Energieeffiziente Abgasreinigung hinter Abfallverbrennungsanlagen

Horst Bieber, EEW Energy from Waste Delfzijl B.V. (NL)

Rudi Karpf, ete.a Ingenieurgesellschaft mbH

VDI Wissensforum | ITAD Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. | eew Energy from Waste | ete.a

Inhaltsverzeichnis

1. Motivation / Hintergrund
2. Beschreibung von Energieoptimierungspotentialen bei Abgasreinigungsverfahren
3. Emissionsbezogene Energiekennzahlen
4. Energieäquivalente Emissionsfaktoren
5. Beispiel einer ausgeführten Anlage sowie Aufzeigen von Optimierungspotentiale bei bestehenden Anlagen

MOTIVATION / HINTERGRUND

BAT reference docun	Comments
Surface Treatment Using Organic Solvents (first BREF adopted 2007)	ved forward due to the potential for reducing VOC ssions
Wood Preservation with Chemicals (WPC) (new BREF under IED)	pter 18 of the STS BREF (titled 'Wood preservation') ers industrial processes for the preservation with, or nersion of wood in organic solvent-based ervatives, creosote or solvent-free preservatives.
Ferrous Metals Processing (FMP) (first BREF adopted 2001)	ctivation. Original activation was 2008 but the ew has been on hold since 2011 due to heavy kload.
One inorganic chemical BREF	ging both the Solid and others and Ammonia, Acids Fertilisers BREFs into a single document is one on. Although both existing BREFs are large, they ow a similar structure of generic (common) BAT, plemented by detailed BAT on the production of cted (illustrative) products. ject to revisiting the strategy to review the chemical EFs in light of the lessons learnt from the review of CWW, LVOC and CAK BREFs
One inorganic chemical BREF	ject to revisiting the strategy to review the chemical EFs in light of the lessons learnt from the review of CWW, LVOC and CAK BREFs)
Textiles (first BREF adopted 2003)	
Slaughterhouses and Animal By-products (first BREF adopted 2005)	
Industrial Cooling Systems (first document adopted 2001) and **Energy Efficiency** (first BREF adopted 2009)	ject to an assessment of the merits to be conducted he Commission in 2014; merging of these two EFs into a "Resource Efficiency" BREF where e.g. er saving issues could also be covered

4.5.3.1 Energiebedarf und Aufwand bei der Abgasreinigung

Neben den erzielbaren Reingasemissionen spielt bei der Auswahl der geeigneten Technologie auch der erforderliche Aufwand eine Rolle. Es ist selbstverständlich, dass die Leistung einer Abgasreinigungsanlage mit dem Verbrauch an Energie und Additiven in engem Zusammenhang steht. Bei den Arbeiten an dieser Richtlinie wurde versucht, diesen Zusammenhang anhand praktischer Beispiele zu quantifizieren. Es musste letztlich jedoch festgestellt werden, dass belastbare Aussagen hierzu kaum getroffen werden können. Müllverbrennungsanlagen sind Unikate, die in Bau, Betrieb und Rahmenbedingungen kaum miteinander vergleichbar sind. Prinzipiell vergleichbare Technologien können an verschiedenen Standorten mit unterschiedlichen Voraussetzungen zu signifikant abweichendem Aufwand an Energie und Verbrauchsmitteln führen.

4.5.3.1.1 Praxisbeispiele für den Energiebedarf bei der Abgasreinigung

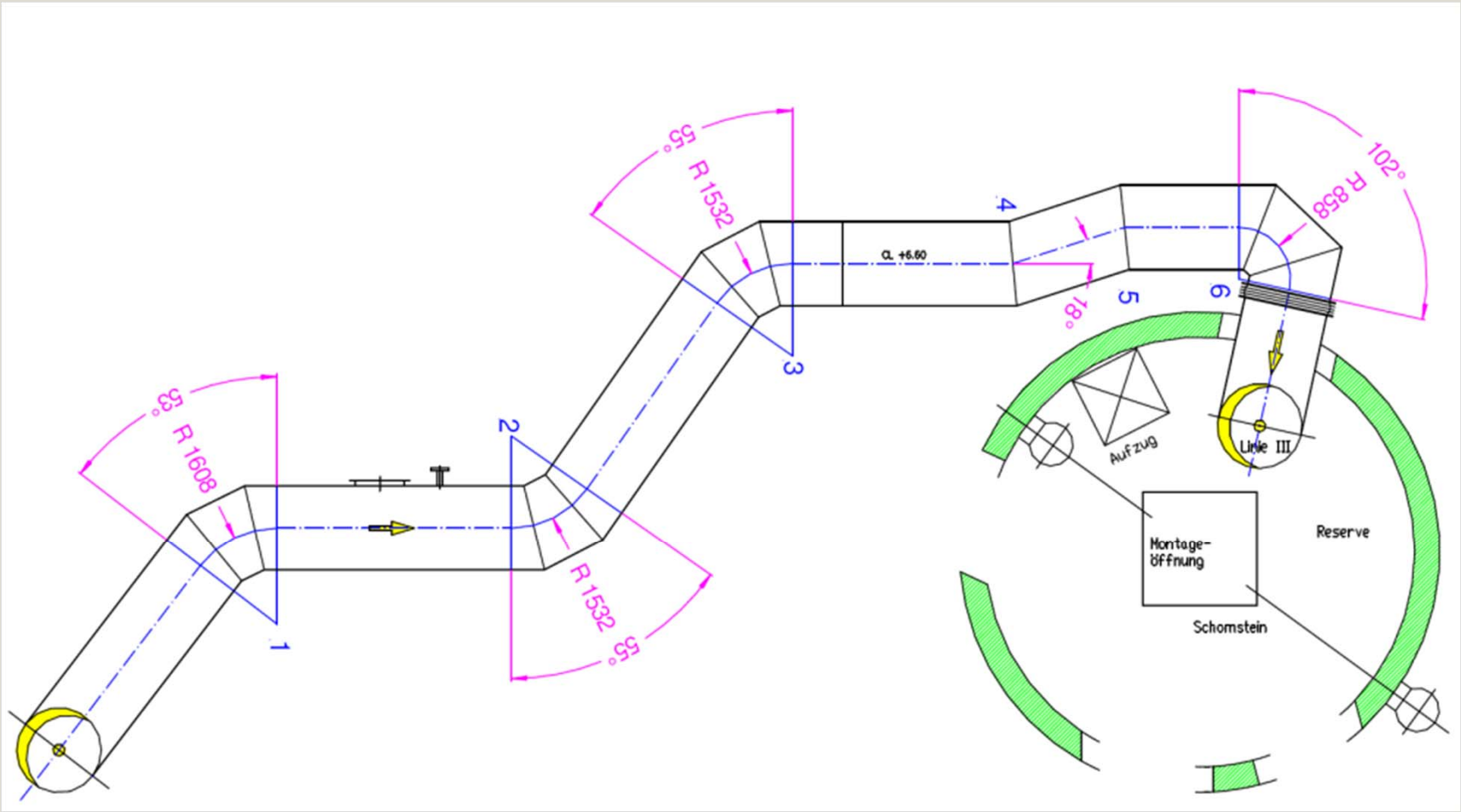
VDI Wissensforum

ITAD Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V.

