Konzeptionelle Betrachtungen für ein Rauchgasreinigungsverfahren für niedrigste Emissionsanforderungen

Dipl.-Ing. Rudi Karpf
ete.a GmbH, Lich

Dipl.-Ing. Matthias Elfers
BKB AG, Helmstedt

waste to energy
Bremen, 09./10. Mai 2007

ete.a Ingenieurbüro für Energie- und Umweltengineering & Beratung

Inhaltsverzeichnis

1. Anforderungen an die Rauchgasreinigung

2. Vor- und Nachteile einzelner Rauchgasreinigungsverfahren

3. Konzeptentwicklung und Bewertung

4. Zusammenfassung

Emissionsgrenzwerte der Niederland im Vergleich

Komponente	Einheit	17. BImSchV	EU-Richtlinie	BVA-NL	BAT - IPPC
		1	2	3	4
TOC	[mg/Nm³]	10	10	10	10
CO	[mg/Nm³]	50	50	50	< 30
HCL	[mg/Nm³]	10	10	10	< 5
HF	[mg/Nm³]	1	1	1	1
SO2	[mg/Nm³]	50	50	50	< 40
Staub	[mg/Nm³]	10	10	5	< 5
NOx	[mg/Nm³]	200	200	70	< 70
Hg	[mg/Nm³]	0,03*	0,05*	0,05*	0,03*
Cd, Tl	[mg/Nm³]	0,05*	0,05*	0,05*	0,05*
Sb - Sn	[mg/Nm³]	0,5*	0,5*	0,5*	0,5*
Dioxine/Furane	[ng/Nm³]	0,1*	0,1*	0,1*	0,1*

Werte als Tagesmittelwerte
* Mittelwerte über Probenahmezeitraum

WTE Delfzijl: Garantierte Emissionsgrenzwerte

Parameter	Tagesmittelwert [mg/Nm³]	BAT-IPPC [mg/Nm³]	Halbstundenmittelwert [mg/Nm³]	Monatsmittelwert [mg/Nm³]	Jahresmittelwert [mg/Nm³]
Gesamtstaub	< 5	< 5	< 15		< 3
organische Stoffe angegeben als TOC	< 10	10	< 20		< 5
HCl	8	< 5	50		< 5
HF	< 1	1	< 2		
SO2	< 25	< 40	150		< 25
N0x	< 70	< 70	< 200	<70	< 70
CO	< 30*	< 30	100		
NH3	< 5				
Im Reingasstrom sind folgende Grenzwerte einzuhalten und 2 x jährlich zu messen:					
Hg	0,05 (0,03)				
Cd +Th	0,05 (0,05)				
PCDD/PCDF	0,1 (0,1)				
Sb+As+Sb+Cr+Co+Cu +Mn+Ni+V+Sn	0,5 (0,5)				

* Im Anfahrbetrieb nach Revisionen 50 mg/m³ für 14 Tage nach Wiederinbetriebnahme

Wann ist welche Rachgasreinigung die richtige?

nasse Verfahren z. B.

- für die Abscheidung sehr hohe Schadgasgehalte an HCl und SO_2
- bei einer geforderten selektiven Abscheidung
- für die gezielte Abscheidung von Halogenen wie Brom und Iod (z.B. in der Sondermüllverbrennung)

trockene Verfahren z.B.

- für die Abscheidung mittlere bis hohe Schadgasgehalte an HCl und SO_2
- kombinierte Abscheidung mehrer Schadgasbestandteile in einer Stufe
- sehr gute Abscheidung von Stäuben, Schwermetallen und Dioxinen/Furane

