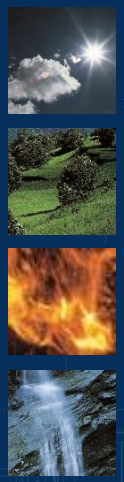


Zukünftige Anforderungen an die Rauchgasreinigung hinter Abfallverbrennungsanlagen

Rudi Karpf

ete.a Ingenieurgesellschaft für Energie und Umweltengineering & Beratung mbH

Berliner Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz
Berlin, 10. und 11. Juni 2021

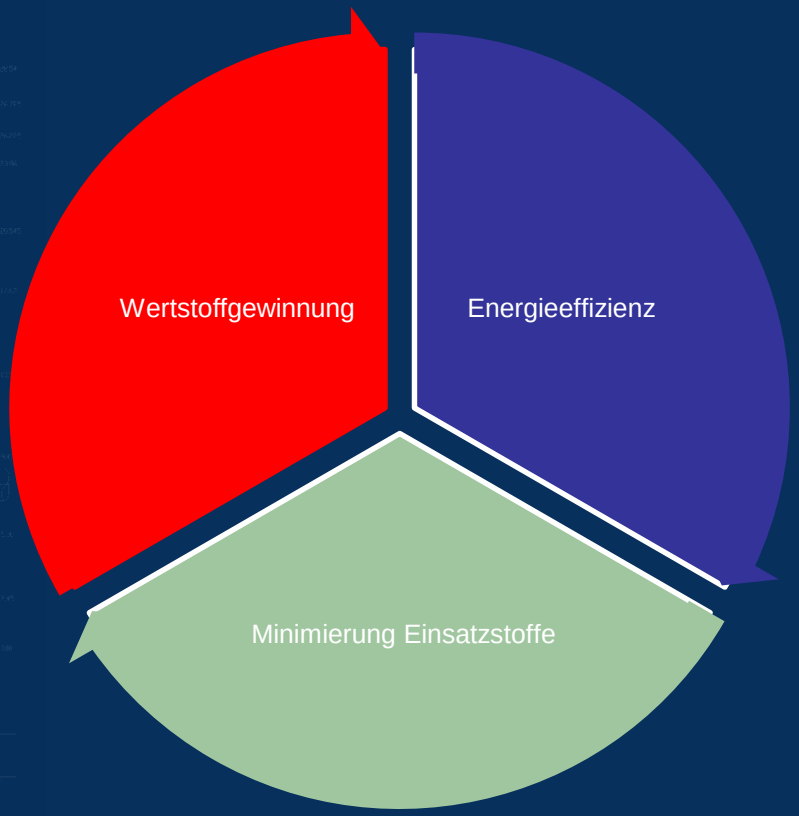
ete.a

Einleitung

Motivation und Hintergrund

ete.a

Die Motivation heutiger Entwicklungen liegt neben einer effizienten Schadgasabscheidung in Themen wie

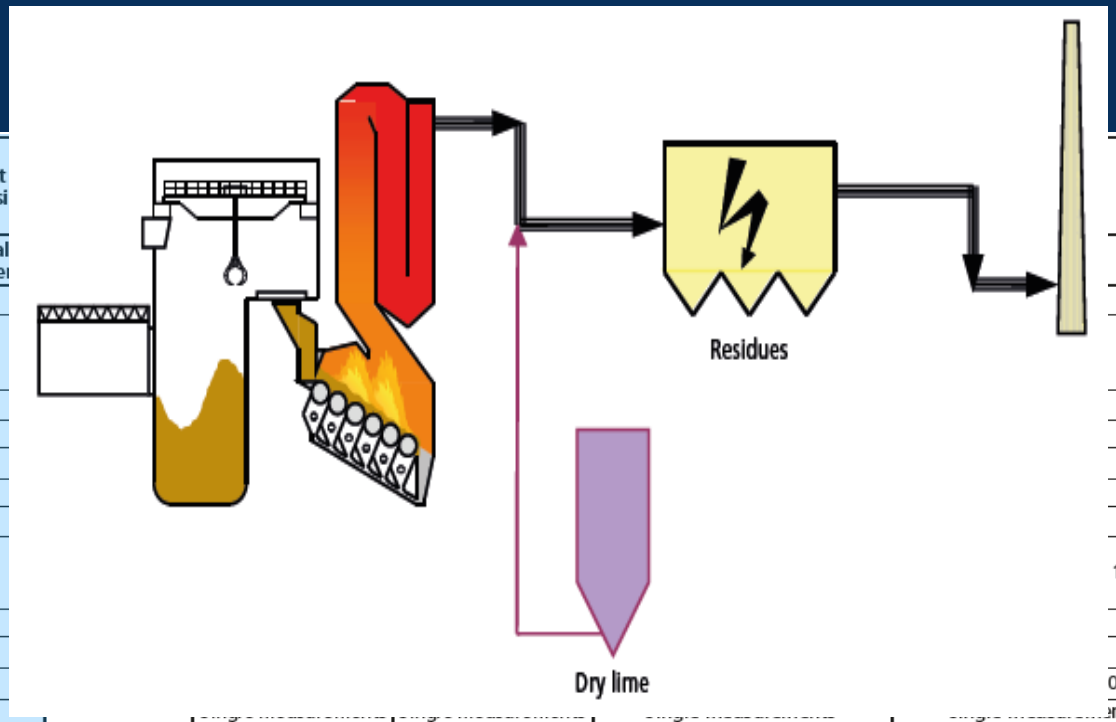


Überblick

Abgasreinigungsanlagen Gestern und Heute

ete.a

Entwicklung der Emissionsanforderungen am Beispiel Deutschland



Pollutant	Unit	TA Luft 1974 versi							YAV
		General requiremen							
O_2-reference percentage	Vol.-% dry								
Dust	mg/m³	100							
Total Organic Carbon (TOC)	mg/m³	-							
Hydrogen chloride (HCl)	mg/m³	100							
Hydrogen fluoride (HF)	mg/m³	5							
Carbon monoxide (CO)	mg/m³	1,000							
Sulphur dioxide (SO_2)	mg/m³	-							
Nitrogen oxide (NO_2)	mg/m³	-							100[5) 7)]
Ammonia (NH_3)	mg/m³	-							-
Heavy metals									
Mercury (Hg)	mg/m³	-							0.01[5) 6)]
									nts
Dioxins and furans	ng/m³	-	-	0.1		0.1	0.1	-	0.1
Class I	mg/m³	20***	0.2	0.05	-	0.05	0.05*	0.05[2)]	0.05[8)]
Class II	mg/m³	50***	1	0.5		0.5[1)]	0.5*	0.5[3)]	0.5
Class III	mg/m³	75***	5	0.05		- -	0.05*	1[4)]	0.05

The concentration data is based on standard temperature and pressure, dry state, for each oxygen reference value; DAV indicates daily average value; HHAV indicates half hourly average value; YAV indicates yearly average value; Heavy metals class I: Σ Cd/Tl; Heavy metals class II: Σ Sb, As, Pb, Cr, Co, Ni, Cu, Mn, V, Sn; Heavy metals class III: Σ As, benzopyrene, Cd, Co(aq), Cr(IV)

* not applicable to use of coal, untreated wood only; ** combustion capacity > 6t/h or new facilities; *** related to the former classification