eew Energy from Waste

ete.a

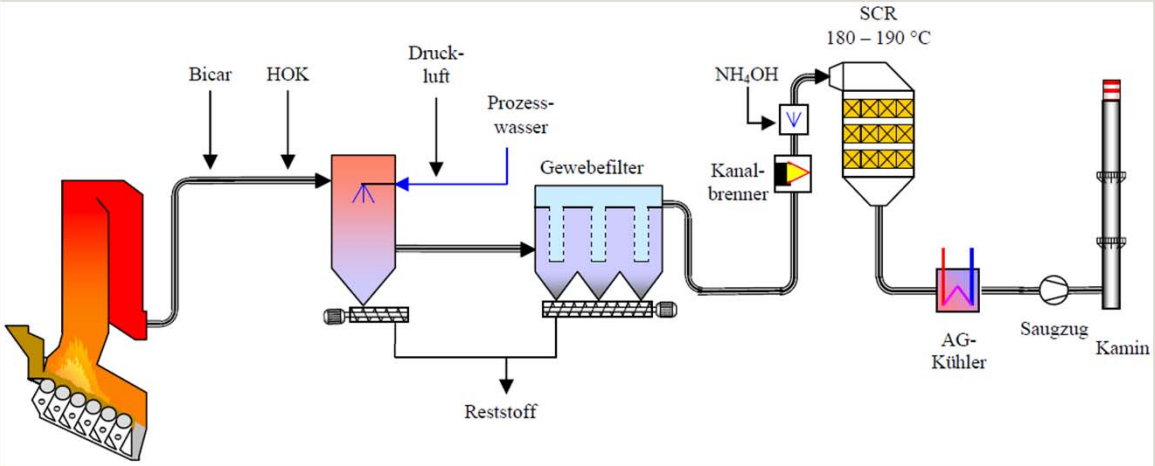
ENERGIEOPTIMIERUNGSPOTENTIALE BEI ABGASREINIGUNGSVERFAHREN



ENERGIEOPTIMIERUNGSPOTENTIALE BEI ABGASREINIGUNGSVERFAHREN

B. Optimierung des Betriebsmitteleinsatzes

- Absenkung der Betriebstemperatur des SCR-Katalysators

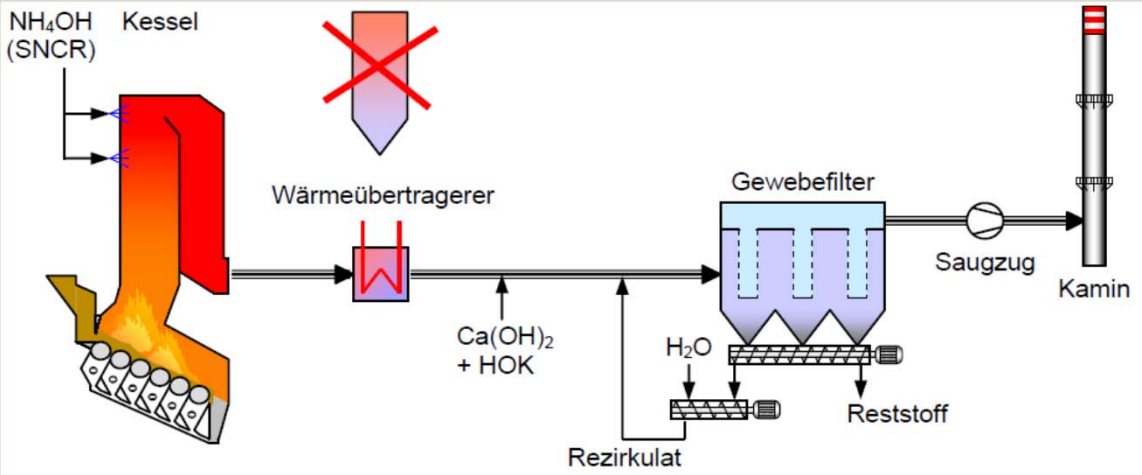


- Prozessoptimierung zur Additiv- und Reststoffreduzierung

ENERGIEOPTIMIERUNGSPOTENTIALE BEI ABGASREINIGUNGSVERFAHREN

C. Nutzung der Abgasenthalpie

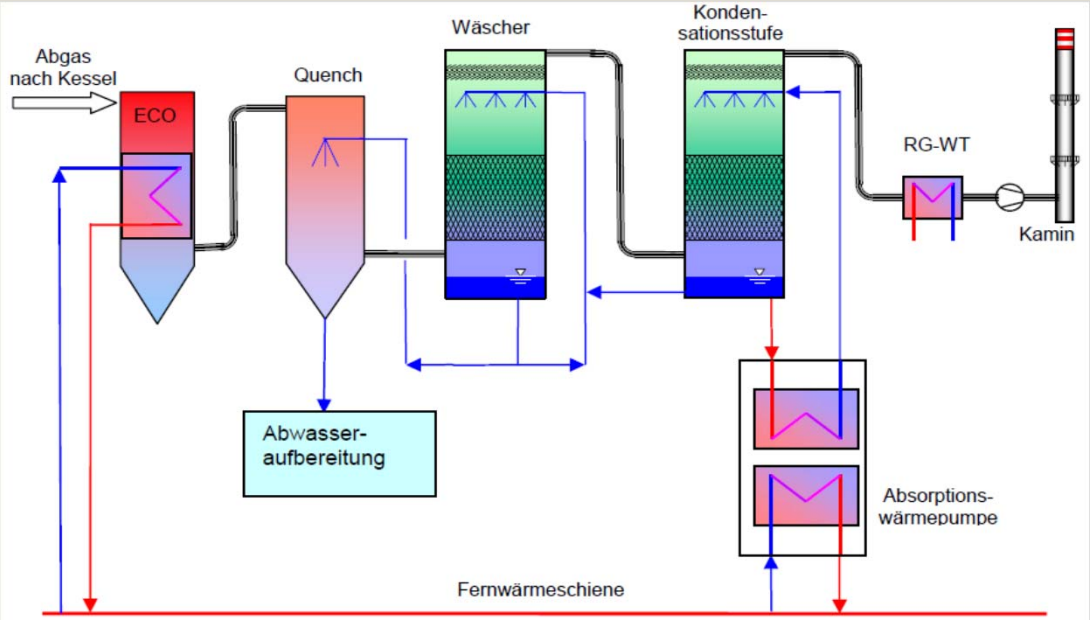
- rekuperative Abgaskühlung: zur Fernwärmenutzung, Speisewasservorwärmung oder Erzeugung elektrischer Energie mittels ORC -Prozess



ENERGIEOPTIMIERUNGSPOTENTIALE BEI ABGASREINIGUNGSVERFAHREN

C. Nutzung der Abgasenthalpie

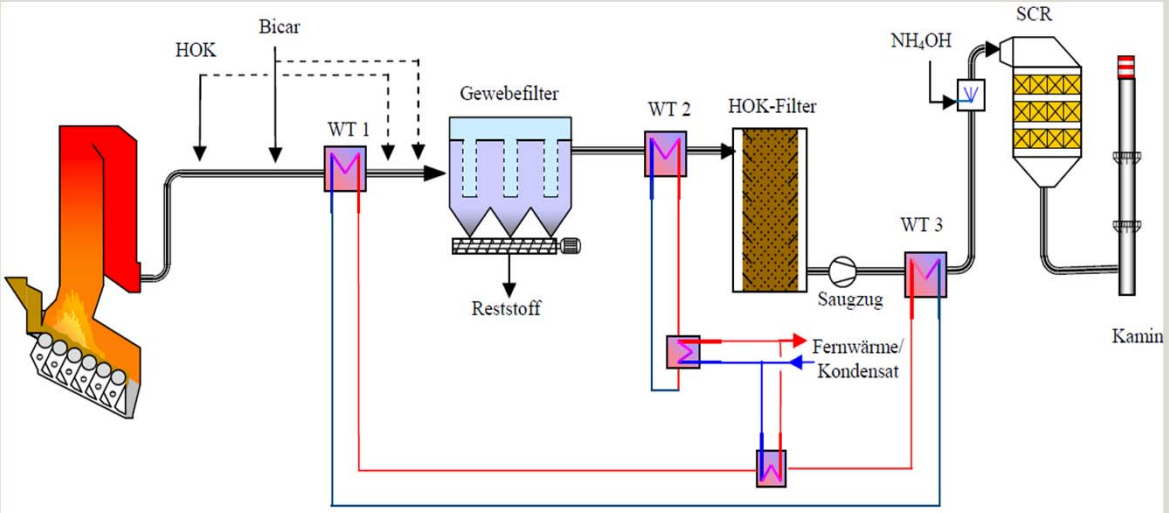
- Nutzung der Kondensationsenergie



ENERGIEOPTIMIERUNGSPOTENTIALE BEI ABGASREINIGUNGSVERFAHREN

C. Nutzung der Abgasenthalpie

- Wärmeverschiebung (Beispiel: MHKW Kassel)



Welche Optimierungsmaßnahmen die günstigsten sind, ist abhängig von dem jeweiligen Verfahrens- und Anlagenaufbau sowie von der Infrastruktur des Anlagenstandortes.

