

Dipl.-Ing. Stephan List
Freier Ingenieur, Dresden

Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Umwelttechnisches Seminar, Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik
Technische Universität Dresden, 29.11.2001

Inhalt

- Motivation
- Geschichte der neuzeitlichen Feuerbestattung, Trends zur Feuerbestattung
- Gesetzliche Grundlagen (Deutschland, Europa)
- Rauchgasentstaubung
- Weitergehende Rauchgasreinigung - Abscheidung von Schadgasen
- Erfahrungen mit Festbettfilteranlagen
- Weiterentwicklung des Festbettverfahrens

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Sarg vor der geöffneten Muffel



Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Schadstoffe im menschlichen Körper



Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Betrieb ohne Rauchgasreinigungsanlage



Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Geschichte der neuzeitlichen Feuerbestattung

- 1752 Einäscherung der Tante Friedrichs des Großen, Markgräfin Sophie von Bayreuth, auf "römische Art"
- 1874 Erste moderne Feuerbestattung - Einäscherung der Gattin des englischen Staatssekretärs, Lady Dilke, in einem provisorischen Ofen der Siemens'schen Glasfabrik in Dresden
- 1876 Erstes Krematorium in Europa (Mailand)
- 1876 Erster europäischer Kongress der Freunde der Feuerbestattung in Dresden

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

1. Europäischer Kongress der Freunde der Feuerbestattung

- Dresden, 07.06.1876
- Teilnehmer: über 600 Personen
- Regenerativ-System (Heißluftofen) von Friedrich Siemens in Dresden entwickelt
- Formulierung von sieben Kriterien für den Verbrennungsvorgang durch Richard Schneider
- Spontane Spendenerklärungen für die Errichtung des ersten deutschen Krematoriums in Gotha 1878

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

7 Kriterien (Richard Schneider, 1876)

- 1) Die Leiche soll möglichst rasch verbrannt werden.
- 2) Die Verbrennung soll sicher und vollständig geschehen und es darf nicht etwa nur ein Halbverbrennen oder Verkohlen stattfinden.
- 3) Der Process soll in decenter Weise und nur in für die Verbrennung menschlicher Leichen bestimmten Oefen vollzogen werden.
- 4) Es dürfen dabei für die Nachbarschaft keine belästigenden Verbrennungsproducte, Rauch, übelriechende Dämpfe etc. auftreten.

7 Kriterien (Richard Schneider, 1876)

- 5) Die Asche soll rein und weisslich aussehen und das Sammeln soll leicht und rasch ausführbar sein.
- 6) Der ganze Apparat wie auch die Versenkung soll möglichst billig und
- 7) soll so beschaffen sein, dass ohne wesentliche Unterbrechungen und Kostenaufwand mehrere Leichname hintereinander verbrannt werden können

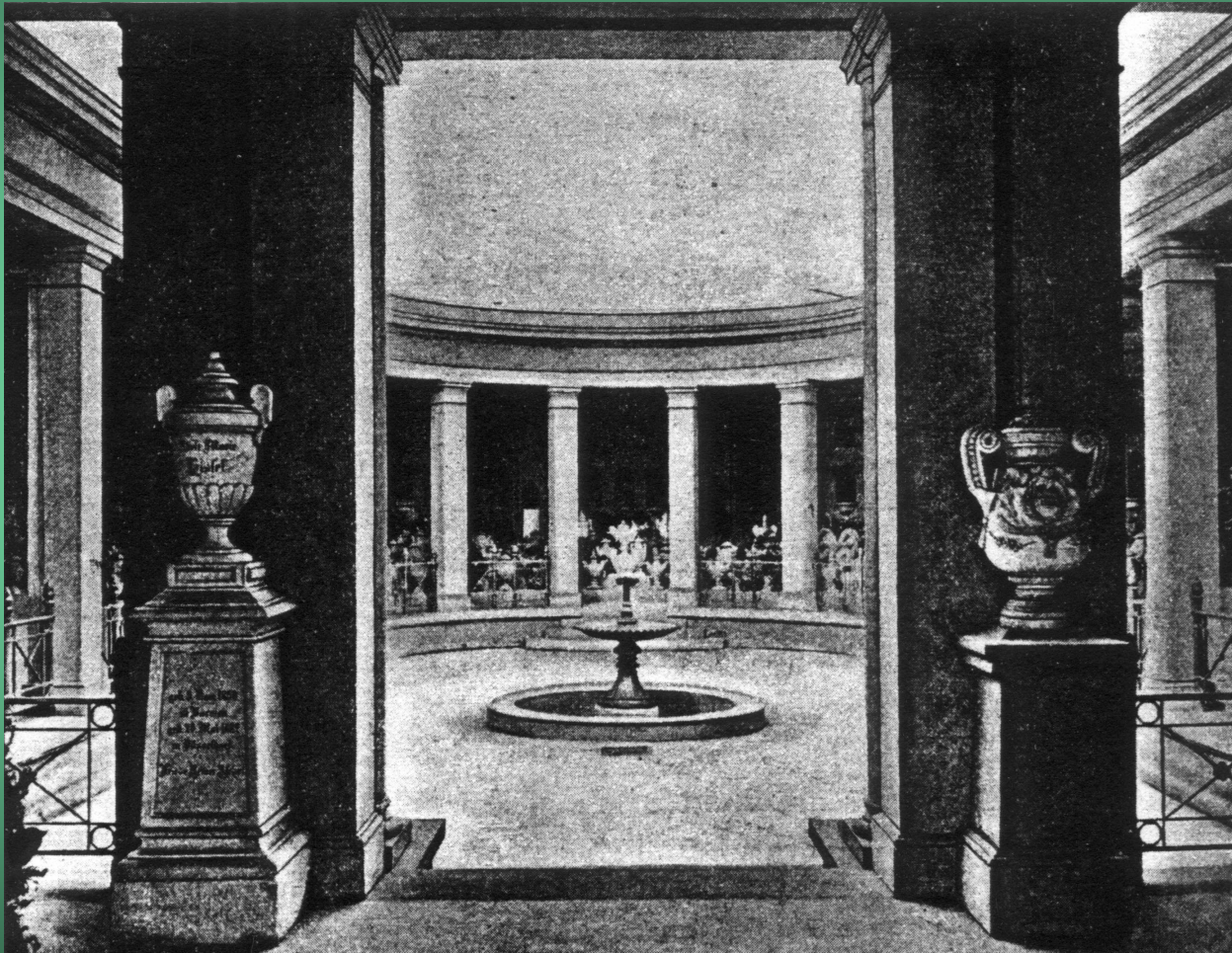
Die ersten deutschen Krematorien

- 1878 Erstes deutsches Krematorium in Gotha
(Herzogtum Sachsen-Coburg-Gotha)
- 1891 Heidelberg
- 1892 Hamburg
- 1898 Jena

Spezielle Krematoriumsarchitektur

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Krematorium Gotha (1878 - Kolumbarium)



Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Krematorium Heidelberg (1891)



Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Krematorium Hamburg (1892)



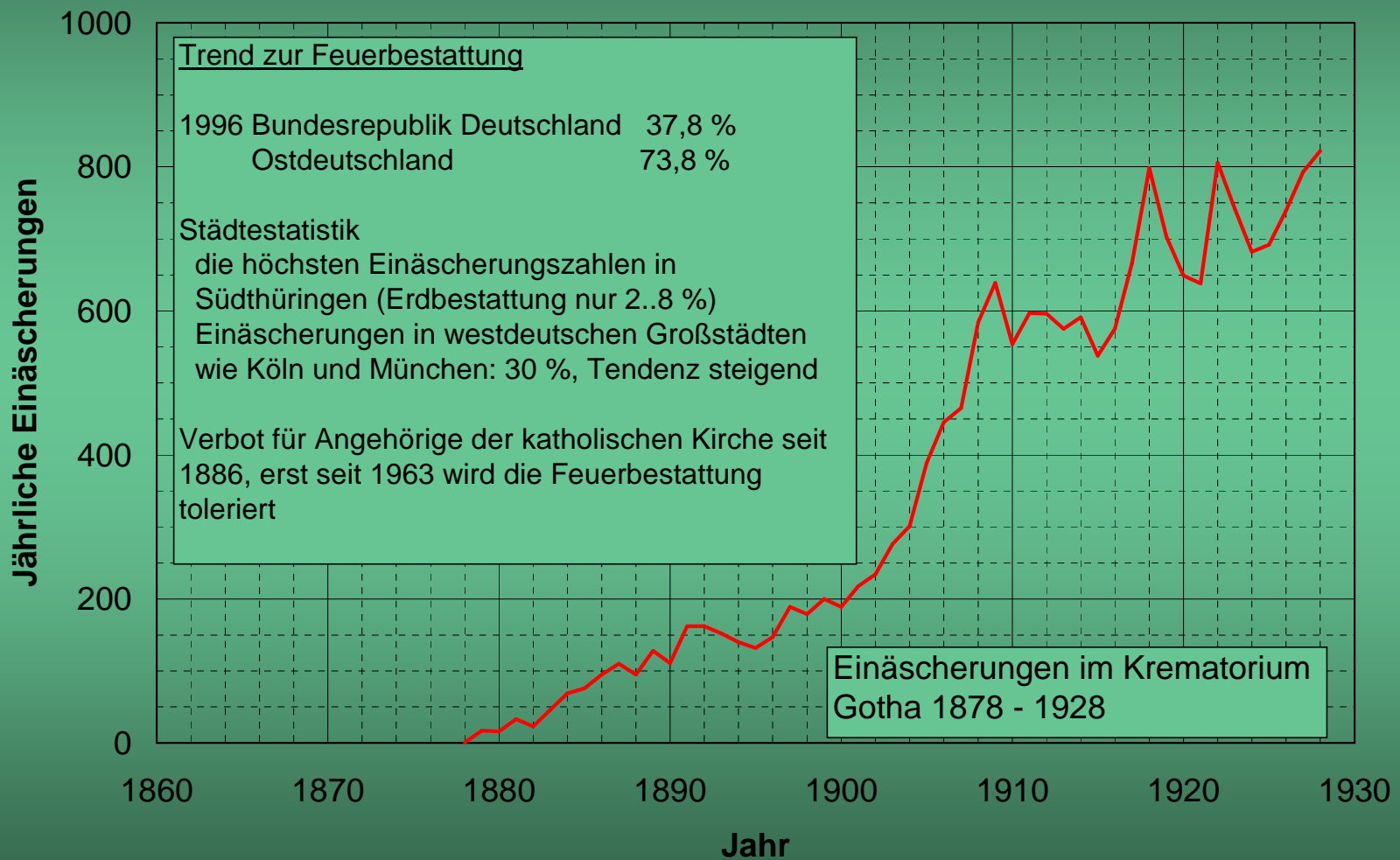
Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Krematorium Jena (1898)



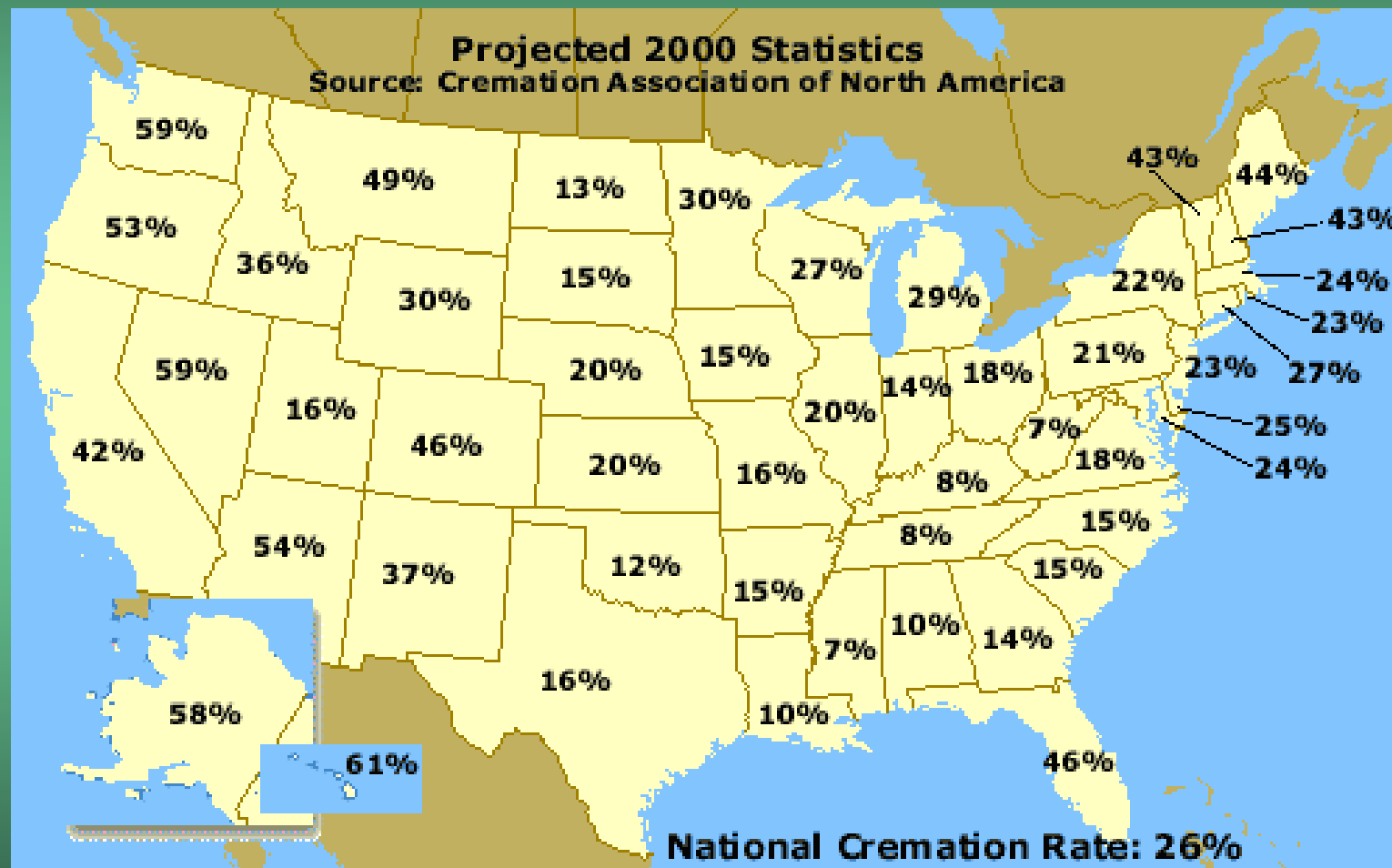
Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Trends zur Feuerbestattung Gotha (1878 - 1928)