[1)] excluding Sn; [2)] applicable to Tl (single substance); [3)] applicable to Pb, Co, Ni, Se, Te; [4)] applicable to Sb, Cr, CN, F, Cu, Mn, V, Sn; [5)] not applicable to use of existing plants with RTI < 50 MW; [6)] to be valid as of 2019; [7)] not applicable for existing plants; [8)] applicable to Mercury if the emission value is always < 20 % of the requested emission value

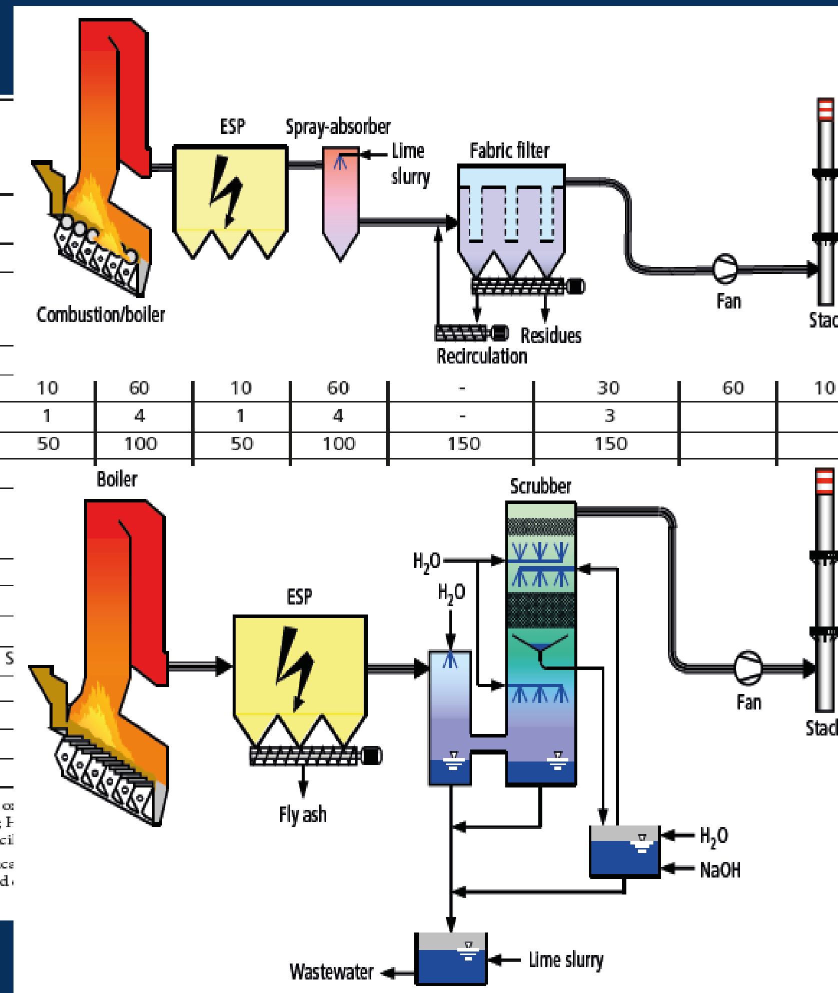
RTI: Rated Thermal Input

Berliner Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz, 10. und 11. Juni 2021

Entwicklung der Emissionsanforderungen am Beispiel Deutschland

Pollutant	Unit	TA Luft 1974 version	TA Luft 1986 version									chV sion	
		General requirements	General requirements										YAV
O_2-reference percentage	Vol.-% dry	11											
Dust	mg/m³	100	30									TI V)	
Total Organic Carbon (TOC)	mg/m³	-	20										
Hydrogen chloride (HCl)	mg/m³	100	50	10	60	10	60	-	30	60	10		
Hydrogen fluoride (HF)	mg/m³	5	2	1	4	1	4	-	3				
Carbon monoxide (CO)	mg/m³	1,000	100	50	100	50	100	150	150				
Sulphur dioxide (SO_2)	mg/m³	-	100										
Nitrogen oxide (NO_2)	mg/m³	-	500									RTI /)6)	100[5) 7)]
Ammonia (NH_3)	mg/m³	-	-										-
Heavy metals													
Mercury (Hg)	mg/m³	-	-										0.01[5) 6)]
				S								rements	
Dioxins and furans	ng/m³	-	-										
Class I	mg/m³	20***	0.2										
Class II	mg/m³	50***	1										
Class III	mg/m³	75***	5										

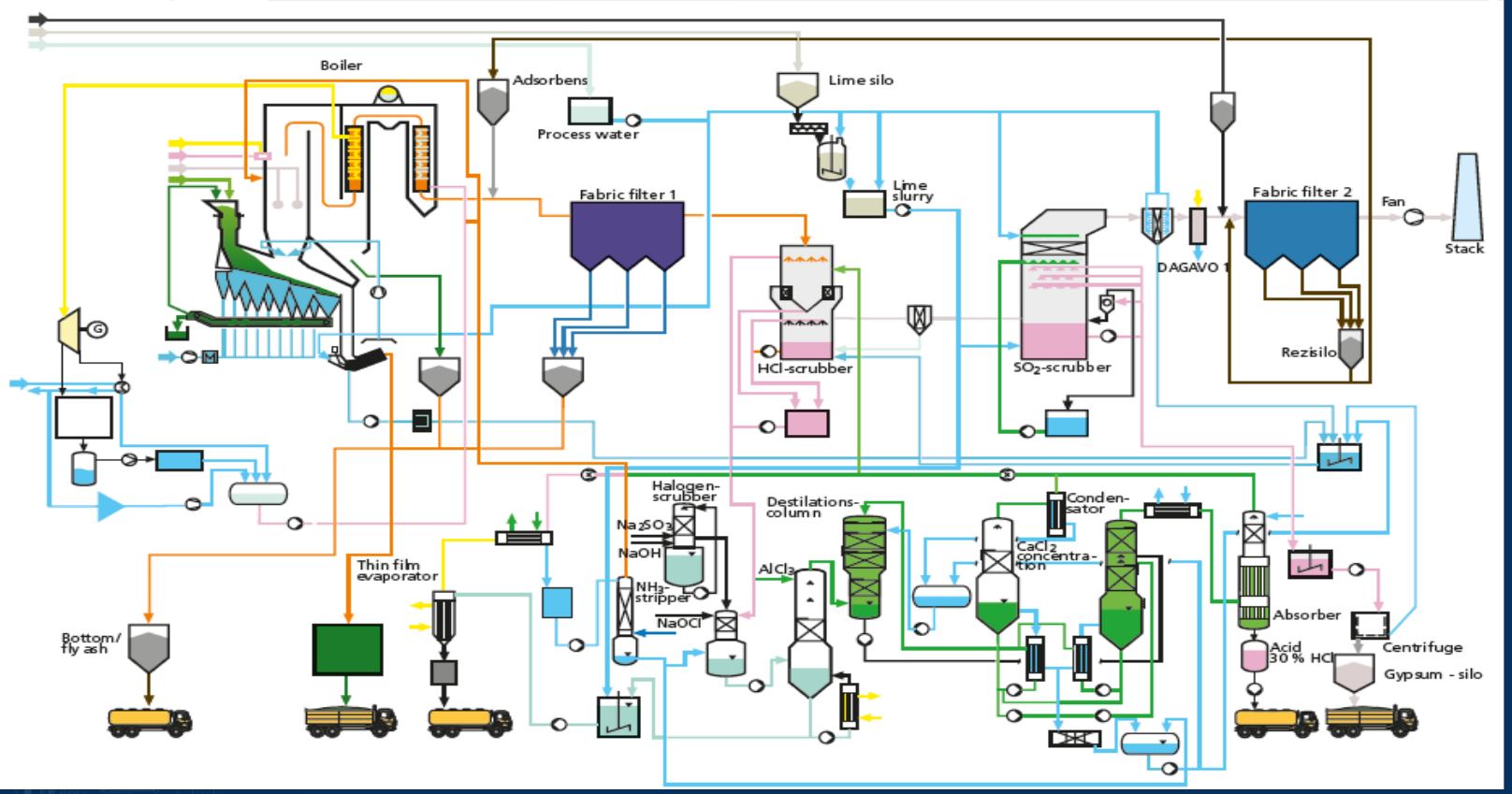
The concentration data is based on standard temperature and pressure, dry state, for each o ... rly average value;
Heavy metals class I: Σ Cd/Tl; Heavy metals class II: Σ Sb, As, Pb, Cr, Co, Ni, Cu, Mn, V, Sn; H
* not applicable to use of coal, untreated wood only; ** combustion capacity > 6t/h or new facil
[1)]excluding Sn; [2)]applicable to Tl (single substance); [3)] applicable to Pb, Co, Ni, Se, Te; [4)] applica ... not applicable for
existing plants; [6)] applicable to Mercury if the emission value is always < 20 % of the requested
RTI: Rated Thermal Input