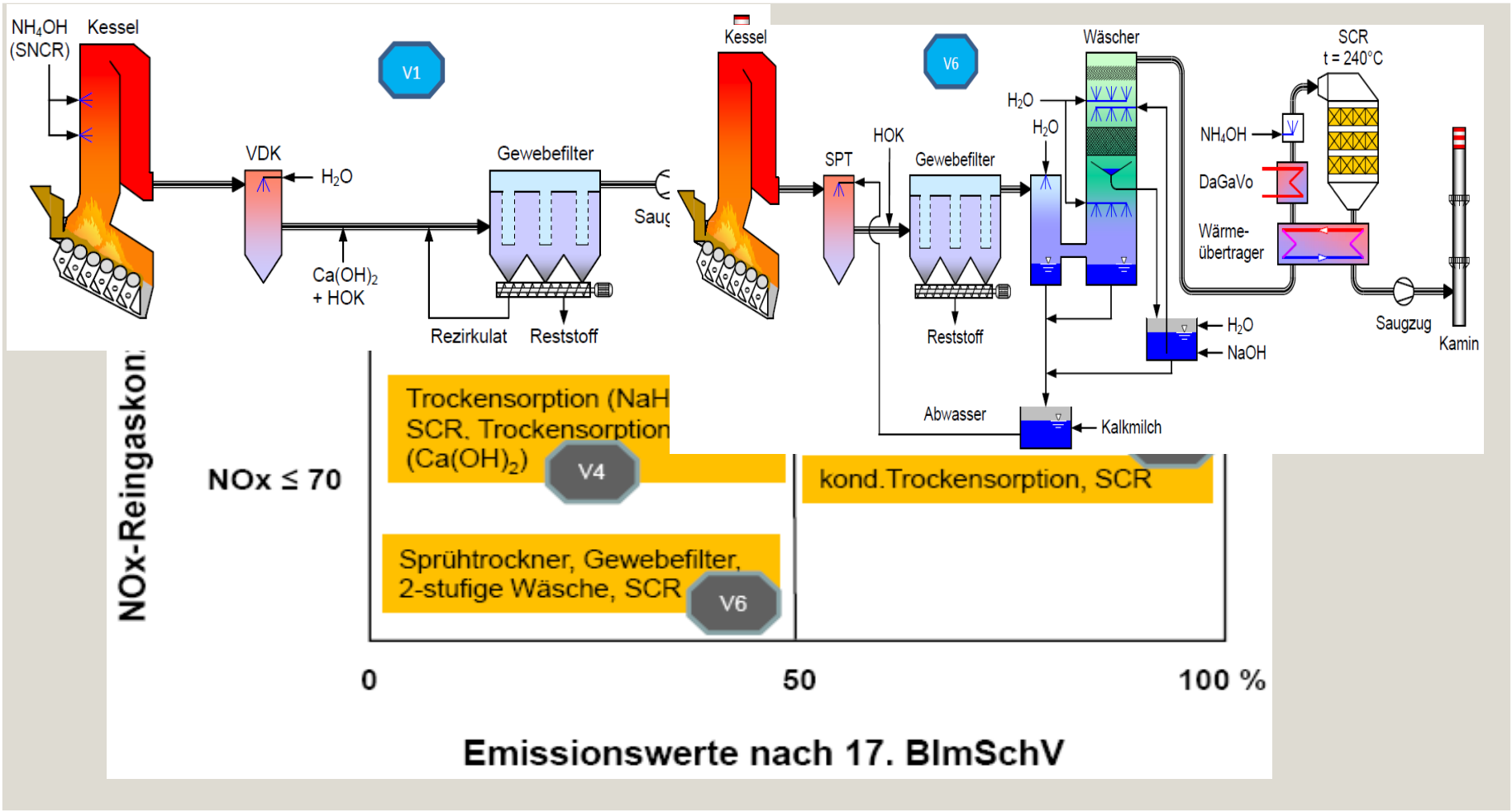
EMISSIONSBEZOGENE ENERGIEKENNZAHLEN

Was sind die zukünftigen Anforderungen an die Abgasreinigung

- *weitere Emissionsminderung*
- *ressourcenschonender Betriebsmitteleinsatz*
- *Energieeffizienz*
- *niedrige Kosten*

Emissionsbezogene Energiekennzahlen

EMISSIONSBEZOGENE ENERGIEKENNZAHLEN



EMISSIONSBEZOGENE ENERGIEKENNZAHLEN

Damit die Verfahren / Komponenten miteinander verglichen werden können, werden die Kumulierten Primärenergieaufwendungen (KEA) ermittelt.

$$KEA = KEA_H + KEA_N + KEA_E$$

VDI Wissensforum · ITAD Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. · eew Energy from Waste · ete.a

