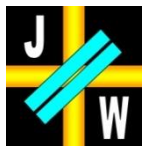


Verfahren zur Reduktion von Schadstoffen in Zementofensystemen

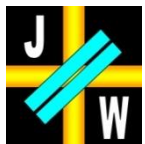
Josef Waltisberg, dipl. Ing. ETH

Vortrag vom 19.11.2021 in Dotternhausen/Deutschland
Verein für Natur- und Umweltschutz Zollernalb (NUZ) e.V.



Thema dieses Vortrages

- Dieser Vortrag zeigt die Möglichkeiten auf, Schadstoffe (Stickoxide, Ammoniak, Kohlenmonoxid, organische Verbindungen, Benzol, Dioxine und Furane) in Zementwerken durch spezielle Verfahren zu reduzieren.
- Ausgeklammert werden betriebliche Massnahmen mit denen sich ebenfalls Schadstoffe reduzieren lassen, wie etwa spezielle Brenner, gestufte Verbrennung, etc.
In der Regel sind solche Massnahmen ausgeschöpft, bevor spezielle Verfahren Anwendung finden.



Betrachtete Schadstoffe

- **Stickoxide (NO_x)**

NO_x = Stickstoffmonoxid (NO) + Stickstoffdioxid (NO₂)

NO₂ bildet sich im Wesentlichen an der freien Umgebung, also muss NO im Zementofensystem reduziert werden.

- **Ammoniak (NH₃)**

Stark stechend riechendes («Stinker»), farbloses und giftiges Gas

- **Organische Verbindungen (TOC = Total Organic Carbon)**

Die emittierten organischen Verbindungen werden als Summe des emittierten organischen Kohlenstoffs angegeben

- **Benzol (C₆H₆)**

Die Verbindung Benzol, im TOC enthalten, ist krebserzeugend und wird separat gemessen

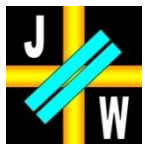
- **Kohlenmonoxid (CO)**

Unvollständige Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Stoffen bei unzureichender Sauerstoffzufuhr.

- **Dioxine und Furane**

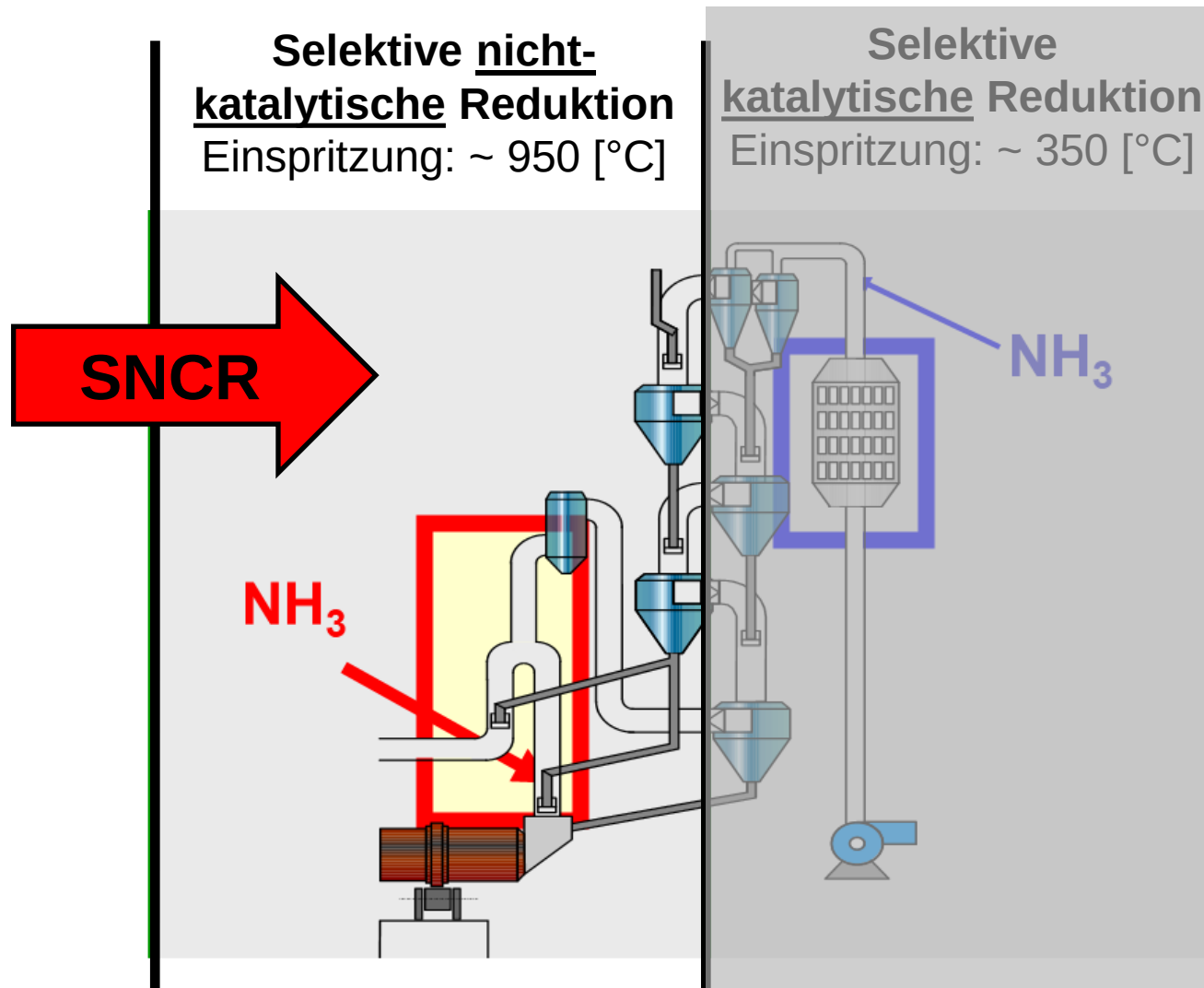
(Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und Dibenzofurane (PCDD/DF)

Oft als «Seveso-Gift» bezeichnet → 18 verschiedene Verbindungen, welche als Summe angegeben werden.



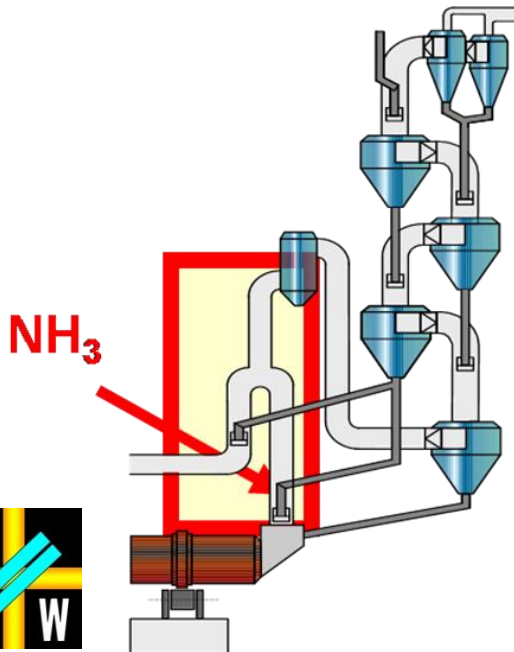
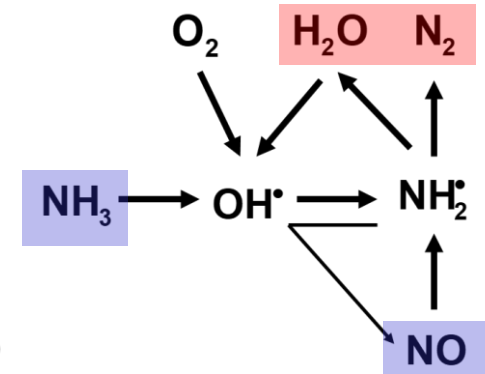
Selektiv nicht-katalytische Reduktion

SNCR - Selective Non Catalytic Reduction



SNCR-Verfahren – Reaktion NO/NH₃

Ammoniak (NH₃) reagiert bei hohen Temperaturen mit Stickstoffmonoxid (NO) zu Stickstoff (N₂) und Wasser (H₂O)



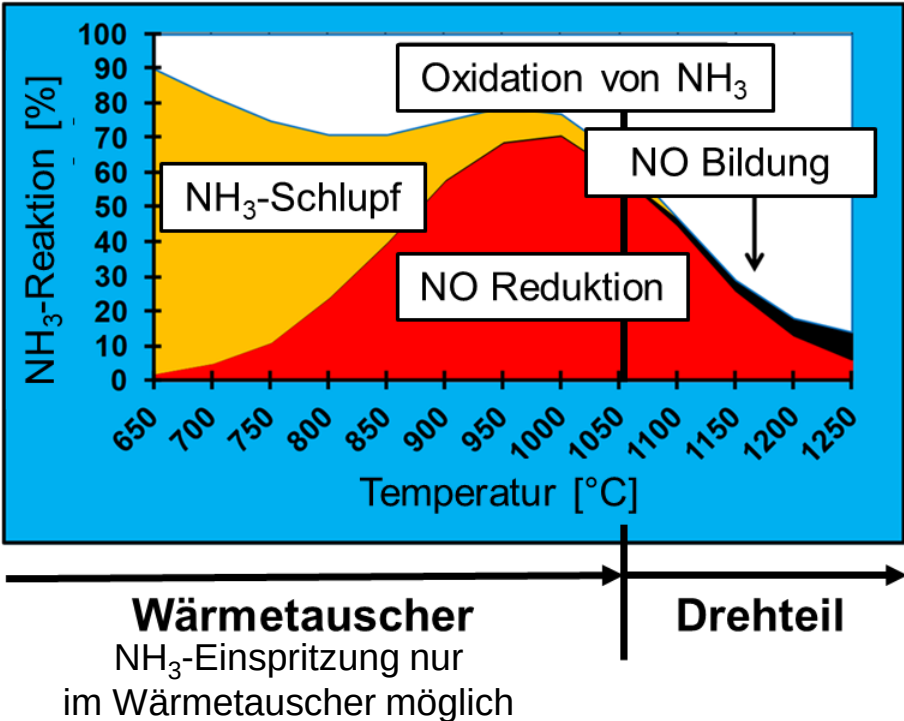
Die entscheidenden Parameter sind:

- Temperatur in der Reaktionszone
«Temperaturfenster»
- Verweilzeit in der Reaktionszone
- Molares Verhältnis zwischen NH₃ und NO

Abhängigkeit von der Konstruktion des Wärmetauscher und des Kalzinators, etc.

