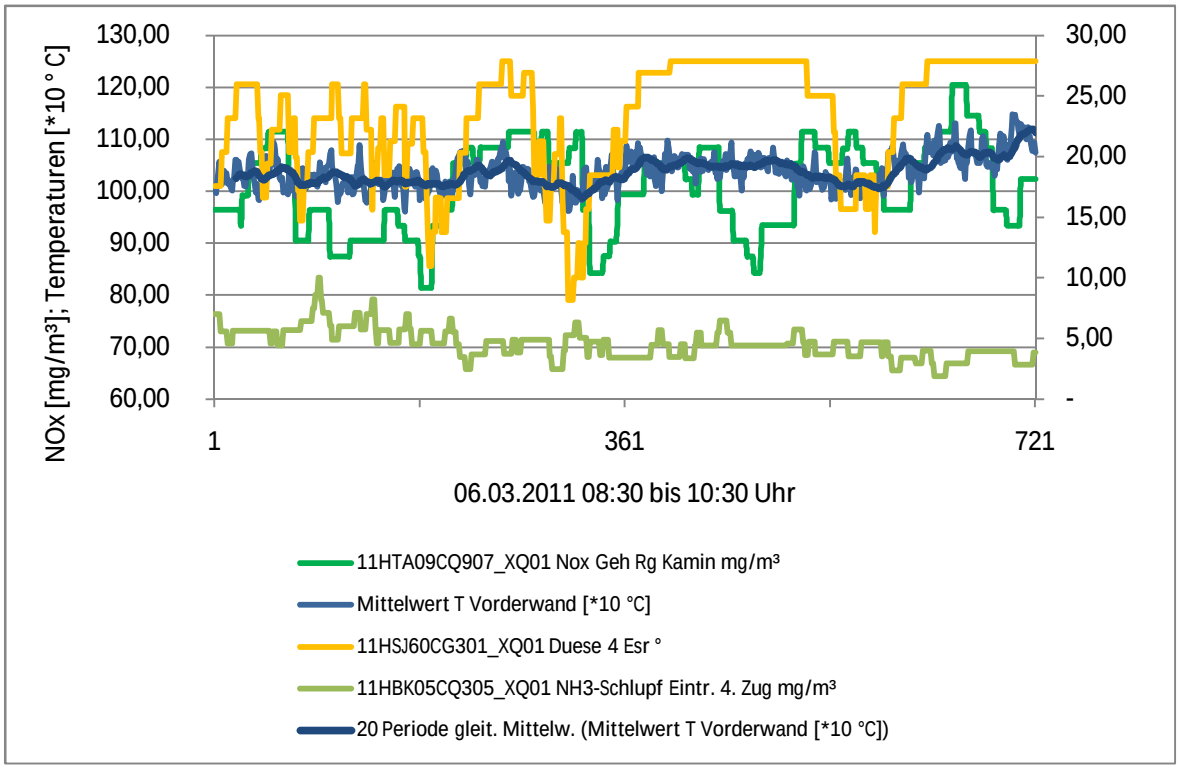


Abbildung 30: Düsenneigung Vorderwand (Prozesswerte)