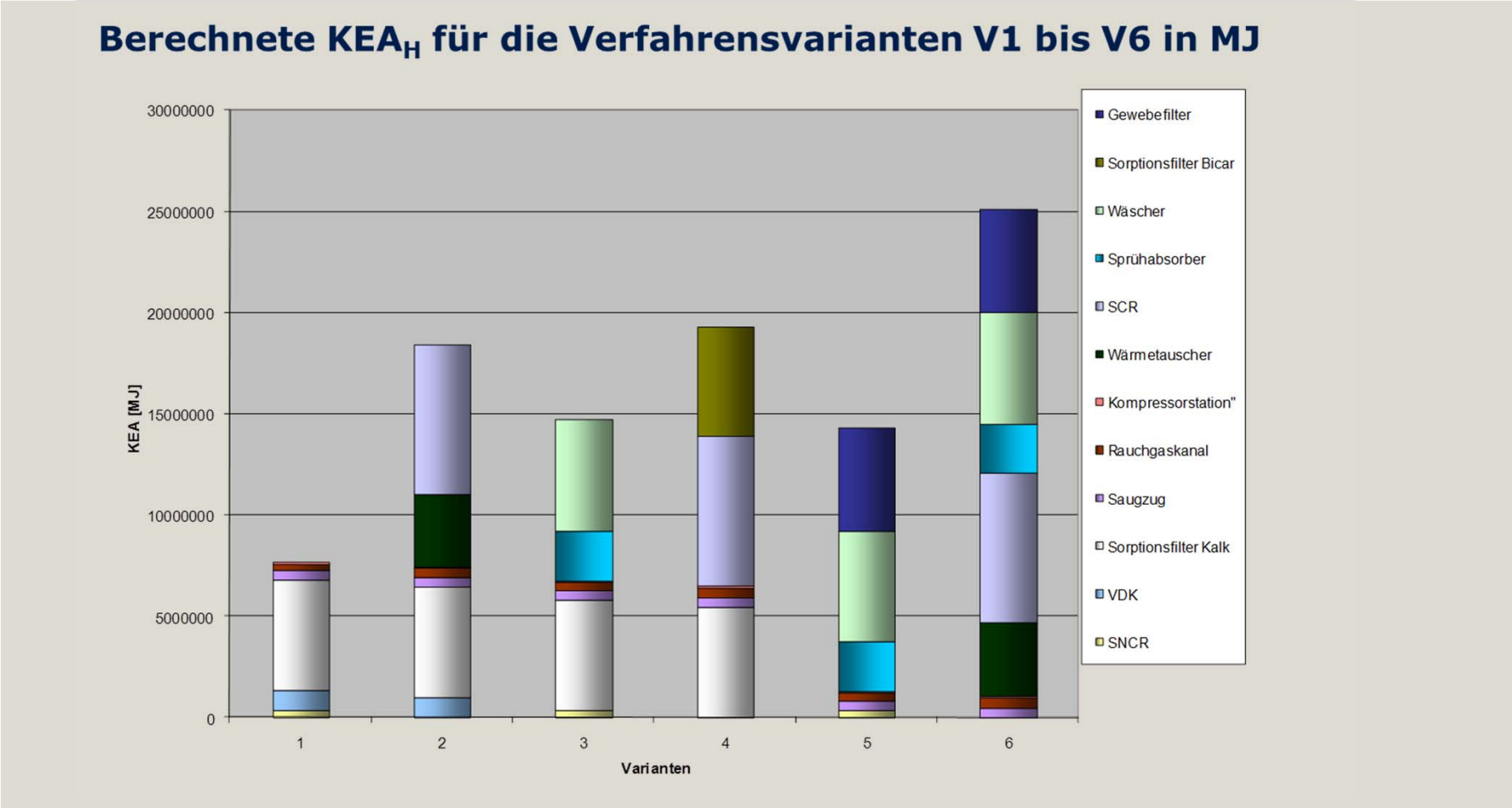
EMISSIONSBEZOGENE ENERGIEKENNZAHLEN

KEA-Herstellung

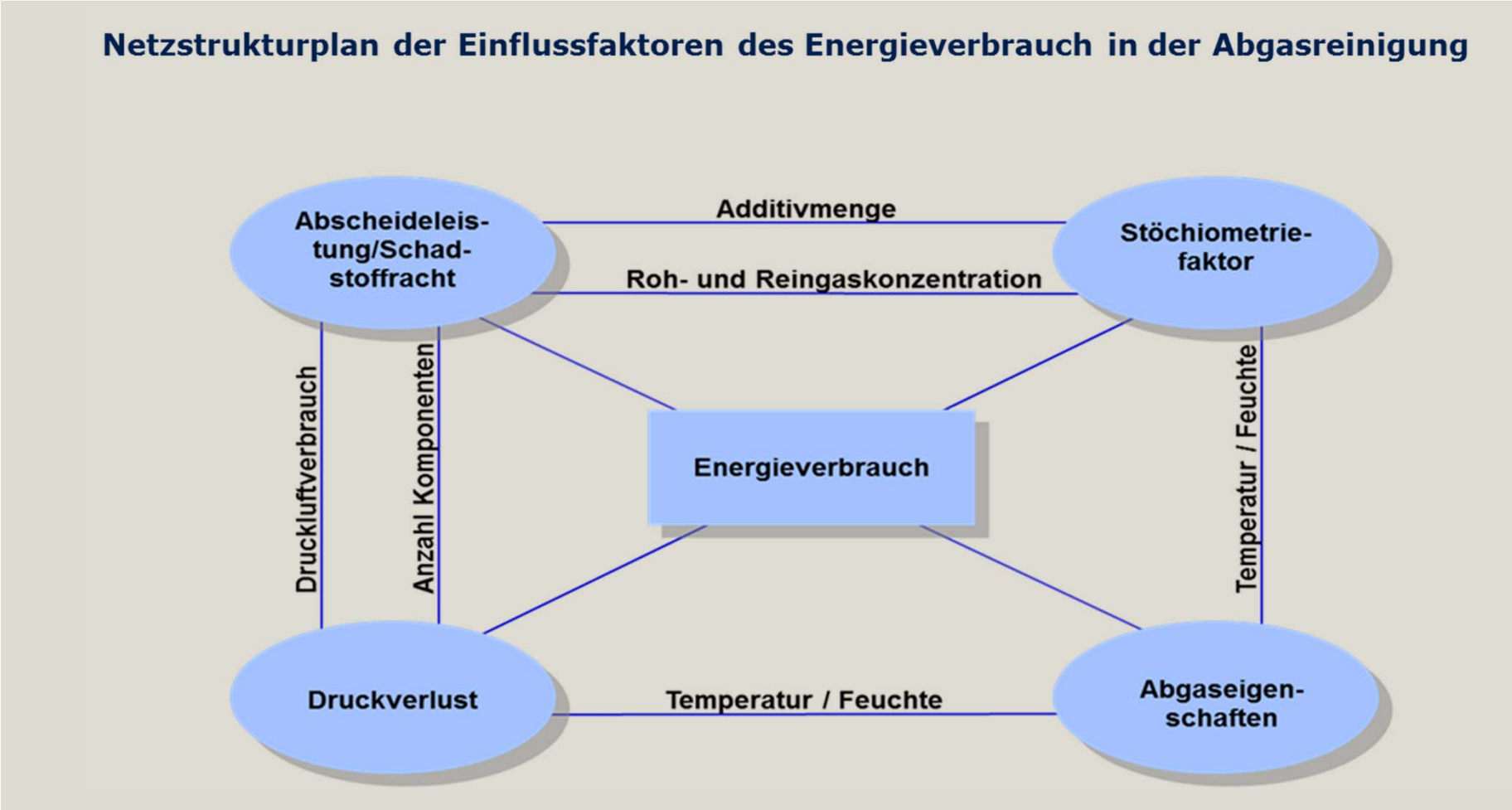
Komponenten	Material	Gewicht [kg/Stk.]	Gewicht [kg/kgBeton]	Schüttgewicht [kg/m³]	Anzahl [Stk.]	Volumen [m³]	Länge [m]		Gesamtgewicht [kg]	KEA [MJ/kg]	KEA Referenzfall 100 000 m³/h [MJ]
Gewebefilter											
Stahlbau/Apparatebau											
Aufstellungskonstruktion	Stahl	140000			1				140000	19,90	2878099,17
Druckluftversorgung	Stahl	1,45			150				217,5	19,90	4328,25
Filtergehäuse incl. Trichter	Stahl	45000			1				45000	19,90	925103,31
Filterschläuche	PP	1170			1				1170	298,00	348660,00
Isolierung	Steinwolle	7600			1				7600	14,72	115554,55
Schnecke	Stahl	140			8		6		6720	19,90	133728,00
Reststoffsilo	Stahl	5067			1				5067	19,90	100833,30
Verblechung	Stahl	3040			1				3040	19,90	62495,87
Vorlagegefäß	Stahl	700			2				1400	19,90	27860,00
								Gesamt	210214,5		
Bodenplatte Bauleistung											
Beton	Beton	52553,63	0,25	2200						0,99	52217,28
Stahl	Stahl	4813,91	0,02							19,90	95796,85
Elektroinstallationen											
Motoren											95,93
Kabel									3900,67		197766,22
Heizung											48745,55
										Summe	**4991284,27**

Gewebefilter								
Verbraucherliste Kabel	NYY J 4x2,5²	NYY J 4x4²	NYY J 5x16²	NYCWY 4x50²	NYCWY 4x120/70²	NYY J 5x25²	Summe auf 100 000 m³/h	KEA [MJ/kg]
Anzahl	8	5	1	3	2	1		
kg/km Kupfer	96	154	768	2203	5308	1200		
kg/km PVC	204	256	487	647	1212	760		
Länge in km	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		
Gewicht Kupfer	76,8	77	76,8	660,9	1061,6	120	2764,13	49,43
Gewicht PVC	163,2	128	48,7	194,1	242,4	76	1136,53	53,79
Gesamtgewicht							**3900,67**	

EMISSIONSBEZOGENE ENERGIEKENNZAHLEN



EMISSIONSBEZOGENE ENERGIEKENNZAHLEN



EMISSIONSBEZOGENE ENERGIEKENNZAHLEN

Verbraucher	Energieanfall durch …	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
elektrische Energie	Druckluft	[kW]	118	116	110	66	56	107
	Saugzug	[kW]	240	500	366	433	363	596
	übrigen Verbraucher	[kW]	81	84	197	100	162	162
	SNCR[6]	[kW]	114	-	114	-	114	-
	Gesamt	[kW]	553	700	787	599	695	865
	$KEA_{N\text{-}Strom}$	[kJ/h]	4.596.253	5.821.200	6.542.197	4.981.284	5.777.125	7.193.340
Additive	$Ca(OH)_2$	[kg/h]	373	372	373	41	122	122
	$NaHCO_3$	[kg/h]	-	-	-	527	-	-
	NaOH	[kg/h]	-	-	6,5	-	160	160
	Aktiv-Koks	[kg/h]	47	47	48	47	47	47
	NH_3	[kg/h]	37	19	37	19	37	19
	$KEA_{Ca(OH)2}$	[kJ/h]	1.348.506	1.347.726	1.349.536	149.144	443.088	442.726
	KEA_{NaHCO3}	[kJ/h]	-	-	-	3.740.280	-	-
	KEA_{NaOH}	[kJ/h]	-	-	46.150	-	1.117.900	1.120.700
	$KEA_{Aktiv\text{-}Koks}$	[kJ/h]	1.785.912	1.786.980	1.790.750	1.771.900	1.779.440	1.786.980
	KEA_{NH3}	[kJ/h]	1.272.528	657.400	1.280.200	657.400	1.273.280	657.400
	$KEA_{N\text{-}Additiv}$	[kJ/h]	4.406.946	3.792.106	4.466.636	6.318.724	4.613.708	4.007.806
Wasser	m_{H2O}	[kg/h]	-	-	10.027	-	8.640	8.621
	KEA_{H2O}	[kJ/h]	-	-	-	-	-	-
Wärme-energie	Wärme	[kJ/h]	-	5.408.587	-	-	-	5.639.058
	$KEA_{NG(eq)}$	[kJ/h]	-	5.462.673	-	-	-	5.695.449
Reststoffe	$m_{Rest.}$	[kg/h]	716	715	726	619	493	494
Transport	$KEA_{N\text{-}Transport}$	[kJ/h]	717.362	706.195	726.303	766.662	525.669	515.661
KEA_N		**[kJ/h]**	9.720.561	15.782.174	11.735.136	12.066.670	10.961.502	17.412.256
Energieauskopplung		[kJ/h]	-	-	-	13.202.286	-	-
KEA Energieauskopplung		[kJ/h]	-	-	-	17.162.972	-	-
$KEA_{N\text{-}Effektiv}$		**[kJ/h]**	**9.720.561**	**15.782.174**	**11.735.136**	**-5.096.302**	**10.961.502**	**17.412.256**
$KEA_{N\text{-}Effektiv}$		**[MW]**	**2,70**	**4,38**	**3,26**	**-1,42**	**3,05**	**4,84**
$KEA_{N\text{-}Effektiv}$ (8000 h/a u. 20 Jahre)		**[GJ]**	**1.555.290**	**2.525.148**	**1.877.622**	**-815.408**	**1.754.800**	**2.785.961**

