„Optimierungsmöglichkeiten der NO_x-Minderung an Bestandsanlagen im Kontext zur Umsetzung der EU-Industrieemissionsrichtlinie (IED)“

Änderung 17. BImSchV / Umsetzung IED

	Nationale Umsetzung der EU-Industrieemissions-Richtlinie (IED) / Änderung 17. BImSchV			
Termine:	*„Die Anforderungen der Verordnung müssen für Anlagen, die vor Inkrafttreten der Verordnung genehmigt oder errichtet wurden, ab dem **7. Januar 2016** eingehalten werden“ [Ausnahme bez. NO_x/NH_3 für Abfallverbrennungen <3 t/h → 31.05.2018]* *„Ausnahmen beim Jahresmittelwert für NO_x für bestehende Anlagen: **31. Mai 2018**“*			Noch in Bearbeitung! (Referentenentwurf, Stand Februar 2012)
Emissions-werte:	TMW [mg/m³ i.N.tr.]	HMW [mg/m³ i.N.tr.]	JMW [mg/m³ i.N.tr.]	Neu: Einführung eines Jahresmittelwertes (JMW)
NO_x	150	400	100	
NH_3	10	15	10	
Staub	5	20	-	
Hg	0,02	0,03	0,01	keine Ausn. kont. Mess.!
HCl	10	40	-	

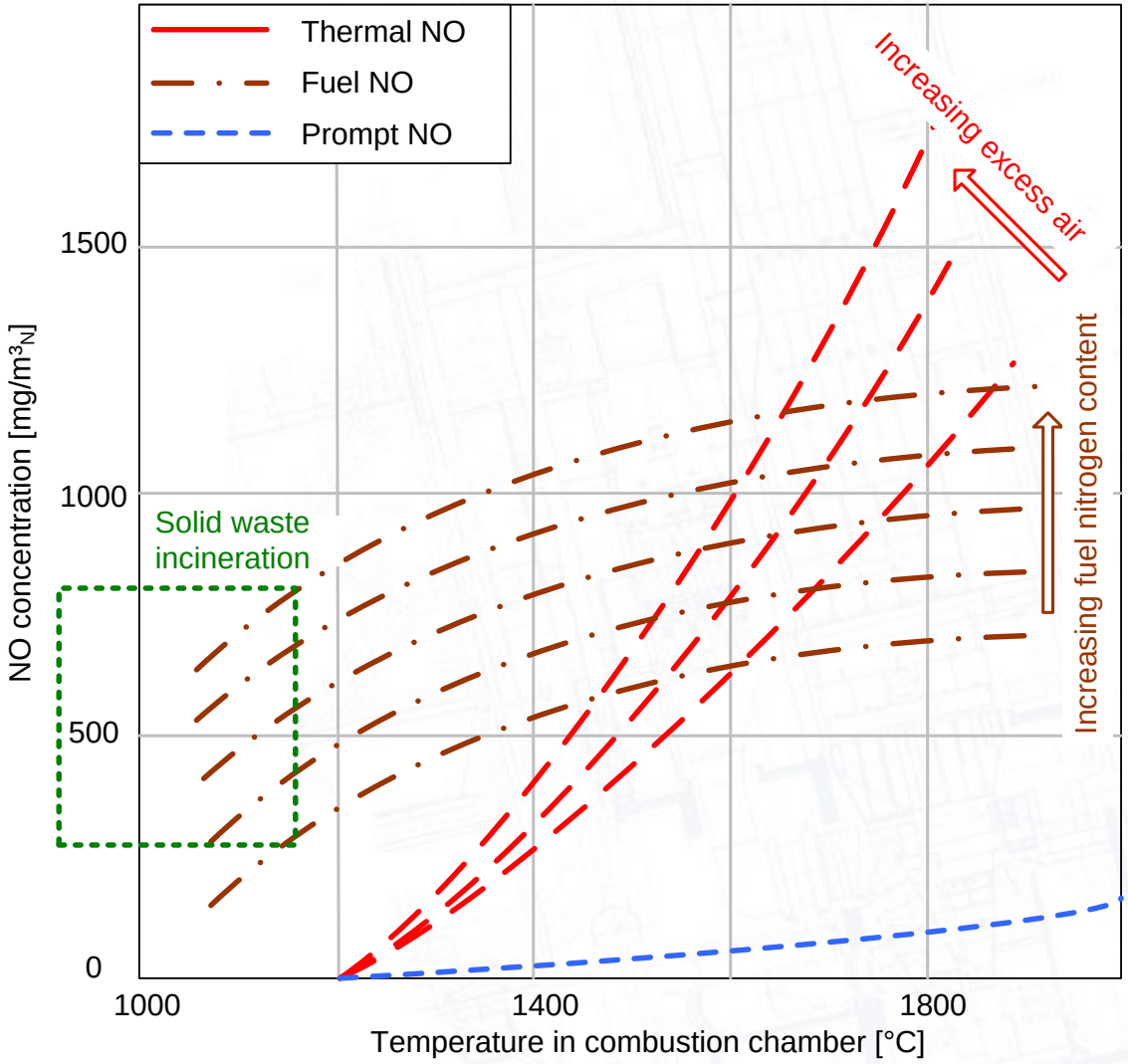
Aktualisiert nach telefonischer Auskunft durch Herrn Markus Gleis (UBA Dessau) vom 20.02.12

Einflussgrößen auf die NO_x-Bildung

- Brennstoffart: Heizwert, Stickstoffgehalt
- Flammentemperatur: Radikalbildung, Dissoziationsenergie
- Luftvorwärmung: Temperaturniveau
- Sauerstoffangebot: Luftzahl λ, Oxidation
- Brennerkonstruktion: Vermischung von Brennstoff & Verbrennungsluft
- Verbrennungsablauf: gestufte Brennstoff- und Verbrennungsluftzufuhr
- Verweilzeit: Reaktionsgeschwindigkeit, Abgasführung
- Feuerraumgeometrie: Anordnung der Brenner
- Feuerraumbelastung: ab ca. 2,5 MW/m³ erhöhter NO_x-Anstieg
- Feuerraumkühlung: Kesselwandtemperatur
- Feuerungswärmeleistung: Wärmestromdichte, Lastbereich
- Thermische Rostbelastung: empf. Bereich zwischen 0,5- 0,7 MW/m² (max. 0,83)

Ansatzpunkte für Primärmaßnahmen

Einfluss der Feuerraumtemperatur



Quelle: Quicker, P.

Übersicht Sekundärmaßnahmen

Sekundärmaßnahmen

- **Nassverfahren**
  - **Oxidationsverfahren**
    - → mit Ozon (O_3)
    - → mit Natriumchlorit ($NaClO_2$)
    - → mit Wasserstoffperoxid (H_2O_2)
    - **Walther-/AMASOX-Verfahren**
  - **Reduktionsverfahren**
    - **Fe2+-EDTA-Verfahren (S)**
- **Trockenverfahren**
  - **nicht katalytische Verfahren**
    - **Elektronenstrahlverfahren (S)**
    - **SNCR-Verfahren**
  - **katalytische Verfahren**
    - **Aktivkoks-Verfahren (S)**
    - **DESONOX-Verfahren (S)**
    - **SCR-Verfahren**

(S): Simultane Abscheidung von SOx und NOx

SNCR, Stickoxid-Reduktion

- Bruttoreaktionen für die Stickoxid-Reduktion (wichtigste):

Mit Ammoniak-wasser:

$$4\ NO + 4\ NH_3 + O_2 \rightarrow 4\ N_2 + 6\ H_2O$$
$$6\ NO_2 + 8\ NH_3 \rightarrow 7\ N_2 + 12\ H_2O$$

Mit Harn-stoff:

$$4\ NO + 2\ (NH_2)_2CO + O_2 \rightarrow 4\ N_2 + 2\ CO_2 + 4\ H_2O$$
$$2\ NO_2 + 2\ (NH_2)_2CO + O_2 \rightarrow 3\ N_2 + 2\ CO_2 + 4\ H_2O$$

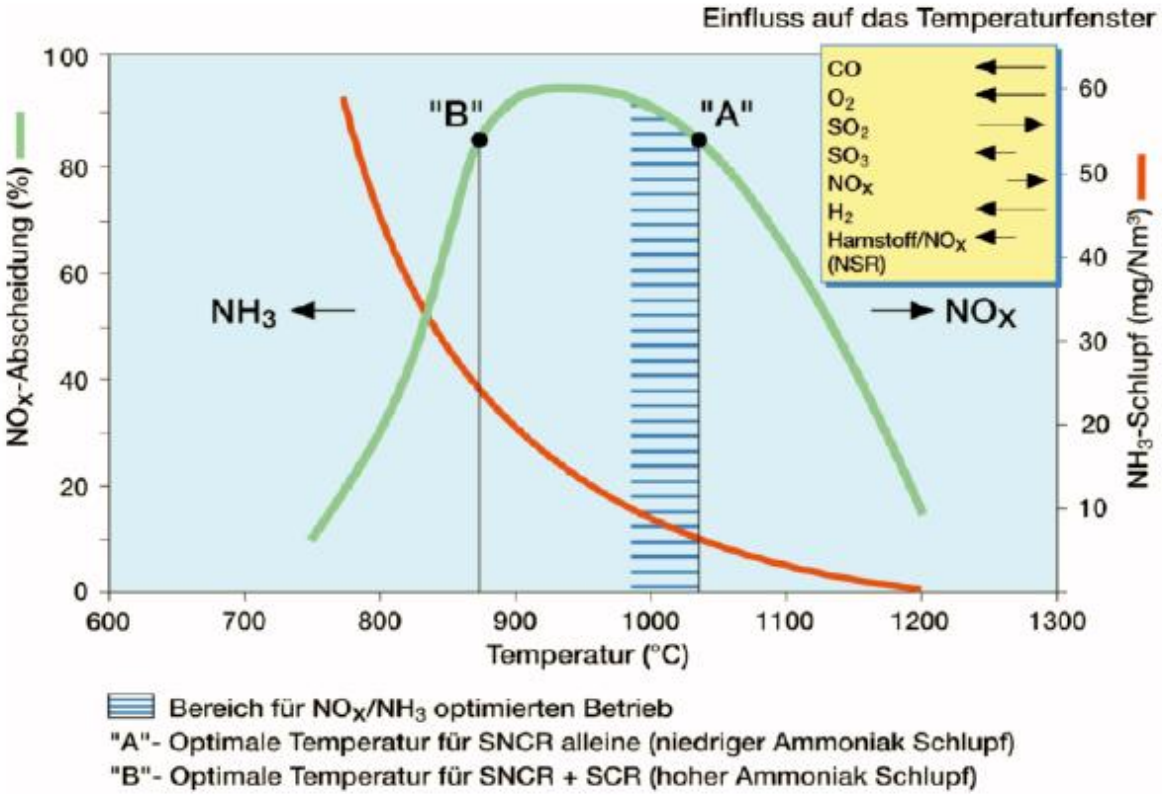
- Der Reaktionsweg verläuft jeweils über die Bildung von NH_2-Radikalen:

$$2\ NH_3 + O_2 \rightarrow 2\ \bullet NH_2 + 2\ \bullet OH$$
$$NH_3 + \bullet OH \rightarrow \bullet NH_2 + H_2O$$
$$(NH_2)_2CO \rightarrow 2\ \bullet NH_2 + CO$$