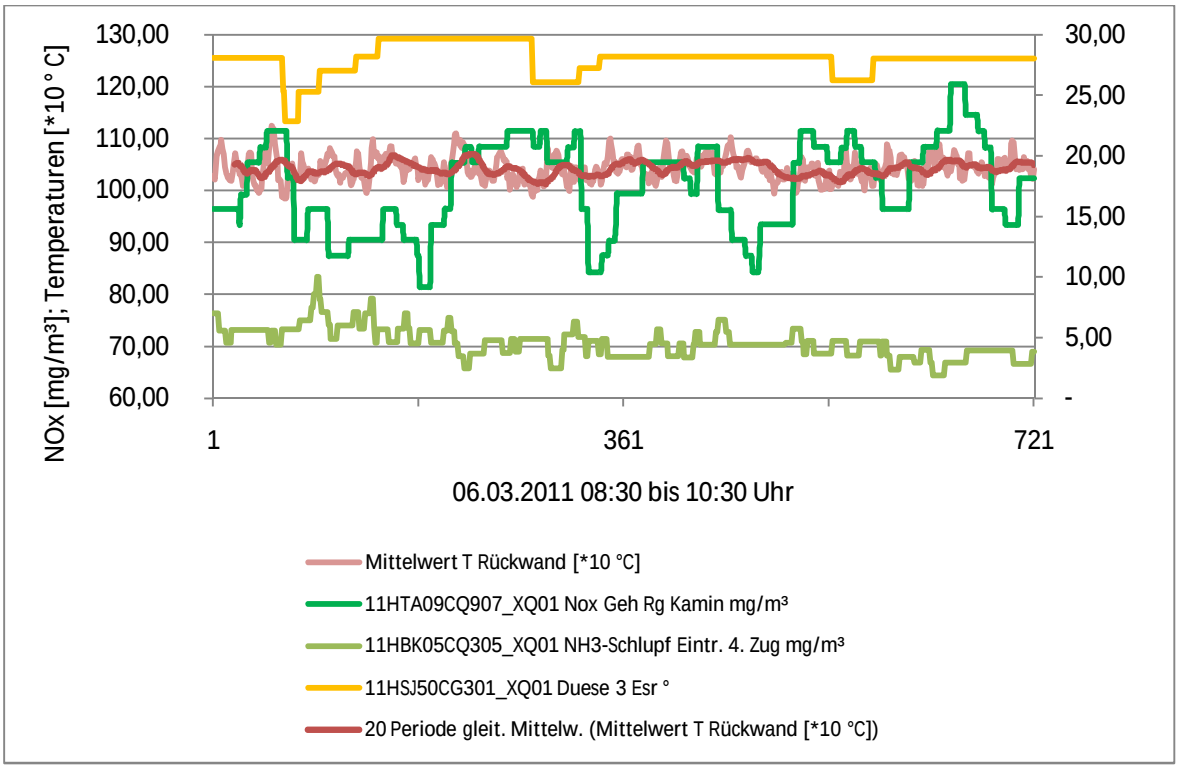


Abbildung 31: Düsenneigung Rückwand (Prozesswerte)

Die Schlupfkonzentration über der Temperatur nahe der Reaktionszone zeigt (Abbildung 32 und 33), dass über den gesamten Versuchszeitraum (Abbildung 32) eine relativ große Streubreite der Schlupfwerte vorhanden ist.

Selektiert man jedoch die Anzahl der NH_3-Schlupfwerte > 15 mg/m³ so beträgt diese lediglich 185 Stück (entspricht in Summe einer Zeitdauer von 30 Minuten über einen Zeitraum von 7 Tagen).

Wenn die unter Kapitel 3.4.4 angedachte Anpassung des Polygonzuges (Abbildung 18) und die eigentliche NH_3-Schlupfregelung umgesetzt wird, muss eine erneute Betrachtung der NH_3-Werte durchgeführt werden.