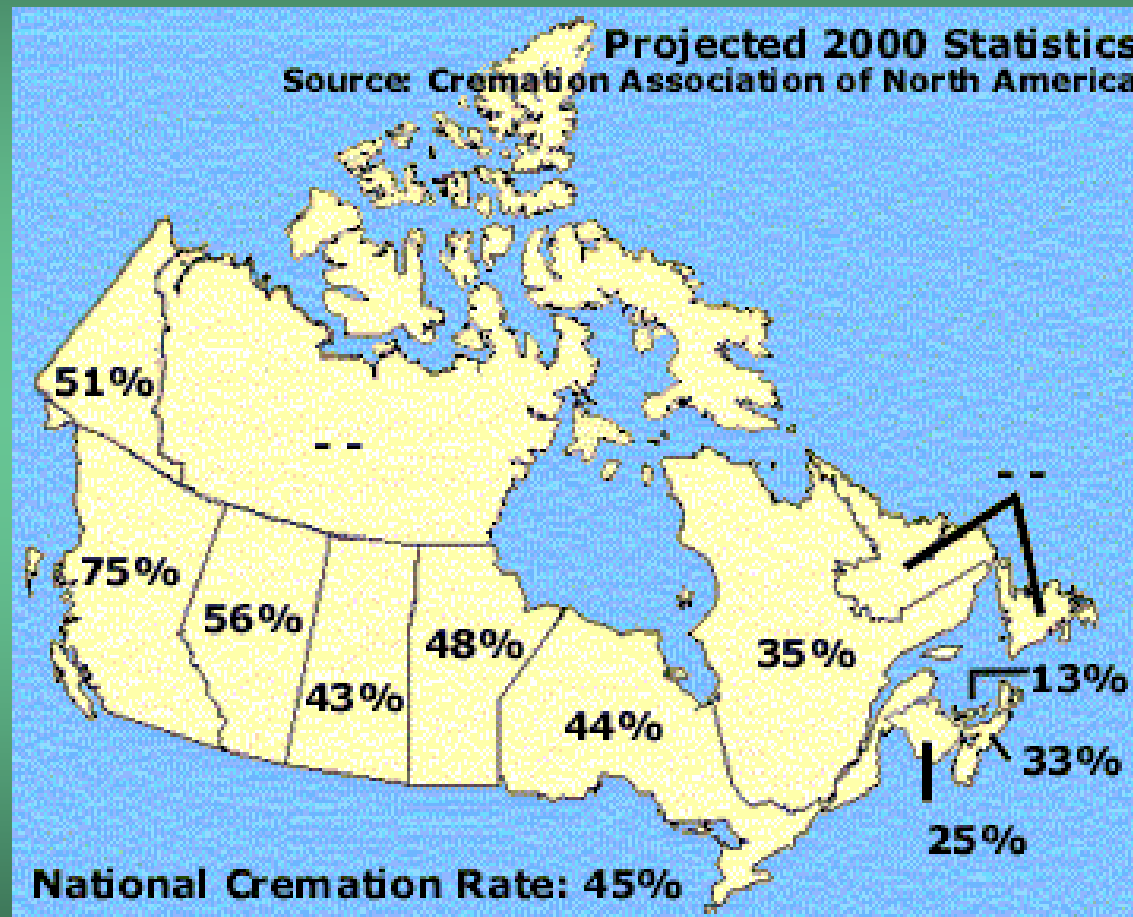
Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Feuerbestattung in Nordamerika - USA 2000



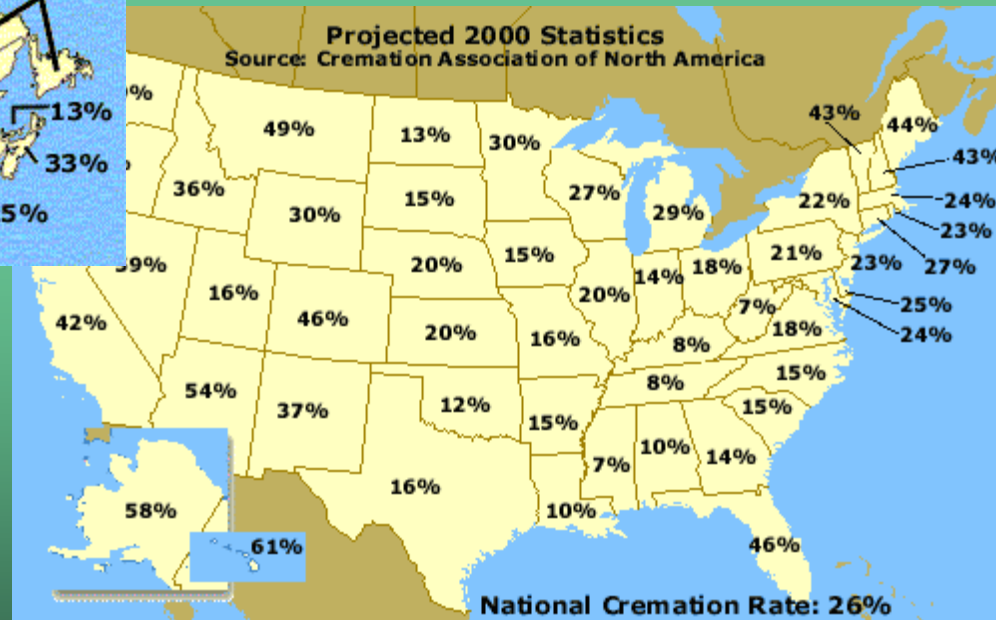
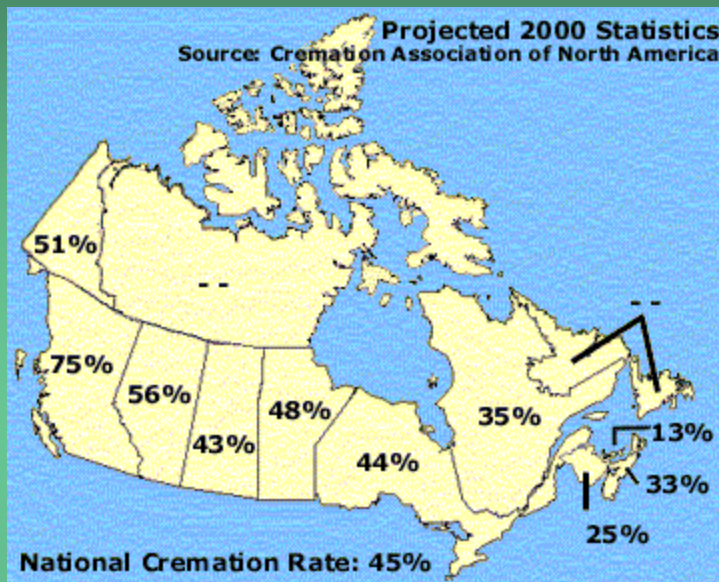
Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Feuerbestattung in Nordamerika - Canada 2000



Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Feuerbestattung in Nordamerika - 2000



Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Werbung für Krematorien - Yellow Pages USA

CREMATIONS



Eternity Burial Products and Funeral Home
www.etsnityfuneralhome.com

- Direct Cremation **495.00**
- Direct Cremation with Memorial Service **695.00**
- Direct Cremation with Burial at Sea **795.00**
- Cremation Funeral Service Package
Full Funeral, viewing and casket,
followed by cremation **1895.00**

Prices effective at date of print

1650 Art Museum Dr. Northside Westside San Jose - Mandarin

Rex and Donna Gill
OWNERS

348-5579 **696-6896** **777-1937** **399-3338**

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Werbung für Krematorien - Yellow Pages USA

**For Those Who Want
Simple Cremation...**

**"We never felt right about funerals and viewing...
The Cremation society of the South was the right choice for us."**



- Appointments in your home
- Price list available by fax
- Choices for the cremated remains
- Free grief brochures on AIDS, suicide, children and death
- Insurance, social security and veterans paperwork preparation at no charge

5754 Harrison Ave., • Suite B • Atlanta (Austell), GA 30106

770 941-5352 Financing Available
800-474-0448

CREMATION SOCIETY
of the **SOUTH**

Crematory tours available • www.cremation.org



Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Rechtliche Grundlagen

- Bestattungswesen
- Immissionsschutz (Deutschland)
- Entwicklung der Anforderungen
- Europäische Gesetzgebung

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Rechtliche Grundlagen - Bestattungswesen

- Gesetz über die Feuerbestattung (15.05.1934)
- Verordnung über das Bestattungs- und Friedhofswesen (17.04.1980, DDR)
- Länderrecht, z.B. Sachsen: Sächsisches Gesetz über das Friedhofs-, Leichen- und Bestattungswesen (1994)

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Immissionsschutzrecht

- Bundesimmissionsschutzgesetz BImSchG
- Verordnung über genehmigungspflichtige Anlagen (4. BImSchV)
- TA Luft
- Verordnung über Anlagen zur Feuerbestattung (27. BImSchV)

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Entwicklung der Anforderungen

- 1992 VDI-Richtlinie 3891
- 1993 Genehmigungspflicht
- 1997 27. BImSchV
- 2001 Novellierte VDI 3891

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

VDI-Richtlinie 3891 (08/1992)

Primärmaßnahmen

- Einäscherungsofen (Hauptbrennraum, Ausbrandbereich zur Mineralisierung der Asche, separat beheizte Nachbrennkammer)
- Heißgasfilter oder Filter mit Vorkühlern
- Einsatz NO_x-armer Brenner
- Einhaltung der Parameter:
 - Temperatur im Hauptbrennraum > 650 °C
 - Temperatur im Nachbrennraum > 800 °C (heute 850 °C)
 - Verweilzeit im Nachbrennraum > 0,3 s
 - Sauerstoffmindestgehalt 6 %

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

VDI-Richtlinie 3891 (08/1992)

Weitere Maßnahmen

- Vermeidung halogenorganischer und schwermetallhaltiger Stoffe bei Sarg und Sargmaterialien
- Optimalen Ausbrand der Rauchgase anstreben
- Vermeidung von Dioxin-Neubildungsreaktionen (Flugascheablagerungen, Abgasführung, Reinigen der Abgaswege)
- Filternde Abscheider, Naß- oder elektrostatische Abscheider zur Staub- und Schwermetallminderung
- Personalqualifikation, Wartung der Anlage, kontinuierliche und turnusmäßige Emissionsmessungen

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Genehmigungspflicht (1993)

- 4. BImSchV (Nr. 10, 24 Anhang 4), vereinfachtes Genehmigungsverfahren
- Orientierung an den Emissionsgrenzwerten der 17. BImSchV (z.B. Genehmigungsbescheid Meißen) :

Staubförmige Stoffe (Gesamtstaub)	15 mg/m ³
Quecksilber	0,2 mg/m ³
Kohlenmonoxid	100 mg/m ³ (h-Mittel)
Organische Stoffe (Gesamt-C)	10 mg/m ³
Stickstoffoxide (NO ₂)	200 mg/m ³
Schwefeloxide, (SO ₂)	100 mg/m ³
Anorg. Chlorverbindungen (HCl)	30 mg/m ³
Anorg. Fluorverbindungen (HF)	2 mg/m ³

- Uneinheitliche Anforderungen in verschiedenen Bundesländern

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

27. BImSchV (03/1997)

- Regelt bundeseinheitlich Errichtung, Beschaffenheit und Betrieb von Anlagen zur Feuerbestattung

- Emissionsgrenzwerte:

Staubförmige Stoffe (Gesamtstaub)	10 mg/m ³
Kohlenmonoxid	50 mg/m ³
Organische Stoffe (Gesamt-C)	20 mg/m ³
Dioxine/Furane	0,1 ng TE/m ³

Novellierung der Richtlinie VDI 3891

- 08/92 VDI 3891
- 03/97 27. BImSchV
- 28.01.99 Konstitution der Arbeitsgruppe "Emissionsminderung Einäscherungsöfen" der Kommission RDL und des DIN-Normenausschusses
- 03/00 Gründruck
- 11/00 Bearbeitung der Einsprüche
- 05/01 Weißdruck

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Novellierung der Richtlinie VDI 3891

- Darstellung des Standes der Technik zur Rauchgasreinigung
- Darstellung der verfügbaren Techniken ohne Bewertung der Eignung der einzelnen Verfahren
- Umfangreiche Definition der Anforderungen an die Kalibrierung der kontinuierlichen Meßtechnik und die Durchführung der regelmäßigen Emissionsmessungen