KEA_N für die Verfahrensvarianten V1 bis V6

HCl-Rohgas 1300 mg/m³

SO_2-Rohgas 500 mg/m³

EMISSIONSBEZOGENE ENERGIEKENNZAHLEN

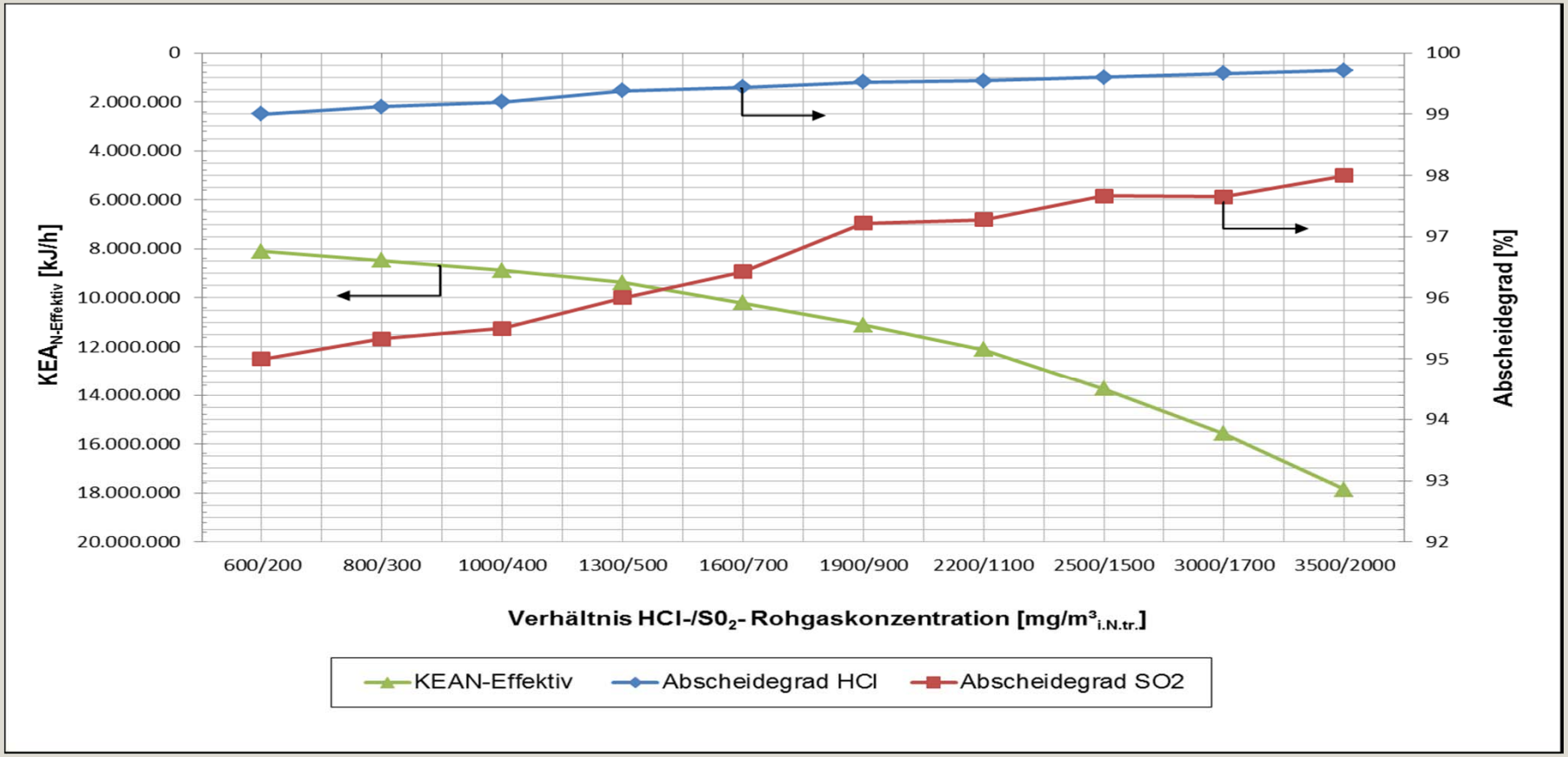
Abgaszusammensetzung als Grundlage für die Massenbilanzen

Die Schadgasbestandteile HCl und SO_2 werden in der Bilanzierung als Wertepaare berücksichtigt!

Lastfall	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HCl mg/m³	600	800	1000	1300	1600	1900	2200	2500	3000	3500
SO_2 mg/m³	200	300	400	500	700	900	1100	1500	1700	2000

EMISSIONSBEZOGENE ENERGIEKENNZAHLEN

$KEA_{N\text{-}Effektiv}$ sowie HCl- / SO_2-Abscheidegrad für verschiedene Rohgaskonzentrationen der Variante V1



EMISSIONSBEZOGENE ENERGIEKENNZAHLEN

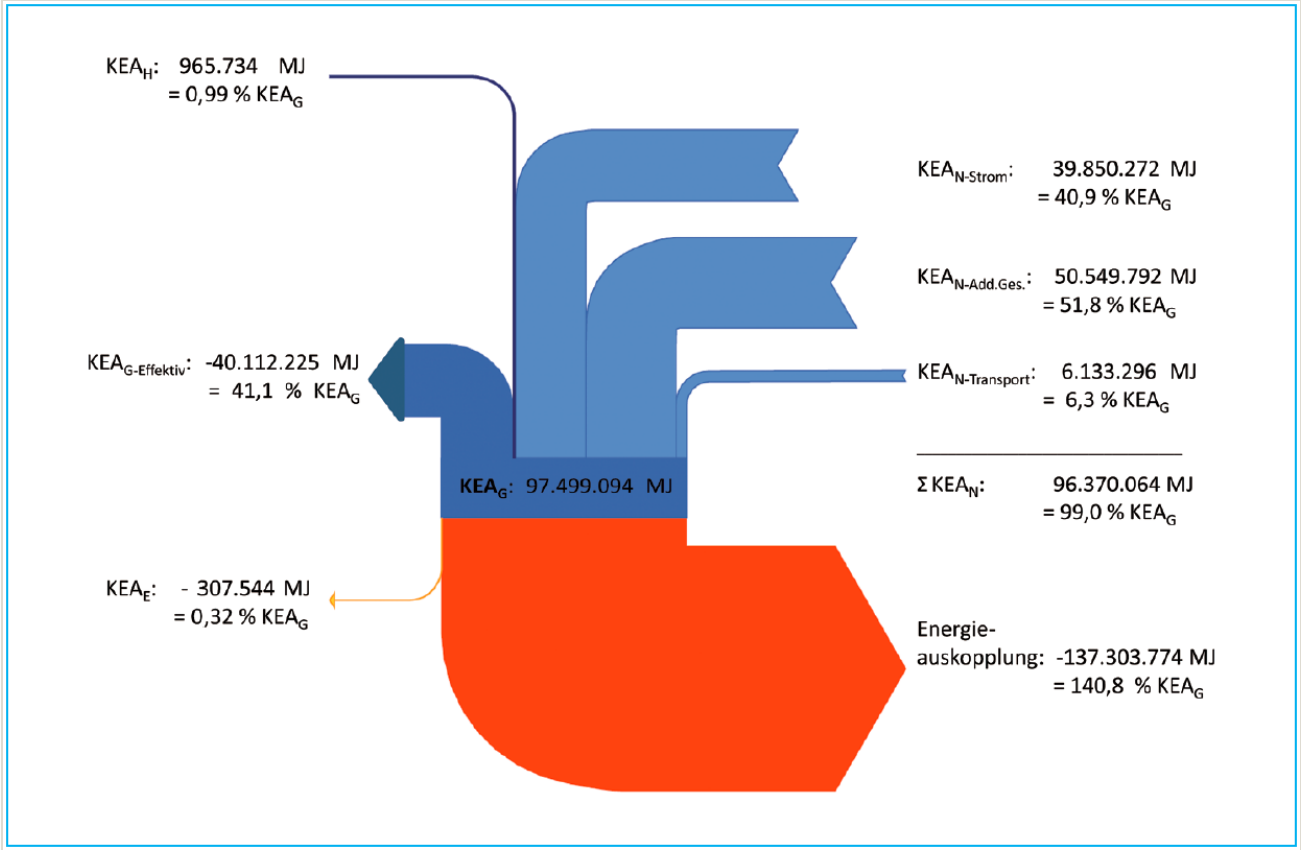
ERMITTLUNG DER ENERGIEBILANZ KEA_E

Komponenten	Material	Gewicht [kg/Stk.]	Gewicht [kg/kgBeton]	Schüttgewicht [kg/m³]	Anzahl [Stk.]	Volumen [m³]	Länge [m]		Gesamtgewicht [kg]	KEA [MJ/kg]	KEA Referenzfall 100 000 m³/h [MJ]
E-Filter											
Stahlbau/Apparatebau											
An- und Abströmhaube mit Kanal	Stahl	240			2				480	-7,40	-9921,79
Aufstellungskonstruktion inkl. Gehäuse	Stahl	114190			1				114190	-7,40	-2360351,96
Gasverteilbleche	Stahl	770,4			1				770,4	-7,40	-15924,47
Isolierung	Steinwolle	1207,5			1				1207,5	-6,00	-20237,43
Schnecke	Stahl	140			8		6		6720	-7,40	-138905,03
Reststoffsilo	Stahl	5067			1				5067	-7,40	-37495,80
Verblechung	Stahl	644			1				644	-7,40	-13311,73
Vorlagegefäß	Stahl	700			2				1400	-7,40	-10360,00
								Gesamt	130478,9		
Bodenplatte Bauleistung											
Beton	Beton	32619,73	0,25	2200						-0,66	-21529,02
Stahl	Stahl	2987,97	0,02							-7,40	-22110,95
Elektroinstallationen											
Motoren											0,00
Kabel									1768,5		-49320,00
Heizung											0,00
HS-Agregat											0,00
Anlagen- und Fudamentabbruch											
4 l Diesel pro Tonne Abbruch									167855,1	0,16	27454,38
Transport											
200 km; 30t; 50%-Beladung									167855,1	0,31	51363,66
										Summe	**-2635195,39**