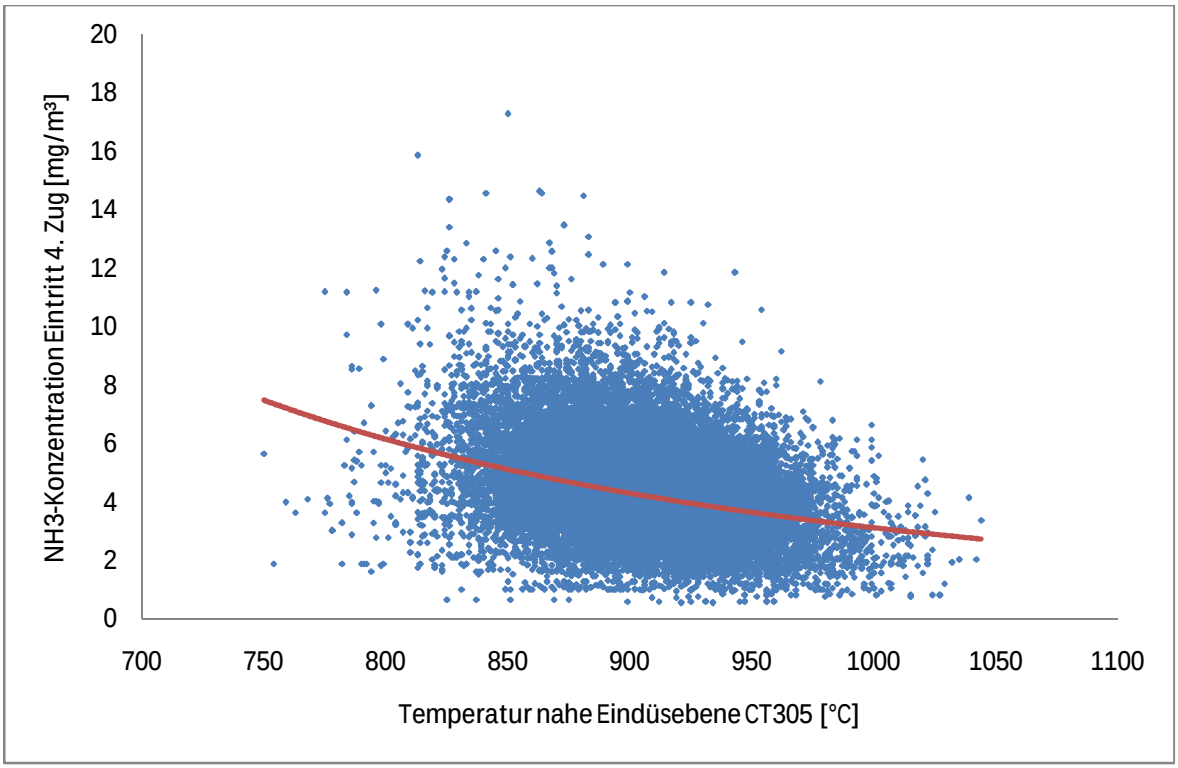


Abbildung 32: NH_3-Schlupf über Temperatur 100 mg/m³ NO_x (Prozesswerte) – gesamte Versuchszeit