ete.a

Entwicklung der Emissionsanforderungen am Beispiel Deutschland

Pollutant	Unit	TA Luft 1974 version	TA Luft 1986 version	17. BImSchV 2003 version	EU Guideline 2000/76	13. BImSchV 2004 version 50 MW < RTI < 100 MW	TA Luft 2002 version RTI < 50 MW	17. BImSchV 2013 version



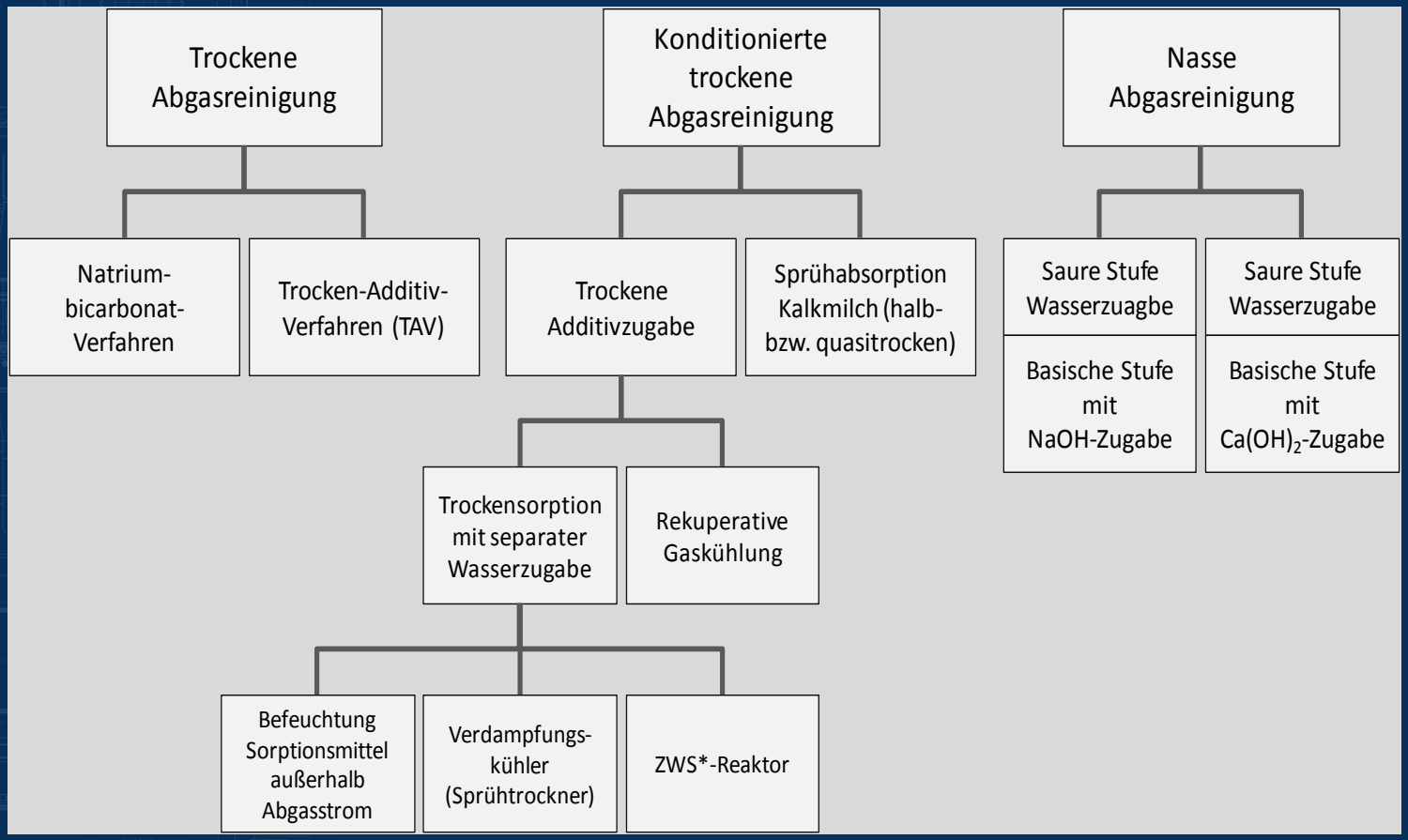
Verfahrensmatrix zur Abscheidung verschiedener Luftschadstoffe

Komponente	E-Filter[1)]	Gewebefilter[1)]	Sorptionsfilter	Fest-/Wanderbett-Filter	Wäscher	SNCR	SCR
Staub	X	X	X		{X}		
HCl			X	{X}	X		
HF			X	{X}	X		
SO_2			X	X	X		
NO_X				X	{X}	X	X
Hg		X	X	X	X		
Cd, Tl	{X}	{X}	X	X	{X}		
Sb ..... Sn	{X}	{X}	X	X	{X}		
As ..... Cr	{X}	{X}	X	X	{X}		
PCDD/PCDF	{X}	{X}	X	X	X		X
NH_3				X	X		X