EMISSIONSBEZOGENE ENERGIEKENNZAHLEN

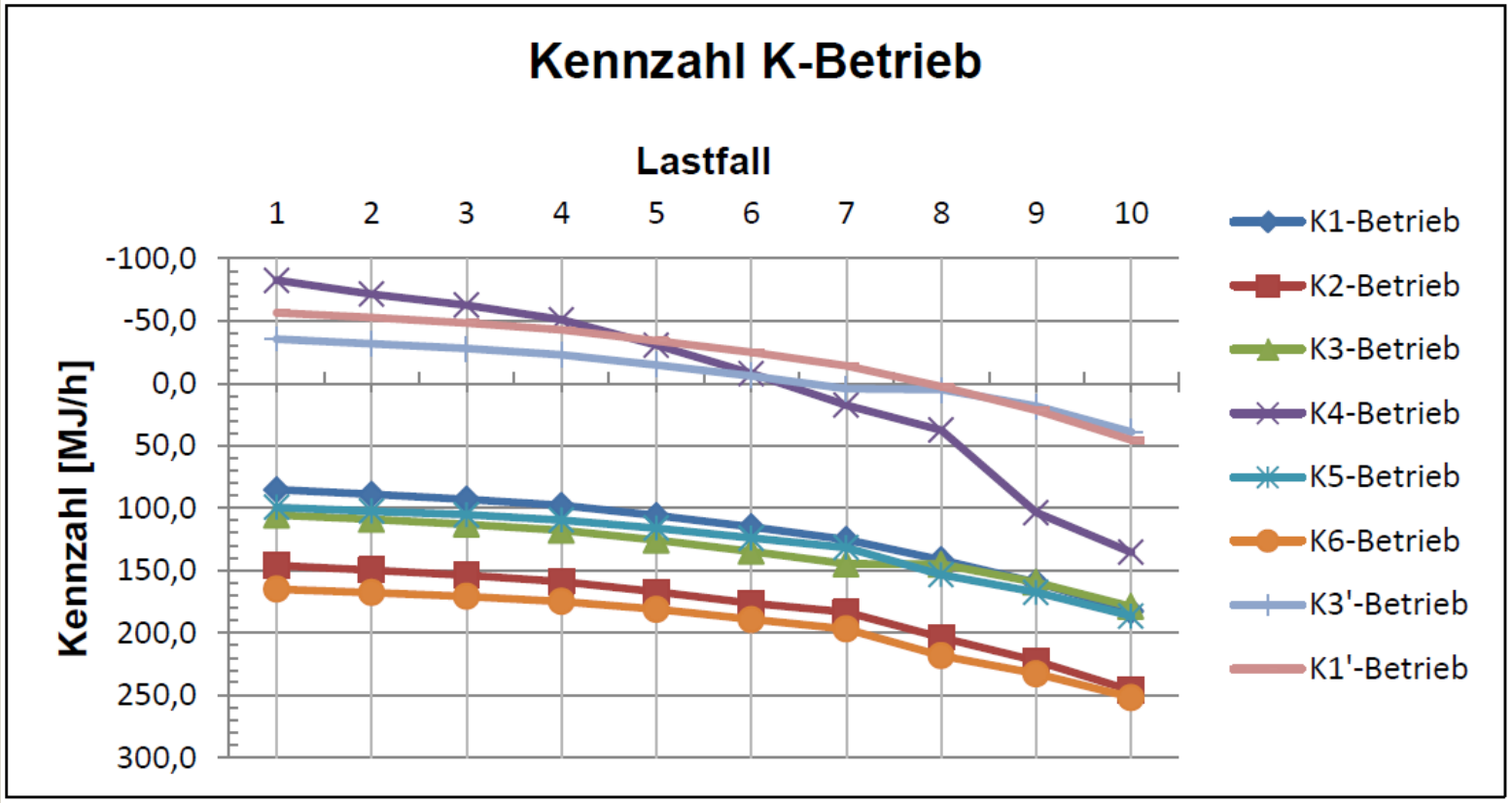
Sankey-Diagramm KEA-Gesamt der Variante V4

(KEA_N für HCl-Rohgas 1.300 mg/m³; SO_2-Rohgas 500 mg/m³); 8000 Bh



EMISSIONSBEZOGENE ENERGIEKENNZAHLEN

$$K - Betrieb = \frac{KEA_{N-Effektiv}}{\eta_{HCl}}$$



ENERGIEÄQUIVALENTE EMISSIONSFAKTOREN

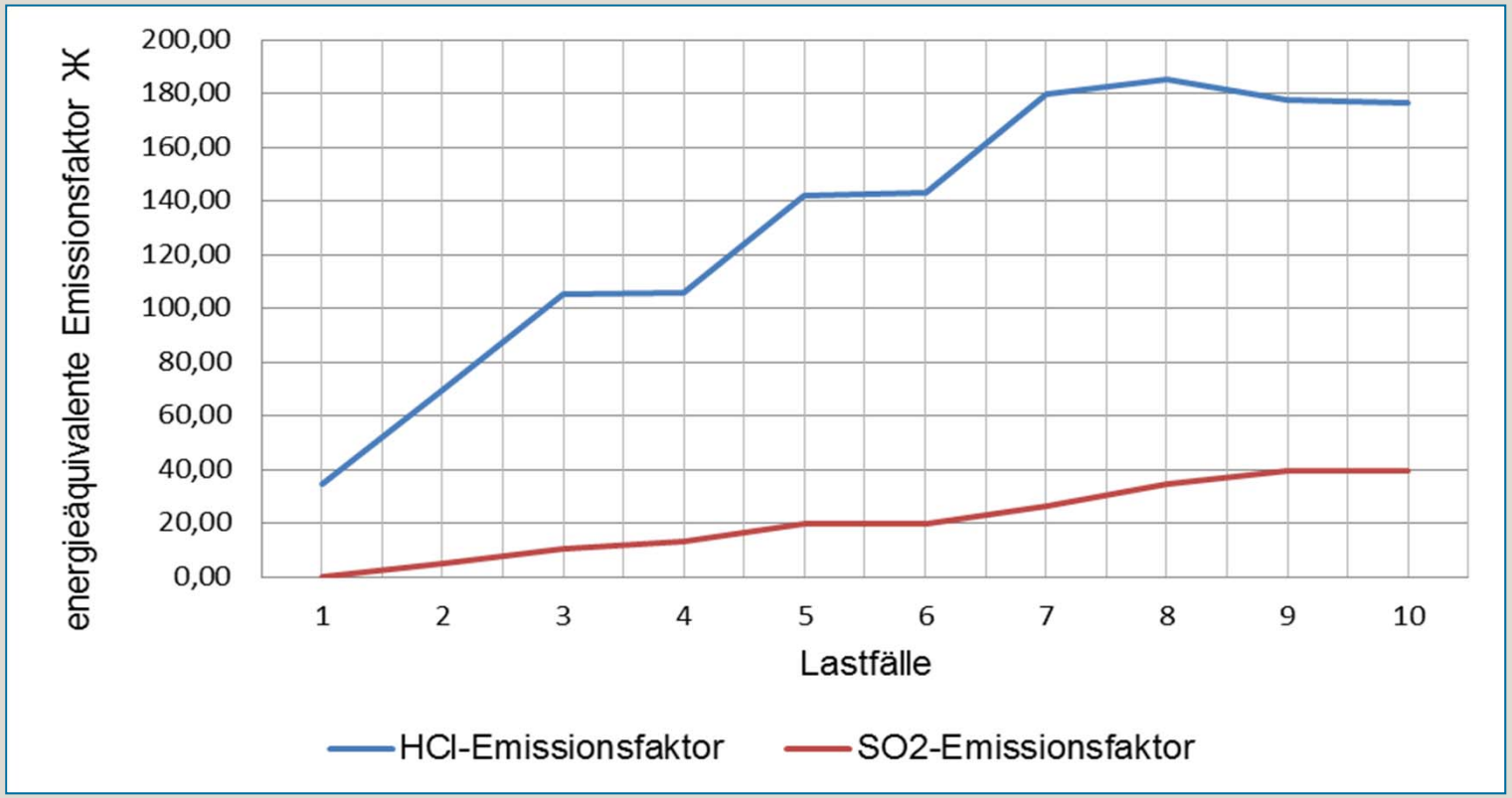
Mehr- und Minderemissionen der Varianten V1 und V3 im Vergleich