- Die eigentlichen radikalischen Reduktionsreaktionen lassen sich wie folgt darstellen:

$$NO + \bullet NH_2 \rightarrow N_2 + H_2O$$
$$2\ NO_2 + 4\ \bullet NH_2 \rightarrow 3\ N_2 + 4\ H_2O$$

SNCR Temperaturfenster



Minimierung NH_3-Schlupf:

- Reaktionstemperatur
- Verweilzeit im relevanten Temperaturfenster
- Molverhältnis von Reduktionsmittel zu NO
- Vermischungsqualität von Reduktionsmittel und Abgas
- Art der Zugabetechnik des Reduktionsmittels
- Qualität der Feuerungsführung

Quelle: Mehldau & Steinfath

Stickoxid-Reduktion / SNCR-Nebenreaktionen

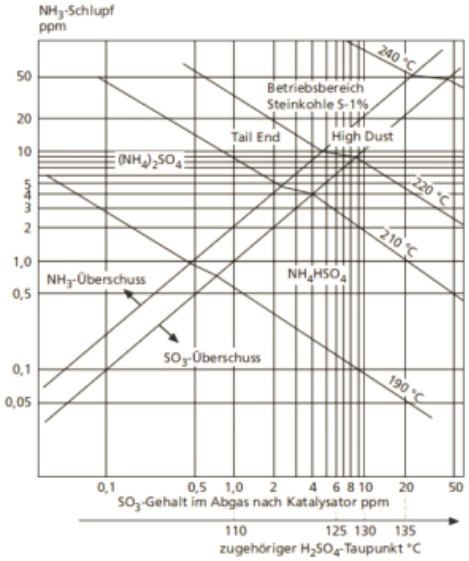
- Oberhalb Temperaturfenster 850 - 1.100°C erhöhte NH_3-Oxidation mit NO_x-Bildung:

$$4\ NH_3 + 5\ O_2 \rightarrow 4\ NO + 6\ H_2O$$
$$4\ NH_3 + 7\ O_2 \rightarrow 4\ NO_2 + 6\ H_2O$$

- Temperaturfenster <850°C erhöhter NH_3-Schlupf:

➲ Bildung von Ammoniumsulfat/-hydrogensulfat:

$$2\ NH_3 + 2\ H_2O + SO_3 \rightarrow (NH_4)_2SO_4$$
$$NH_3 + H_2O + SO_3 \rightarrow (NH_4)HSO_4$$



➲ Bildung von Ammoniumchlorid

$$NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$$

Sehr feine Partikel!
Möglicher Anstieg Δp Gewebefilter

➲ NH_3-Schlupf führt insgesamt zu einer Belastung der Reststoffe mit möglicher NH_3-Freisetzung im basischen Milieu (Geruchsbelästigung)

SNCR-Anforderungskatalog („hohe Anforderungen“)

NO_x/NH_3=100/10 mg/m$^3_{i.N.tr.}$

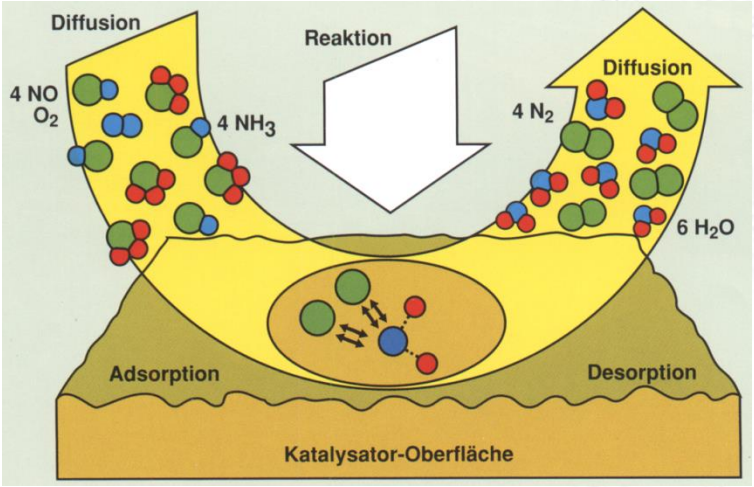
- Abweichung der Rauchgastemperaturen vom Mittelwert des Feuerraumquerschnitts an allen Punkten, die über 500 mm von der Feuerraumwand entfernt sind, **maximal 50 K**
- Standardabweichung der produzierten Dampfmenge vom eingestellten Sollwert **maximal 5 %**
- Änderungsgeschwindigkeit der Dampfproduktion maximal **1 % pro Minute**
- Stickoxidkonzentration vor SNCR **maximal 550 mg/m$^3_{i.N.tr.}$ TMW** bzw. **maximal 2 x pro Tag 650 mg/m$^3_{i.N.tr.}$ HMW**

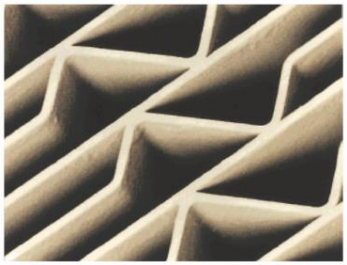
- Maßnahmen im Bereich der Nachverbrennung (z.B. agam, einzeln regelbare Sekundärluftdüsengruppen)
- FLR, SNCR-Regelung und Sekundärluftregelung (Temperaturschieflagen-regelung) mit schneller Temperaturmessung
- Guter Wartungszustand der SNCR-Eindüslanzen

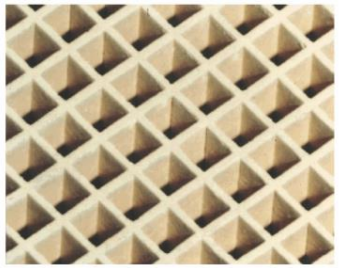
Quellen: Pachaly, R., Tappe, T.

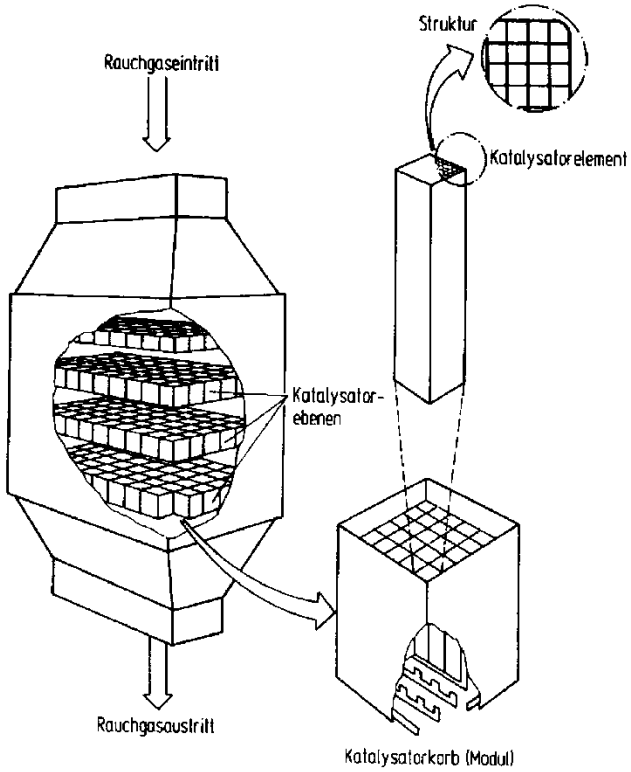
SCR-Verfahren

- NO_x-Umsetzung zu N_2 und H_2O mit Hilfe eines Katalysators und Ammoniak als Reduktionsmittel
- Gleiche Bruttoreaktionsgleichungen für NO_x-Reduktion wie bei SNCR
- Reaktion zwischen ca. 200 (min 160) und 400°C durch Herabsetzung der Aktivierungsenergie mit einem Katalysator (TiO_2, V_2O_5, WO_3)



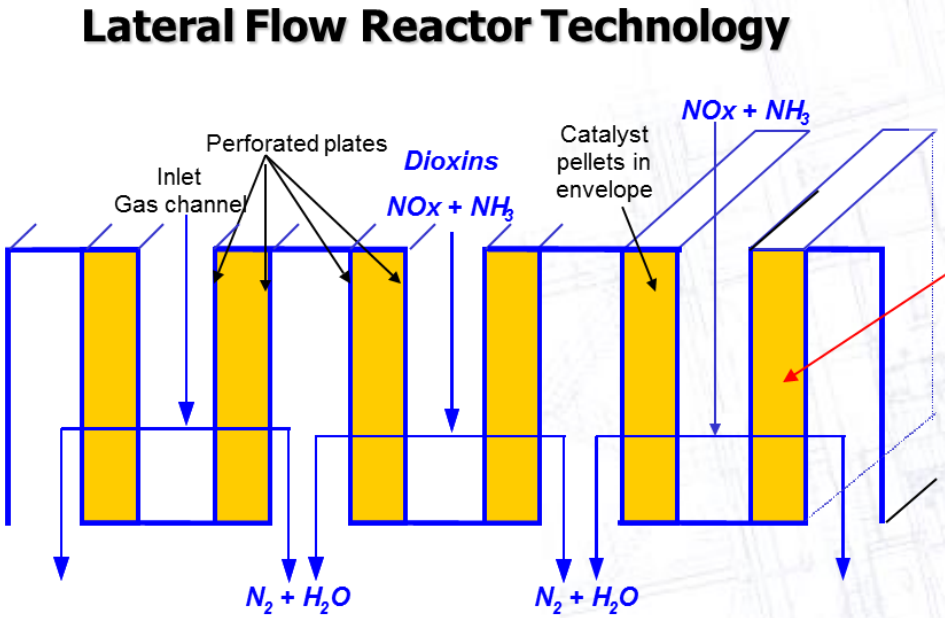


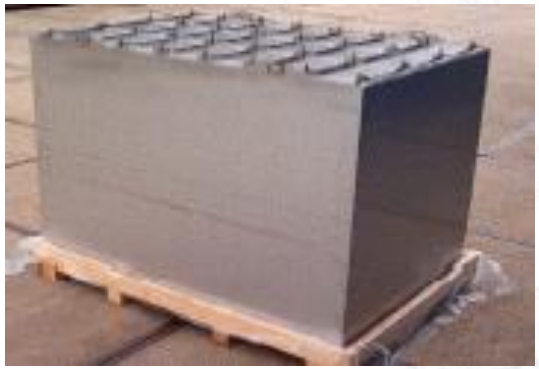


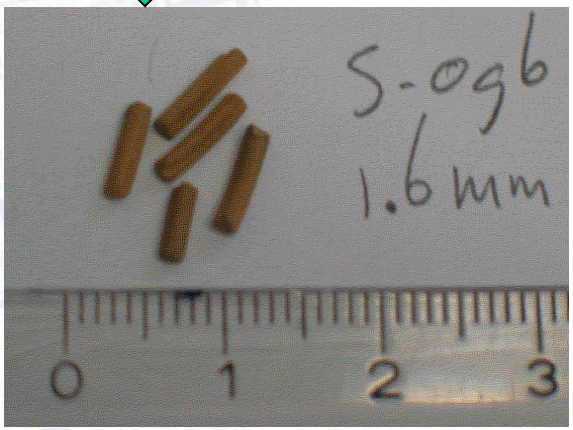


SCR-Verfahren, Schüttgutkatalysator

- Wabenkatalysator → laminar
- Schüttgut-Katalysator → turbulent
  besserer Stoffübergang = kleineres Volumen!