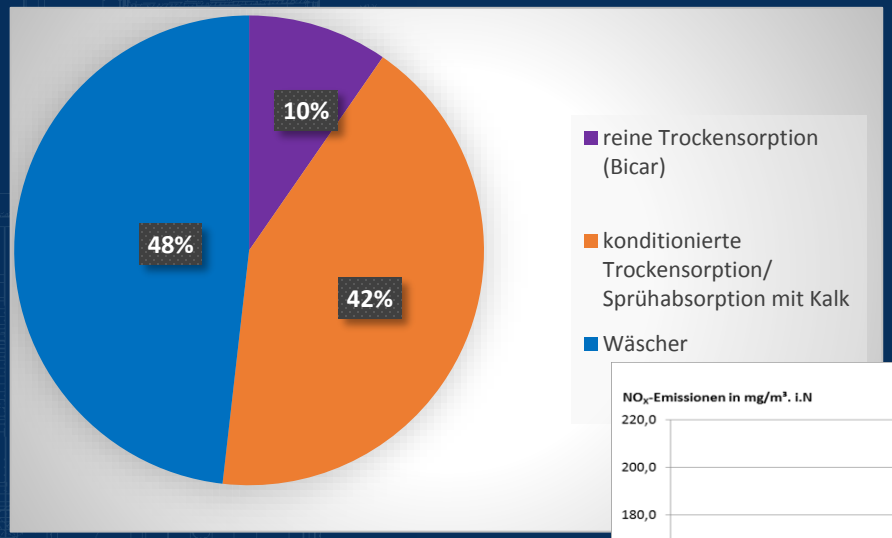
X geeignet (x) bedingt geeignet {x} staubgebundene [1)] reine Staubabscheider

ete.a

Einteilung der Abgasreinigungsverfahren zur Abscheidung von HCl, SO_x und HF (* Zirkulierende Wirbelschicht)

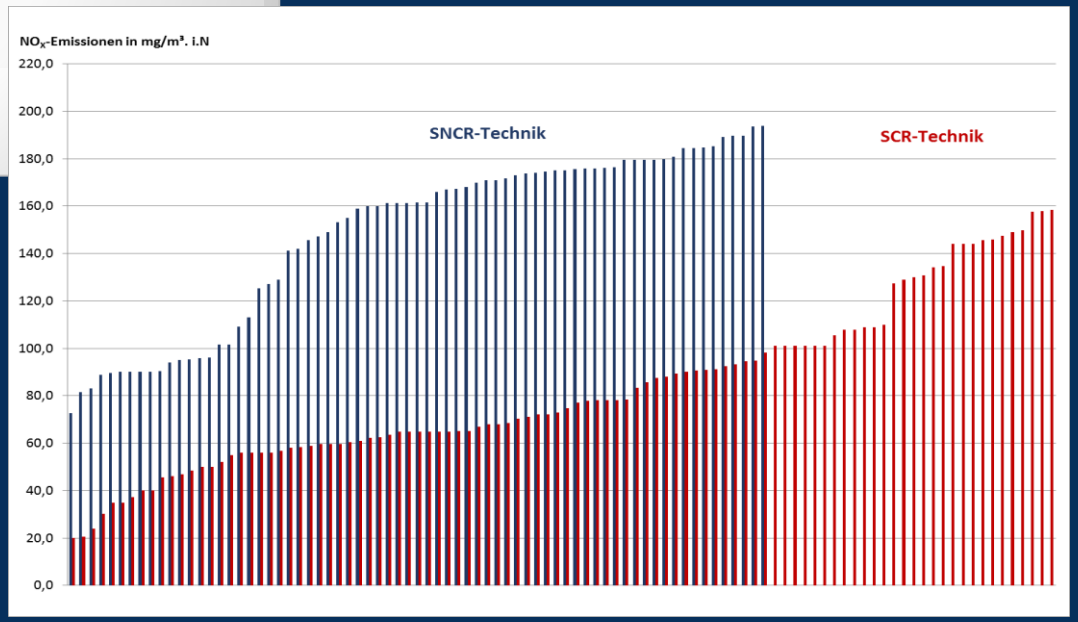


Ausgeführte Anlagen zur Sauergasabscheidung



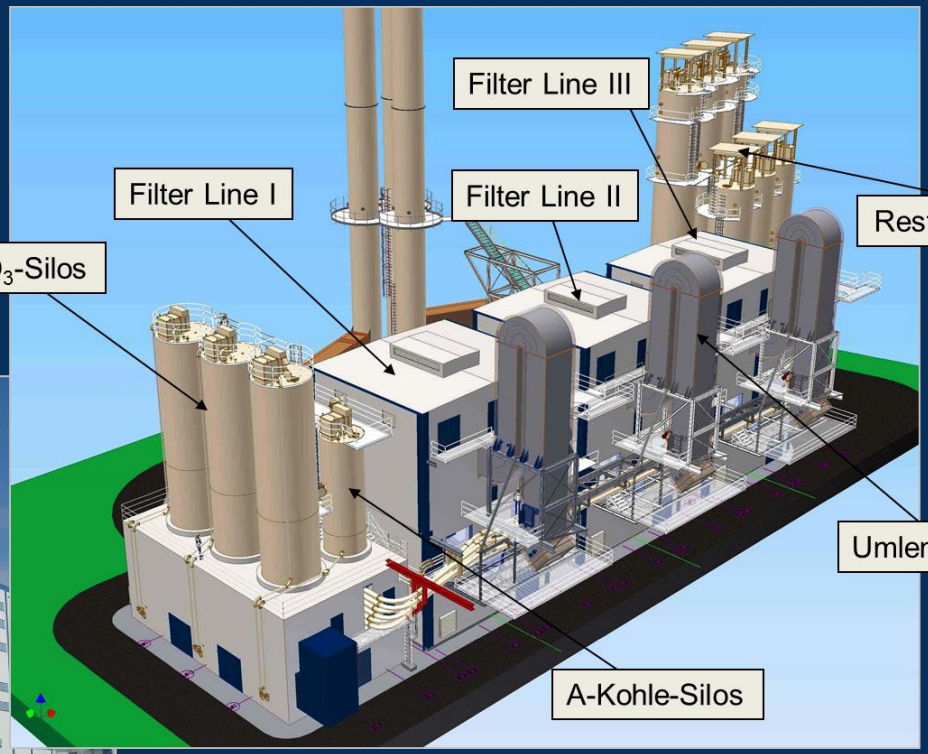
Quelle: ITAD, Düsseldorf

Ausgeführte Anlagen zur NOx-Abscheidung



Quelle: M. Treder: ITAD Emissionsbericht 2016, vorläufig, unveröffentlicht, Düsseldorf 10.09.2017