Leistungsmerkmale

der nassen und trockenen Rauchgasreinigungsverfahren

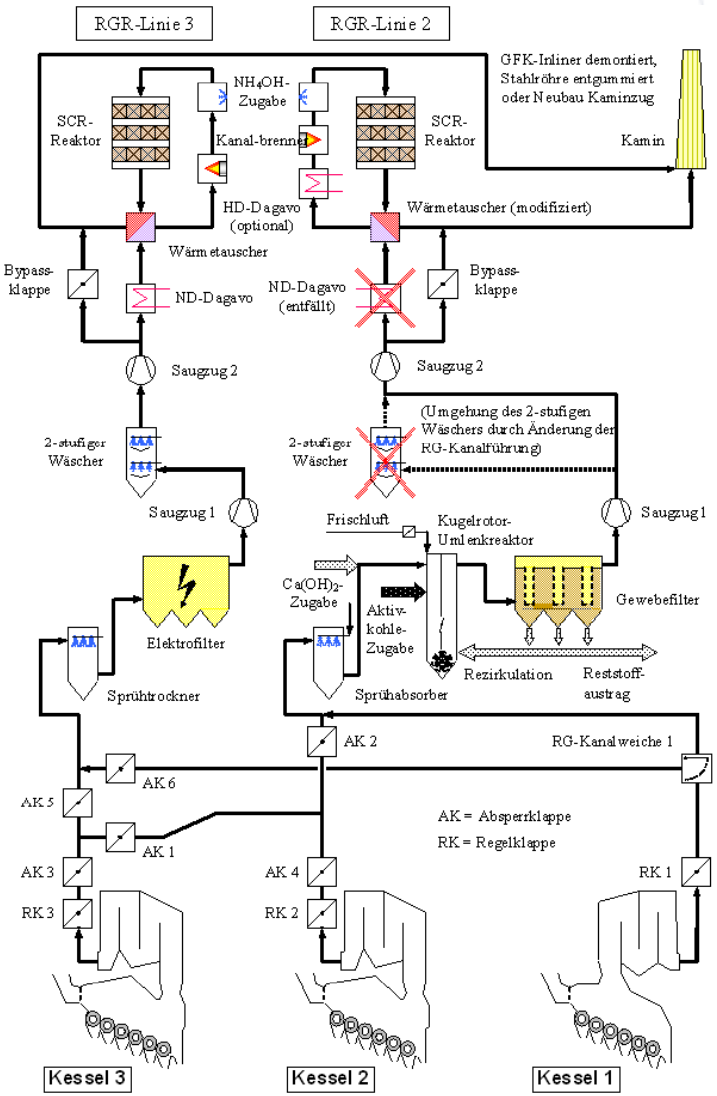
nasse Verfahren

- Stöchiometrie 1
  ➡ geringe Reststoffmenge
- teure Additive (z.B. NaOH)
- großes Abscheidevermögen
- selektive Abscheidung
- mehrstufiges System
- aufwendige Abwasseraufbereitung / Entsorgung
- benötigt eine Staubvorabscheidung
- größere Staub/Aerosol – Emissionen
- keine PCDD/PCDF- Abscheidung
- geringer Platzbedarf

trockene Verfahren

- Stöchiometrie 1,6 bis >2
  ➡ größere Reststoffmenge
- günstige Additive (z.B. $Ca(OH)_2$)
- gutes Abscheidevermögen
- keine selektive Abscheidung
- einstufiges System
- einfache u. robuste Komponenten
- geringer Wartungsaufwand
- benötigt keine Staubvorabscheidung
- keine/geringe Abscheidung von Br, J und NH_3
- kein Naßkamin notwendig
  ➡ keine Wasserdampffahne

Vergleich einer nassen und trockenen Rauchgasreinigung

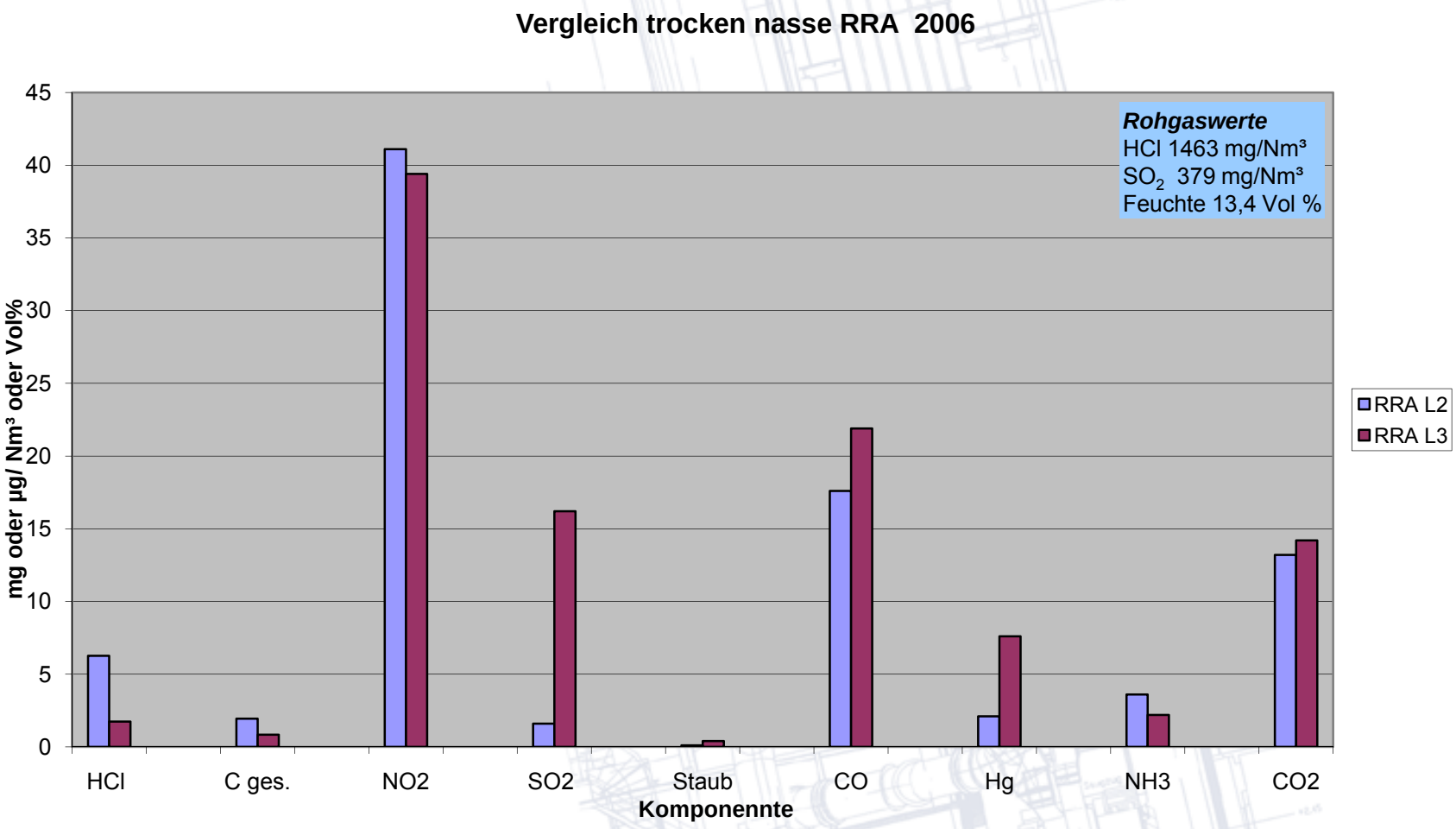


Einsparpotentiale durch den Einsatz einer trockenen gegenüber nassen Rauchgasreinigung