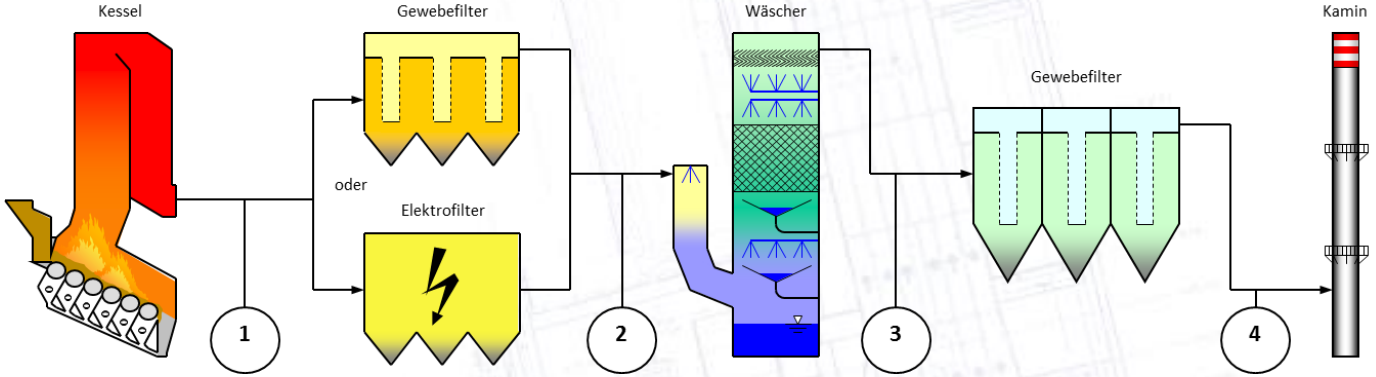






Quelle: CRI Catalyst

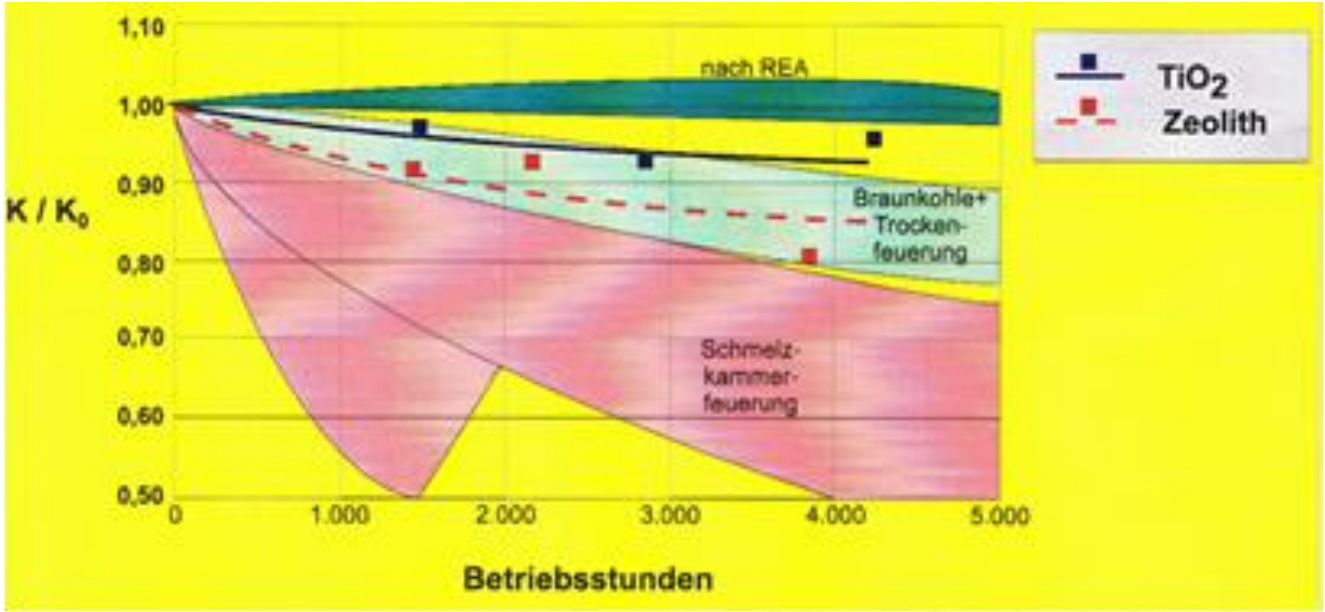
SCR, Anordnungsmöglichkeiten



Position	1	2	3	4
Anordnung	**High Dust / High SO_x**	**Low Dust / High SO_x**	**Low Dust / Low SO_x**	**Tail End**
Vorteile	• einfache und kostengünstige Anlagentechnik • kein Wärmetauscher und kein zusätzlicher Energieverbrauch (Erdgas, Dampf) wie in 3 und 4 • zusätzliche Dioxinzerstörung • keine aufwendige Staubvorabscheidung	• kein Wärmetauscher wie in 3 und 4 • zusätzlich komplette Dioxinminderung im Katalysator möglich	• zusätzlich komplette Dioxinminderung im Katalysator möglich • keine Dioxinbeladung im Reststoff bei nachgeschaltetem Polizeifilter	• keine signifikante Deaktivierung • hohe Standzeiten • bei Niedertemperatur-SCR (230°C) Verwendung von Dampf zur Wiederaufheizung möglich • bei Niedertemperatur-SCR (180°C) ggf. keine Aufheizung notwendig • fast kein SO_2 / SO_3 • keine Staubbläser
Nachteile	• Ggf. Einschränkungen bei Katalysatorstandzeit • Staubbläser notwendig	• aufwendige Staubvorabscheidung < 20 mg/m³ • durch die SO_2/SO_3-Konversion relativ hohe SO_3-Konzentration (Aerosolbildung) • zum Teil Staubbläser notwendig	• aufwendige und kostenintensive Wiederaufheizung • Verwendung von korrosionsbeständigen Materialien (Wasser-/ Säuretaupunkt) im Nassbereich	• nur bei Niedertemperatur-SCR → höheres Katalysatorvolumen • höhere Reststoffbeladung mit Organika des vorgeschalteten Adsorbers • aufwendige und kostenintensive Wiederaufheizung (Ausn. 180°C) • Ggf. Katalysatorregeneration erforderlich (180°C)

High-Dust- & Schlupf-Katalysator (1)

- Erste HD-Katalysator Großanlage in MVA bei SYSAV/Malmö (S) 1995 in Betrieb genommen (ABB Fläkt)
- Katalysatortemperatur ca. 280°C
- Deaktivierungsrate für TiO_2 und Zeolith zuvor mit Pilotanlage 1994 ermittelt



Quelle: ABB Fläkt

High-Dust- & Schlupf-Katalysator (2)

Weitere ausgeführte Anlagen in MVA mit HD-Katalysatoren:

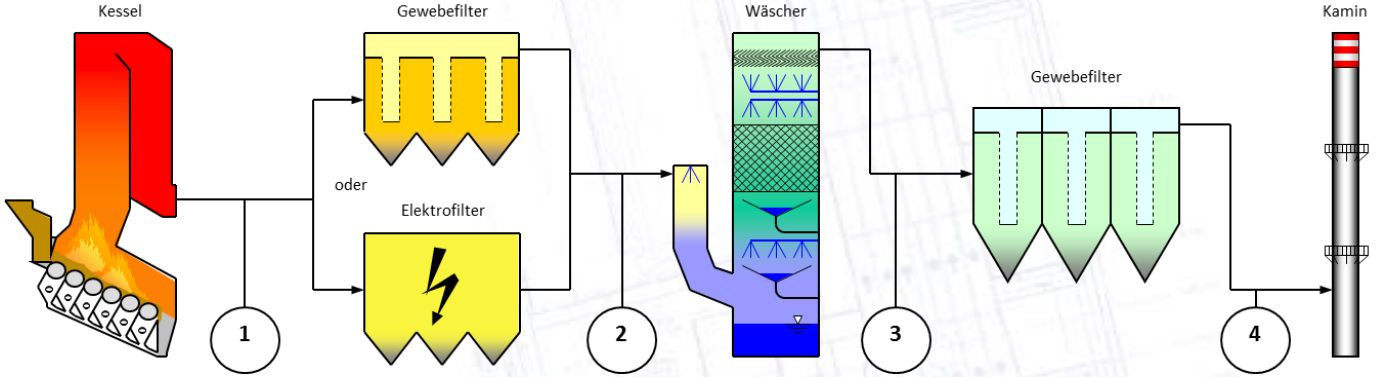
- MHKW Würzburg L3 (SNCR + Schlupfkatalysator [Wabe])
  - Kat-Temperatur zunächst ca. 330°C → Probleme mit Bleibelegung;
  - erst nach Absenkung der Temperatur auf 250°C waren 8.000 h Betrieb möglich

- MHKW Mainz (SNCR + Schlupfkatalysator [Wabe]):
  - als Schlupfkatalysatoren wurden gebrauchte Katalysatoren aus dem benachbarten, stillgelegten Braunkohle-KW eingesetzt

- ASM Brescia (I), (SNCR + Schlupfkatalysator [Platte]):
  - seit 2005/2006 Einsatz eines HD-Katalysators zu Testzwecken
  - Absenkung der NO_x-Emissionen und Minimierung NH_3-Schlupf
  - Austausch erste von 2 Lagen in 2008 wegen Erosionsschäden