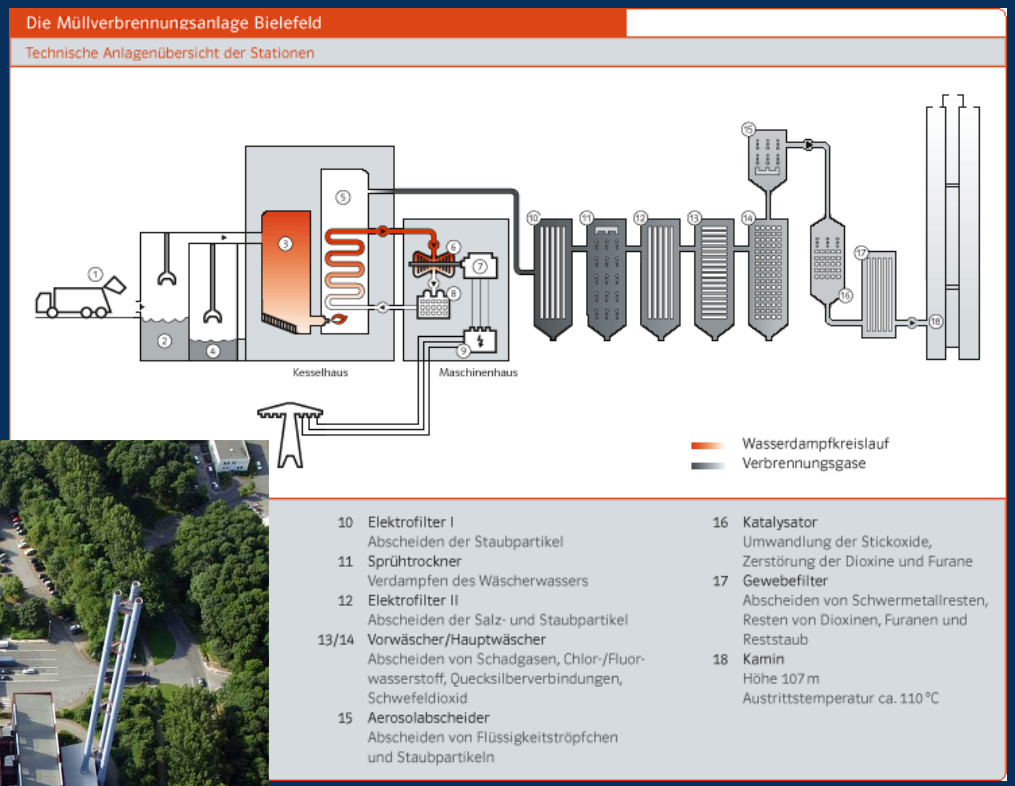
einfacher Anlagenaufbau
SNCR – einstufige Trockensorption $NaHCO_3$



Quelle: Lühr-Filter, Stadthagen

komplexer Anlagenaufbau

E-Filter – Sprühtrockner – E-Filter – 2-stufiger Wäscher – Aerosolabscheider – SCR – Gewebefilter



Quelle: Interargem, Bielefeld

Herausforderungen

an Abgasreinigungsanlagen

ete.a

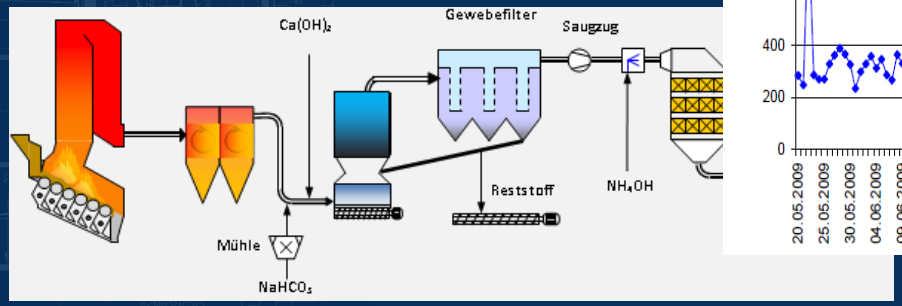
Revision BVT-Merkblatt Abfallverbrennung

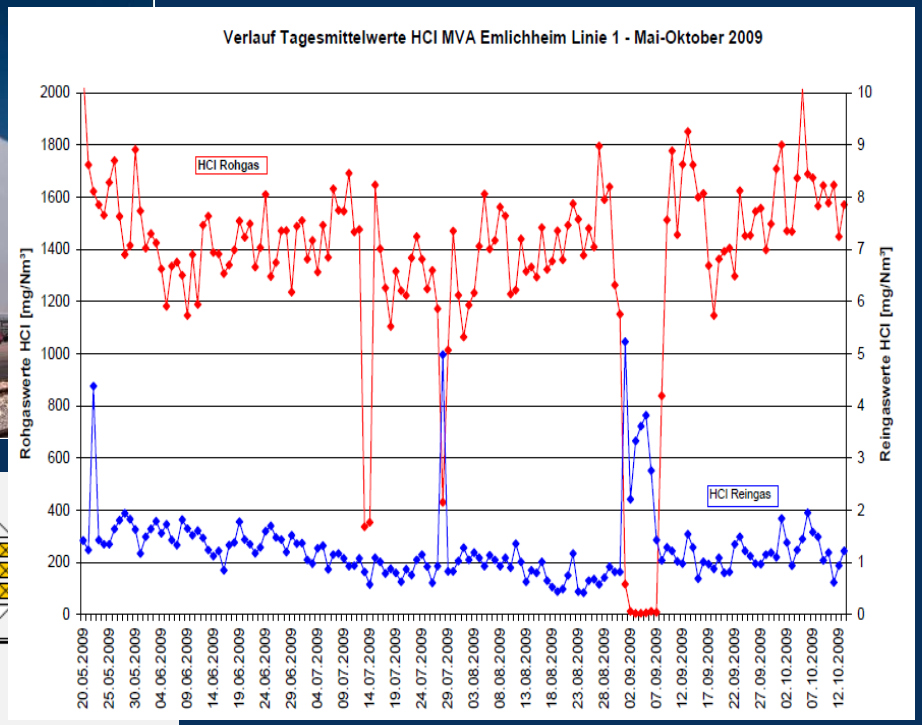
Parameter	Einheit	Grenzwerte 17. BImSchV[1]			BVT für bestehende Anlagen	BVT für neue Anlagen	Überwachungs-frequenz
		TMW	HMW	JMW	TMW	TMW	
Staub	mg/m^3, i.N.tr.	5	20	-	<2-5		kontinuierlich
HCl	mg/m^3, i.N.tr.	10	60	-	<2-8	<2-6	kontinuierlich
HF	mg/m^3, i.N.tr.	1	4	-	<1	< 1	kontinuierlich (1)
NO_x (SCR)	mg/m^3, i.N.tr.	150	400	100	50-150 (2)	50-120	Kontinuierlich
SO_x als SO_2	mg/m^3, i.N.tr.	50	200	-	5-40	5-30	kontinuierlich
Hg	mg/m^3, i.N.tr.	0,03	0,05	0,01	<0,005-0,02		kontinuierlich (3)
					0,001-0,01		Langzeitüberwachung
NH_3	mg/m^3, i.N.tr.	10	15	-	2-10 (4)	2-10	kontinuierlich
N_2O					Wird nicht angegeben		jährlich (7) (8)
CO	mg/m^3, i.N.tr.	50	100	-	10-50		kontinuierlich
Cd + Tl	mg/m^3, i.N.tr.	0,05			0,005-0,02		alle 6 Monate
∑Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V+(Sn)	mg/m^3, i.N.tr.	0,5			0,01-0,3		
∑As+Benzo(a)pyren+Cd+Co+Cr	mg/m^3, i.N.tr.	0,05			-		jährlich
PCDD/F (*)	ng $_{I\text{-}TEQ}$ /m^3, i.N.tr.	-			< 0,01-0,06	< 0,01-0,04	Alle 6 Monate
					< 0,01-0,08	< 0,01-0,06	monatlich (5)
PCDD/F + Dioxinähnliche PCBs (*)	ng $_{WHO\text{-}TEQ}$ /m^3, i.N.tr.	0,1			< 0,01-0,08	< 0,01-0,06	Alle 6 Monate (6)
					< 0,01-0,1	< 0,01-0,08	monatlich (5) (6)
TVOC / $C_{ges.}$	mg/m^3, i.N.tr	10	20	-	< 3-10		kontinuierlich