- Energieeinsparung durch einen reduzierten Druckverlust von ***45kW***
- Energieeinsparung durch den Wegfall von elektr. Verbrauchern von ***115 kWh***
- Reststofferhöhung um ca. ***11 kg/t Müll***

Gesamteinsparung von 0,7 €/t Müll

Vergleich von Emissionswerte im MHKW Ludwigshafen



Stöchiometriebestimmung aus der Reststoffzusammensetzung

(Probe vom 23.11.2006)

Filterstaubprobe GML RRA2

		berechnete Werte			
in Gew.%	Ergebnisse Nabaltec A7076-07	als Ca	Salze als Ca(OH)2	Restsorbz. als Ca(OH)2	Chloridgehalt
Gesamt-Ca	26,7				
CaSO3	7,98	2,7	4,9		
CaSO4	6,63	1,9	3,6		
CaCO3	18,9	7,6		14,0	
CaCl2	31,4	11,4	21,1		20,0
CaF2	1,03	0,5	1,0		
Ca(OH)2	3,36	1,8		3,4	
Summme	69,3	25,9	30,6	17,3	
			47,9		Summe Ca(OH)2-Input

Stöchiometrie I [1] = Ca(OH)2-Input / Ca(OH)2 umgesetzt zu Salzen

Stöchiometrie I [1] = 1,57

1)berechnet auf abgeschiedenes; bez. a. Input liegt der Wert etwas tiefer

2)bei sonst vergleichbaren Bedingungen wie u.a. Flugascheanteil

Die trockenen Verfahren werden in Abhängigkeit des eingesetzten Absorbens unterschieden in

kalkbasierende Verfahren ($Ca(OH)_2$, CaO)

- einfache robuste Anlagentechnik
- geringe Absorbensbeschaffungskosten
- der wirtschaftliche Betrieb erfordert eine optimale Betriebstemperatur respektive relative Rauchgasfeuchte

natriumbasierende Verfahren ($NaHCO_3$)

- sehr große Reaktivität gegenüber HCl und SO_2
- geringer apparativer Aufwand
- sehr hohe Verfügbarkeit
- mehr als das 2-fache an Absorbensbeschaffungskosten gegenüber Kalk

Aufgabenstellung

Technische und wirtschaftliche Bewertung verschiedener Rauchgasreinigungskonzepte im Kontext zu

- Emissionsgrenzwerte für NOx < 70 mg/m^3
- Einhaltung der Emissionsgrenzwerte gemäß 17. BImSchV
- Unterschreitung der Emissionsgrenzwerte gemäß 17. BImSchV

Auslegungsdaten

Rauchgasvolumenstrom in Norm trocken.:	131.472	m³/h i.N.tr. bzg.11 Vol.% O_2
Rauchgastemperatur	200 - 260	°C
Betriebsdruck vor Gewebefilter	-	mbar

Tab.1 Rauchgaszusammensetzung nach Kessel (bzg.11 Vol.% O_2)

Parameter	Einheit	TMW (min.)	TMW (norm.)	HMW	Spitze (0,5 - 5h)
Heizwert	[MJ/kg]	10	11,5	14	18
H_2O	Vol.-% tr.	12	15	19	24
Staub	mg/m³ i.N.tr.	1.500	2.500	3.500	10.000 (Rußblasen)
NO_x	mg/m³ i.N.tr.	300	400	500	700
HCl	mg/m³ i.N.tr.	600	1.500	4.000	5.000
SO_2	mg/m³ i.N.tr.	300	650	1.500	3.000
Hg	mg/m³ i.N.tr.	0,3	0,5	1	1,2
Cd + Tl	mg/m³ i.N.tr.	1	2,5	7	10

Auslegungsdaten

Tab.2 Gegenüberstellung der Tagesmittelwerte im Reingas (bzg. 11 Vol.% O_2)

Komponente	Einheit	17. BImSchV	EU-Richtlinie	Grenzwerte I	Grenzwerte II
TOC	mg/m³ i.N.tr.	10	10	10	10
CO	mg/m³ i.N.tr.	50	50	50	50
HCL	mg/m³ i.N.tr.	10	10	10	< 5
HF	mg/m³ i.N.tr.	1	1	1	1
SO_2	mg/m³ i.N.tr.	50	50	50	< 40
Staub	mg/m³ i.N.tr.	10	10	5	< 5
NO_X	mg/m³ i.N.tr.	200	200	70	< 70
Hg	mg/m³ i.N.tr.	0,03	0,05	0,05	0,03
Cd, Tl	mg/m³ i.N.tr.	0,05	0,05	0,05	0,05
Sb - Sn	mg/m³ i.N.tr.	0,5	0,5	0,5	0,5
Dioxine/Furane	ng/m³ i.N.tr.	0,1	0,1	0,1	0,1