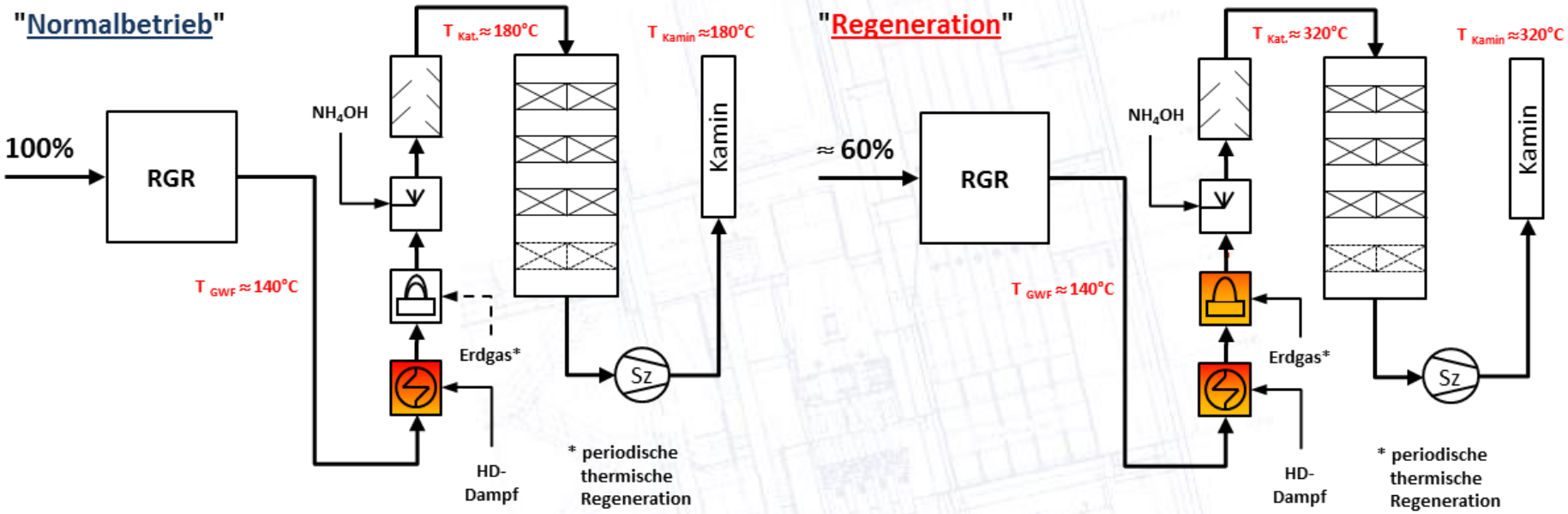
- Reinigungseinrichtungen (Staubbläser) sind obligatorisch!

SCR, Anordnungsmöglichkeiten



Position	1	2	3	4
Anordnung	**High Dust / High SO_x**	**Low Dust / High SO_x**	**Low Dust / Low SO_x**	**Tail End**
Vorteile	• einfache und kostengünstige Anlagentechnik • kein Wärmetauscher und kein zusätzlicher Energieverbrauch (Erdgas, Dampf) wie in 3 und 4 • zusätzliche Dioxinzerstörung • keine aufwendige Staubvorabscheidung	• kein Wärmetauscher wie in 3 und 4 • zusätzlich komplette Dioxinminderung im Katalysator möglich	• zusätzlich komplette Dioxinminderung im Katalysator möglich • keine Dioxinbeladung im Reststoff bei nachgeschaltetem Polizeifilter	• keine signifikante Deaktivierung • hohe Standzeiten • bei Niedertemperatur-SCR (230°C) Verwendung von Dampf zur Wiederaufheizung möglich • bei Niedertemperatur-SCR (180°C) ggf. keine Aufheizung notwendig • fast kein SO_2 / SO_3 • keine Staubbläser
Nachteile	• Ggf. Einschränkungen bei Katalysatorstandzeit • Staubbläser notwendig	• aufwendige Staubvorabscheidung < 20 mg/m³ • durch die SO_2/SO_3-Konversion relativ hohe SO_3-Konzentration (Aerosolbildung) • zum Teil Staubbläser notwendig	• aufwendige und kostenintensive Wiederaufheizung • Verwendung von korrosionsbeständigen Materialien (Wasser-/ Säuretaupunkt) im Nassbereich	• nur bei Niedertemperatur-SCR → höheres Katalysatorvolumen • höhere Reststoffbeladung mit Organika des vorgeschalteten Adsorbers • aufwendige und kostenintensive Wiederaufheizung (Ausn. 180°C) • Ggf. Katalysatorregeneration erforderlich (180°C)

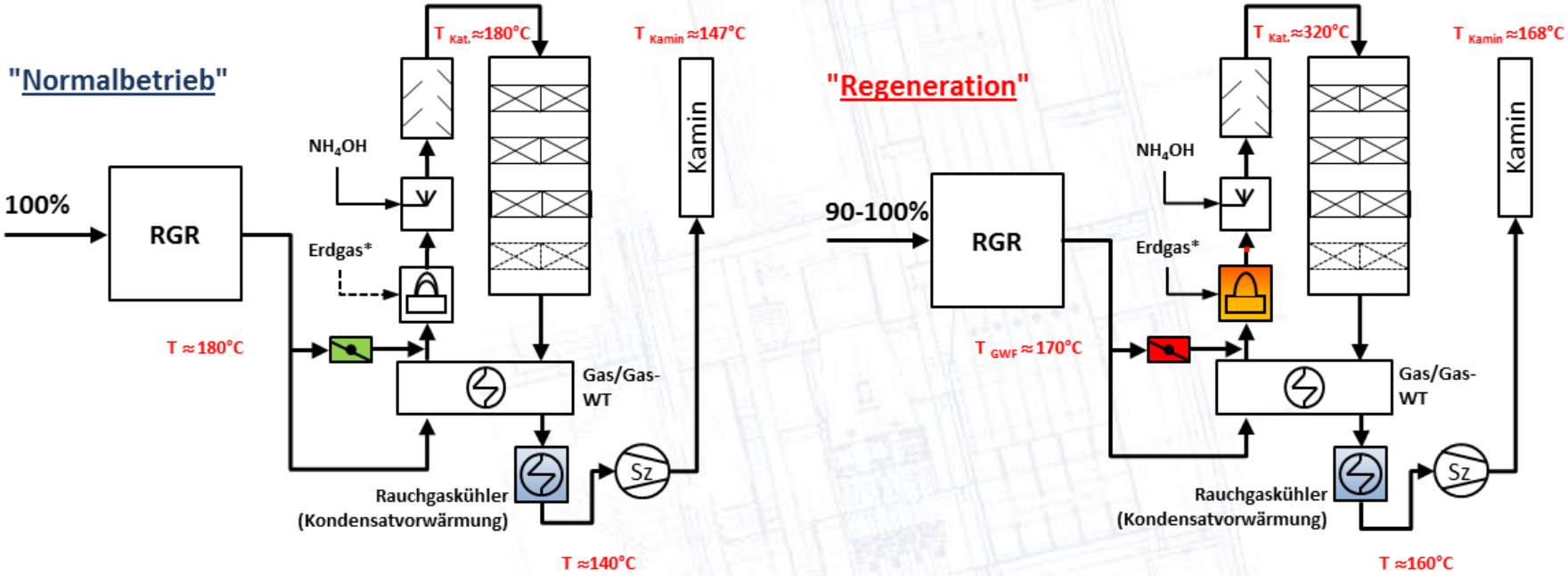
Tieftemperatur-Katalysator, Regeneration (1)



Nachteile:

- Lasteinschränkung auf ca. 60% während der Regeneration erforderlich, i.d.R. bestimmt durch Auslegung des Brenners (ΔT = 320 – 180°C)
- Auslegung von Saugzug, Kamin (inkl. Messeinrichtungen!), Rauchgaskanäle auf >320°C erforderlich

Tieftemperatur-Katalysator, Regeneration (2)



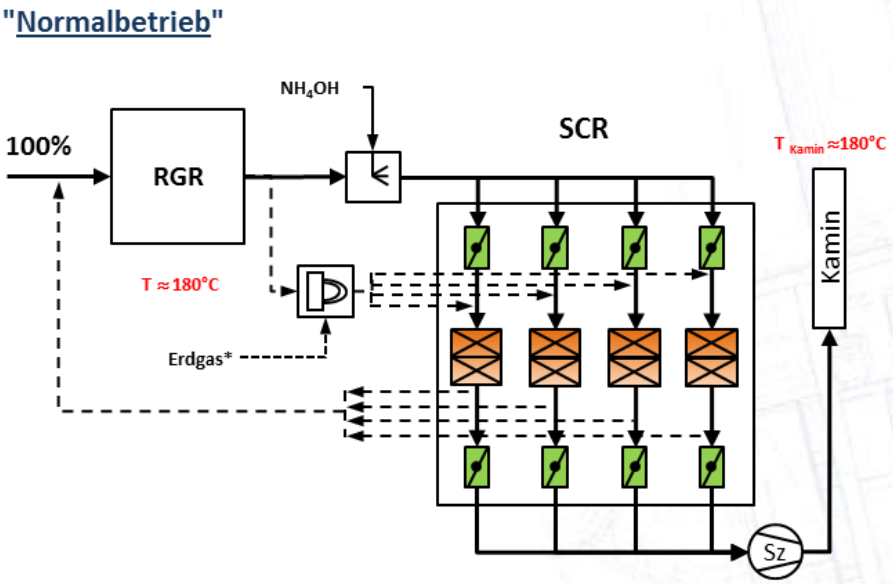
Vorteile:

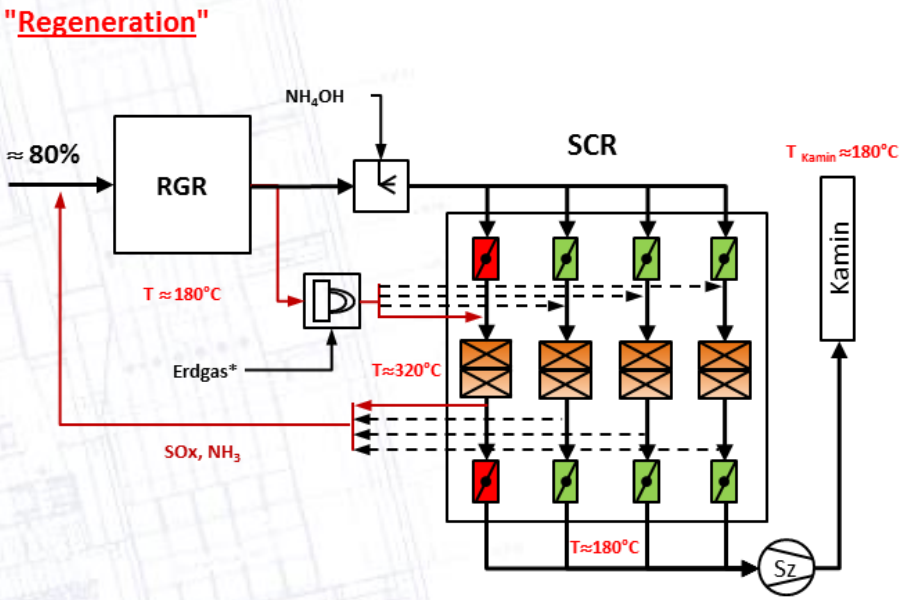
- Praktisch keine Lasteinschränkung während der Regeneration
- Brenner muss nur Grädigkeit des Gas/Gas-WT überwinden (ΔT ca. 30 K)
- Keine besonderen Maßnahmen für Saugzug, Kamin erforderlich