Parameter	Symbol	Einheit	Lastfälle									
Diff. HCl-Konzentration Reingas V1-V3	$\Delta c_{HCl \rightarrow V1-V3}$	mg/m³	1	2	3	3	4	4	5	5	5	5
Diff. HCl-Massenstrom Reingas V1-V3	$\Delta \dot{m}_{HCl \rightarrow V1-V3}$	kg/h	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
Diff. $KEA_{N\text{-}Effektiv}$ V3-V1	$\Delta KEA_{N\text{-}Effektiv \rightarrow V3\text{-}V1}$	kJ/h	2.039.392	2.030.285	2.022.209	2.014.575	1.992.642	1.984.150	1.977.883	390.475	17.512	-327.425
Diff. $KEA_{N\text{-}Effektiv}$ V3'-V1'	$\Delta KEA_{N\text{-}Effektiv \rightarrow V3'\text{-}V1'}$	kJ/h	2.081.954	2.054.627	2.027.451	1.976.509	1.931.237	1.879.311	1.843.570	234.218	-321.476	-632.712
Diff. $KEA_{N\text{-}Strom}$ V3-V1	$\Delta KEA_{N\text{-}Strom \rightarrow V3\text{-}V1}$	kJ/h	1.972.555	1.962.576	1.954.260	1.945.944	1.929.312	1.912.680	1.904.364	1.846.152	1.929.312	1.937.628
Diff. $KEA_{N\text{-}Strom}$ V3'-V1'	$\Delta KEA_{N\text{-}Strom \rightarrow V3'\text{-}V1'}$	kJ/h	2.086.484	2.090.642	2.096.464	2.088.979	2.098.958	2.102.285	2.103.116	2.079.832	2.069.021	2.194.592
spez. HCl-Emission dt. Strommix [26]	$\lambda_{HCl\text{-}dt.\text{-}Strommix}$	kg/kJ	1,46E-09	1,46E-09	1,46E-09	1,46E-09	1,46E-09	1,46E-09	1,46E-09	1,46E-09	1,46E-09	1,46E-09
Massenstrom HCl aufgrund des Mehrenergiebedarfs bez. auf den dt. Strommix	$\dot{m}_{HCl-dt.-Strommix}$	kg/h	0,0029	0,0029	0,0029	0,0028	0,0028	0,0028	0,0028	0,0027	0,0028	0,0028
HCl-Minderemissionsfaktor	$Ж_{HCl}$	-	34,72	69,80	105,14	105,59	142,01	143,24	179,83	185,50	177,51	176,74
HCl-Massenstrom absolut	$\dot{m}_{HCl_{absolut}}$	kg/h	0,097	0,197	0,297	0,297	0,397	0,397	0,497	0,497	0,497	0,497
Diff. SO_2-Konzentration Reingas V1-V3	$\Delta c_{SO_2 \rightarrow V1-V3}$	mg/m³	0	4	8	10	15	15	20	25	30	30
Diff. SO_2-Massenstrom Reingas V1-V3	$\Delta \dot{m}_{SO_2 \rightarrow V1-V3}$	kg/h	0	0,4	0,8	1	1,5	1,5	2	2,5	3	3
SO_2-Emission dt. Strommix [26]	$\lambda_{SO2\text{-}dt.\text{-}Strommix}$	kg/kJ	3,93E-08	3,93E-08	3,93E-08	3,93E-08	3,93E-08	3,93E-08	3,93E-08	3,93E-08	3,93E-08	3,93E-08
Massenstrom SO_2 aufgrund des Mehrenergiebedarfs bez. auf den dt. Strommix	$\dot{m}_{SO_2-dt.-Strommix}$	kg/h	0,0775	0,0771	0,0768	0,0765	0,0758	0,0752	0,0748	0,0726	0,0758	0,0761
SO_2-Minderemissionsfaktor	$Ж_{SO2}$	-	0,00	5,19	10,42	13,08	19,78	19,96	26,72	34,46	39,57	39,40
SO_2-Bilanz	$\dot{m}_{SO_{2absolut}}$	kg/h	-0,078	0,323	0,723	0,924	1,424	1,425	1,925	2,427	2,924	2,924

$$Ж_{HCl} = \frac{Diff.HCl - Massenstrom\ Reingas\ V1 - V3}{Massenstrom\ HCl\ aufgrund\ des\ Mehrenergieverbrauchs\ bez.\ auf\ den\ dt.Strommix}$$

ENERGIEÄQUIVALENTE EMISSIONSFAKTOREN

HCl-/ und SO_2-Minderemissionsfaktor der Abgasvarianten V1 und V3 im Vergleich



ZUSAMMENFASSUNG

Die vorherrschende Meinung, dass ein mehrstufiges System energetisch und somit in der Emissionsbilanz ungünstiger ist, konnte nicht bestätigt werden.

Im Gegenteil zeigten insbesondere die Verfahren, die eine Energieauskopplung zulassen, dass zweistufige Verfahren in der Emissionsbilanz günstiger als einstufige Systeme sind.

VDI Wissensforum

ITAD Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V.

eew Energy from Waste

ete.a

EEW Energy from Waste Delfzijl

EEW Energy from Waste GmbH

- 16 thermische Abfallverwertungsanlagen in Deutschland
- Je 1 Standort in NL und L
- 4,6 Millionen Tonnen Abfall pro Jahr
- Kundenorientierter Anlagenbau
- 1.678 Gigawattstunden Strom
- 2.673 Gigawattstunden Prozessdampf und Fernwärme
- 533 Millionen Euro Umsatz
- 1.331 Mitarbeiter

Eigene Anlagen

Betriebsführung

Stand: Dezember 2012

Standort Delfzijl

Hervorragende Standortbedingungen

im „Chemie- und Metallpark“!

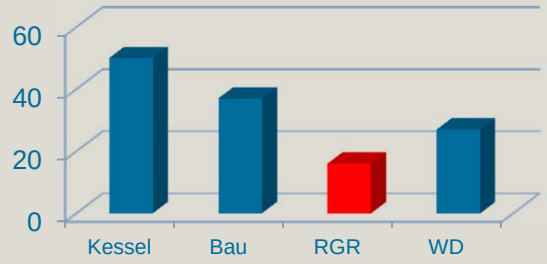
- Reines Industriegebiet mit hohem elektrischen und thermischen Energiebedarf
- Sehr gute Infrastruktur (Strom-, Gas-, Wasser- und Druckluftnetz) vorhanden
- Anbindung an das niederländische Wasserstraßennetz und den Hafen Delfzijl
- Direkte Anbindung an die Autobahn A7 ohne Berührung der Stadt Delfzijl

EEW Energy from Waste Delfzijl

Erstinbetriebnahme:	2010	
Techn. Kapazität:	2 x 168000 t/a	
Heizwert:	8 - 16 MJ/kg	
Energienutzung:	Strom:	4-31 MW
	Dampflieferung:	0 - 120 t/h
Anlieferung:	LKW	
Hersteller:	AEE Inova	
Beschäftigte:	57	

Planungsprämissen der Anlage

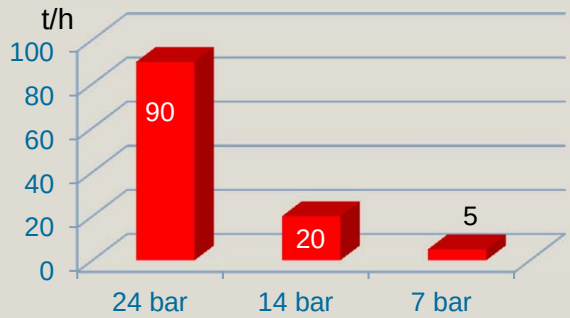
geringe Investitionskosten



Emissionswerte

Staub	**mg/m³**	**10**
Cges	**mg/m³**	**10**
HCl	**mg/m³**	**5**
SO2	**mg/m³**	**25**
NOx	**mg/m³**	**70**
Hg	**mg/m³**	**0,02**
CO	**mg/m³**	**50**
NH3	**mg/m³**	**5**