SNCR-Verfahren – «Temperaturfenster»

Reaktion von Ammoniak
bei einem bestimmten
Molverhältnis NH_3/NO
und einer bestimmten
Reaktionszeit



Rot: Reduktion von NO zu Stickstoff und Wasser(dampf) im sogenannten «Temperaturfenster»

**Gelb: Ammoniak verlässt die Reaktionszone ohne Reaktion
«Ammoniakschlupf»**

Weiss: Oxidation von Ammoniak

Schwarz: Bildung von NO aus Ammoniak

SNCR-Verfahren – «Ammoniakschlupf»

«Ammoniakschlupf»

NO _x Zielwert	Betriebsart	Mittelwert	Maximaler Wert	Molverhältnis NH ₃ /NO
Keine Reduktion	Verbund	< 10		
	Direkt	20 - 40		
350 [mg/m ³]	Verbund	2	16	0.66
	Direkt	44	99	0.83
	Average *)	11	30	
200 [mg/m ³]	Verbund	7	68	1.3
	Direkt	103	202	1.4
	Average *)	21	115	

Verbund: laufende Mühle
Direkt: gestoppte Mühle

Publikation: Bayrisches Umweltamt:
«Möglichkeiten und Grenzen der
SNCR-Technik bei einer klassischen
Drehrohrofenanlage der
Zementindustrie» im Zementwerk
Harburg der Märker Zement GmbH

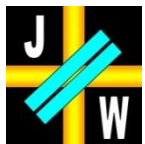
Werte in [mg/m³] bei aktuellem Sauerstoff
*) Gewichteter Mittelwert Direkt/Verbund

Geruchsprobleme ?

17. BImSchV: Ammoniak, sofern zur Minderung der Emissionen von Stickstoffoxiden ein Verfahren zur selektiven katalytischen oder nichtkatalytischen Reduktion eingesetzt wird: 30 [mg/m³]

Tagesmittelwert und kein Halbstundenmittelwert → Geruchsprobleme ?

Gefahr: Den Teufel (NO) durch den Beelzebub (NH₃) austreiben!



Hocheffiziente SNCR-Technik: Das ist eine optimierte SNCR-Anlage mit verschiedenen Einspritzpunkten, besserer NH₃-Verteilung, etc.

→ Das Gesagte gilt auch für diese Anlagen

ZUSAMMENFASSUNG

Selektiv nicht-katalytische Reduktion - SNCR

Stickoxide (NO_x)

Reduktion von NO_x, aber Anstieg der Ammoniak-Emissionen

Problem: NH₃-Grenzwert der 17. BImSchV

Bei gewissen Zementwerken reicht SNCR um die NO_x-Emissionen unter 200 [mg/m³] (Grenzwert) zu reduzieren, bei anderen nicht.

Kohlenmonoxid (CO)

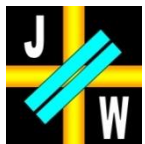
Keine Reduktion

TOC, Benzol, Dioxine und Furane

Keine Reduktion von TOC, Benzol, Dioxine und Furane

Meine Meinung:

Das Verfahren sollte bei Einsatz von Abfällen nicht mehr allein angewendet werden, höchstens in Kombination mit anderen Verfahren (z.B. SCR, RTO)

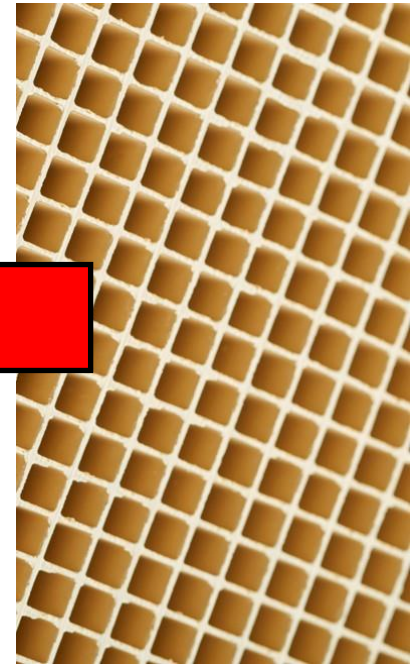
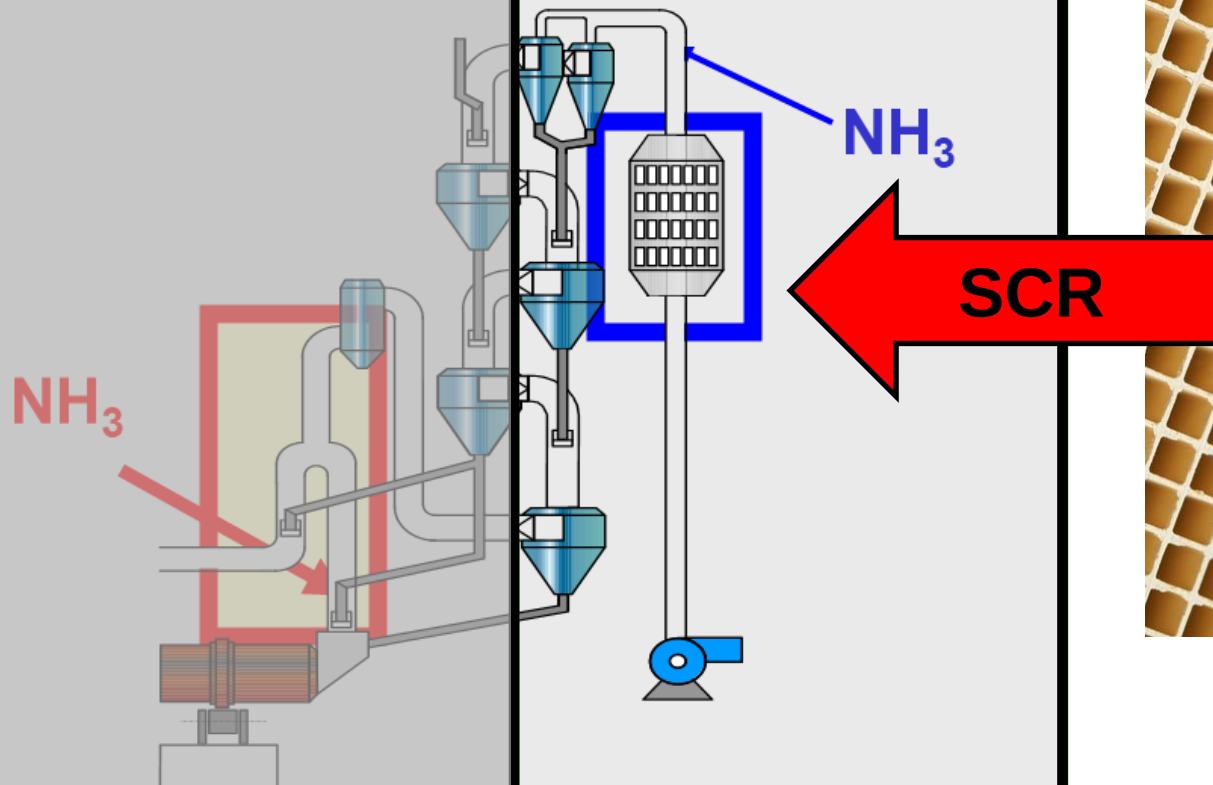


Selektiv katalytische Reduktion

SCR - Selective Catalytic Reduction

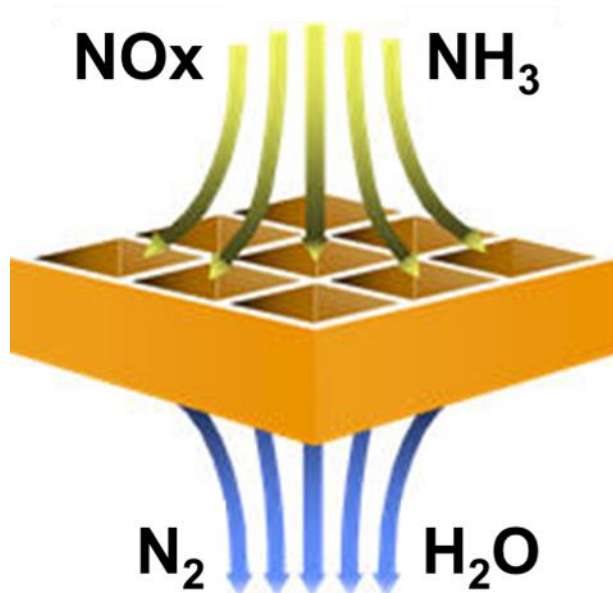
Selektive nicht-katalytische Reduktion
Einspritzung: ~ 950 [°C]

Selektive katalytische Reduktion
Einspritzung: ~ 350 [°C]