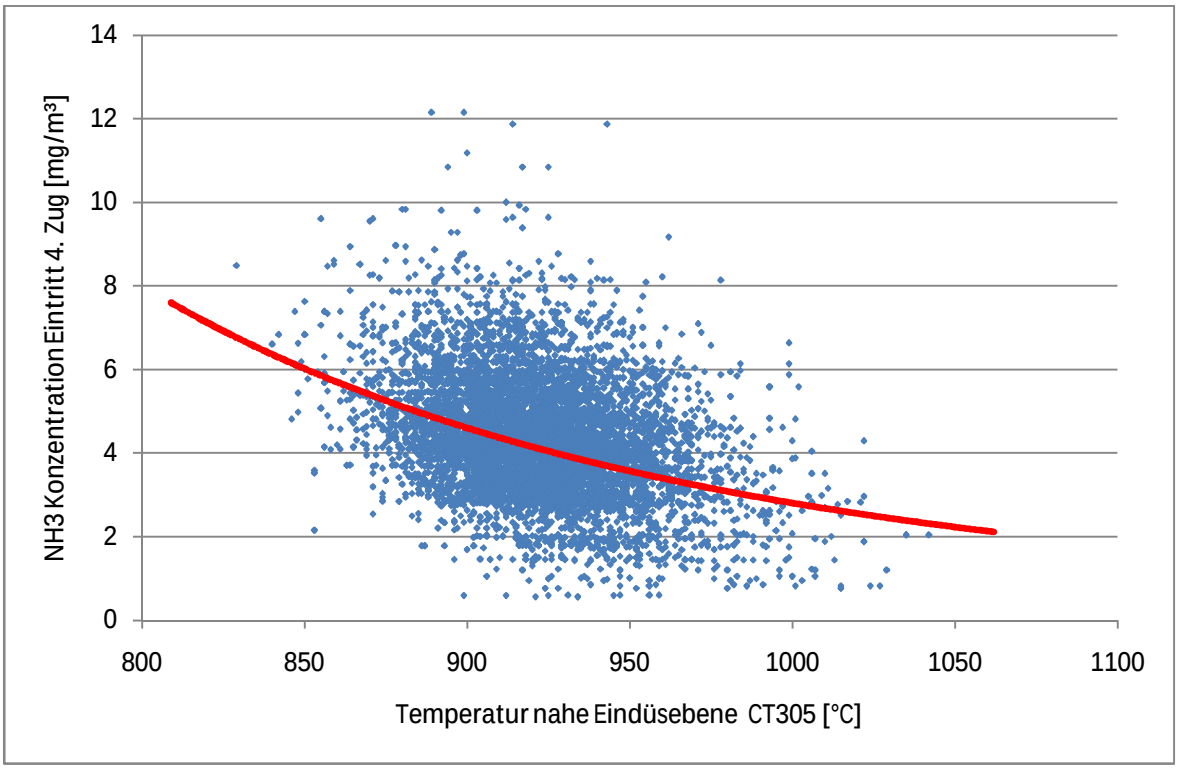
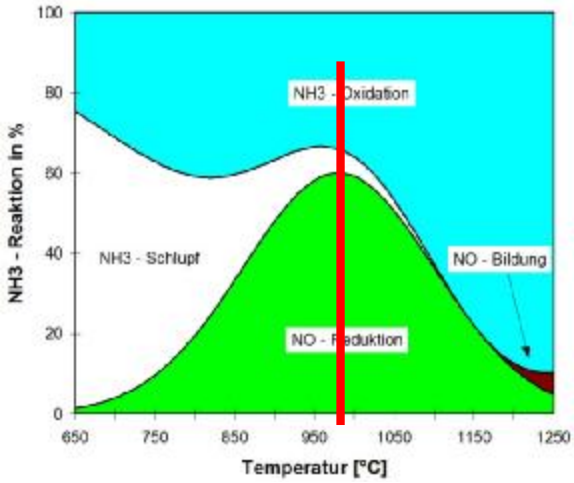
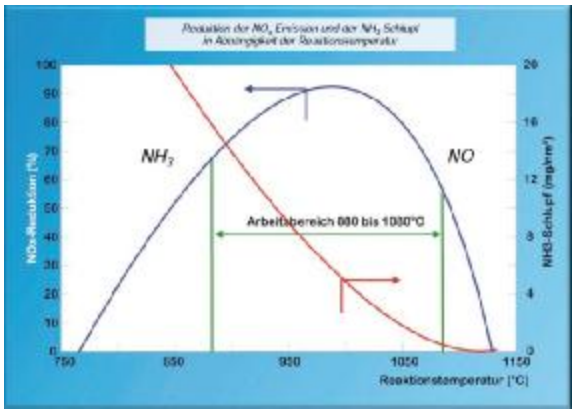


Abbildung 33: NH_3-Schlupf über Temperatur (100 mg/m³ NO_x; 06.03.2011 Prozesswerte)





(Sekundärquelle: Fa. ERC)

Abbildung 34: Theoretische Darstellung des Entstickungsprozesses über der Temperatur

Die Abbildungen 35 bis 37 zeigen die Häufigkeitsverteilungen der ½ Stunden-Mittelwerte in Relation zum eingestellten Sollwert.