* die Äquivalenzfaktoren finden entweder nach I-TEQ oder nach WHO-TEQ Anwendung, 17. BImSchV (Seite 21) nach WHO-TEF 2005

ete.a

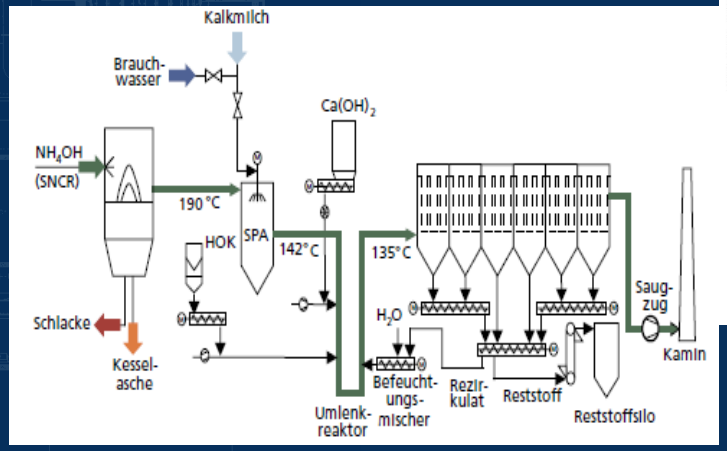
Ausgeführte Anlagen – MVA EVI-Europark

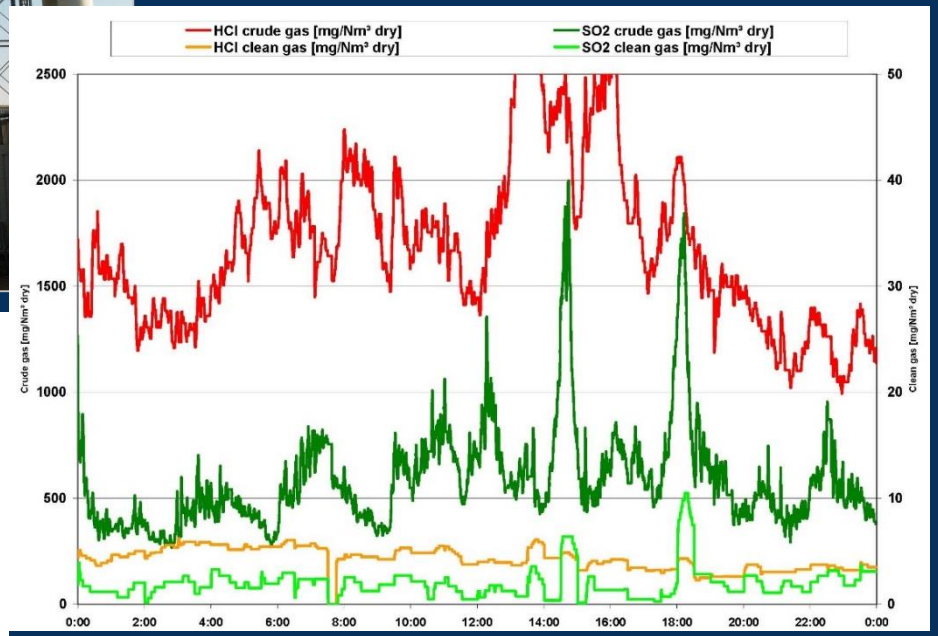




Quelle: Dr. Buhlmann; Trockene Rauchgasreinigung der MVA-EVI-Europark;
5. Tagung- Trockene Abgasreinigung für Feuerungsanlagen und
andere thermische oder chemische Prozesse Essen, 12. - 13. November 2009

Ausgeführte Anlagen – MHKW Rothensee

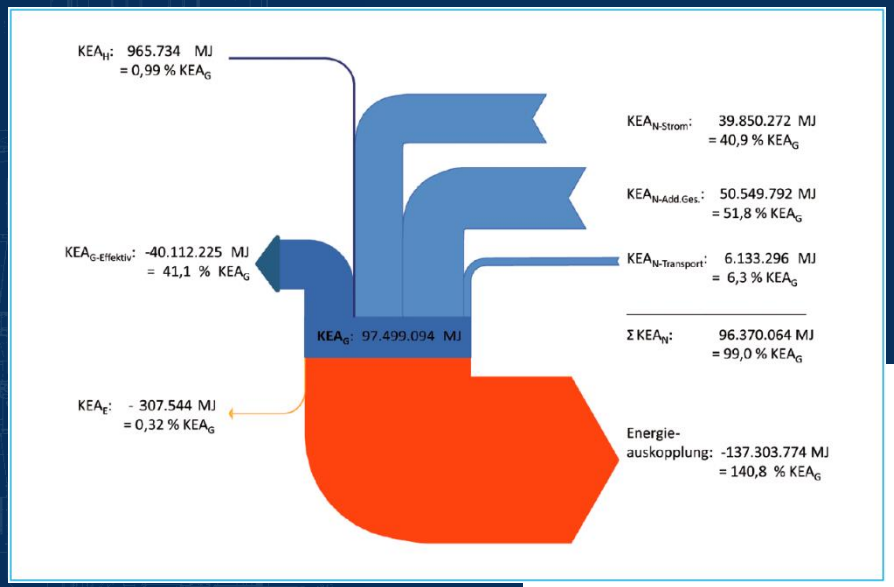




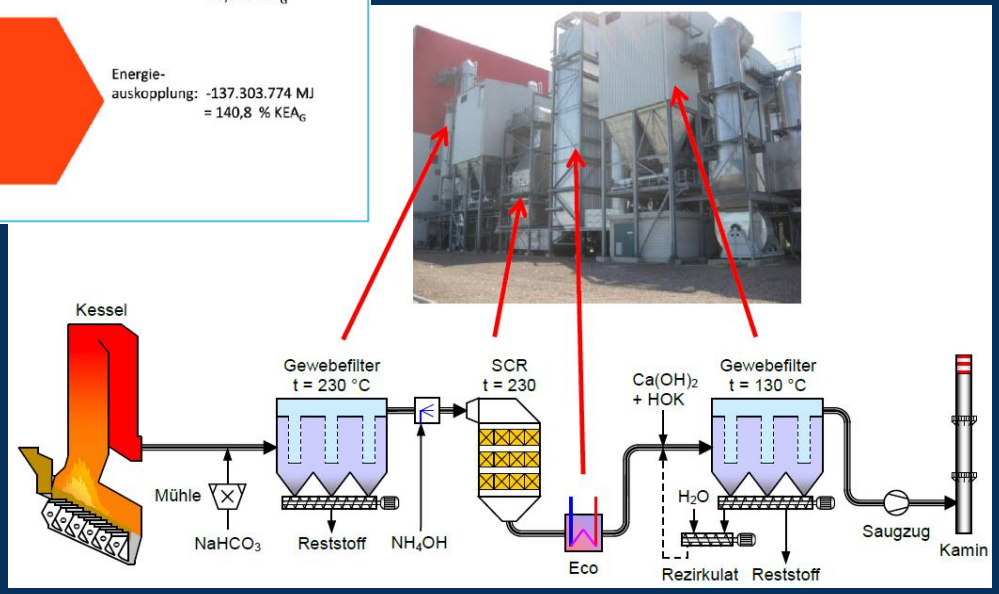
Quelle: R. Margraf; Dry, Semi-dry or Wet– Which System Fits Best Depending on the Overall Conditions?, IRRC, Vienna 2017