Nachteile:

- Permanenter Druckverlust durch Gas/Gas-WT (Minimierung durch Bypass möglich; der Gas/Gas-WT wird erst nach Schließen der Rauchgasklappe „aktiv“)

Tieftemperatur-Katalysator, Regeneration (3)





Vorteile:

- Geringe Lasteinschränkung während der Regeneration
- Rückführung der bei der Regeneration frei werdenden Stoffe vor die RGR

Nachteile:

- Aufwendiger Aufbau des SCR-Reaktors in einzeln abtrennbare Kammern

Tieftemperatur-Katalysator, Regeneration (4)

Weitere Möglichkeiten zur Katalysator-Regeneration:

- Reinigen & Spülen der Katalysatormodule (Durchführung z.B. bei externem Dienstleister, daher Anlagenstillstand und Aus-/Einbau sowie Transport erforderlich)

- Reinigen & Spülen der Katalysatormodule mit VE-Wasser im eingebauten Zustand (Anlagenstillstand erforderlich, ggf. Entsorgung der Abwässer)

SCR/Katalysator-Nachrüstung

Ausgangssituation für eine Katalysator-Nachrüstung (Modellbetrachtung):

- Die NOx-Reingaskonzentration soll mit SCR durch Verfahrensumstellung von einer Fahrweise mit SNCR bei 140 $mg/m^3_{i.N.tr.}$ auf einen Tagesmittelwert von 90 $mg/m^3_{i.N.tr.}$ abgesenkt werden

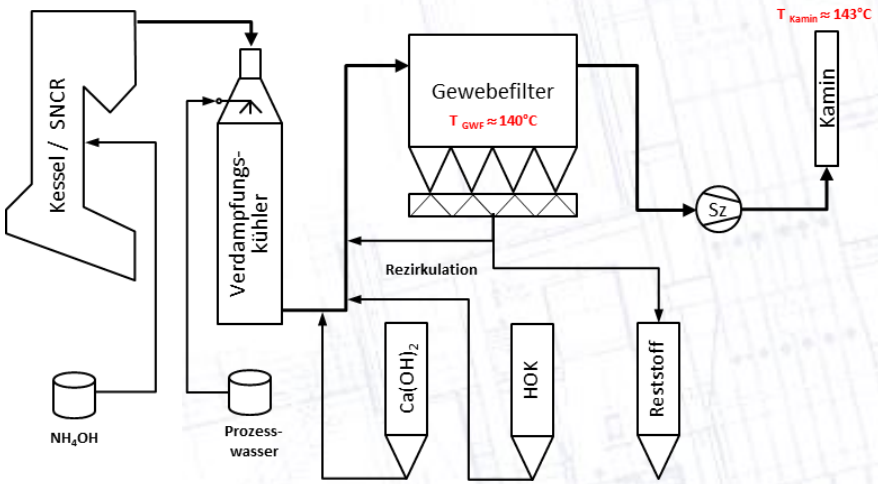
Ausgangszustand („A“)		wird	Ergänzungszustand („E“)		Bemerkung
RGR mit SNCR	verw. Additiv	zu:	RGR mit SCR	verw. Additiv	
„A1“	Kalk	→	„E1-1“	Kalk	ohne Gas/Gas-WT
		→	„E1-2“	Kalk	mit Gas/Gas-WT
		→	„E1-3“	Natriumbicar-bonat	durch Verfahrensumstellung von Kalk auf Natriumbicarbonat
		→	„E1-4“	Kalk	SNCR + SCR
„A2“	Natriumbi-carbonat	→	„E1-3“	Natriumbicar-bonat	

SCR/Katalysator-Nachrüstung, Bilanzdaten

Komponente	Einheit	Rauchgas Kesselaustritt	Reingas Kamin *
Volumenstrom, feucht	$m^3/h_{i.N.f}$	100.000	-
Rauchgasfeuchte	Vol.-%	15	-
Volumenstrom, trocken	$m^3/h_{i.N.tr.}$	85.000	-
p	mbar	-12	-
Temperatur	°C	220	-
HCl	$mg/m^3_{i.N.tr.}$	1.200	8
SO_2	$mg/m^3_{i.N.tr.}$	300	15
HF	$mg/m^3_{i.N.tr.}$	10	< 1
NO_x (mit SNCR / SCR)	$mg/m^3_{i.N.tr.}$	370	140 / 90
NH_3	$mg/m^3_{i.N.tr.}$	-	10 / 2
Staub	$mg/m^3_{i.N.tr.}$	2.000	< 5

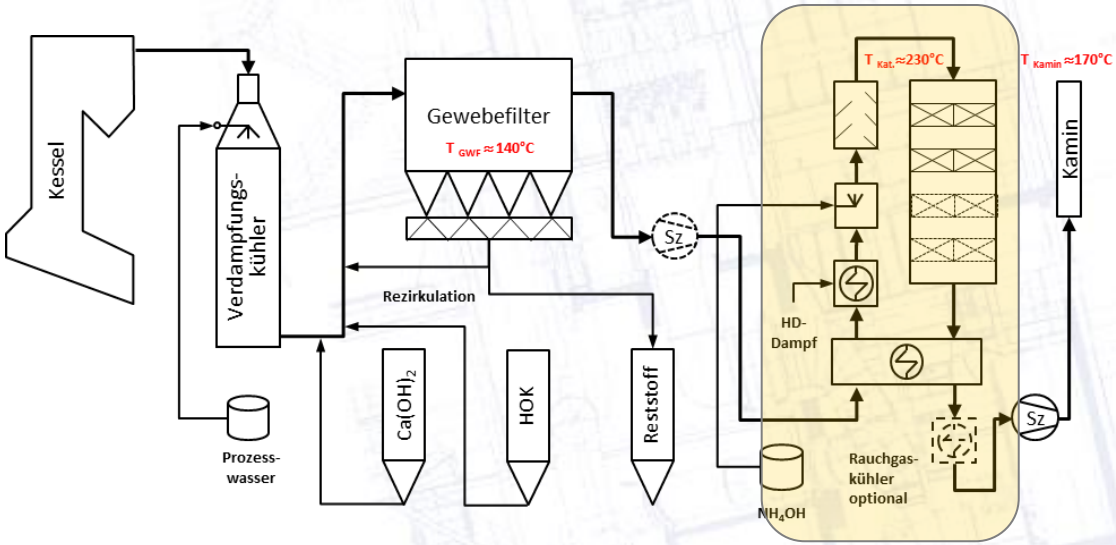
Katalysator-Nachrüstung (A1 → E1-1)

A1:



SNCR, Trockensorption mit Kalk

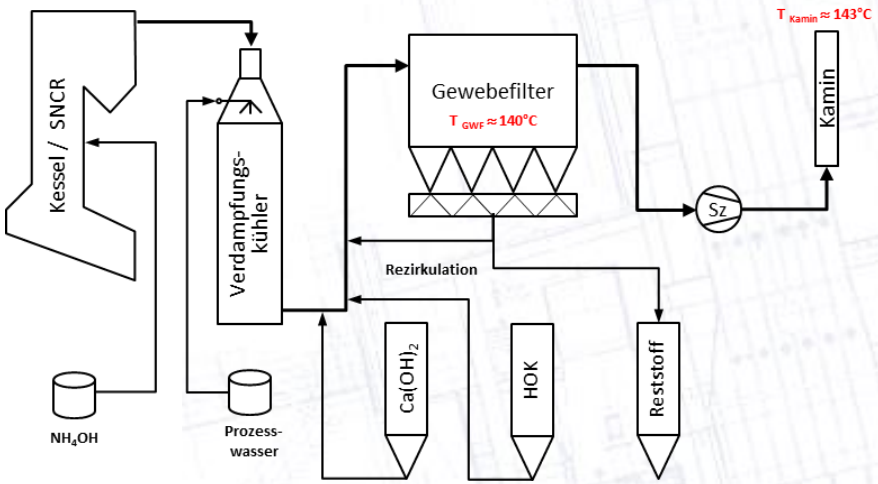
E1-1:



Trockensorption mit Kalk, SCR (230°C), Gas/Gas-WT

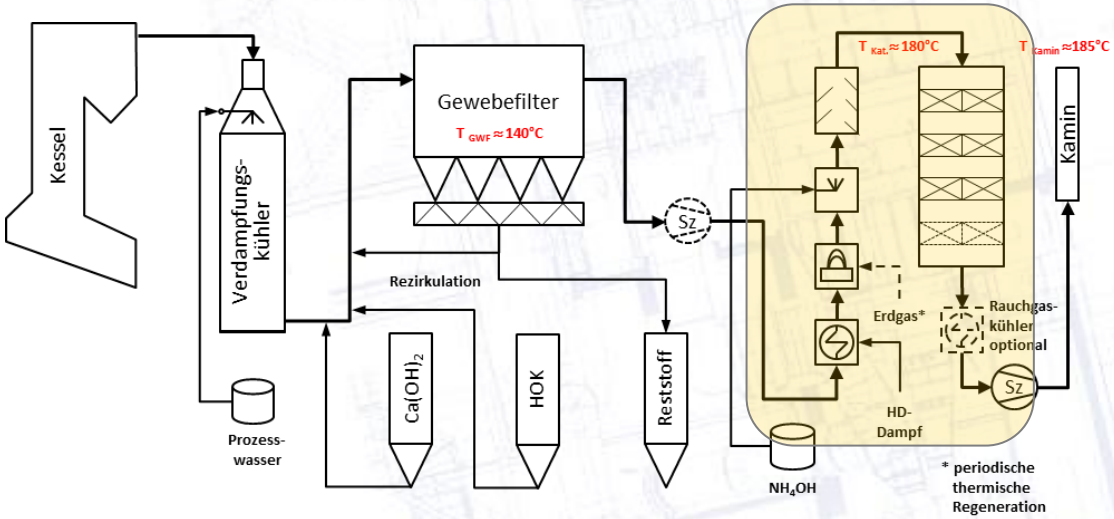
Katalysator-Nachrüstung (A1 → E1-2)

A1:



SNCR, Trockensorption mit Kalk

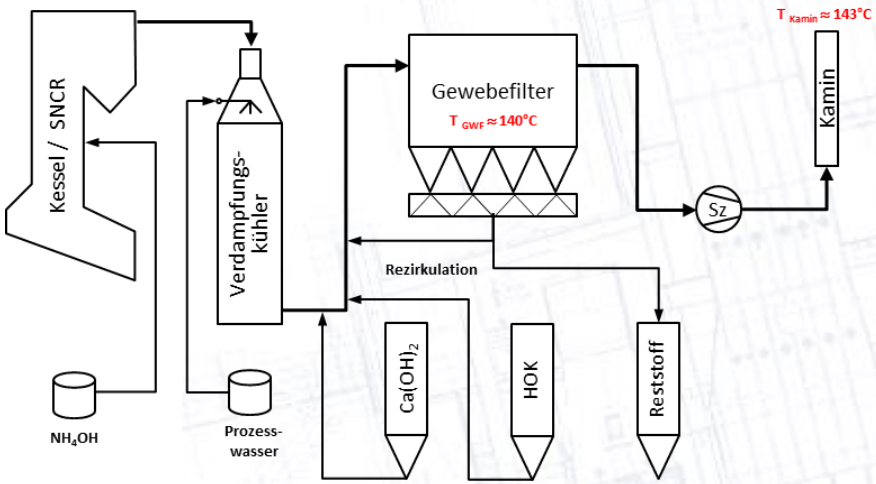
E1-2:



Trockensorption mit Kalk, SCR (180°C), ohne Gas/Gas-WT

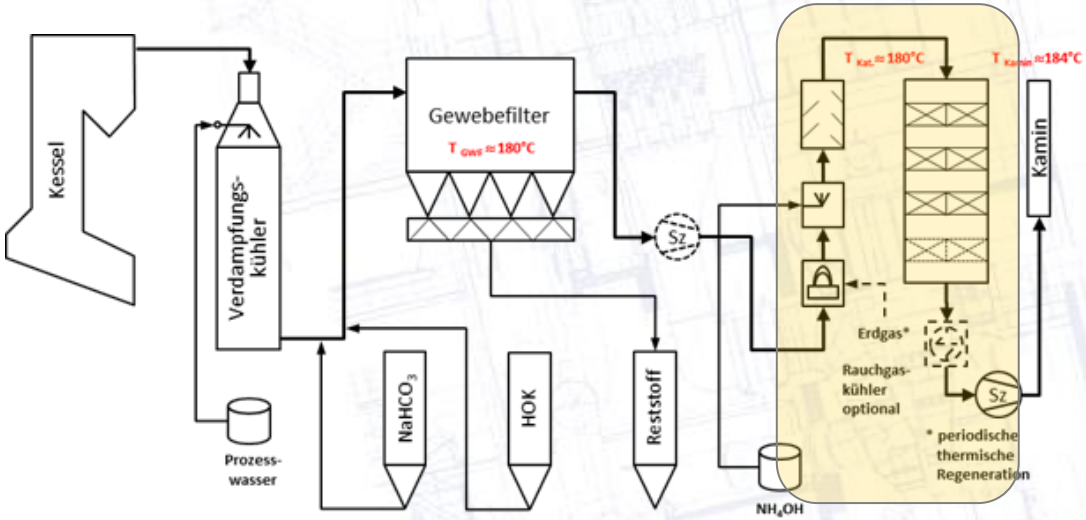
Katalysator-Nachrüstung (A1 → E1-3)

A1:



SNCR, Trockensorption mit Kalk

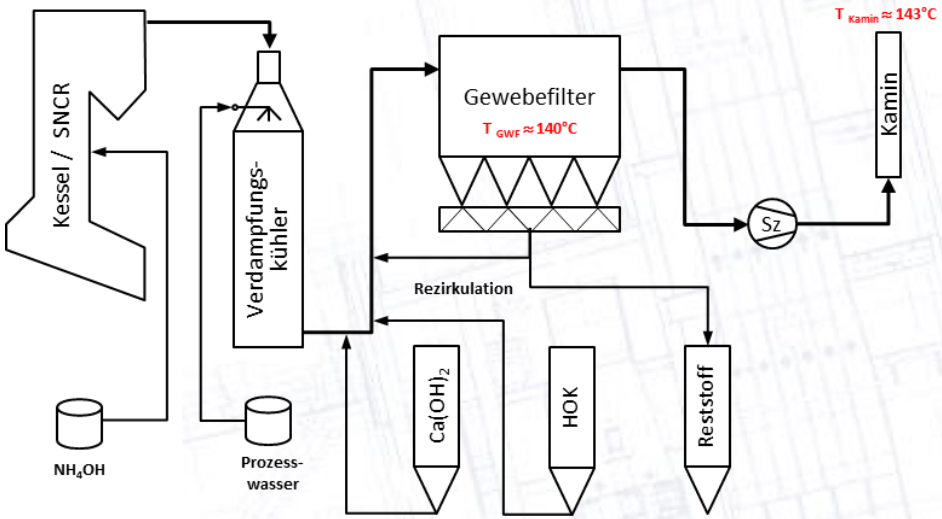
E1-3:



Trockensorption mit $NaHCO_3$, SCR (180°C), ohne Gas/Gas-WT

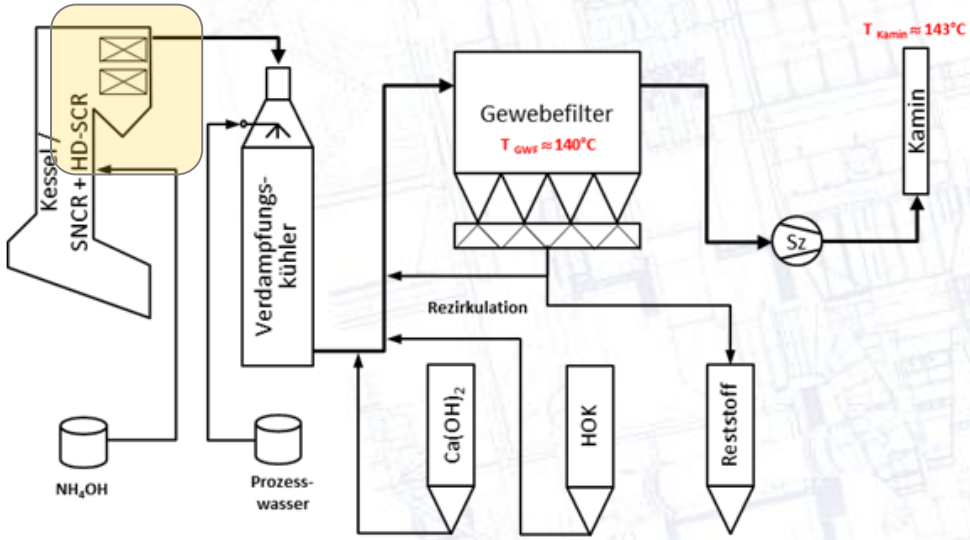
Katalysator-Nachrüstung (A1 → E1-4)

A1:



SNCR, Trockensorption mit Kalk

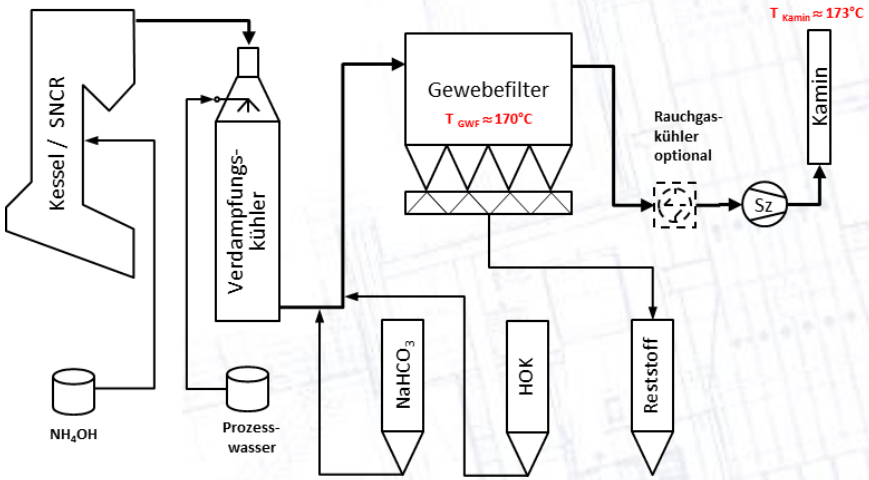
E1-4:



SNCR & HD-SCR Trockensorption mit Kalk

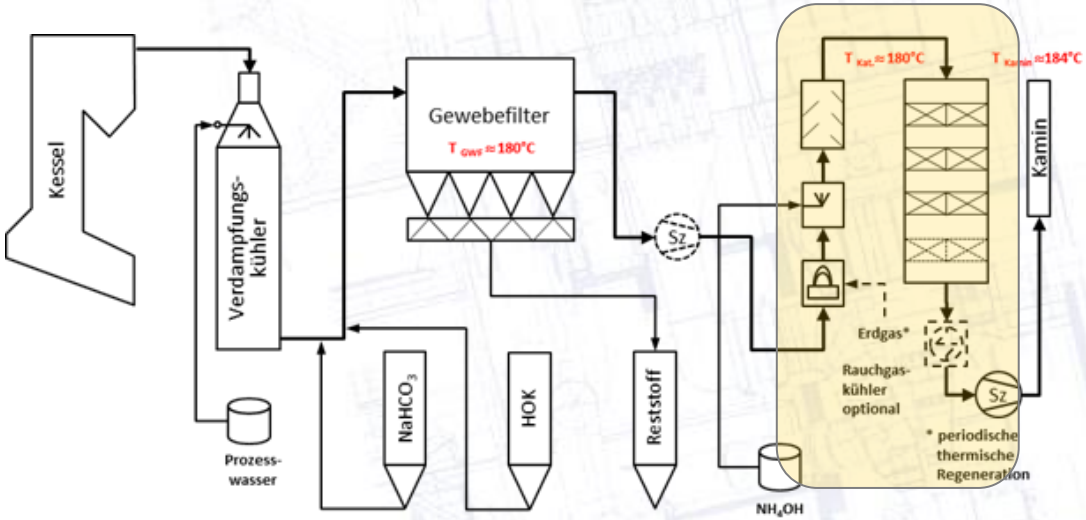
Katalysator-Nachrüstung (A2 → E1-3)

A2:



SNCR, Trockensorption mit $NaHCO_3$

E1-3:



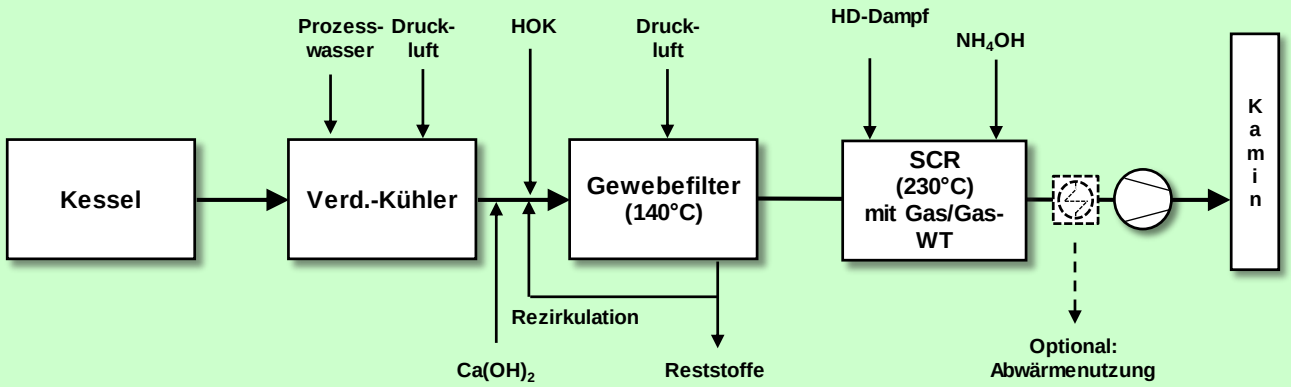
Trockensorption mit $NaHCO_3$, SCR (180°C), ohne Gas/Gas-WT

Katalysator-Nachrüstung, Bilanzierung (Bsp.)