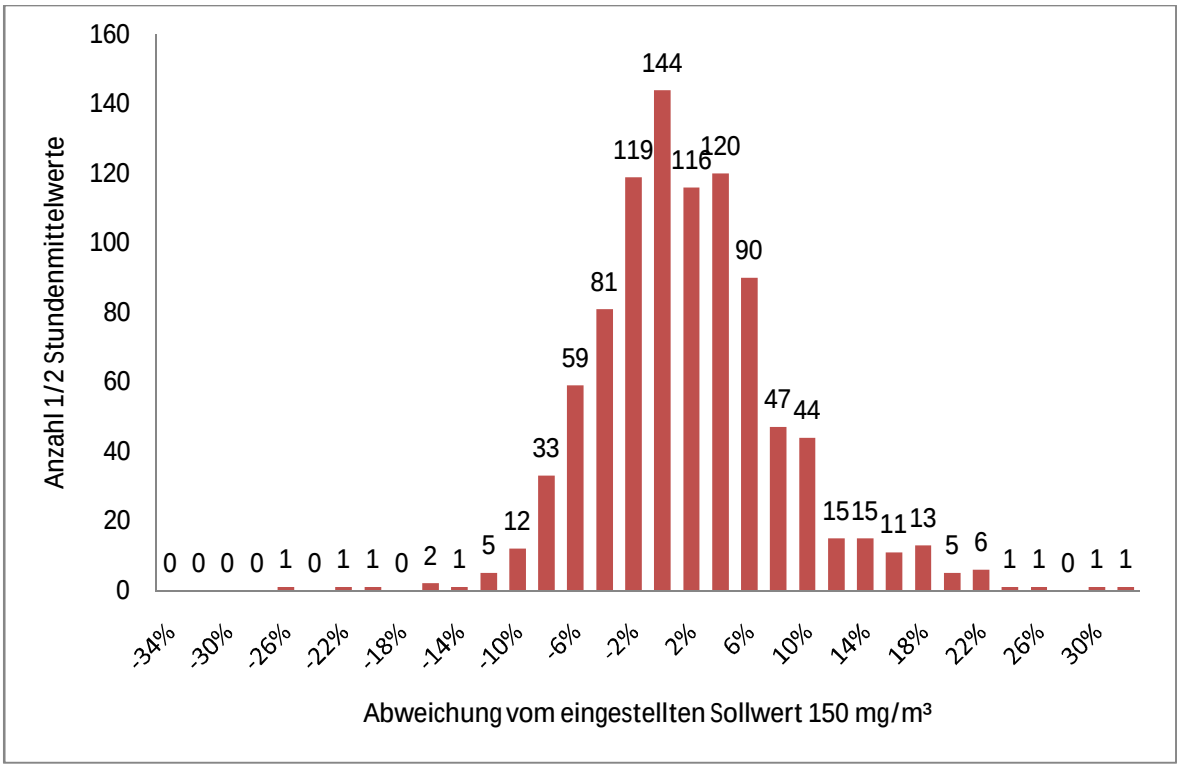


Abbildung 35: Häufigkeitsverteilung der Abweichung vom eingestellten 150 mg-Sollwert