Beschreibung der Verfahrensvarianten

- es wurden vier Varianten bewertet
- dabei sind je zwei Verfahrenkonzepte für die Grenzwerte I und Grenzwerte II entwickelt worden, die mit dem Index A und B gekennzeichnet sind
- mit der Forderung ein NOx-Grenzwert < 70 mg/m^3 einzuhalten, beinhaltet jedes Verfahren eine katalytische NOx-Minderung

  ➡ SNCR nicht praktikabel da ein Abscheidegrad von $\eta \geq 83\%$ erforderlich ist

- betrachtet wurden Trockensorptions-, konditionierte Trockensorption- und nasse Verfahren

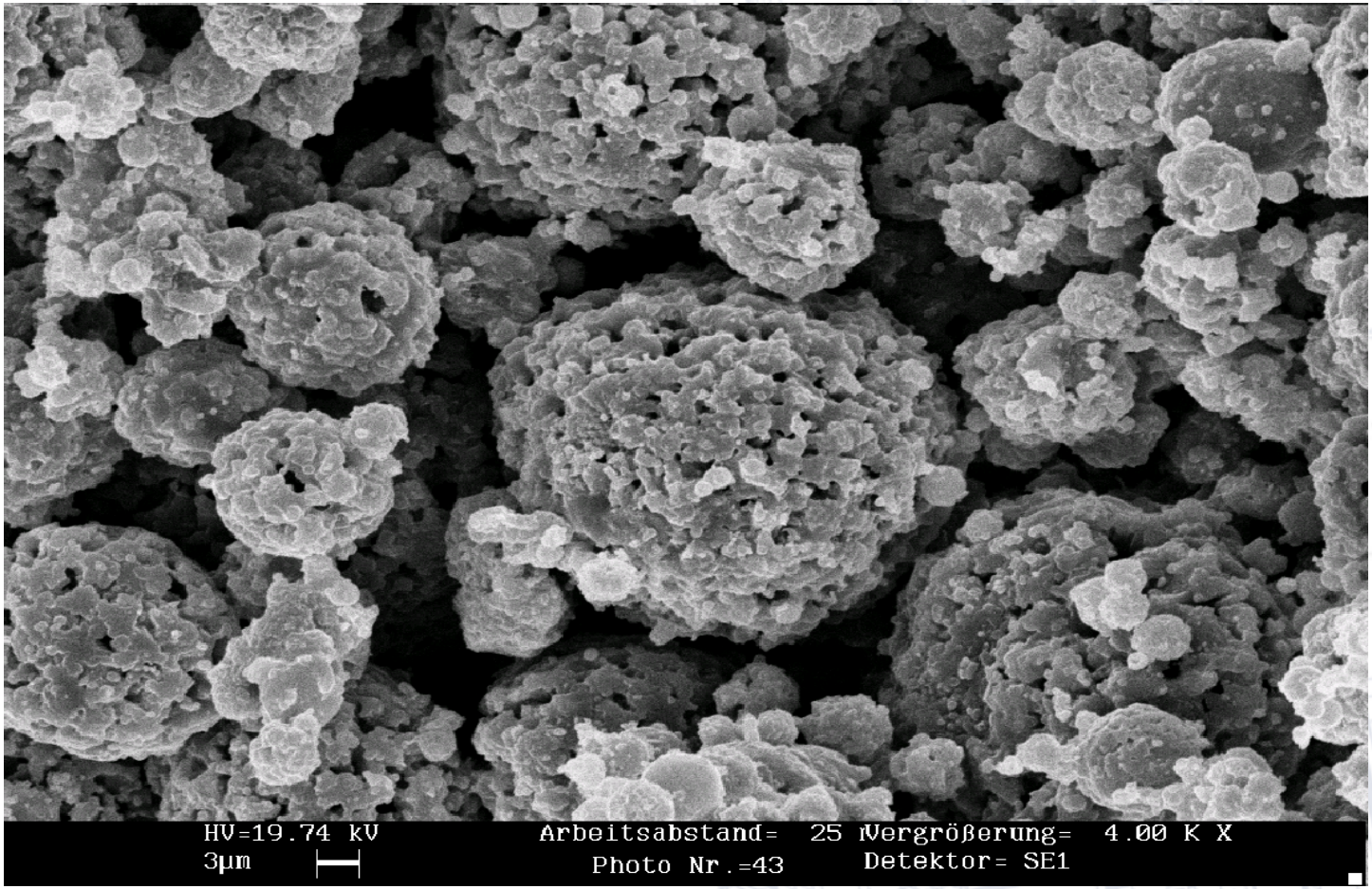
Beschreibung der Verfahrensvarianten

- eine konditionierte Trockensorption in Form einer Sprühabsorption wurde nicht betrachtet!