Sankey-Diagramm KEA-Gesamt

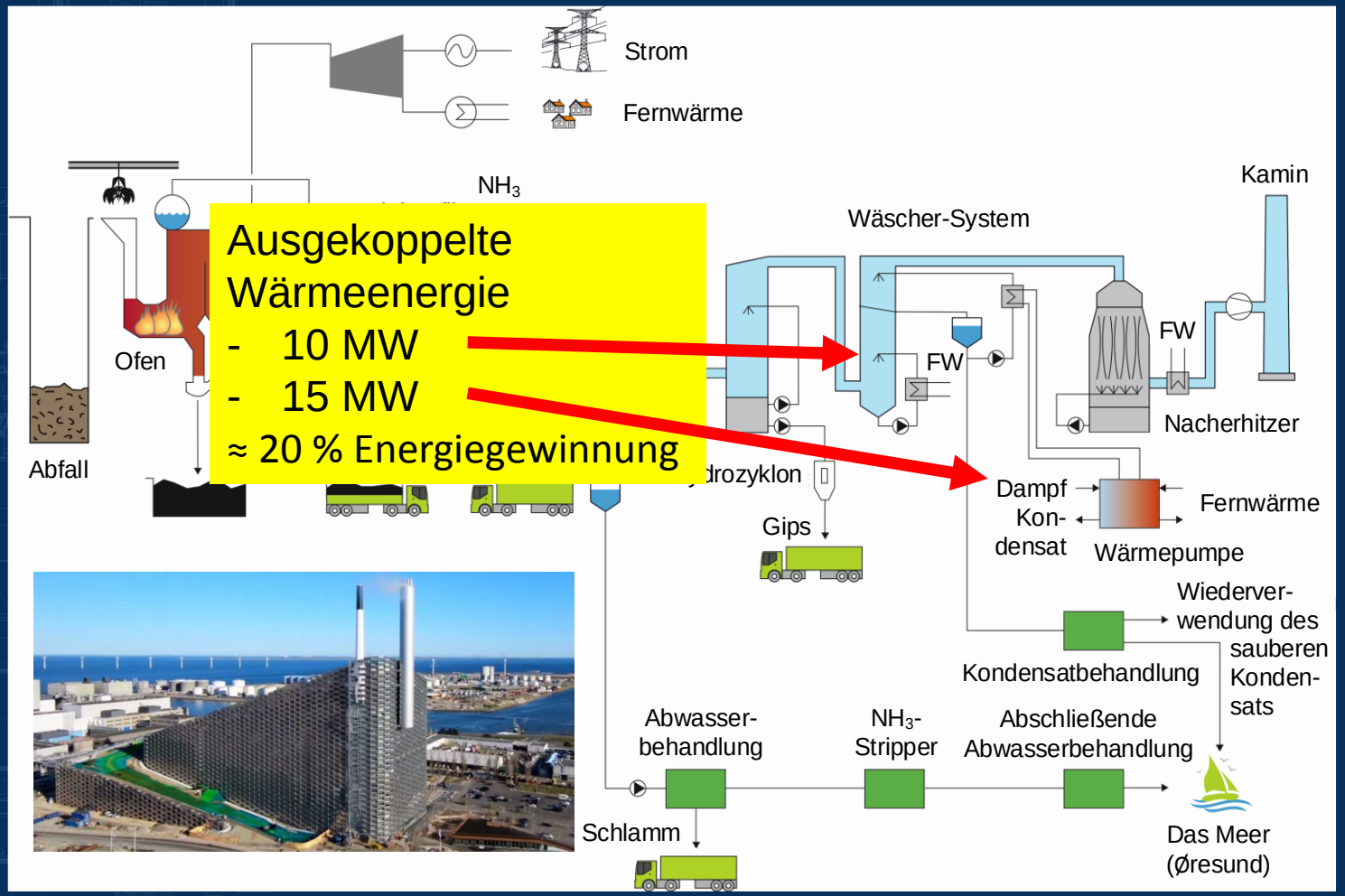
(KEA_N für HCl-Rohgas 1.300 mg/m³; SO_2-Rohgas 500 mg/m³); 8000 Bh



		Messwert Schornstein	Genehmigungswert
Staub	mg/m³	< 1	10
C_{ges}	mg/m³	< 0,5	10
HCl	mg/m³	< 1	5
SO_2	mg/m³	< 5	25
NO_x	mg/m³	< 70	70
Hg	mg/m³	< 0,005	0,02
CO	mg/m³	< 10	50
NH_3	mg/m³	< 2	5
Rauchgastemp.	°C	135	