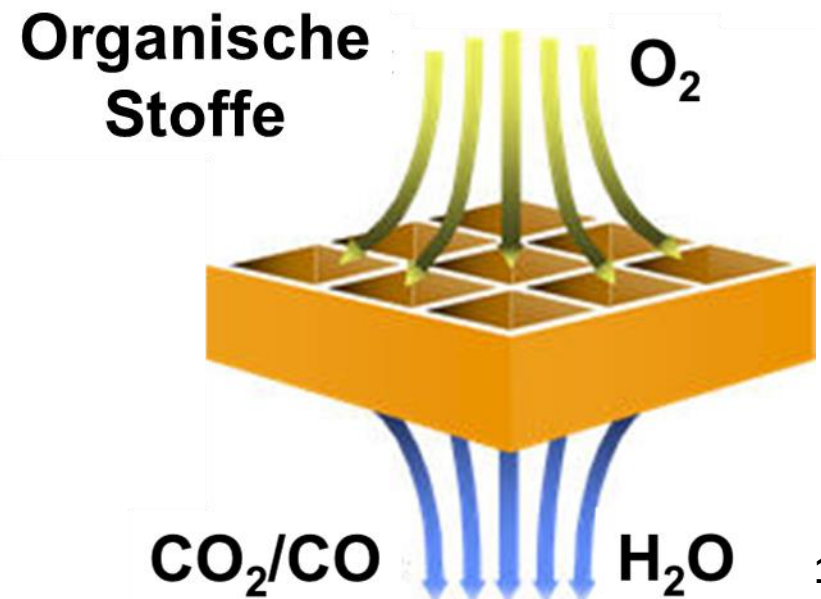


SCR-Verfahren – Reaktionen

1. Ammoniak (NH_3) reagiert bei Temperaturen um 250 bis 400 [°C] bei Anwesenheit eines Katalysators mit Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2) zu Stickstoff (N_2) und Wasser (H_2O)



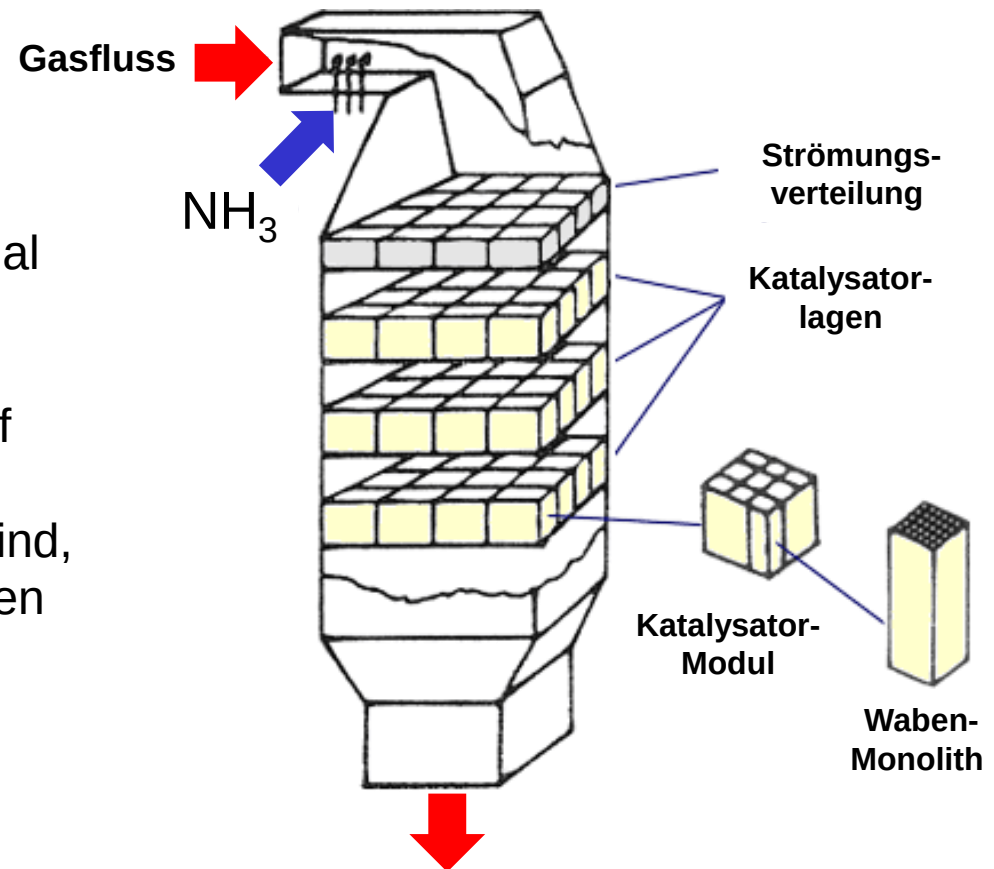
2. «Zusätzliche Reaktion»
Reduktion organischer Abgaskomponenten am gleichen Katalysator (z.B. TOC, Benzol, Dioxine + Furane) zu Kohlendioxid (CO_2) oder Kohlenmonoxid (CO) und Wasser (H_2O)



SCR-Verfahren – Katalysator

Der bei SCR-Anwendungen verwendete Katalysator besteht normalerweise aus:

- einer monolithischen Wabe aus einem Keramiksubstrat mit imprägniertem Katalysator, der homogen in das Katalysatormaterial eingemischt ist
- oder
- aus Katalysatormaterialien, die auf den Oberflächen eines Keramiksubstrats abgeschieden sind, das auf einer flachen oder gewellten Platte gelagert ist.



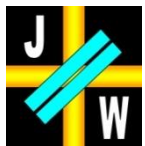
SCR-Verfahren – Katalysator

Aktives Katalysatormaterial

- Das aktive Katalysatormaterial besteht typischerweise aus Titandioxid (TiO_2), Vanadiumpentoxid (V_2O_5), Wolframtrioxid (WO_3) und Molybdäntrioxid (MoO_3) in verschiedenen Kombinationen.

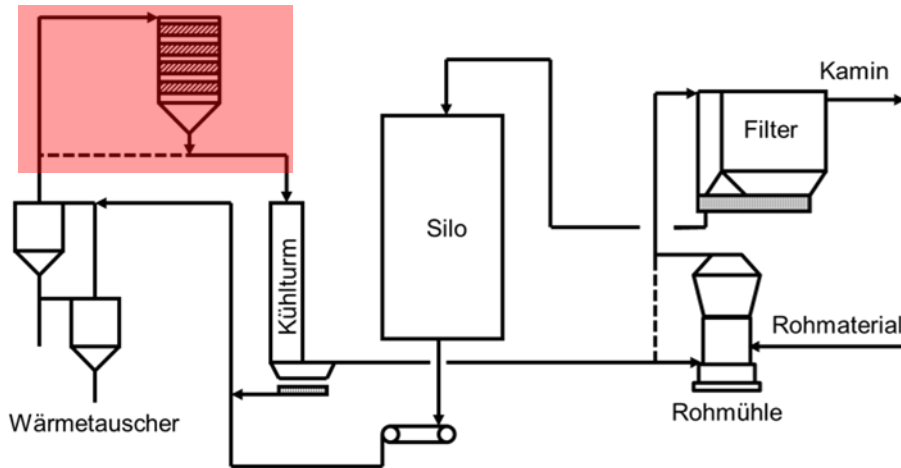
«Massgeschneiderte Zusammensetzung»

- Die Zusammensetzung, auch als Formulierung bezeichnet, wird vom Katalysatorhersteller auf eine bestimmte SCR-Anwendung (Gaszusammensetzung) angepasst.



Typen von SCR Systemen

High-Dust SCR

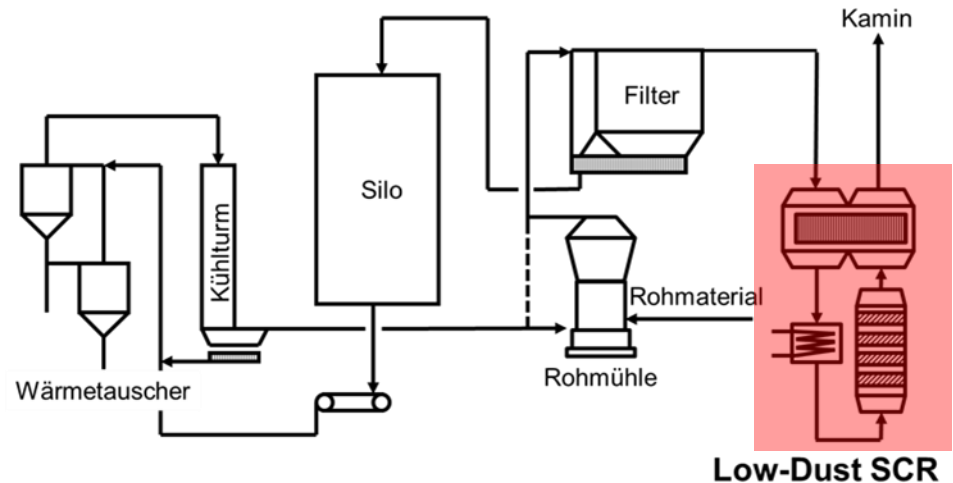


High-Dust SCR

- Einbau nach dem Wärmetauscher (optimale Temperatur)
- Hoher Staubanteil im Abgas

Low-Dust SCR

- Einbau vor dem Kamin (Temperatur zu tief → Aufheizung)
- Reingas mit wenig Staub



«High-Dust-Lösung» Schwenk, Mergelstetten (Deutschland)

Literatur:

BMU-Umweltinnovationsprogramm; Abschlussbericht
zum Vorhaben Minderung von NO_x-Emissionen in
einer Drehofenanlage mittels SCR-Technologie
Detlef Edelkott und Jürgen Thormann, Schwenk
Zement

Volker Hoenig, Helmut Hoppe, Martin Oerter,
Cornelia Seiler. Verein deutscher Zementwerke
(VDZ)

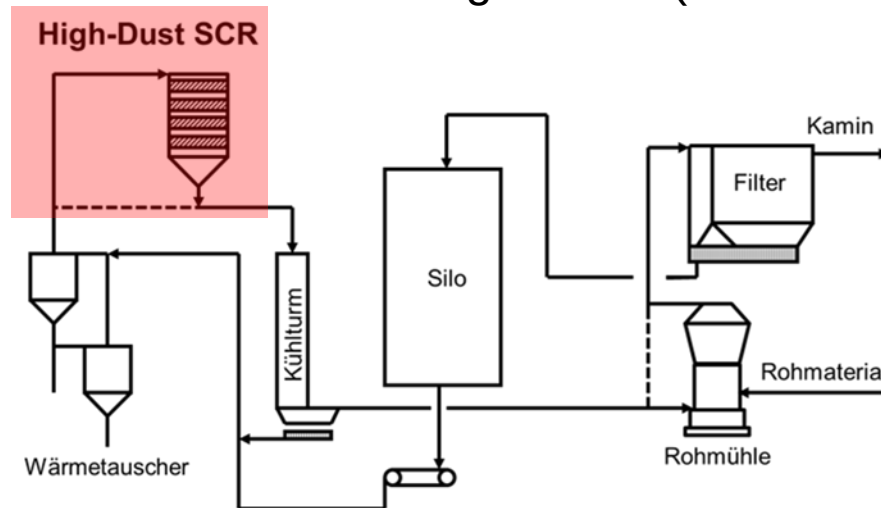
KfW-Aktenzeichen MB e1-001599

www.umweltinnovationsprogramm.de/sites/default/files/benutzer/36/dokumente/zement_schwenk_ab_scr_high_dust_2014.pdf