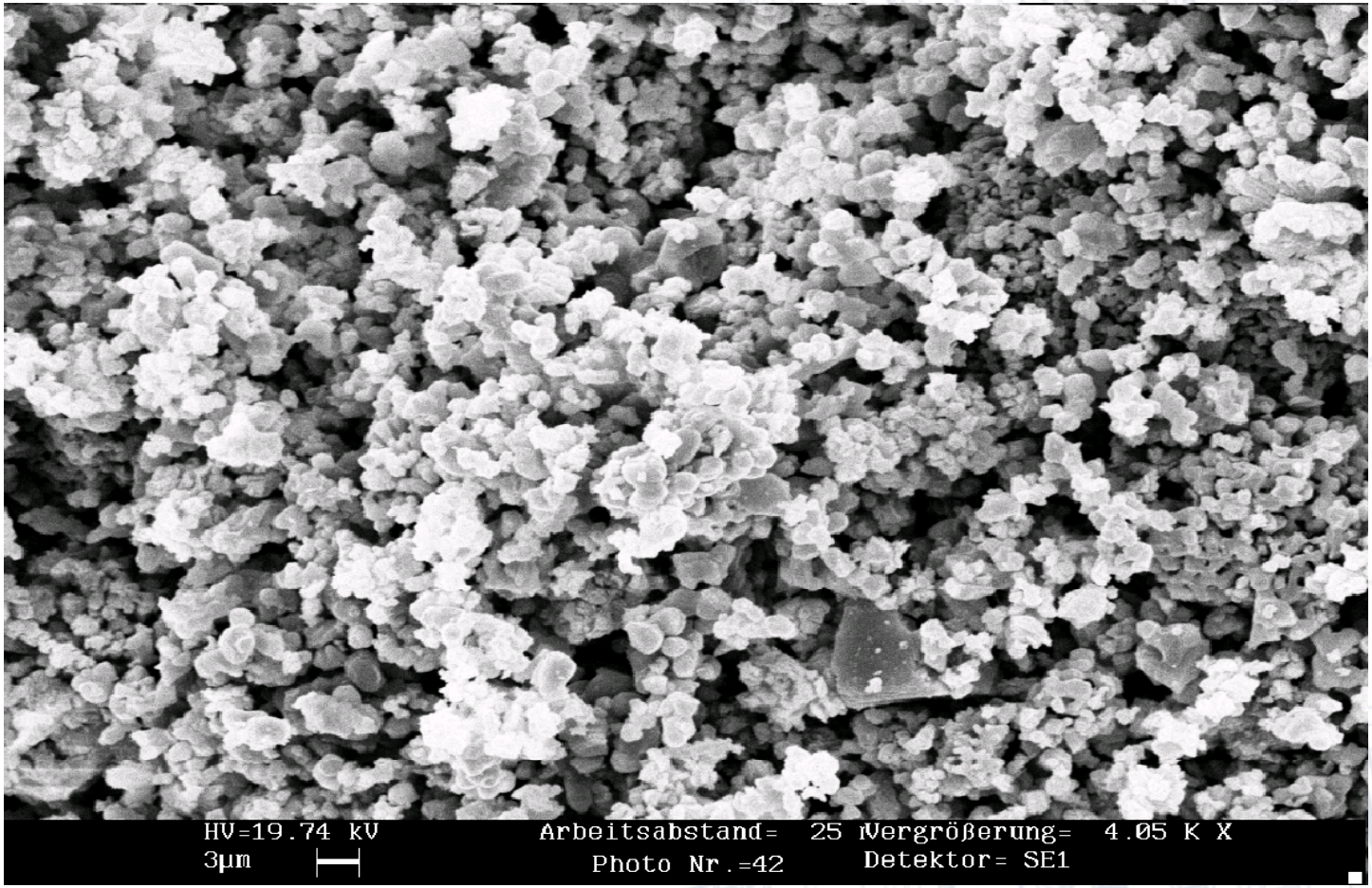
➡ Warum?

- STÖCHIOMETRIEN >> 2
- i.d.R. zusätzliche Dosierung von hochreaktiven Kalkhydraten notwendig