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Entwicklung der Grenzwerte

		VDI 3891 08/92	17. BImSchV 11/90	Sachsen 08/94	Brandenburg 02/95	27. BImSchV 03/97
		h-Mittel+	Tagesmittel	Stundenmittel		
Staubförmige Stoffe	mg/m ³	33,3	30*/10	10	10	10
Quecksilber	µg/m ³		50	200	50	
CO	mg/m ³	108,3	100*/50	100/50**	50	50
Organische Stoffe	mg/m ³	20,8	20*/10	10	10	20
Stickstoffoxide	mg/m ³		200	200	200	
Schwefeloxide	mg/m ³		50	100	100	
anorg. Chlorverb.	mg/m ³	58	10	30	30	
anorg. Fluorverb.	mg/m ³	2,5	1	2	2	
PCDD/F ***	ng TE/m ³		0,1	1 Ziel 0,1	0,1	0,1

+) bez. auf 1200 Nm³/h *) Halbstundenmittel, **) Tagesmittel, ***) Mittelwert über Probenahmedauer

Entwicklung der Emissionsgrenzwerte für Einäscherungsanlagen

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Europäische Gesetzgebung

Rahmen-Richtlinie 96/62/EG (09/1996) über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität

- langfristige Verbesserung der Luftqualität
- einheitliche europäische Kriterien für Beurteilung
- Information der Kommission und der Öffentlichkeit
- Messverpflichtung
- Tochter-Richtlinien (Artikel 4) regeln Grenzwerte, Alarmwerte, detaillierte Meßvorschriften und Verpflichtung zu Maßnahmen im Falle von Grenzwertverletzungen.

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Europäische Gesetzgebung

1. Tochterrichtlinie (04/1999) - Grenzwerte für SO₂, NO₂, NO_x, Partikel, Blei, umzusetzen bis 07/01

- Immissionsgrenzwert 50 µg/m³ für PM₁₀

Stufe	Bezugszeit	Konzentration	Zeitpunkt
1	24 h	50 µg/m ³ 35 Tage mit Überschreitungen sind zulässig Toleranzmarge 50 %	2005
	1 Jahr	40 µg/m ³	2005
2	24 h	50 µg/m ³ 7 Tage mit Überschreitungen sind zulässig	2010
	1 Jahr	Revisionsvorbehalt Neufestlegung des Grenzwertes auf 20 µg/m ³	2003

2. Tochterrichtlinie (11/2000) - Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid, umzusetzen bis 12/02, weitere geplant

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Europäische Gesetzgebung

Erforderlich werden umfangreiche Novellierungen: BImSchG, 22., 23. BImSchV, TA Luft, Richtlinien des BMU, VDI/DIN

Probleme

- Identifizierung von Ursachen für Überschreitungen bisher nicht eindeutig
- Sanktionen bei Grenzwertüberschreitungen oder Erfolglosigkeit der Gegenmaßnahmen sind noch unklar
- umfangreiche Ausnahmeregelungen
- Einhaltung der Grenzwerte für Staub und NO_x fraglich

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Staubabscheidung

- Entwicklung der Emissionsgrenzwerte
- Staubabscheider
 - Massenkraftabscheider
 - Wäscher
 - Filternde Abscheider (Festbett/Gewebe)
 - Abscheideleistung
- Physikalische Staubeigenschaften
- Schadstoffgehalte

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Emissionsgrenzwerte für Feinstaub

Zulässige Gesamtstaubgehalte (bez. auf 11 % O₂)

- TA Luft 1974 100 mg/m³
- TA Luft 1984 50 mg/m³
- 17. BImSchV 1990
27. BImSchV 1997 10 mg/m³

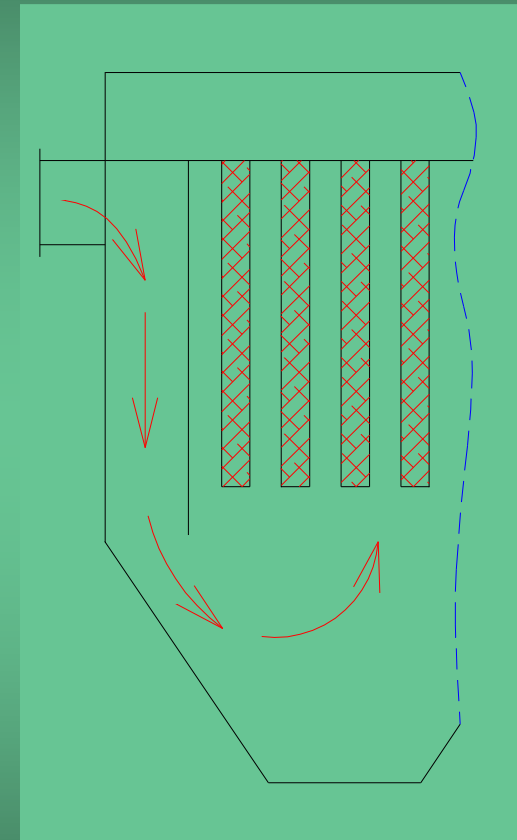
Staubabscheider für Einäscherungsanlagen

- Massenkraftabscheider
- Zyklone
- Wäscher
- Elektroabscheider
- Filternde Abscheider (Festbettabscheider)
- Filternde Abscheider (Gewebefilter)

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

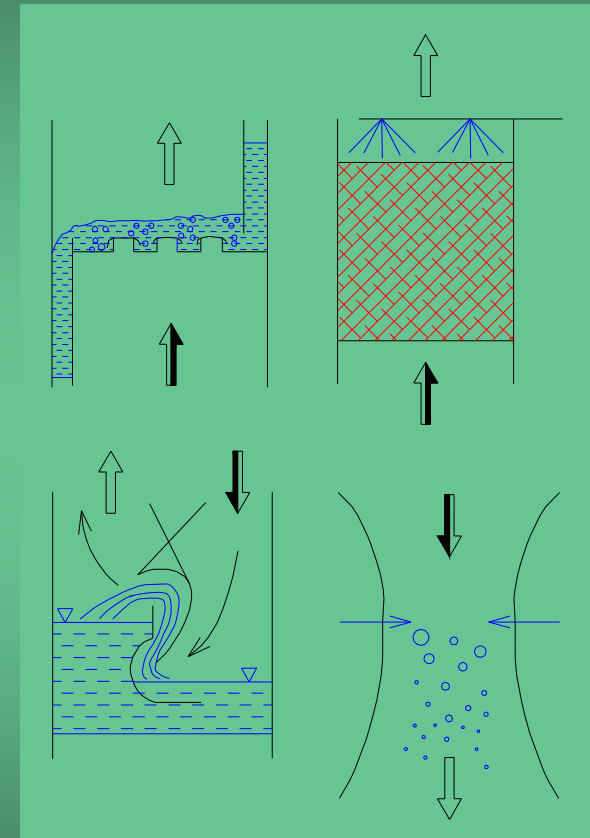
Staubabscheider für Einäscherungsanlagen (Massenkraftabscheider)

- Trägheitskraft, Schwerkraft
- Querstrom-, Gegenstrom-, Umlenk-, Ringspaltabscheider
- nur für große Partikel (50..100 μm),
Reingasstaubgehalt $> 50 \text{ mg/m}^3$
- als Einström-Geometrie in
Gewebefilter