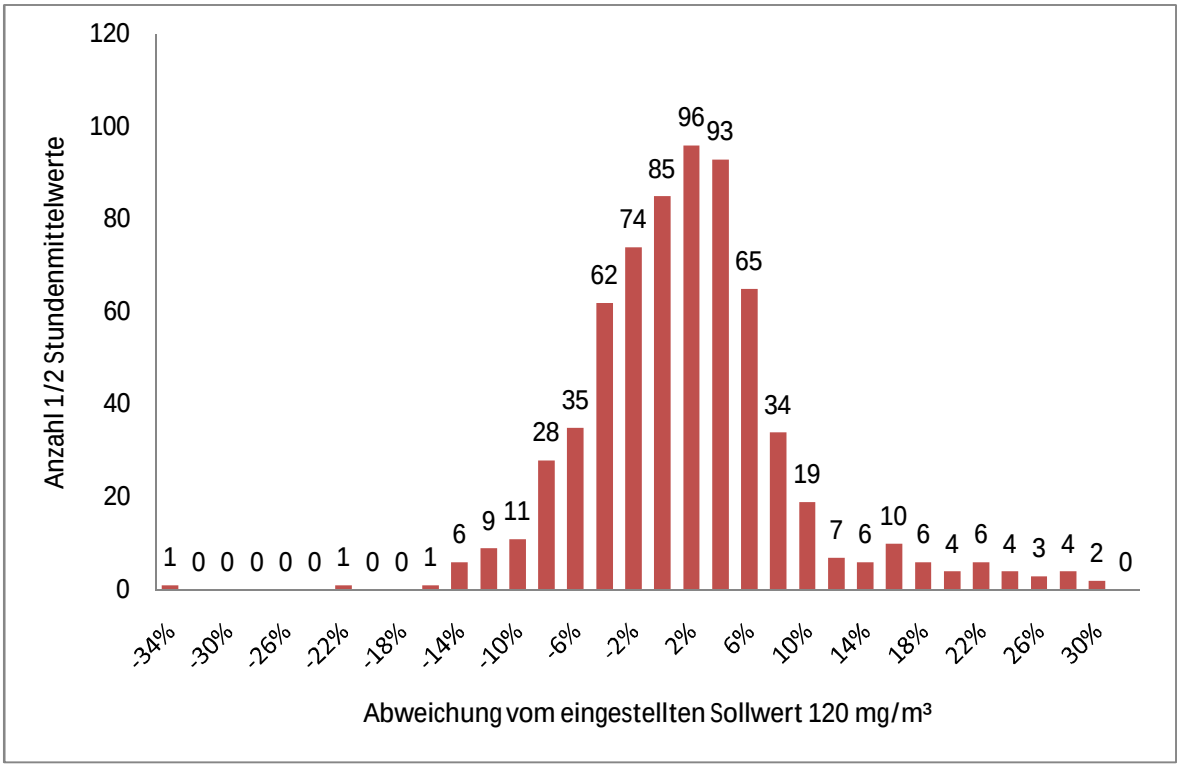


Abbildung 36: Häufigkeitsverteilung der Abweichung vom eingestellten 120 mg-Sollwert