Kalkpartikel ($Ca(OH)_2$) nach einem Sprühabsorber



Kalkpartikel ($Ca(OH)_2$) frisch abgelöscht



Beschreibung der Verfahrensvarianten

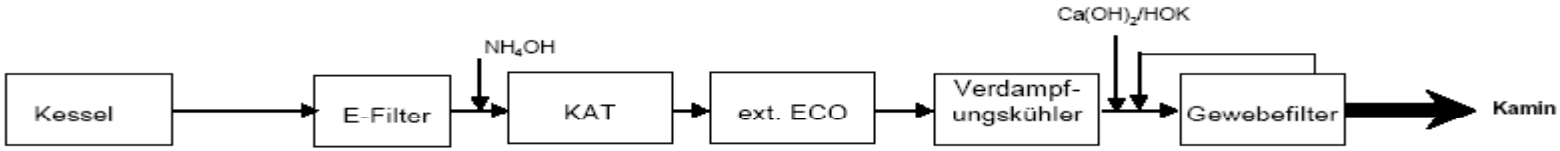


Abb.1 Variante A1 für Emissionsgrenzwerte gemäß Grenzwerte I

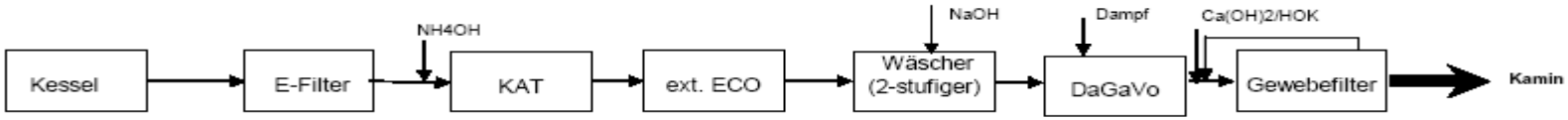


Abb.2 Variante B1 für Emissionsgrenzwerte gemäß Grenzwerte II

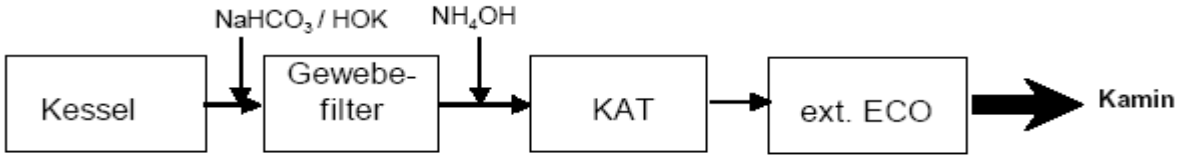


Abb.3 Variante A2 für Emissionsgrenzwerte gemäß Grenzwerte I

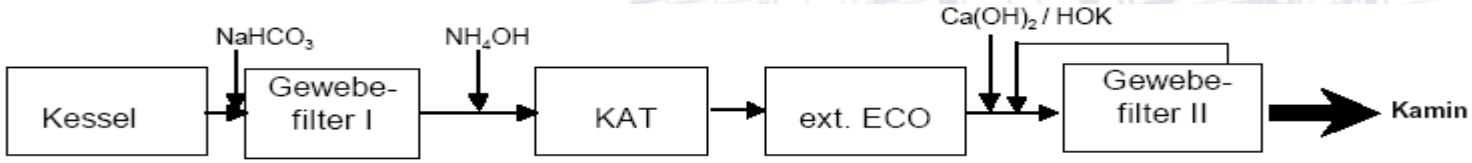


Abb.4 Variante B2 für Emissionsgrenzwerte gemäß Grenzwerte II

Ermittlung der Betriebs- und Investitionskosten

- es wurden von ALSTOM und LAB Richtpreis-/Schätzpreisangebote eingeholt

Tab.3 Gegenüberstellung der Investitionskosten als Richt(Schätz-)preise

Lieferant	Einheit	Variante A1	Variante B1	Variante A2	Variante B2
ALSTOM	€	14.800.000	16.600.000	12.800.000	16.800.000
LAB	€	13.000.000	15.500.000	8.500.000	11.000.000
Mittelwert	€	13.900.000	16.050.000	10.650.000	13.900.000

Ermittlung der Betriebs- und Investitionskosten

Betriebskosten

Tab.4 Preise der Betriebsstoffe

Stoff	Einheit	Preis
Strom	€/kWh	0,04
Natronlauge (50%ige)	€/t	160,5
Normalkalkhydrat	€/t	85
Natriumbicarbonat	€/t	180
Aktivkoks	€/t	480
Ammoniakwasser (25%ig)	€/t	94
Druckluft	€/m³	0,03
Wasser	€/t	2,4
ausgekoppelte Energie	€/kW	0
ND-Dampf (4 bar/ 140°C)	€/t	13,5
Abwasserentsorgung	€/t	12,6
Reststoffentsorgung	€/t	110
Energiegewinn durch kleinere Kesselaustrittstemperatur	€/kWh	0,04

Für die ausgekoppelte Energie wurden keine Angaben gemacht. Da jedoch in allen vier Konzepten die gleiche Wärme-auskopplung zugrunde gelegt werden kann, hat dies im Vergleich der Varianten untereinander keinen Einfluss.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Es wurde eine jährliche Betriebsdauer von 7.800 Stunden zugrunde gelegt. Die Berechnung der Kapitaldienstkosten basieren auf einer Nutzungsdauer von 15 Jahren bei einem Zinssatz von 10,6% nach der Annuitätsmethode gemäß VDI 2067.

Tab.5 Preise der Betriebsstoffe

Stoffstrom	Einheit	Variante A1	Variante B1	Variante A2	Variante B2	Bemerkung
Strom	[€/h]	24	33	17	24	
Natronlauge (50%ige)	[€/h]	0	35	0	0	
Normalkalkhydrat (95%)	[€/h]	54	19	0	2	
Natriumbicarbonat	[€/h]	0	0	145	145	
Aktivkoks	[€/h]	16	2	48	2	
Ammoniakwasser (25%ig)	[€/h]	7	7	7	7	
Druckluft	[€/h]	28	6	6	10	
Wasser	[€/h]	5	21	0	0	
ausgekoppelte Energie	[€/h]	0	0	0	0	
ND-Dampf (4 bar/ 140°C)	[€/h]	0	83,16	0	0	
Abwasser	[€/h]		36			
Reststoffentsorgung	[€/h]	150	40	109	102	
Energiegewinn durch kleinere Kesselaustrittstemperatur	[€/h]			44	44	
Summe Betriebsmittelkosten	**[€/h]**	282	282	288	248	
jährl. Kosten bei 7.800 h/a	**€/a**	2.201.642	2.200.318	2.244.381	1.933.641	

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Kosten	Einheit	Variante A1	Variante B1	Variante A2	Variante B2	Bemerkung
Investitionskosten	[€]	13.900.000	16.050.000	10.650.000	13.900.000	
Nutzungsdauer n (Jahre)	[a]	15	15	15	15	
Betriebskosten p.a. (B)	[€]	2.201.642	2.200.318	2.244.381	1.933.641	
Abschreibung p.a.	[€]	926.667	1.070.000	710.000	926.667	
Kapitaldienstkosten p.a.	[€]	1.879.280	2.169.960	1.439.880	1.879.280	Zinssatz von 10,6% gemäß VDI 2067
Kosten p. a. inkl. Kapitaldienst	[€]	4.080.922	4.370.278	3.684.261	3.812.921	
Kosten p.a. (ohne Kapitaldienst)	[€]	3.128.309	3.270.318	2.954.381	2.860.308	