Staubabscheider für Einäscherungsanlagen (Wäscher)

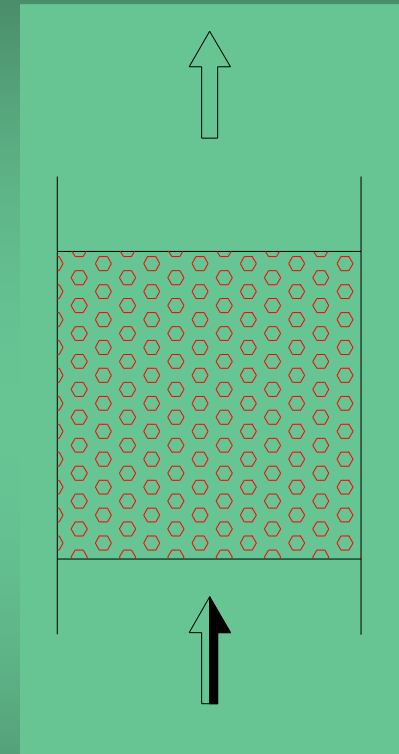
- Bindung der Partikel an Flüssigkeit (durchströmte Schicht, feste, gespülte Flächen, Anströmen einer Schicht, im Gas verteilte Tropfen)
- Probleme in Krematorien: Reingasstaubgehalt, Wasserdampffahne, vergleichsweise hohe Investkosten, hohe Druckverluste



Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

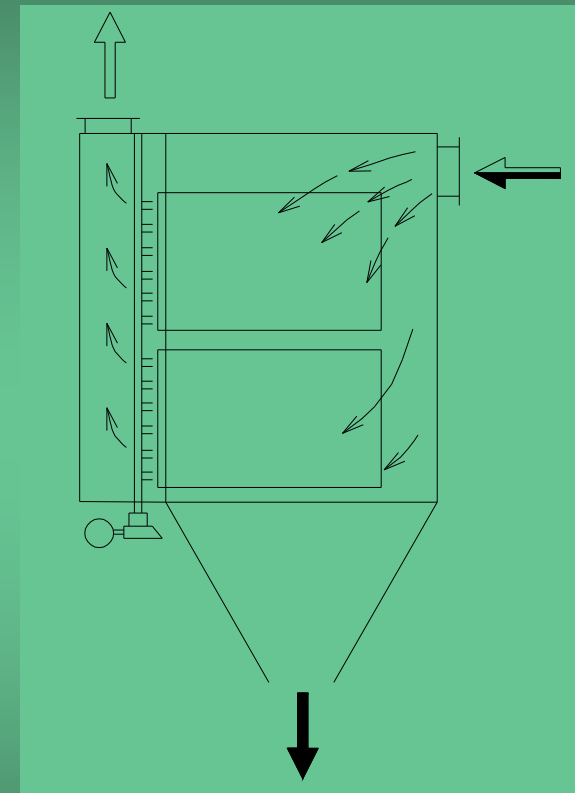
Staubabscheider für Einäscherungsanlagen (Filternder Abscheider - Festbettfilter)

- Bindung der Partikel an den Körnern der Schüttung bzw. in der Staubschicht auf der Oberfläche durch Diffusion/Trägheit
- Probleme in Krematorien: hoher Druckverlust zur Erreichung des Reingasstaubgehalts, Gefahr des Staubdurchbruchs bei hohen Volumenströmen, Abreinigung der Schüttung aufwändig
- Einsatz als Adsorptionsfilter



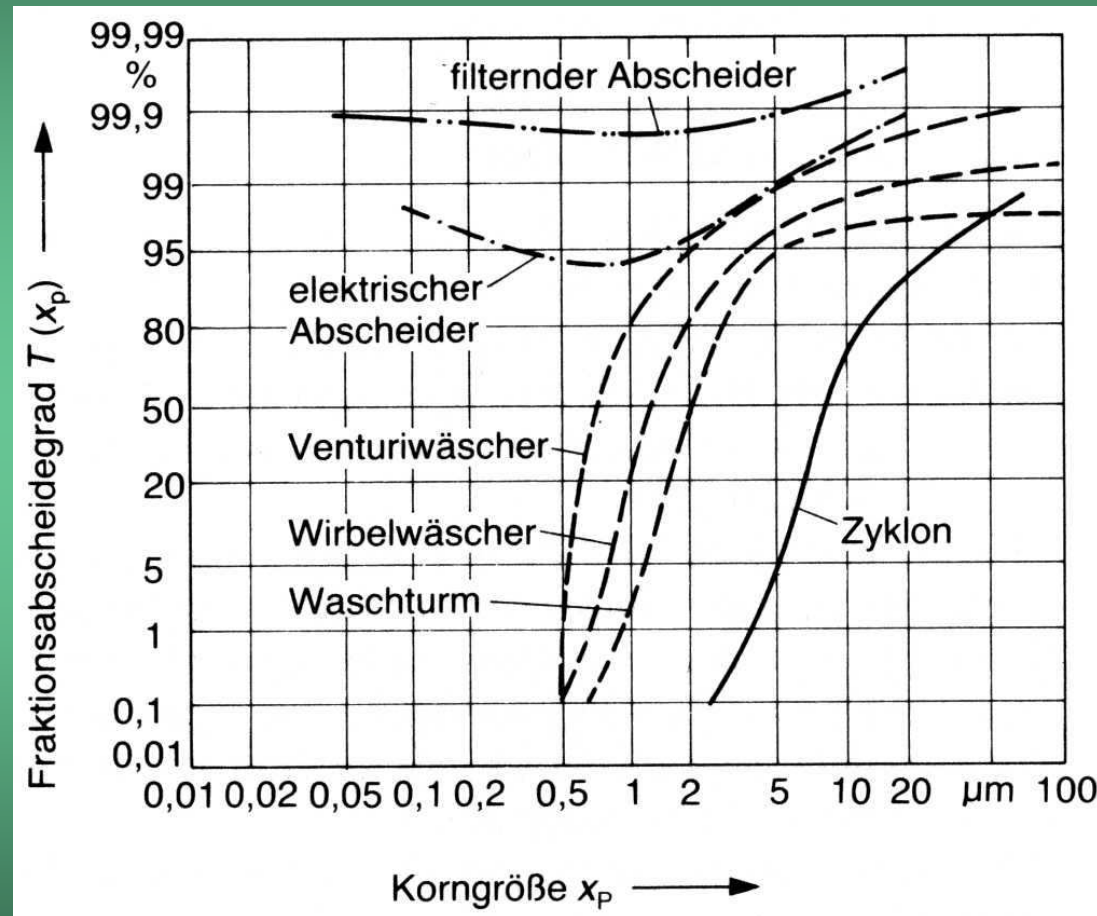
Staubabscheider für Einäscherungsanlagen (Filternder Abscheider - Gewebefilter)