Mergelstetten – SCR-Installation

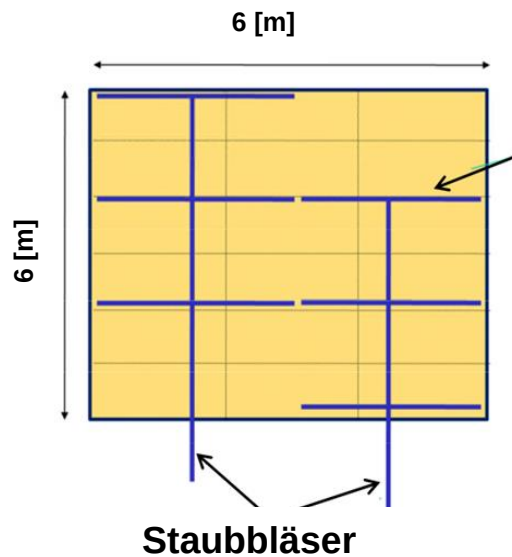
- Lieferant: Cemcat / ELEX
- Inbetriebnahme: Mitte 2011
- Typ: «High Dust» (hinter Vorwärmer)



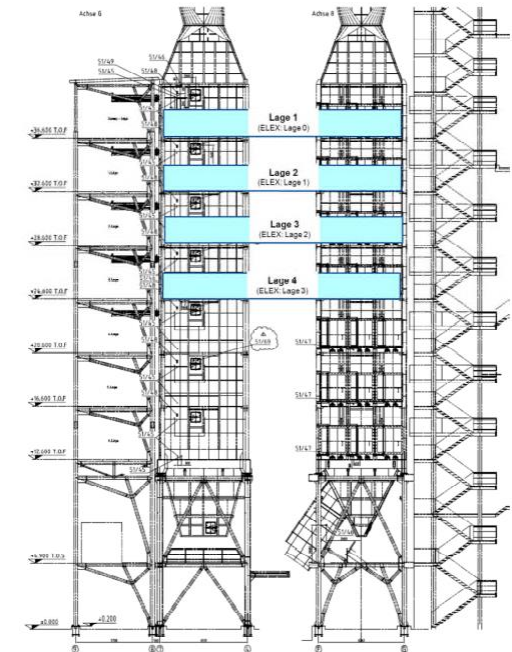
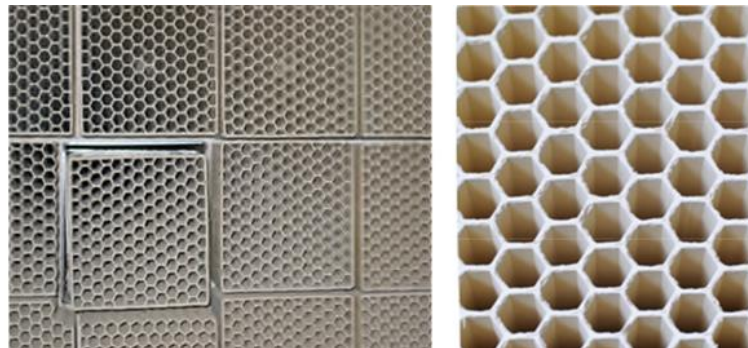
- Abmessungen: Höhe 42 [m]
- Durchfluss: Vertikal von oben nach unten
- Reduktionsmittel: 25 [%] NH_3 -Lösung oder 40 [%] Harnstofflösung
- Regelung: Dynamisch (über NO-Signal Reingas) und manuell
- SNCR: Die SNCR-Installation wurde nicht abgebaut
Kombination SNCR + SCR
(Vorteil: Katalysator wird kleiner)

Mergelstetten – Katalysator

- Hersteller: CERAM Frauental (D)
- Anzahl Lagen: 4
- Typ: Wabenkatalysator (Sechseckwabe)
unterste Stufe 4 seit 02/2011: Quadratwabe
- Teilung (Pitch): 13.6 [mm] Sechseckige Wabe
- Zusammensetzung: Titandioxid (TiO_2)
Wolframtrioxid (WO_3) ~ 4,5 - 4,7 [%]
Vanadiumpentoxid (V_2O_5) ~ 2 [%]



18 Module

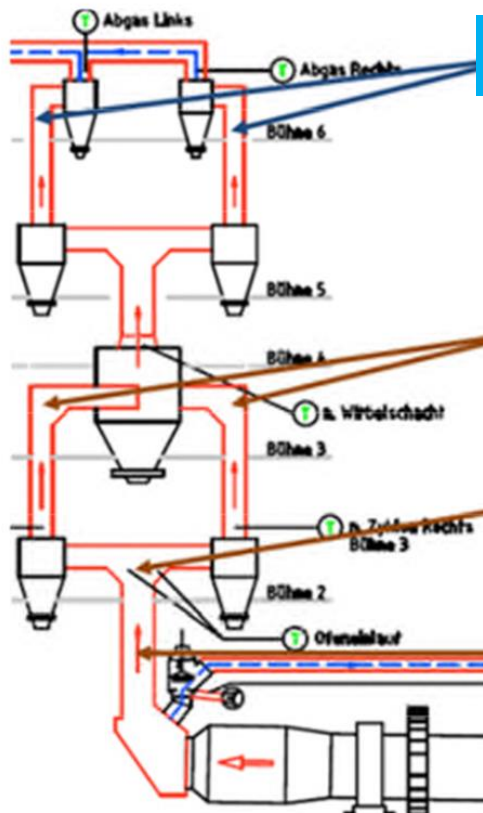


Mergelstetten – Einspritzpunkte SCR + SNCR

Kombination SNCR + SCR

Die SNCR-Anlage wurde nicht abgebaut sondern wird weiter verwendet

- Mehr Flexibilität
- Katalysator wird kleiner
- Mehr Verbrauch von Ammoniak oder Harnstoff als eine reine SCR



Stufe 6: Einspritzung SCR

Stufe 3: Einspritzung SNCR
Temperatur: ~ 750 [°C]

Stufe 2: Einspritzung SNCR
Temperatur: ~ 880-950 [°C]

Stufe 1: Einspritzung SNCR
Temperatur: ~ 1'200 [°C]

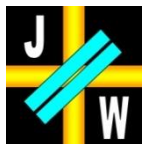
NO_x-/NH₃-Emissionen zwischen 2010 and 2019

2010/2011 Versuchsbetrieb

Jahresmittelwerte (1013 [mbar], 0 [°C], trocken, 10 [%] O₂)

*) Persönliche Information

Jahr	NO _x [mg/m ³]	NH ₃ [mg/m ³]	Verfügbarkeit SCR
2010	254	9	60
2011	231	12	75
2012	196	9	93
2013	192	8	93
2014	185	3	95+
2015 - 2019 *)	< 200	< 10	95+



Reduktion von Kohlenmonoxid (CO) und von organischen Verbindungen (TOC)

Kohlenmonoxid CO

- Kein Reduktionseffekt in der SCR-Anlage (unterhalb der Messgenauigkeit)

Flüchtige organische Verbindung TOC

- 10 - 20 [mgC/m³] reduziert um ca. 70 [%]

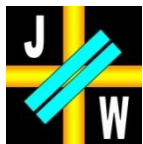
Benzol (krebserregender Stoff)

- Von < 2 [mg/m³] vor der SCR-Anlage auf < 0.6 [mg/m³] im Kamin also etwa 30 [%]

Dioxine und Furane

Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und Dibenzofurane (PCDD/DF)

- Reduktionsrate ca. 50 bis 60 [%]
- Emission am Kamin < 0.001 [ngTE/m³] (Limite: 0.1 [ngTE/m³])

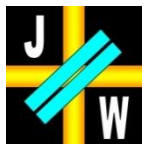


Mergelstetten – Betriebskosten

	Bedarf	Betriebskosten	
		[Euro/t Klinker]	[Euro/Jahr] *)
Katalysator	1 Lage pro Jahr	0.30	326'400
Elektrizität	5.0 [kWh/t Klinker]	0.40	435'200
Reduktionsmittel	3.5 [kg/t Klinker]	0.42	456'960
Summe		1.12	1'218'560

*) Produktion 3'400 [t/Tag] und 320 Tage Betrieb

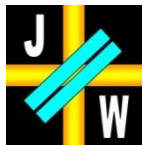
Das ist deutlich weniger als 1 [%] der Jahreseinnahmen
aus dem Verkauf des Zements



«Low-Dust-Lösung» Rohrdorfer Zement (Deutschland)