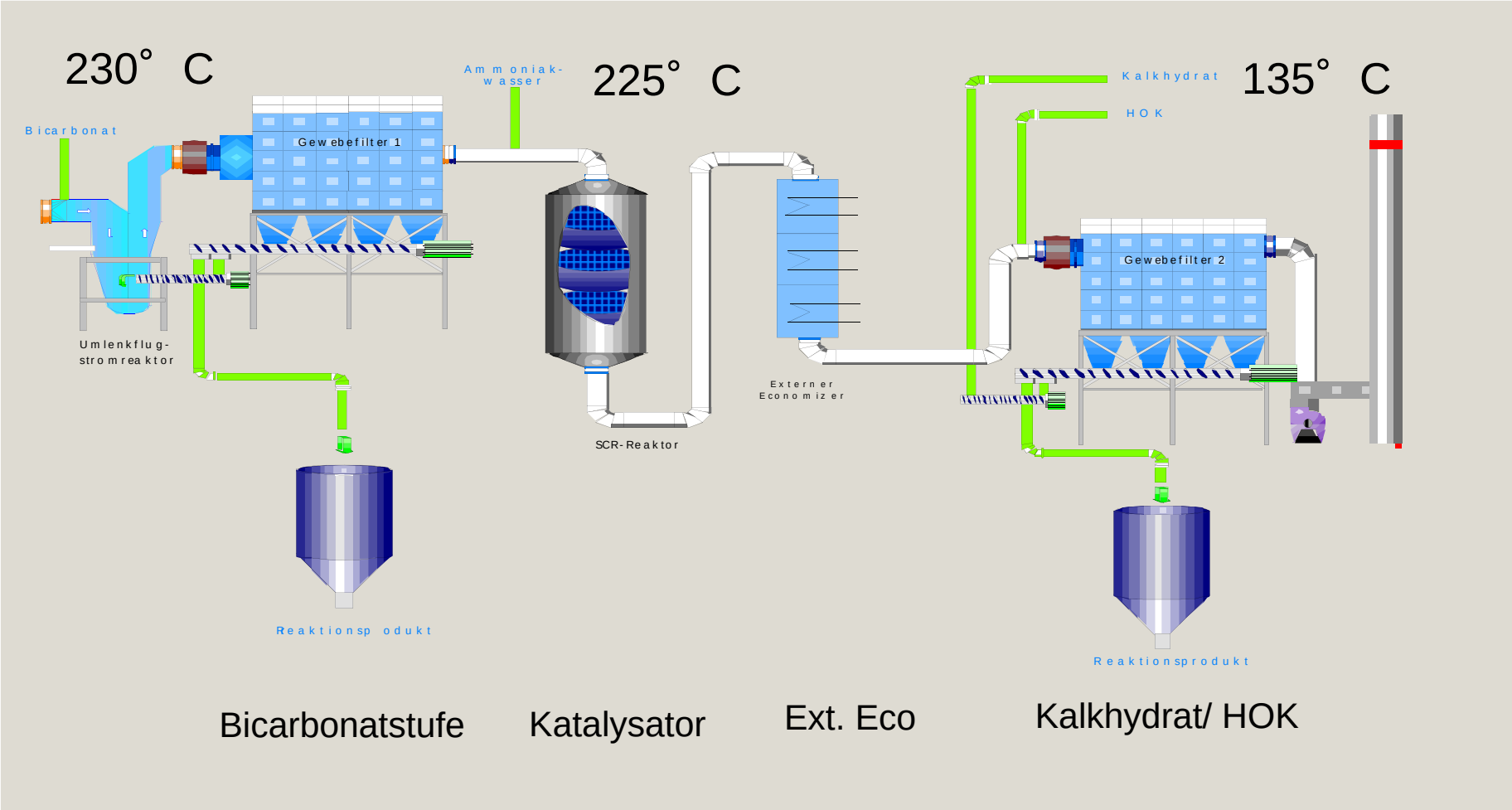
hohe Dampflieferungen



hohe Energieeffizienz

- R1 > 0,9
- Energienutzungsgrad > 65%

Anlagenaufbau der Rauchgasreinigung



Betriebsmittelverbrauch je Linie

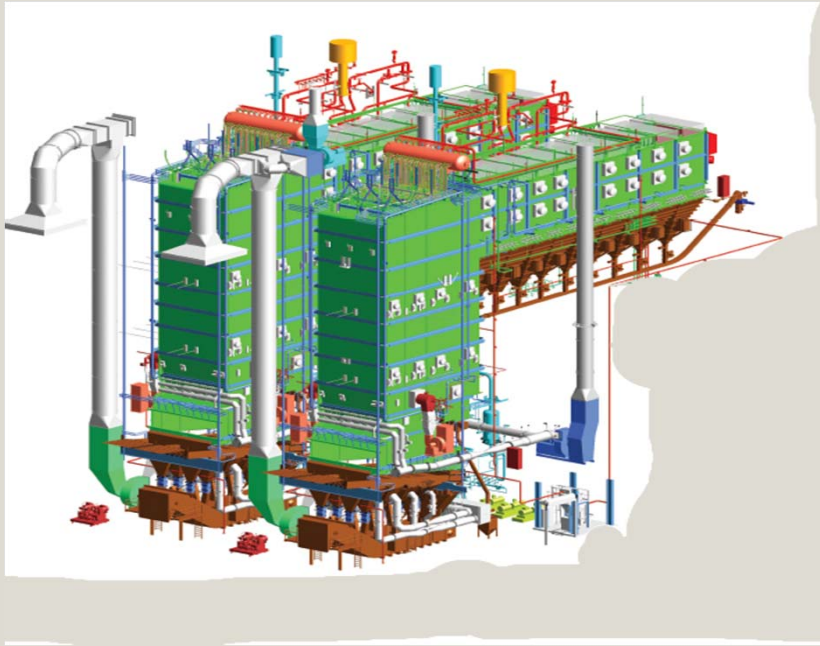
Strombedarf	kWh/t	20
Natronlauge 50%	kg/t	0
Kalkhydrat	kg/t	0,8
Natriumbicarbonat	kg/t	20
Aktivkohle	kg/t	0,1
Druckluft	m^3/t	15
Ammoniak	kg/t	2,2
Reststoff	kg/t	35
Abwasser		0

ausgekoppelte Energie	kW/t Abfall	230

Den Betriebsmittelkosten steht ein Ertrag auf der Energieseite gegenüber!

VDI Wissensforum | ITAD Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. | eew Energy from Waste | ete.a

Energienutzung der Kessellinie



Heizfläche	Wärmeleistung
Externer Eco	5,1 MW
Interner Eco	4,6 MW
Verdampfer	35,7 MW
Überhitzer	8,6 MW
Gesamtwärmeleistung	54 MW

Die Feuerungswärmeleistung jeder Kesselanlage beträgt 60 MW

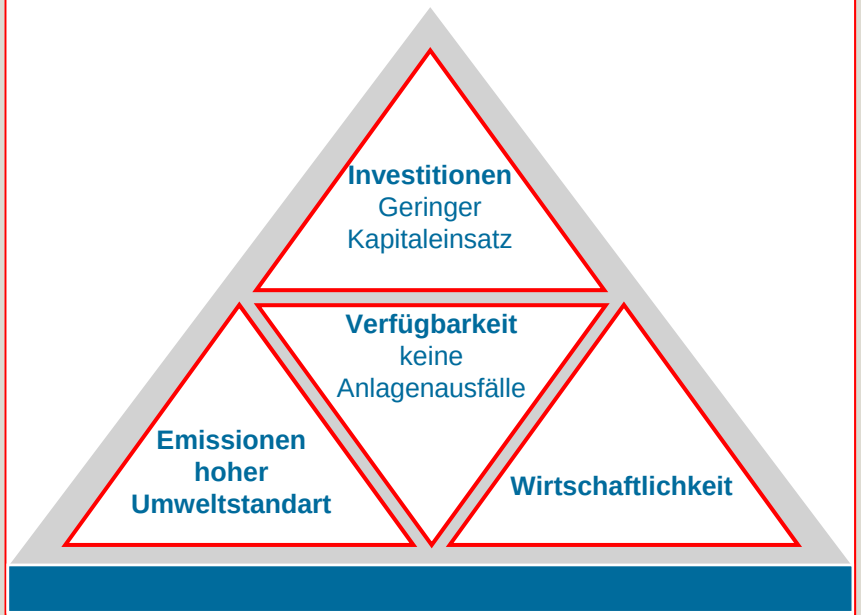
Abscheidung von Schadgasspitzen

		min	max	Mittel
				2013
SO_2 Rohgas	mg/m³	50	584	226
HCl Rohas	mg/m³	554	1665	1003
SO_2 hi Bicarstufe	mg/m³	19	30	24
HCl hi Bicarstufe	mg/m³	11	100	27
SO_2 Schornstein	mg/m³	< 5		
HCl Schornstein	mg/m³	< 2		

Einsatzmenge Bicar	kg/t	6,3	36,4	17,8
Einsatzmenge Kalkhydrat	kg/t	0,8	1,3	0,9

VDI Wissensforum | ITAD Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. | eew Energy from Waste | ete.a

Zusammenfassung



Forderung	Erfahrungen
geringe Betriebs-kosten	Additivkosten stehen Einnahmen gegenüber
minimierte Reststoffmengen	Stöchiometrie <1,1
Hohe Effizienz	Sehr niedrige Emissionen
Sicherer Anlagenbetrieb	Keine Betriebs-einschränkungen

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!