Ein Vergleich ist nur zulässig zwischen den Varianten

A1 und A2 sowie B1 und B2

Zusammenfassung

Tab.5 Zusammenfassung der verfahrenstechnischen Bewertung sowie der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

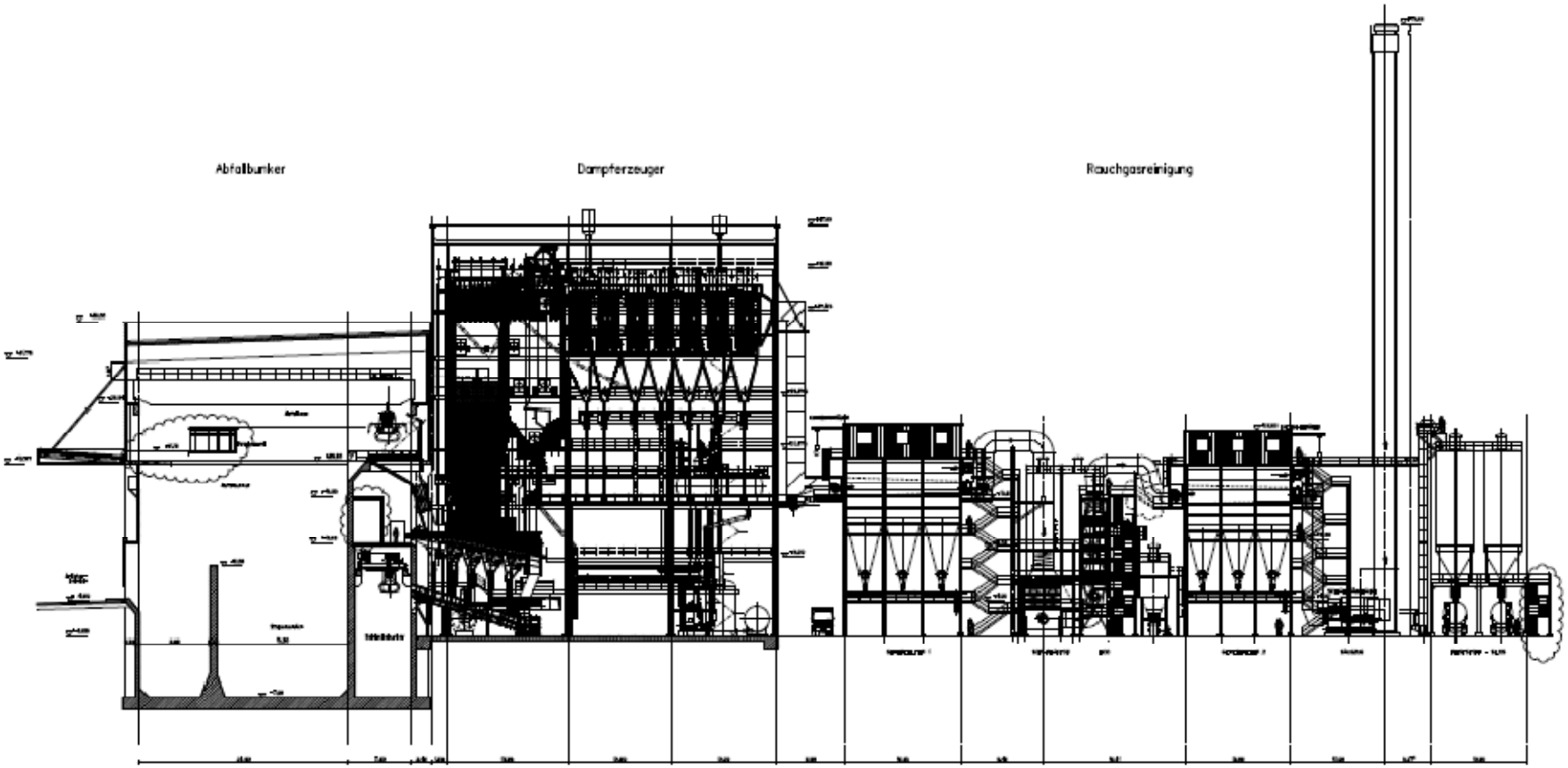
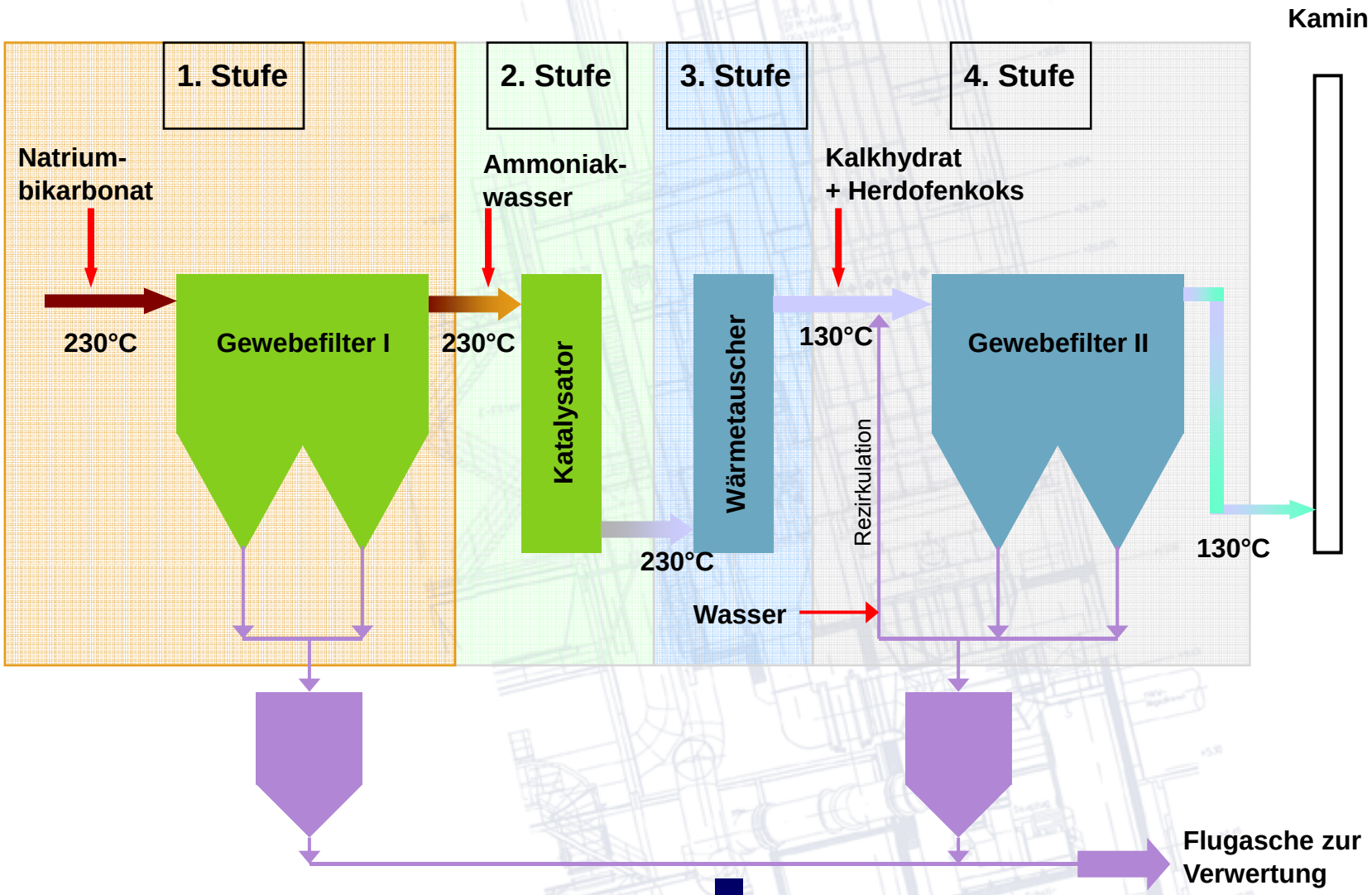
Kriterium	Variante A1	Variante B1	Variante A2	Variante B2
verfahrenstechnische Vorteile	*- sichere Einhaltung der 17. BImSchV* *- bewährte Technik*	*- weitere Reduzierung der Emissionswerte*	*- einfacher Anlagenaufbau* *- sichere Einhaltung der 17. BImSchV* *- sicherer Katalysatorbetrieb*	*- einfacher Anlagenaufbau* *- weitere Reduzierung der Emissionswerte* *- sicherer Katalysatorbetrieb*
verfahrenstechnische Nachteile	*- Risiko der Sulfatisierung der Katalysatoren*	*- Risiko der Sulfatisierung der Katalysatoren* *- aufwendige Technik*	*- Risiko in der sicheren Hg-Abscheidung* *- keine wirtschaftl. weitere Reduzierung der Emissionswerte möglich*	*- Risiko durch mögliche fehlende Schwefeleigendotierung am HOK für eine sichere Hg°-Abscheidung*
Betriebskosten [€/a]	*2.201.642*	*2.200.318*	*2.244.381*	*1.933.641*
Investitionskosten [€]	*13.900.000*	*16.050.000*	*10.650.000*	*13.900.000*
Gesamtkosten inkl. Kapitaldienst [€/a]	*4.080.922*	*4.370.278*	*3.684.261*	*3.812.921*

Standort WTE Delfzijl

Projekt WTE Delfzijl

Anlagentyp:	2-linige wassergekühlte Rostfeuerung
Brennstoff:	EBS mit 11 - 13 MJ/kg
Kapazität:	275.000 t/a
Feuerungswärmeleistung:	2 x 58,5 MW = 117 MW
Dampfparameter:	40 bar/400 °C
Kühlung:	Luko als Not- und Anfahr-kühler
Energienutzung:	rd. 8,5 MW Strom ins Netz+ rd. 100 t/h Prozessdampf mit 7 bar sowie rd. 25 t/h Prozessdampf mit 13 bar an Industriebetriebe
Investition:	rd. 135 Mio. €
Mitarbeiter:	53
Baubeginn:	2007
Inbetriebnahme:	2009

WTE Delfzijl: Anlagenlayout



WTE Delfzijl: mehrstufige trockene Rauchgasreinigung