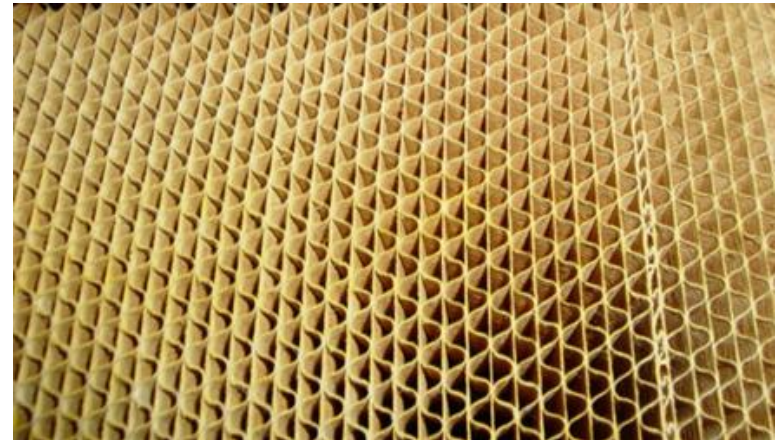
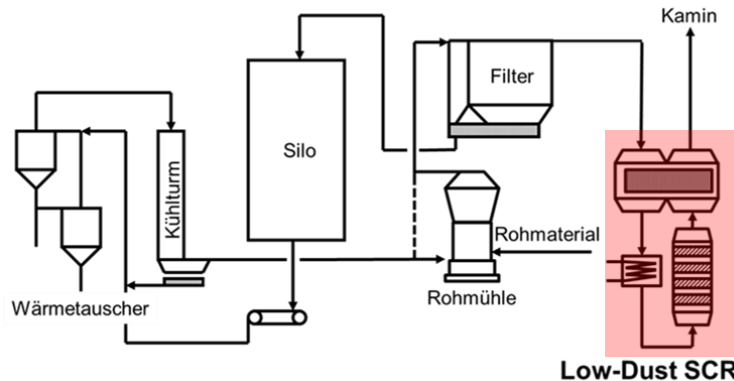
Literatur:

Abschlussbericht zum Vorhaben
Katalytische Low-Dust-Entstickung des
Abgases an einer Drehofenanlage der
Zementindustrie (Reingas – SCR)
Dipl.-Ing. Katharina Rechberger, Gebr.
Wiesböck & Co. GmbH
Dr.-Ing. Nils Bodendiek,
Forschungsinstitut der Zementindustrie
GmbH
KfW-Aktenzeichen NKa3 – 001706
www.umweltinnovationsprogramm.de/sites/default/files/benutzer/36/dokumente/abschlussbericht_rohrdorf_final.pdf



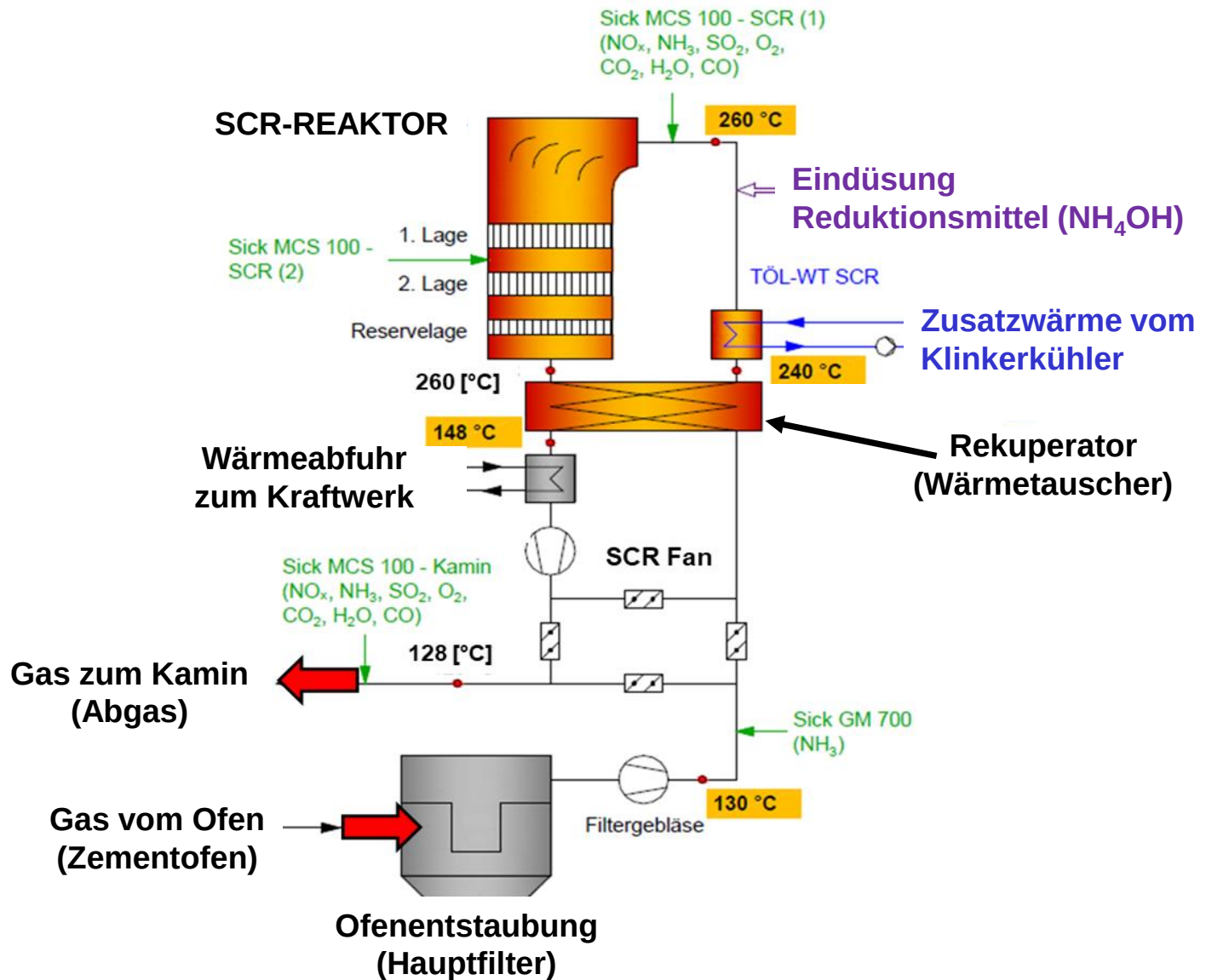
Rohrdorf – SCR-Einheit

- Lieferant: GEA Bischoff
- Inbetriebnahme: Mitte 2011
- Typ: «Low Dust» (direkt hinter dem Filtersystem; zusätzliche Wärme vom Klinkerkühler)



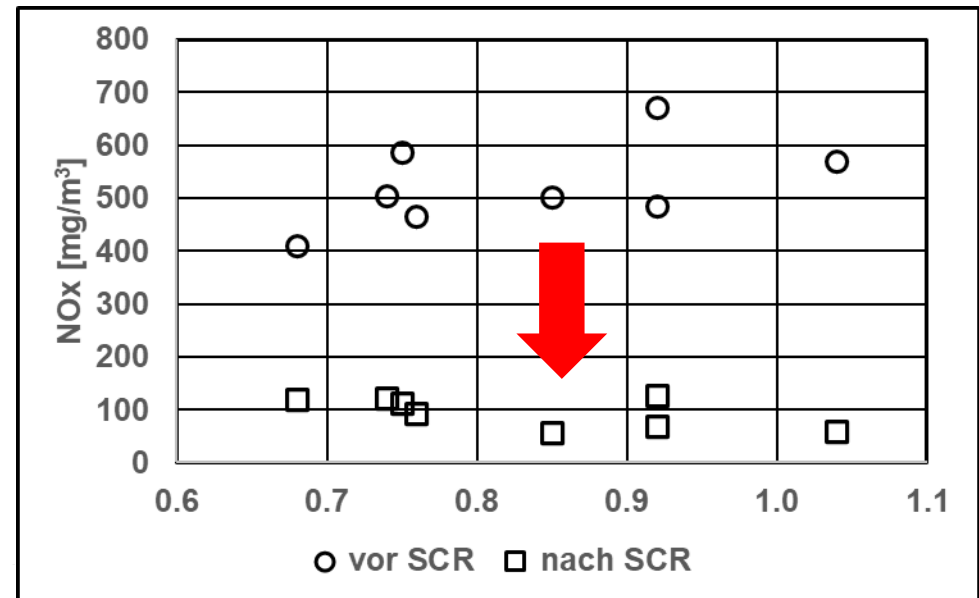
- Gastemperatur: 250 [°C]
- Katalysator: Sinusförmiger Titandioxid (TiO_2) - Wabenkörper auf einer Glasfasermatrix, imprägniert mit ca. 3 [%] der aktiven Substanz mit Vanadiumpentoxid (V_2O_5) und ca. 3 [%] Wolframtrioxid (WO_3)

Auslegung der «Low-Dust-Installation»



Resultate der verschiedenen Versuche

Molverhältnis	Vor SCR	Nach SCR	Reduktion
	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[%]
0.85	501	55	89.0
0.92	485	68	86.0
0.92	671	127	81.1
1.04	568	57	90.0
0.74	503	121	75.9
0.75	586	111	81.1
0.68	408	118	71.1
0.76	464	93	80.0



Die Emission von Ammoniak lag bei maximal 18 [mg/m³] im Direktbetrieb (gestoppte Mühle) und 1 [mg/m³] im Verbundbetrieb (laufende Mühle)

Reduktion von Kohlenmonoxid (CO) und Organischen Verbindungen

TOC

TOC wurde von 40 bis 60 [mgC/m³] auf durchschnittlich 16 [mgC/m³] reduziert, eine Reduktion um 60 bis 70 [%]

Benzol (krebserzeugende Substanz)

Mittlere Reduktion ca. 40 [%]; mittlere Emission: 1.4 [mg/m³]

CO

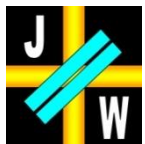
Durchschnittlicher Emissionswert: 480 [mg/m³]

- Die Erhöhung der CO-Konzentration betrug im Mittel etwa 15 [%]
- Umwandlung der organischen Verbindungen (TOC) in CO entspricht einer CO-Erhöhung von etwa 15 [%]

Dioxine und Furane

Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und Dibenzofurane (PCDD/DF)

- Reduktionsrate von 80 bis 95 [%], wobei im Mittel 85 [%] in der ersten Schicht reduziert wurden
- Durchschnittlicher Emissionswert: 0.003 [ngTE/m³]



Rohrdorf – Betriebskosten

	Bedarf	Annahme Kosten	Betriebskosten
Katalysator	Wechsel in 10 Jahren	49'000 [€/Jahr]	0.05 [€/t Klinker]
Elektrizität	5.6 [kWh/t Klinker]	0.07 [€/kWh]	0.39 [€/t Klinker]
Reduktionsmittel	0.4 [l/t Klinker]	0.16 [€/l]	0.06 [€/t Klinker]
Summe			0.50 [€/t Klinker]