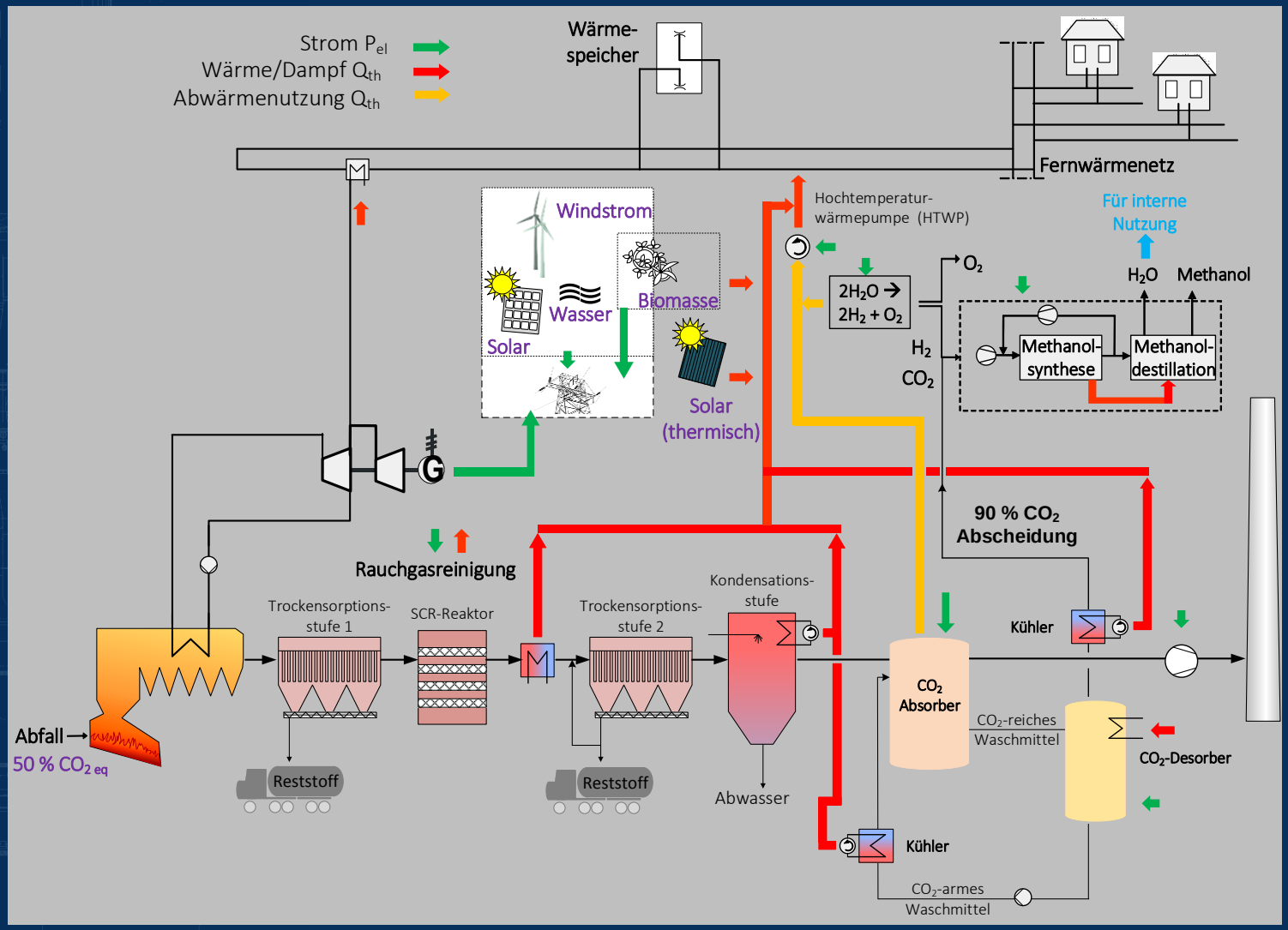


Abfallverbrennungsanlage „Amager Bakke“ in Kopenhagen, Dänemark



Quelle: Hulgaard, T.; Søndergaard, I.: Integrating waste-to-energy in Copenhagen, Denmark. Civil Engineering, Volume 171, Issue CE5, Pages 3-10

Optimierte Abgasreinigung in Anpassung an den zukünftigen Energiemarkt



Beispiel-Bilanzierung - Hausmüllverbrennungsanlage

Für die Bilanz wurde eine fiktive Müllverbrennung mit folgenden Parametern betrachtet.

Anlagenparameter	Einheit	Wert
Abfallmenge	t/h	17,4
Unterer Heizwert des Abfalls	MJ/t	10.800
Biogener Anteil des Abfalls	Ma.-%	50
Kohlenstoffanteil des Abfalls	Ma.-%	25
Volumenstrom Rauchgas (trocken)	m^3/h (i.N., tr.)	82.357
Feuchtegehalt	Vol.-%	12
Volumenstrom Rauchgas (feucht)	m^3/h (i.N., f.)	93.588
CO_2-Konzentration	Vol.-% (tr.)	9,9
O_2-Konzentration	Vol.-% (tr)	9,1
Verbrennungsenergie	MWh_{th}/h	52,2
Wirkungsgrad Dampferzeugung	%	87
Wirkungsgrad Kondensationsturbine	%	20 - 25
El. Energie	MWh_{el}/h	9,1 - 11,4

ete.a

Bilanzierung - Hausmüllverbrennungsanlage

Für die Bilanz wurde eine Amin-Wäsche mit folgenden Parametern betrachtet.

Aminwäsche	Einheit	Wert
CO_2-Abscheideleistung Aminwäsche	%	90
Abgeschiedener CO_2-Massenstrom	t/h	14,3
Emittierter CO_2-Massenstrom	t/h	1,6
spez. Waschmittelbeladung	m^3 CO_2/t (i.N. tr)	50
Umlaufzeit	h	0,5
Waschmittelbedarf (Inventar)	t	80,6
Aminverluste	kg /h	5,74
Energiebedarf für die Regeneration	MWh_{th}/h	11,2
Hilfsenergie für Pumpen etc.	MWhel/h	0,014

Einstufige Synthese von Methanol über einen katalytischen Festbettreaktor

$$3\ H_2 + CO_2 \rightleftharpoons CH_3OH + H_2O$$

Methanolsynthese	Einheit	Wert
Stöch. erzeugte Methanolmenge	kg CO_2/kg MeOH	1,4
Pot. erzeugter Methanol-Massenstrom	t MeOH/h	10,6
Reaktionswärme	MWh_{th}/h	8,2

ete.a

Bilanzierung - Hausmüllverbrennungsanlage

H_2-Elektrolyse

Methanolsynthese	**Einheit**	**Wert**
Wasserstoffvolumenstrom	m³/h (i.N., tr.)	21.759
spez. Energiebedarf PEM Elektrolyse	MWh_{el}/ m³ (i.N., tr.)	0,005
Energiebedarf für die PEM Elektrolyse	MWh_{el}/h	104,4
Energiebedarf für die Entsalzung	MWh_{el}/h	0,07
Hilfsenergiebedarf	MWh_{el}/h	15,8
Gesamtenergiebedarf elektrisch	**MWh_{el}/h**	**120,5**

Für 17 t/h Abfall

Fazit

Fazit

- Das heutige Emissionsniveau von Abgasreinigungsanlagen hinter Abfallverbrennungsanlagen grenzt z.T. an die Vertrauensbereiche der existierenden Messtechnik, so dass auch hier grundsätzlich Optimierungspotential besteht, aber nicht die letztendlichen Herausforderungen darstellen.

- Die zukünftigen Herausforderungen liegen vielmehr neben einer effizienten Schadgasabscheidung in Themen wie
  - Energieeffizienz,
  - Minimierung der Einsatzstoffe bis hin
  - zur Wertstoffgewinnung aus der Abgasreinigung.

Fazit

- Zusätzlich spielt insbesondere für Neuanlagen der Standort eine wesentliche Rolle, damit Synergien genutzt werden können, was bei der Planung von den prophezeiten Mega-Citys Berücksichtigung finden muss.

- Es wird nicht darauf ankommen komplett neue Systeme oder Verfahren zu entwickeln, sondern vielmehr auf die intelligente Kombination von bestehenden Verfahren und die Nutzung von Synergien.

Fazit

- Die Technologie zur CO_2-Abscheidung ist vorhanden und zuverlässig
- CC (Carbon Capture) ist in der Energiebilanz ohne externen Energieaufwand in der Abfallverbrennung möglich
- CCU ist sehr stark von dem gewählten Synthesepfad aber vor allem von der Bereitstellung elektrischer Energie in Menge und Preis abhängig!
- Für CCS fehlt in Deutschland die Akzeptanz, siehe Oxyfuel in der Lausitz. Über eine europäische Strategie könnten mögliche Verwertungsmöglichkeiten angeboten werden.

Handelsblatt

16.03.2021

Klimaneutralität

Norwegen buhlt um deutsches Kohlendioxid

Die ambitionierten Pläne Norwegens zur Speicherung von CO2 sind für energieintensive Unternehmen aus Deutschland interessant. Die Praxis ist jedoch nicht unumstritten.

Norwegen treibt die unterirdische Speicherung von Kohlendioxid voran.

gespeichert werden. Zu Beginn würden die Kosten für Abscheidung, Transport und Speicherung einer Tonne CO2 auf rund 130 Euro geschätzt, sagte sie. „Aber diese Kosten können in den folgenden Jahren deutlich gesenkt werden, wenn sich andere Industriepartner dazu entschließen, Speicherkapazitäten von Northern Lights zu kaufen. Wenn in großem Maßstab gearbeitet wird, sinken die Kosten", sagte Bru.

Hinter Northern Lights stehen die Unternehmen Equinor, Shell und Total. Northern Lights wird flüssiges CO2 von Abscheidungsanlagen durch Pipelines zu einem Reservoir unter dem Meeresboden pumpen. Der norwegische Staat unterstützt den Aufbau der CCS-Infrastruktur.

Vielen Dank!

ete.a