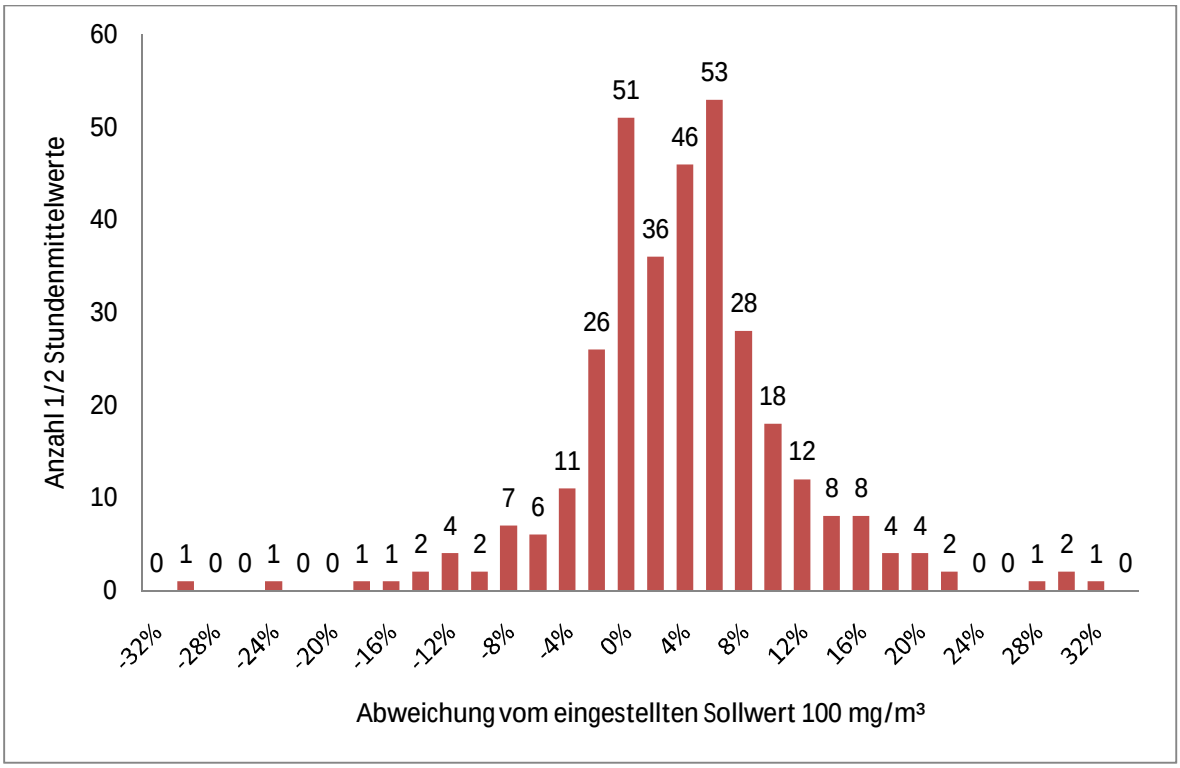


Abbildung 37: Häufigkeitsverteilung der Abweichung vom eingestellten 100 mg-Sollwert

Die in Abbildung 37 auftretende „Doppelspitze“ in der Verteilungskurve kann in dem kurzen Betrachtungszeitraum von nur 7 Tagen begründet sein.

Auch hier sind weitergehende Betrachtungen im Rahmen künftiger Versuche vorgesehen.

4.3 Kosten

Dass derartige Maßnahmen nicht umsonst sind, wird wohl jedem Betreiber klar und logisch sein.

Die nachstehende Tabelle 8 zeigt die Aufwendungen die von unserer Seite für die Versuche (bisherige + künftige Optimierung) kalkuliert sind:

Tabelle 8: Bisherige Kosten

Maßnahme	T€
Schlupfmessung	30,0
Leihgerät	4,8
Temperaturmessungen	12,0
Montage / Installation	6,4
Einbindung Leittechnik	0,6
Optimierung Leittechnik	1,6
Engineering (Fremd-/ Eigenleistung)	7,6
Analytik Feststoffe	2,1
Summe	**65,1**

Für die Maßnahmen die, sofern die NH_3-Schlupfregelung nicht den gewünschten Erfolg zeigt, müssen für unsere Anlagen-Randbedingungen ca. 70 T€ angesetzt werden.

Tabelle 9: Schätzkosten Maßnahmen Rauchgasreinigung

Maßnahme	T€
Rohrleitungsbau incl. Kühler	30,0
Belüftungsgebläse	10,0
E- und Leittechnik	15,0
Engineering	15,0
Summe	**70,0**

Für die Absenkung der Reingaswerte fallen durch den NH_3-Mehrbedarf zusätzliche Kosten in Höhe von rd. 33 T€/a an. Eine grafische Darstellung der Zunahme des NH_3-Verbrauches in Abhängigkeit des NO_x-Reingaswertes zeigt Abbildung 38.