ZUSAMMENFASSUNG

Selektiv katalytische Reduktion - SCR

Stickoxide NO_x / Ammoniak NH₃:

Reduktion unter den Grenzwert von 200 [mg/m³]

Heutige Grenzwerte können also eingehalten werden

NH₃ wird ebenfalls reduziert

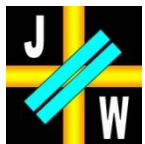
Organische Stoffe (TOC/Benzol/PCDD/DF):

Reduktion um 30 bis 70 [%] maximal, abhängig vom Katalysator-material

Kohlenmonoxid CO:

Keine Reduktion

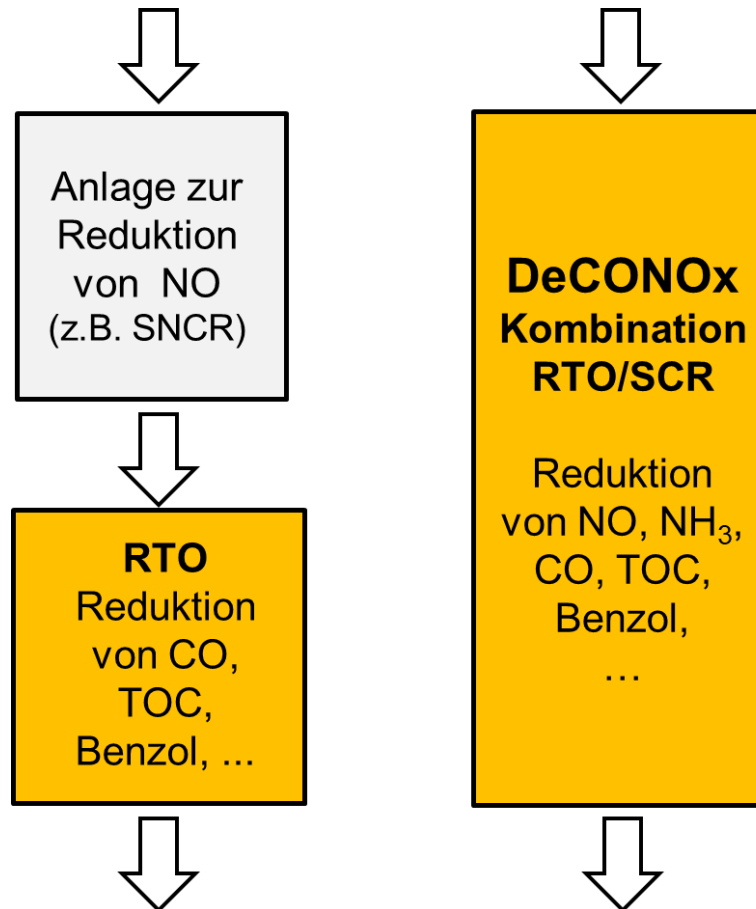
Bei hohen TOC-Werte → Erhöhung durch Oxidation im Katalysator
(TOC + O₂ → H₂O + CO)



RTO und DeCONOx

RTO = Regenerative Thermische Oxidationsanlage

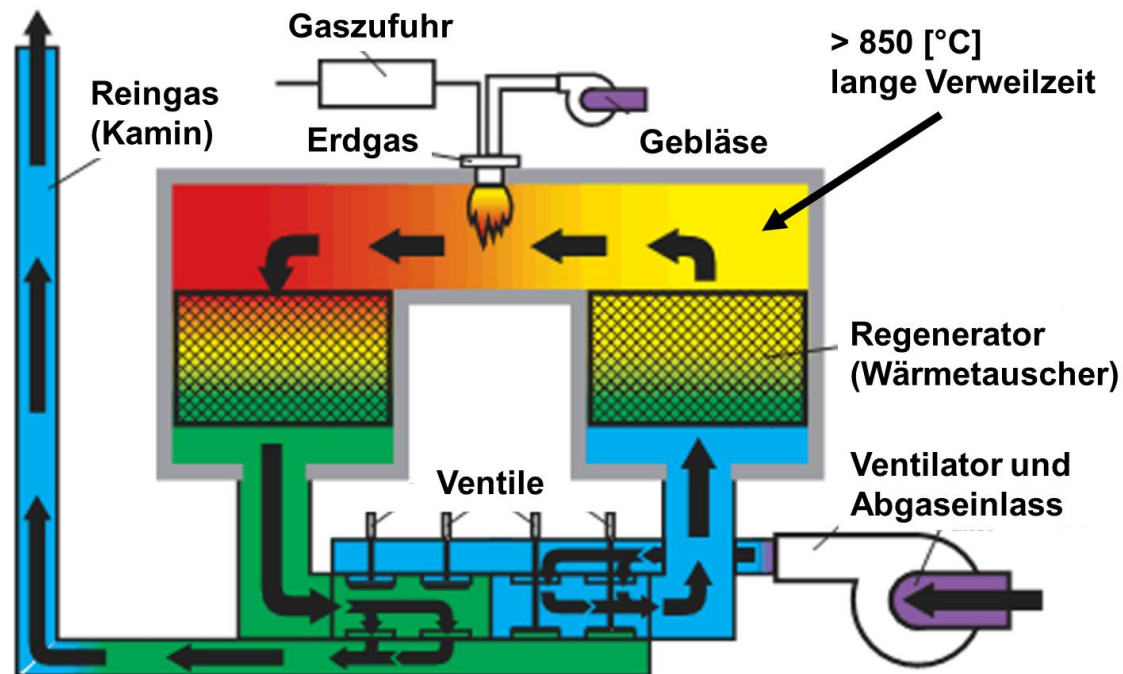
DeCONOx = Kombination RTO + SCR



Regenerative Thermische Oxidation (RTO)

- Das Abgas (ca. 130 [°C]) wird über einen Ventilator in die Anlage geblasen
- Im Regenerator wird das Abgas aufgeheizt und in die Brennkammer geführt.
- Dort wird zusätzliche Wärme durch «saubere Brennstoffe» (z.B. Erdgas) zugeführt und eine Temperatur von > 850 [°C] erreicht.
- In der Brennkammer werden CO, TOC und andere Verbindungen oxidiert
- Im (linken) Regenerator wird das Gas abgekühlt und ins Kamin geleitet

Regenerativer Thermischer Oxidator

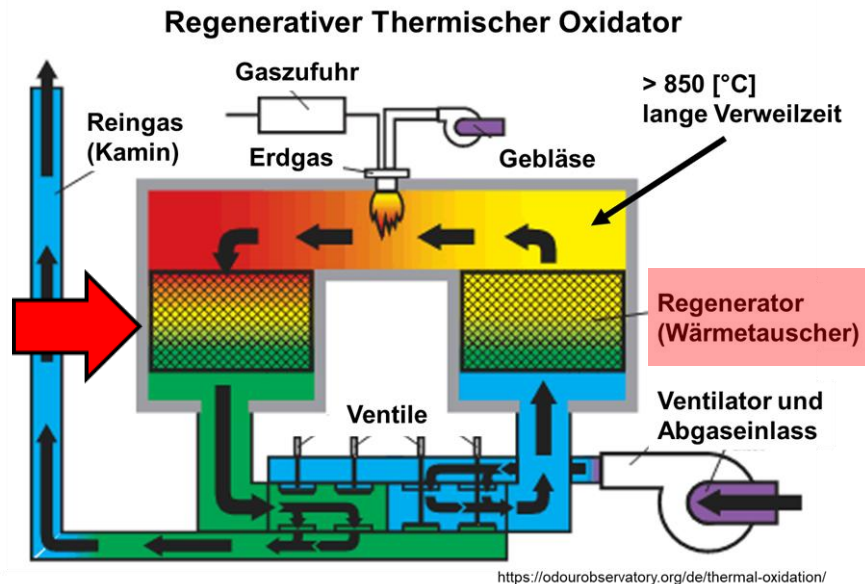


DeCONOx - Kombination RTO + SCR

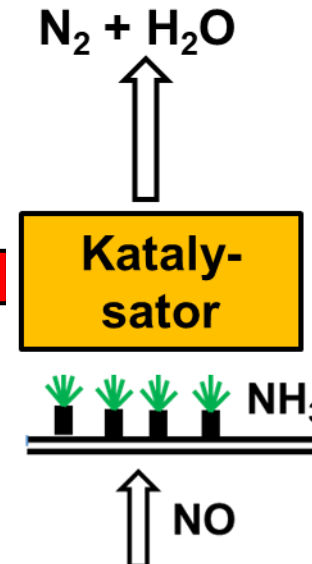
DeCONOx

Regenerator wird in zwei Teile aufgeteilt und SCR dazwischen angeordnet

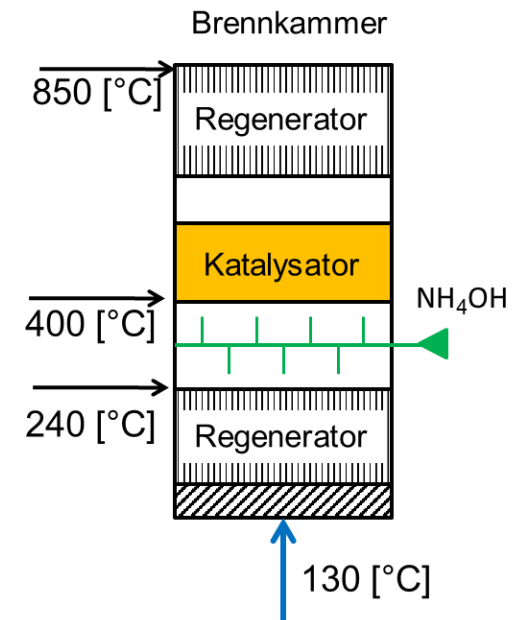
RTO



SCR



DeCONOx



DeCONOx

Kirchdorfer Zementwerk

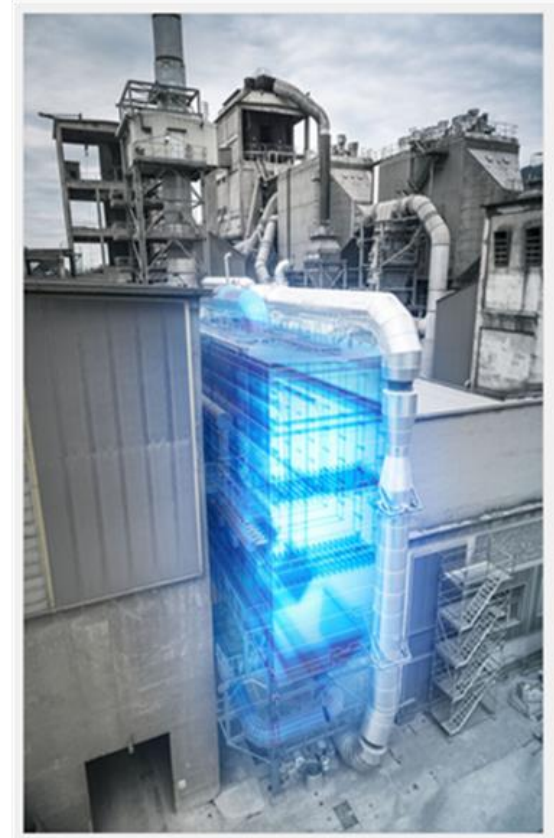
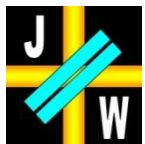
Kirchdorf an der Krems, Österreich