Ergänzung mit SCR / E1-1: Trockensorption (Kalk) + SCR

Δp gesamt [mbar]:

76



Stoffstrom	Einheit	Kessel	Verdampfungskühler	Gewebefilter	SCR	Saugzug	Σ
Kalkhydrat	kg/h		265				265
Prozesswasser	m^3/h		3,9				3,9
HOK	kg/h			11			11
Ammoniakwasser	kg/h				38		38
El. Energie	KW	-58 *	15	70	5	538	570
Druckluft	Nm^3/h		700	160	50		910
Reaktionsprodukte/Filterstaub	kg/h			615			615
HD-Dampf **	t/h				1,8		1,8
Abwärmenutzung	MW					1,4	1,4

* Elektrisches Energie-Äquivalent gegenüber SNCR bei Entfall Eindüsung Ammoniak- & Verdünnungswasser im Feuerraum (η el.=20%)
** 40 bar/400°C

Katalysator-Nachrüstung → Betriebsmittelkosten

ÜBERSICHT BETRIEBSMITTELKOSTEN RAUCHGASREINIGUNG (1 Linie, 8.000 Betriebsstunden)							
Betriebsmittelkosten	Einheit	A1 (SNCR/Kalk) NOx: 140 mg/m³ i.N.tr.	A2 (SNCR/Na.Bi.) NOx: 140 mg/m³ i.N.tr.	E1-1 (SCR [230°C]/Kalk) NOx: 90 mg/m³ i.N.tr.	E1-2 (SCR[180°C]/Kalk) NOx: 90 mg/m³ i.N.tr.	E1-3 (SCR[180°C]/Na.Bi.) NOx: 90 mg/m³ i.N.tr.	E1-4 (SNCR+SCR/Kalk) NOx: 90 mg/m³ i.N.tr.
Kalkhydrat	€/a	211.964	0	211.964	211.964	0	211.964
Natriumbicarbonat	€/a	0	702.513	0	0	702.513	0
Prozesswasser	€/a	7.853	5.088	7.853	7.853	3.531	7.853
HOK	€/a	35.200	51.200	35.200	35.200	51.200	35.200
Erdgas	€/a	0	0	0	19.531	19.530	0
Ammoniakwasser	€/a	52.072	52.072	39.127	39.127	39.127	76.839
Verdünnungswasser	€/a	6.825	6.825	0	0	0	10.072
El. Energie	€/a	148.052	163.398	228.013	189.771	182.333	155.741
Druckluft	€/a	71.244	46.444	72.788	72.788	37.582	99.607
Reaktionsprod./Filterstaub	€/a	639.886	470.059	639.886	639.886	470.059	639.886
HD-Dampf	€/a	0	0	142.895	228.128	0	0
Abwärmenutzung *	€/a	0	264.692	230.000	331.000	326.000	0
Abwärmenutzung **	MWh/a	0	133.000	115.000	166.000	163.000	0
SUMME (aufgerundet):	**€/a**	**1.174.000**	**1.498.000**	**1.378.000**	**1.445.000**	**1.506.000**	**1.238.000**

* Potential bei Abwärmenutzung zur Fernwärmeerzeugung (Abkühlung auf Rauchgastemp. 130°C); nicht bewertet, Angabe nur informativ

** Potential bei Abwärmenutzung zur Dampferzeugung (Abkühlung auf Rauchgastemp. 130°C); nicht bewertet, Angabe nur informativ

				E1-1 (SCR [230°C]/Kalk)	E1-2 (SCR[180°C]/Kalk)	E1-3 (SCR[180°C]/Na.Bi.)	E1-4 (SNCR+SCR/Kalk)
Erhöhung relativ zu A1	%	-	-	17	23	28	5
Erhöhung relativ zu A2	%	-	-	-	-	1	-

Zusammenfassung

- Die zukünftigen Grenzwerte für NO_x und NH_3 stellen für die SNCR-Technik hohe Anforderungen dar, diese können mit einer modernen SNCR-Technik aber erreicht werden, sofern die feuerungsseitigen Voraussetzungen vorliegen.
- Liegen die feuerungsseitigen Randbedingungen für den optimalen SNCR-Betrieb nicht vor oder können durch Optimierungsmaßnahmen nicht hergestellt werden, wird die Leistungsfähigkeit einer SNCR nicht ausreichen und eine Nachrüstung einer Minderungsmaßnahmen (z.B. katalytische Stufe) muss in Erwägung gezogen werden.
- Für die Nachrüstung einer SCR besteht eine Vielzahl von Schaltungs-Möglichkeiten, darunter auch die Kombination SNCR + SCR (High-Dust), die eine Leistungssteigerung bei geringstmöglichem Anstieg der Betriebskosten ermöglicht.
- Andere Alternativen bestehen in der Wahl eines Niedertemperatur-Katalysators, ggfs. in Verbindung mit einer zusätzlichen Abwärmenutzung.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

ete.a

Dipl.-Ing. Andreas Wiedl
ete.a Ingenieurgesellschaft für Energie- und Umweltengineering & Beratung mbH

Hofgut Kolnhausen 12, 35423 Lich
Fon 06404 / 668 0826
Fax 06404 / 658165
andreas.wiedl@ete-a.de

Randbedingungen für Bilanzierung (1)

Komponente	Einheit	Rauchgas Kesselaustritt	Reingas Kamin *
Volumenstrom, feucht	$m^3/h_{i.N.f}$	100.000	-
Rauchgasfeuchte	Vol.-%	15	-
Volumenstrom, trocken	$m^3/h_{i.N.tr.}$	85.000	-
p	mbar	-12	-
Temperatur	°C	220	-
HCl	$mg/m^3_{i.N.tr.}$	1.200	8
SO_2	$mg/m^3_{i.N.tr.}$	300	15
HF	$mg/m^3_{i.N.tr.}$	10	< 1
NO_x (mit SNCR / SCR)	$mg/m^3_{i.N.tr.}$	370	140 / 90
NH_3	$mg/m^3_{i.N.tr.}$	-	10 / 2
Staub	$mg/m^3_{i.N.tr.}$	2.000	< 5

Betriebsmittel/Stoff	Spezif. Kosten		Bemerkung
Calciumhydroxid / $Ca(OH)_2$	**100**	€/t	
Natriumbicarbonat / $NaHCO_3$	**230**	€/t	
Ammoniakwasser / NH_4OH, 25%	**130**	€/t	
Herdofenkoks (HOK)	**400**	€/t	
Prozesswasser	**0,25**	€/m^3	
Reaktionsprodukt/Filterstaub	**130**	€/t	
Druckluft	**0,01**	€/Nm^3	
El. Energie	**50**	€/MWh	
HD-Dampf	**10**	€/t	40 bar / 400°C
Abwärmenutzung	**20**	€/MWh	Fernwärme
Abwärmenutzung zur Dampferzeugung	**10**	€/MWh	ECO
Erdgas	**0,60**	€/Nm^3	40 MJ/Nm^3

Randbedingungen für Bilanzierung (2)

SNCR	
- Stöchiometrischer Faktor Reduktionsmittelzugabe	1,65 / 2,0 für Variante E1-4
- Verdünnungswassermenge	4,3 kg/kg Ammoniakwasser
- Druckluft zur Verdüsung	0,15 kg/kg verdünnte Reduktionsmittelmenge
- Elektrischer Leistungsbedarf für Reduktionsmittellager, und –eindüsung	5 KW
- NO-Anteil an NO_x	95% (SNCR, SCR)
SCR	
- Stöchiometrischer Faktor Reduktionsmittelzugabe	0,77
- NH_3-Schlupf	2 $mg/m^3_{i.N.tr.}$
- Druckluft zur Verdüsung	1 kg/kg Ammoniakwasser
- Katalysatordruckverlust (Wabe)	3 mbar/Lage
Katalysatordruckverlust (Platte)	bzw. 3 mbar/2 Lagen HD-Kat.
- Anzahl Katalysatorlagen ($T_{Kat.}$= 230°C / 180°C)	2 / 3
Anzahl Katalysatorlagen High-Dust-Katalysator	2
- Druckverlust Gas/Gas-Wärmetauscher	18 mbar
- Grädigkeit Gas/Gas-Wärmetauscher	25 K
- Druckluft für Rußbläser High-Dust-Katalysator	ca. 350 $m^3/h_{i.N.}$ (Schätzwert)
- Elektrischer Leistungsbedarf für Reduktionsmittellager, und -eindüsung	5 KW

Randbedingungen für Bilanzierung (3)

Trockensorptionsverfahren

- Stöchiometriefaktor für $Ca(OH)_2$ (bzg. auf Eintrittskonz.)	SV_I = 1,9
- Stöchiometriefaktor $NaHCO_3$ (bzg. auf Eintrittskonz.)	SV_I = 1,25
- Druckverlust Verdampfungskühler	7 mbar
- Druckverlust Gewebefilter	17 mbar
- Elektrischer Leistungsbedarf für Filteraustrag, Additiv-förderung, Rezirkulationssystem (Kalkverfahren)	70 KW
- Elektrischer Leistungsbedarf für Filteraustrag, Mühlensystem, pneum. Additivförderung (Natriumbicarbonatverfahren)	90 KW
- Elektrischer Leistungsbedarf Verdampfungskühler (Pumpen)	15 KW