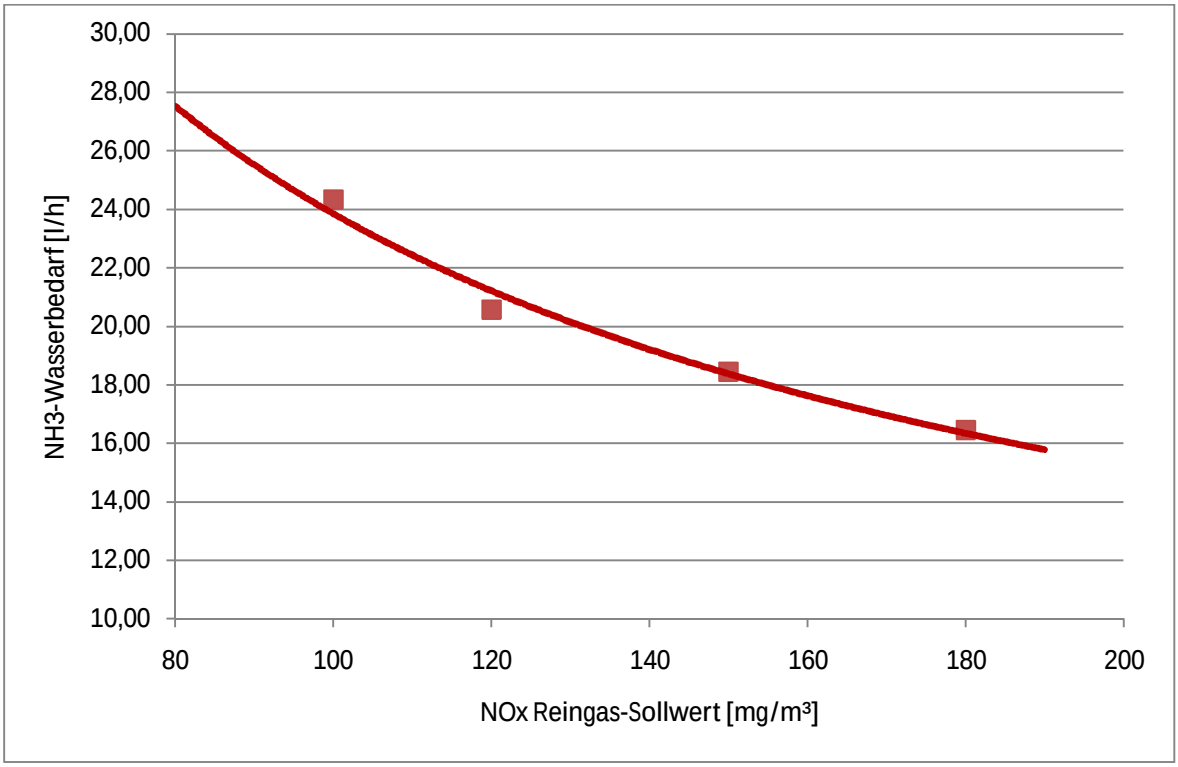


Abbildung 38: Steigerung NH_3-Verbrauch über Reingassollwert

5 Zusammenfassung

Generell stellt sich mit der SNCR Technik mit der entsprechenden Sensorik und Regelung als Möglichkeit dar, NO_x-Reingaswerte von 100 mg als Grenzwert einzuhalten. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass hinsichtlich der Schlupfoptimierung noch ausreichendes Verbesserungspotential vorhanden ist.

Derzeit gehen wir für unsere Randbedingungen davon aus, dass im Bereich der Rauchgasreinigung keine zusätzlichen Maßnahmen wie z.B. Austreiben von NH_3 durch Belüftung des Vorlagebehälters vor Sprühtrockner oder gar eine wie sonst übliche NH_3-Strippung realisiert werden muss.

Die Betriebsmitteldosierung insbesondere mit den axial schwenkbaren Düsen stellt sich als flexible und im Vergleich zu mehreren Eindüsebenen sicherlich auch kostengünstige Lösung dar. In Verbindung mit einer ausreichend schnellen Sensorik und dem geeigneten Regelungskonzept können zwei oder gar drei Eindüsebenen konventioneller Bauart abgedeckt werden.

Wie sinnvoll eine Verschärfung des NO_x-Grenzwertes für MVA im Verhältnis zu den weiteren NO_x-Quellen erscheinen mag sei dahingestellt. Hier kann ein Betreiber sowieso nur bedingt (eigentlich gar nicht) Einfluss nehmen, da diese Entscheidungen auf der politischen Ebene getroffen werden.

Für GKS ist grundsätzlich wichtig, welcher Aufwand betrieben werden muss, um eine weitergehende NO_x-Absenkung darstellen zu können, ohne größere Investitionen zu tätigen. Als Betreiber werden wir auch weiter darauf achten, dass unsere Anlagen wirtschaftlich und umweltfreundlich betrieben werden können. Die ökobilanzielle Bewertung der Umweltfreundlichkeit neuer Grenzwerte in Relation zum Mehraufwand für die Rauchgasreinigung überlassen wir an dieser Stelle Anderen. Derzeit möchten wir jedoch Anlagenmodifikationen – egal welcher Art – vermeiden, die als „wesentlich“ eingestuft werden.