Literatur:

Matthias Pfützner, Kirchdorfer Industries
Kirchdorf Cement – The cement plant with the lowest emissions
in the world; Global Cement 10th January 2017

G. Mauschitz, Technische Universität Wien, Vienna
A. Secklehner, Kirchdorfer Zementwerk Hofmann Ges.m.b.H.,
Kirchdorf an der Krems
S. Hagn, Scheuch GmbH, Aurolzmünster, Austria
The DeCONOx process - an example of advanced exhaust gas
cleaning technology in the Austrian cement industry
Cement International 2/2018/Vol 16

Scheuch GmbH
Innovative SCR Technologies for
NOx – VOC – CO – ODOR – Reduction
April 2016



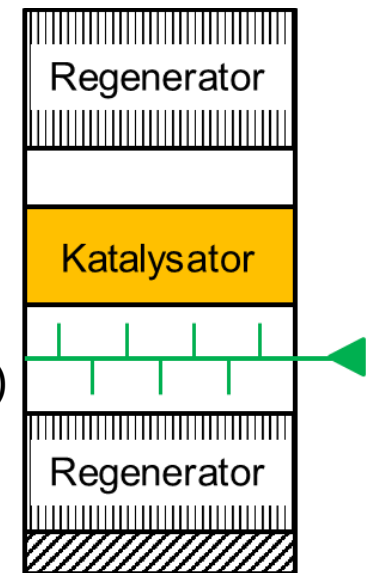
Weltweit erste DeCONOx-
Anlage bei Kirchdorfer
Zement

Kirchdorf (A) – DeCONOX-System

Einige Daten des Werkes:

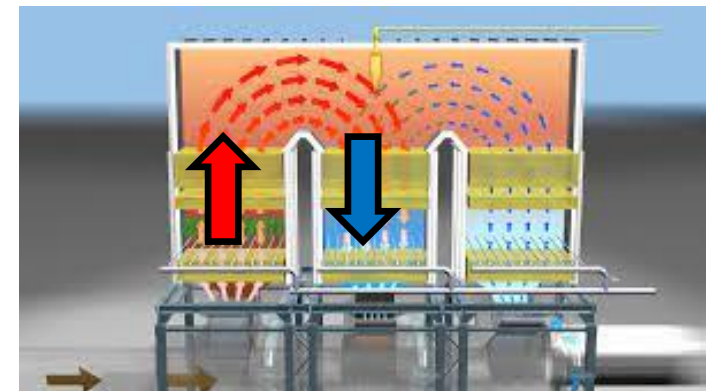
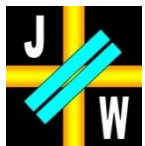
- Klinkerproduktion: 1'500 [t/d]
- Zementproduktion: 500'000 [t/Jahr]
- Abgasvolumen: 151'000 [m³_N/h]
- Alternative Brennstoffe: 91 [%] (2016):
Altreifen und Abfällen
aus Gewerbe und Industrie
- Temperatur: 120 [°C] – 220 [°C] (Austritt Filter)
- Dust: < 5 [mg/m³]

Schema eines Turms



DeCONOX

- Installation «End of Tail» (vor dem Kamin)
- 5 Türme (2 mit Rohgas, 2 mit Reingas, 1 Turm zur Spülung mit Luft durchströmt)
- Katalysator: TiO₂-Matrix mit V₂O₅ und WO₃
50 [m³] in 5 Türmen, Freiraum ~ 63 [%]



Variante mit 3 Türmen

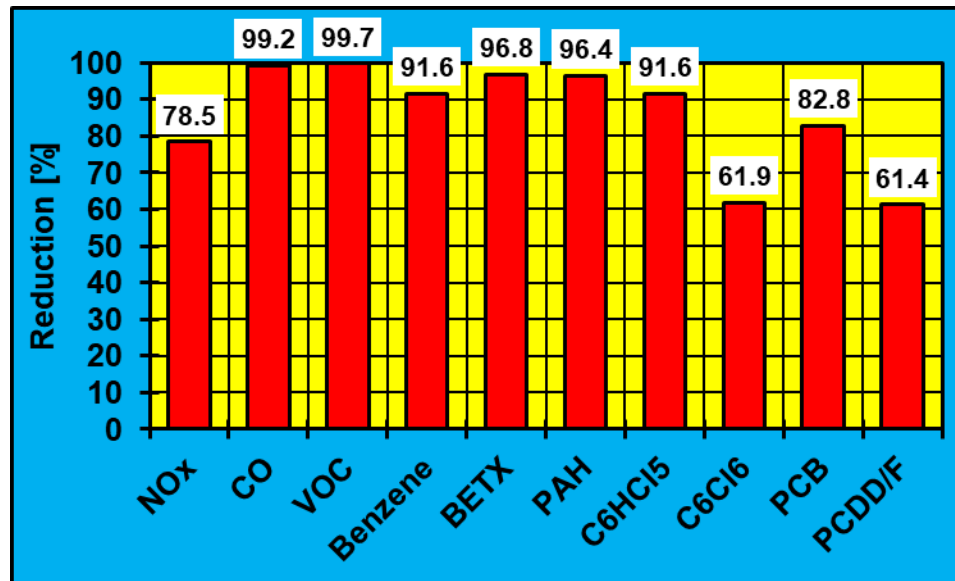
Kirchdorf – Emissionen 2017

- Werte = Jahresmittel 2017 in [mg/m³] (1013 [mbar], 0 [°C], trocken, 10 [%] Sauerstoff)
- Österreichische Grenzwerte = Tagesmittelwerte
389. Verordnung: Abfallverbrennungs-Sammelverordnung vom 25. Oktober 2002 bzw.
Genehmigungsbescheid: AUWR-2006- 7/936-Wi und AUWR-2006-7/689-Wi

	Grenz- wert	Mittelwert 2017	Bemerkung
Staub	15	0.7	Gewebefilter
SO ₂	180	1	
Reduktion durch DeCONOX			
NOx	400	149	
NH ₃	30	4	
TOC	50	0	< Nachweisgrenze (1 [mg/m³])
Benzol	?	< 0.2	Berechnet aus der Reduktionsrate
CO	---	63	04.03.2016 – 31.07.2017
PCDD/DF	0.1	0.0006	in [ngTE/m³] (Nachweisgrenze)

Kirchdorf – Gemessene Reduktionen

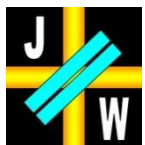
- NO_x, CO und TOC (= VOC):
Durchschnitt der kontinuierlichen Messung zwischen dem 04. März 2016 und dem 31. Juli 2017
Andere Verbindungen: Mittelwert aus drei Messungen
- Die Konzentration der Bestandteile der Komponenten PAK, C₆HCl₅, C₆Cl₆, PCD und PCDD/F ist daher gering und ihre Messung mit einer grösseren Unsicherheit behaftet. Die Reduktionsrate ist in jedem Fall > 60 bis 70 [%].



TOC/VOC	Flüchtige organische Verbindungen
BETX	Summe Benzol, Ethylbenzol, Toluol, Xylol
PAH	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
C ₆ HCl ₅	Pentachlorbenzol
C ₆ Cl ₆	Hexachlorbenzol
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD/F	Dioxine und Furane Dibenzo-p-Dioxine und Dibenzofurane