Sonstige Daten

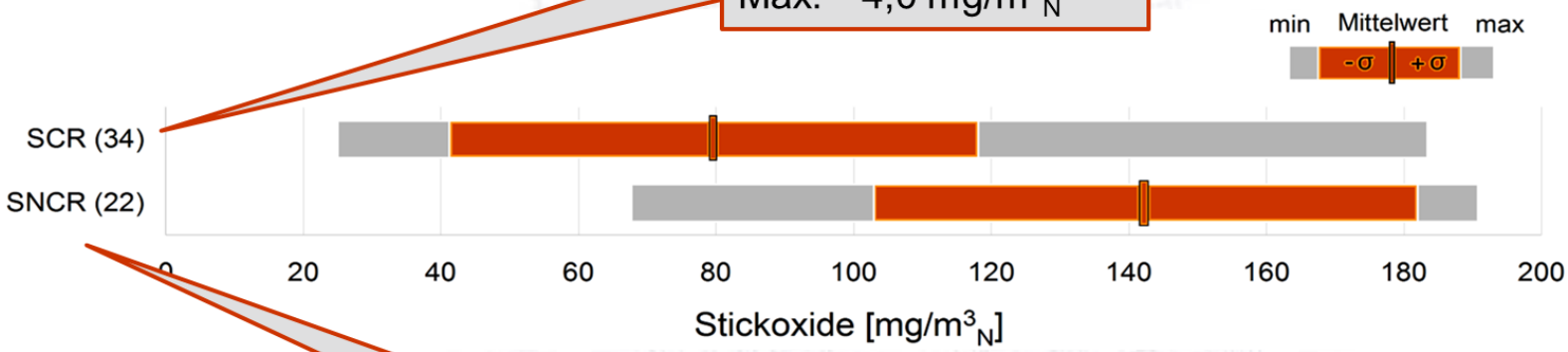
- Elektrischer Wirkungsgrad Dampferzeuger	20%
- Wirkungsgrad Saugzug	80%

Arbeitsbereich SCR - SNCR heute

Sekundärmaßnahmen: Vergleich SCR – SNCR

- Deutsche MVA
- Betreiberumfrage im Auftrag des UBA

Ammoniakwerte:
Ø : 0,88 mg/m³$_N$
Max: 4,0 mg/m³$_N$



Ammoniakwerte:
Ø : 3,04 mg/m³$_N$
Max: 9,9 mg/m³$_N$
11 Anlagen mit Wäscher

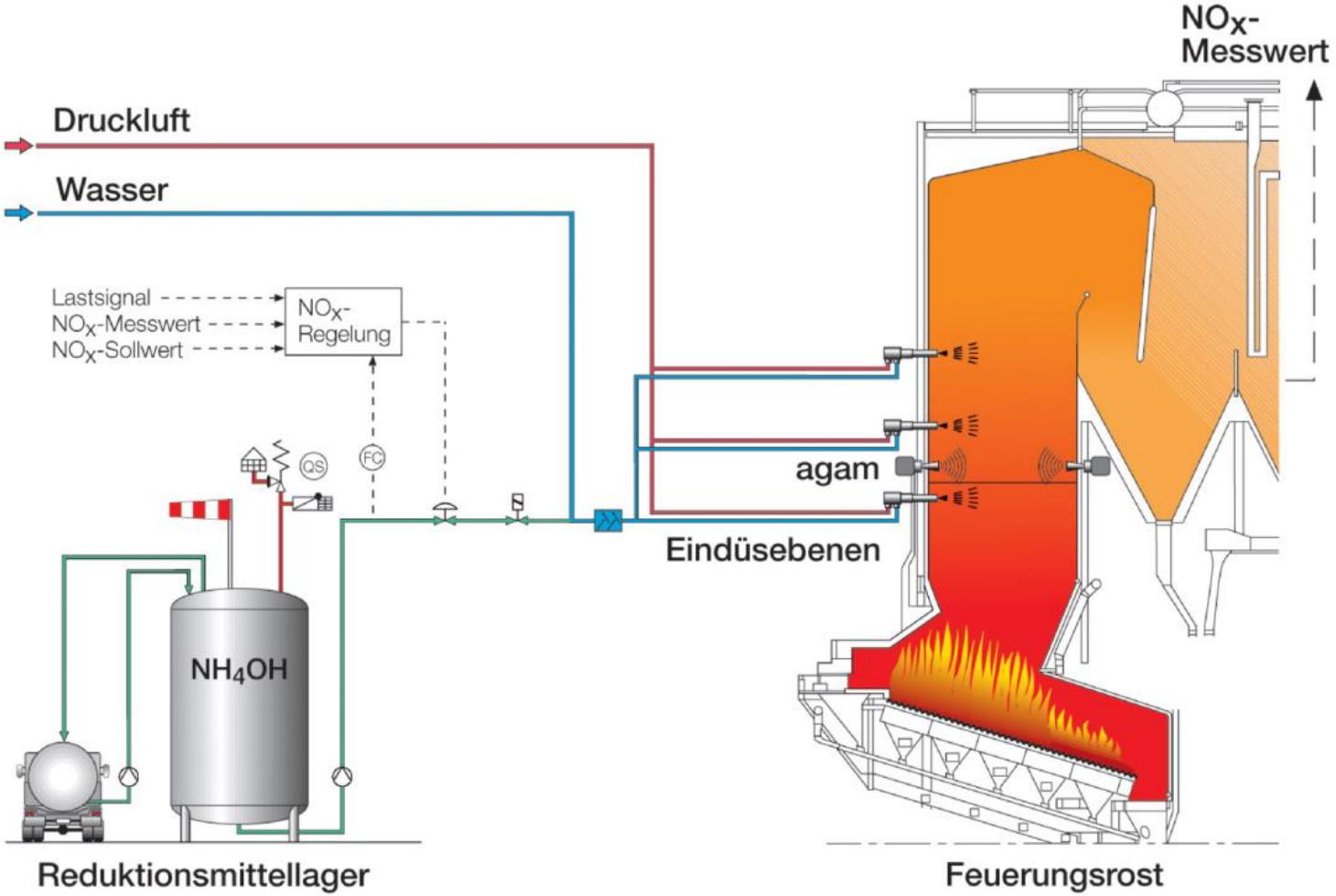
Quelle: Quicker, P., RWTH Aachen

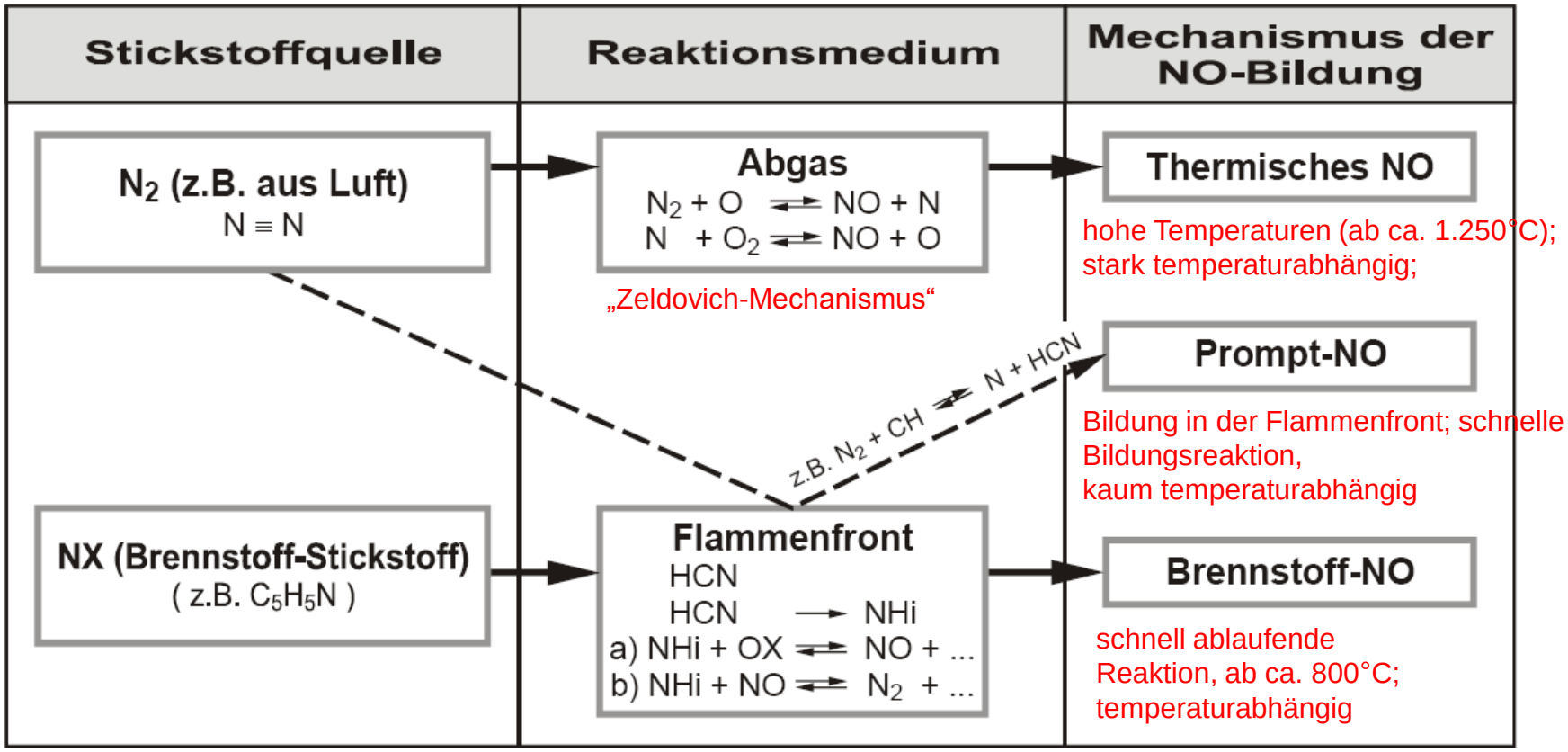
SNCR-Systeme für verschiedene Anforderungen

Anwendung	Lastbereich	NOx-Reingas [mg/Nm³]	NH_3-Schlupf [mg/Nm³]	Eindüs-ebenen	Sonstiges
Kleine Feuerungsanlagen	80-100%	< 200	< 20	1	Vorratsbehälter im Modul
Moderater NOx Abscheidegrad	90-100%	< 200	< 15	1	
Moderater NOx Abscheidegrad	60-100%	< 150-200	< 15	2	
Hoher NOx Abscheidegrad	50-100%	< 100-150	< 15	3	
Hoher NOx Abscheidegrad, geringer NH_3Schlupf	50-100%	< 100	< 5-10	3	Akustische Temperatur-messung (agam)

Quelle: Mehldau & Steinfath

SNCR / Aufbau für hohe Anforderungen (Bsp.)



Quelle: Mehldau & Steinfath

NO_x-Bildungsmechanismen