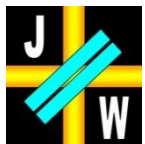
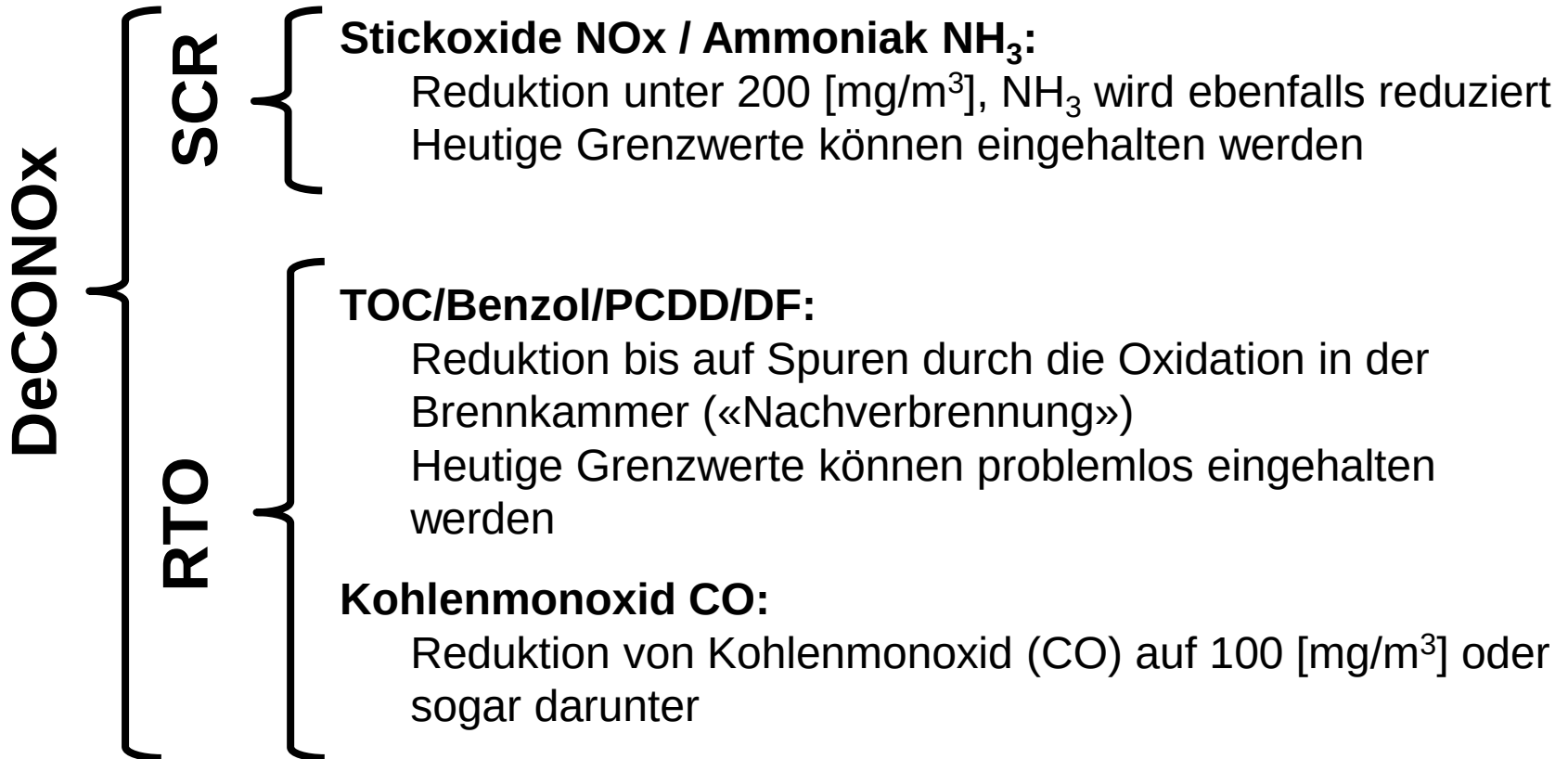
Kirchdorf – Zusätzliche Informationen

- Zusätzlicher elektrischer Energiebedarf: 8 [kWh/t Klinker].
- NO_x-Reduktion: 80 [l/h] wässrige Ammoniaklösung für eine Reduktion von 600 auf 140 [mg/m³]
(1013 [mbar], 0 [°C], trocken, 10 [%] Sauerstoff)
- Informationen aus dem Werk:
Zusätzliche Wärme für die Brennkammer (Erdgas; «sauberer Brennstoff») ist vernachlässigbar.
 - ▶ **Autothermer Betrieb:** Die Wärme wird durch die Oxidation des hohen Gehaltes an Kohlenmonoxid im Abgas (> 6'000 [mg/m³]) in der Brennkammer geliefert; Problem: Fehlkonstruktion des Kalzinators
 $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{Wärme}$
 - ▶ Im «Normalfall» sind nicht so hohe CO-Gehalte vorhanden und es muss «sauber Brennstoff» (z.B. Erdgas) zugeführt werden.
- **Akquisitionskosten: 7.3 Mio. Euro**



ZUSAMMENFASSUNG

RTO und DeCONOX



Anzahl Reduktionsanlagen in der Deutschen Zementindustrie

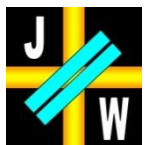
38 Ofenanlagen in der Deutschen Zementindustrie

17 Ofenanlagen reduzieren nur mit dem SNCR-Verfahren
(«Hocheffiziente SNCR-Technik»)

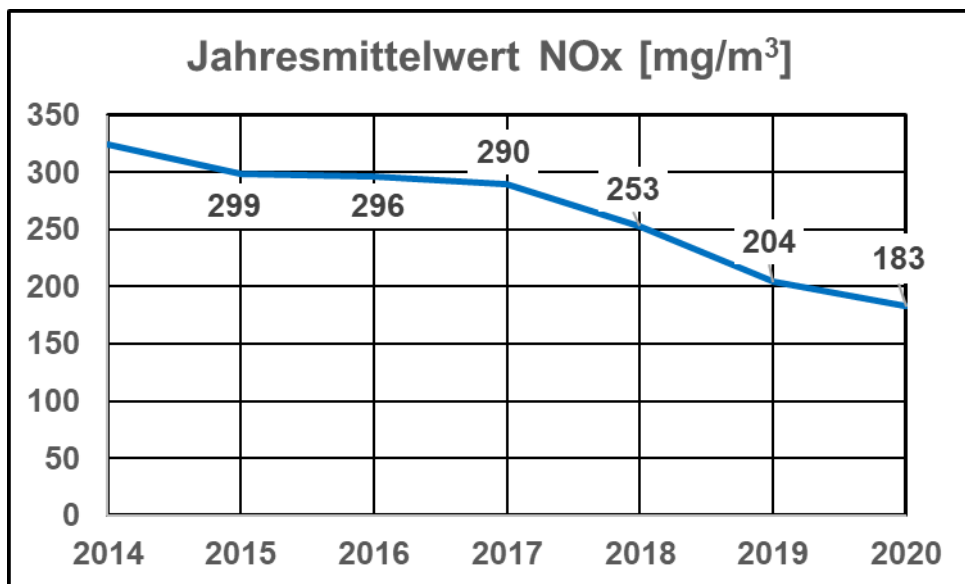
20 Ofenanlagen reduzieren mit folgenden Verfahren:

- 17 mit SCR-Anlagen
- 2 mit einem DeCoNOx-Verfahren
- 1 mit einem Verfahren mit katalytischen Filterschläuchen

In den 20 Ofenanlagen wird das SNCR-Verfahren entweder als Stand-By-Verfahren oder in Kombination mit Reduktions-Verfahren verwendet.



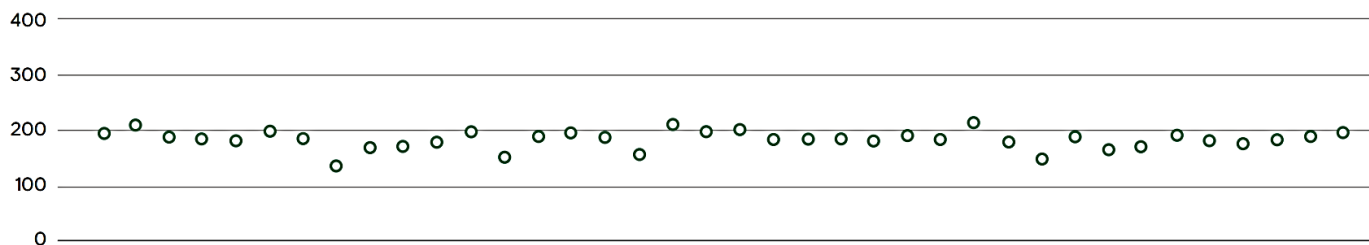
Resultat der NOx-Reduktionsmassnahmen



Grenzwert von 200 [mg/m³]
gilt ab dem 01.01.2019

○ Messwerte im Reingas / Measurements in the clean gas

2020

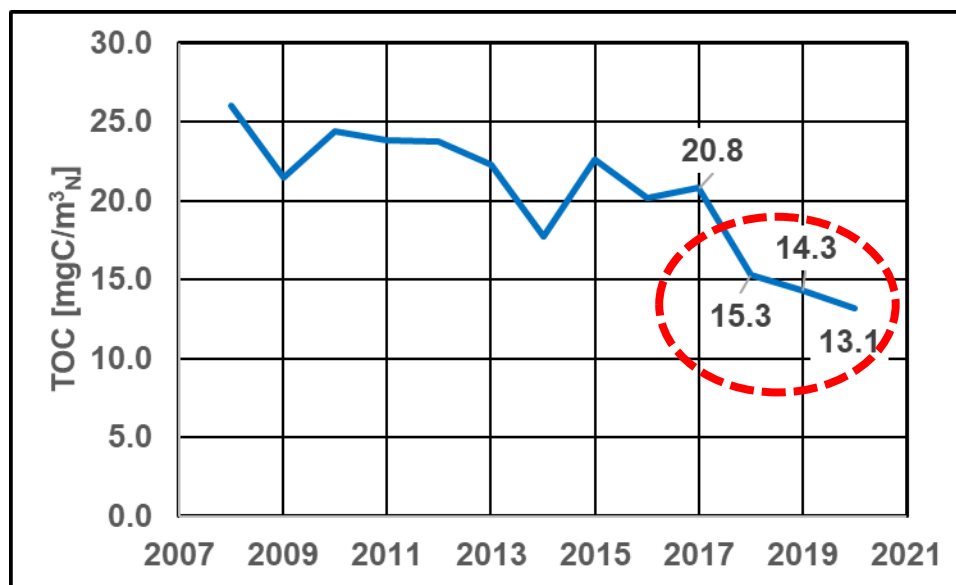


Jahresmittelwerte aus
VDZ, Umweltdaten der Deutschen Zementindustrie (2014 bis 2020)



Resultat der NOx-Reduktionsmassnahmen

Einfluss der SCR- und DeCONOx-Anlagen
auf die Emission der flüchtigen organischen Stoffe (TOC)



Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

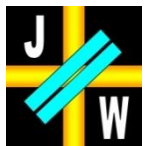
Josef Waltisberg

Eichhaldenweg 23

5113 Holderbank / Schweiz

Mail: josef@waltisberg.com

Homepage: waltisberg.com



Waltisberg
Consulting