- Abscheidung von Partikeln auf luftdurchlässigen Oberflächen bzw. Staubschichten
- Textile und keramische Filtermedien (Filterschläuche, -taschen, -kerzen)
- Gute Abscheidung aller Partikelgrößen, Reingasstaubgehalte $< 5 \text{ mg/m}^3$ leicht erreichbar
- Problem: Brandgefahr



Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Staubabscheider für Einäscherungsanlagen (Vergleich - Fraktionsabscheidegrad)



Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Physikalische Staubeigenschaften

KenngroÙe	Einheit	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4
x10	μm	1,58	1,53	1,67	1,73
x50	μm	7,17	6,46	6,72	8,16
x90	μm	17,98	16,7	15,9	22,49
Dichte	kg/m^3	2,47	2,46	2,51	2,61
Analysenfeuchtigkeit	%	3,04	2,11	2,09	0,975
Schüttdichte	kg/m^3	0,149	0,120	0,151	0,155

Physikalische Eigenschaften von Staubproben

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Schadstoffgehalte

Element	Einheit	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	
Arsen	As	mg/kg	32	< 5	< 5	< 5	< 5
Blei	Pb	mg/kg	1630	1100	1100	1200	3900
Cadmium	Cd	mg/kg	37	94	81	120	130
Chrom	Cr	mg/kg	1700	2300	2700	2500	3300
Kupfer	Cu	mg/kg	261	470	570	420	720
Nickel	Ni	mg/kg	287	270	290	200	440
Quecksilber	Hg	mg/kg	530	170	190	500	120
Zink	Zn	mg/kg	20850	37000	41000	51000	16000
PCDD/PCDF	I-TEQ	ng/kg	100119	9256	13106	77866	49503

Schwermetall- und Dioxin-/Furan-Gehalte von Staubproben

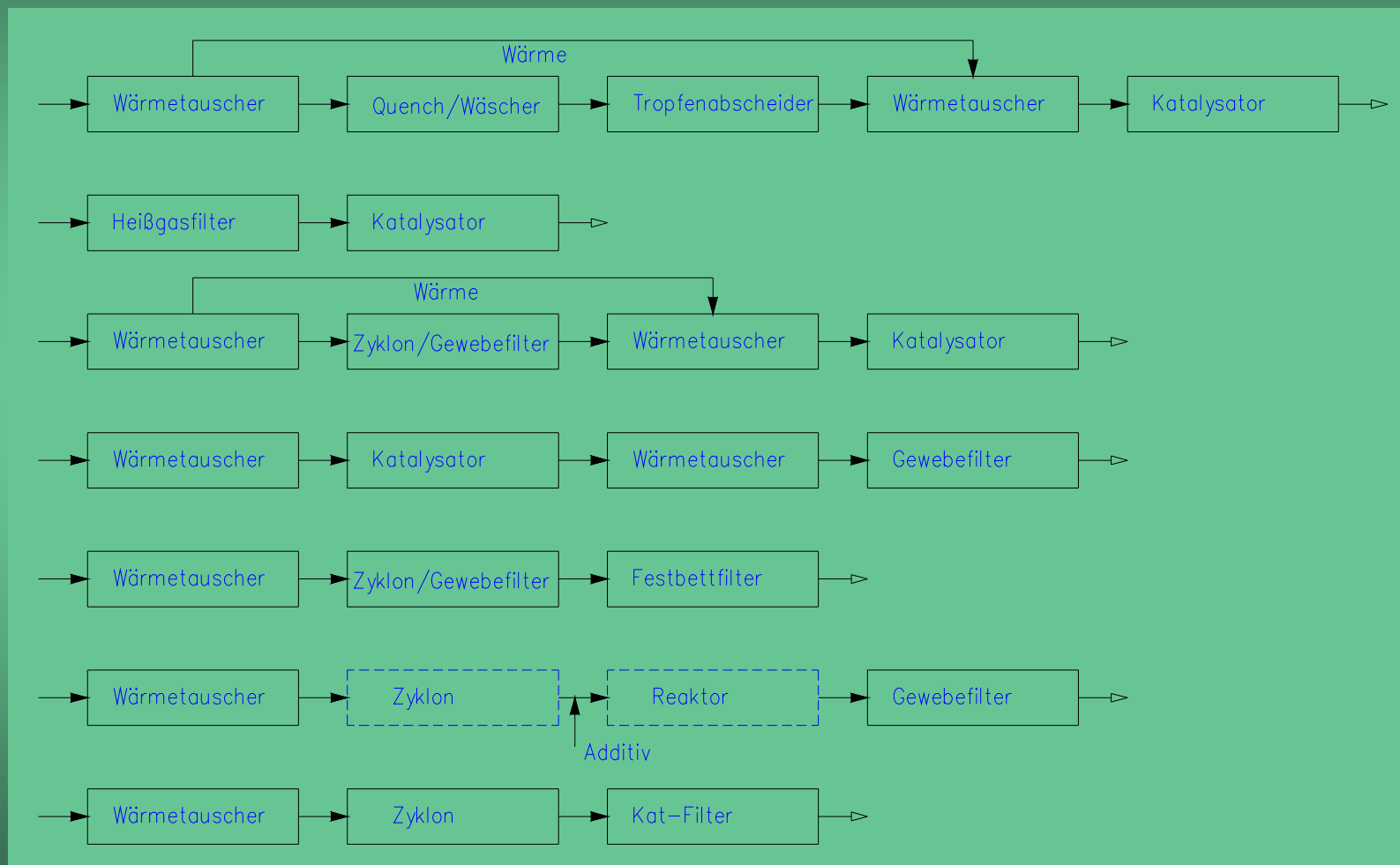
Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Abscheidung gasförmiger Schadstoffe

- Varianten der weitergehenden Rauchgasreinigung
- Stand der Ausrüstung deutscher Krematorien
- Flugstromverfahren
- Festbettfilterverfahren
- Katalytische Verfahren
 - Heißgasfilter, Katalysator im Reingas
 - Katalysator im Rohgas, Gewebefilter
 - Gewebefilter mit katalytischer Ausrüstung

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Weitergehende Abgasreinigung - Varianten



Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

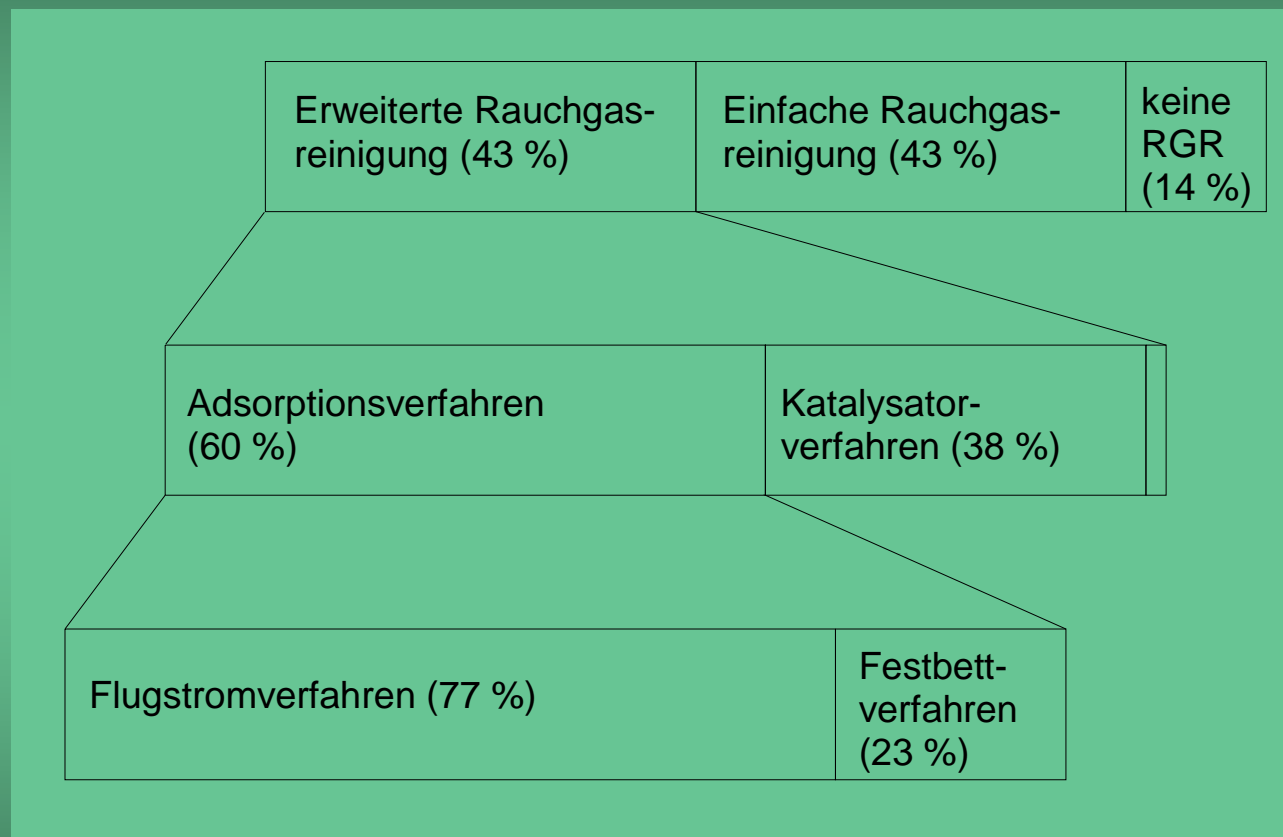
Stand der Ausrüstung (1998)

Krematorien in Deutschland		111
Einäscherungsöfen, insgesamt		211
Ofenbauformen	Etagenöfen	73,1 %
	Flachbettöfen	26,1 %
Betriebsarten	Gas	90 %
	Elektro	8 %
	Öl	2 %

Studie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
(15.12.98)

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

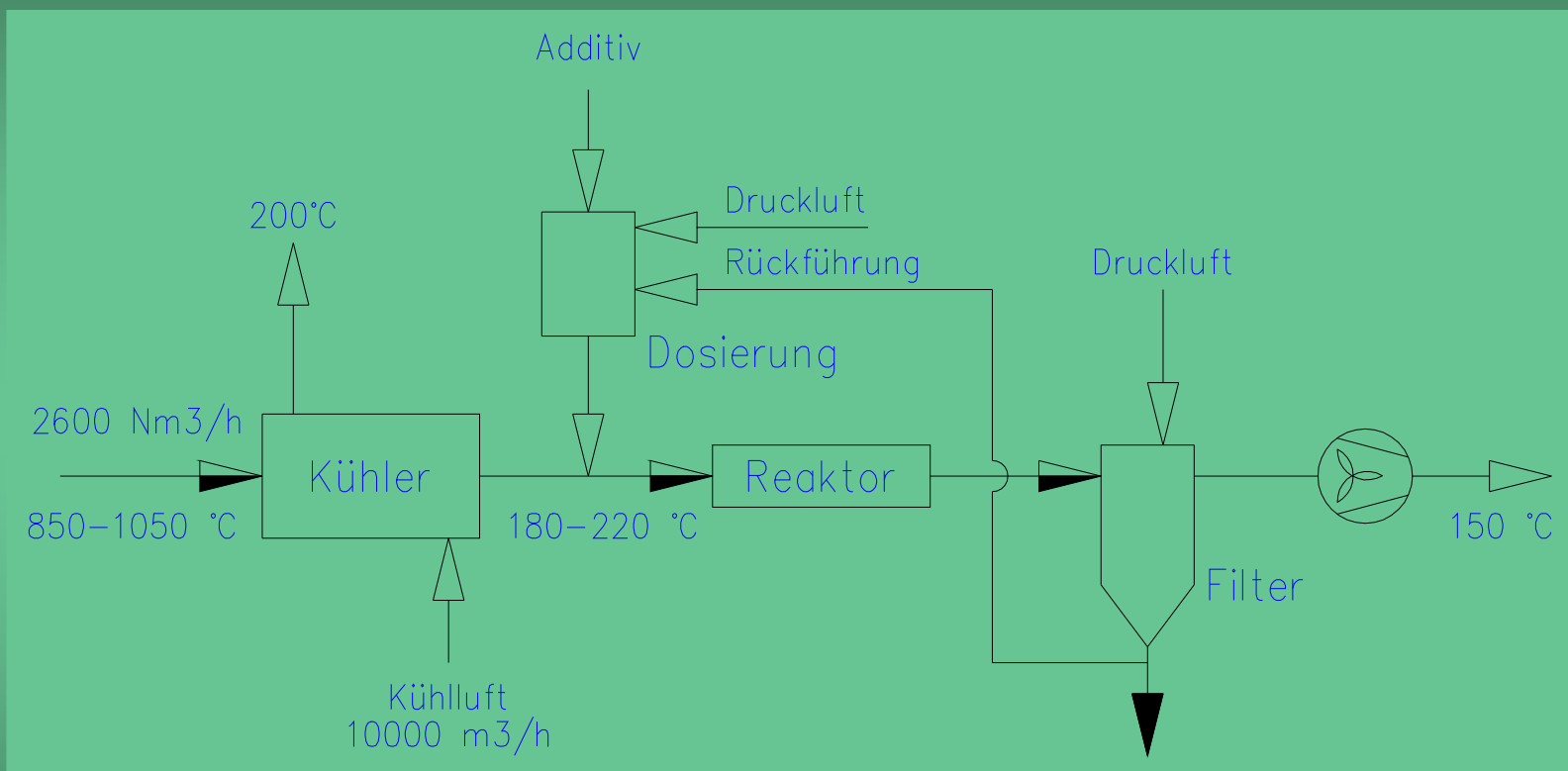
Stand der Ausrüstung (1998)



Studie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
(15.12.98)

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Flugstromverfahren (Additiv-Verfahren)



Verfahrensschema Flugstromverfahren

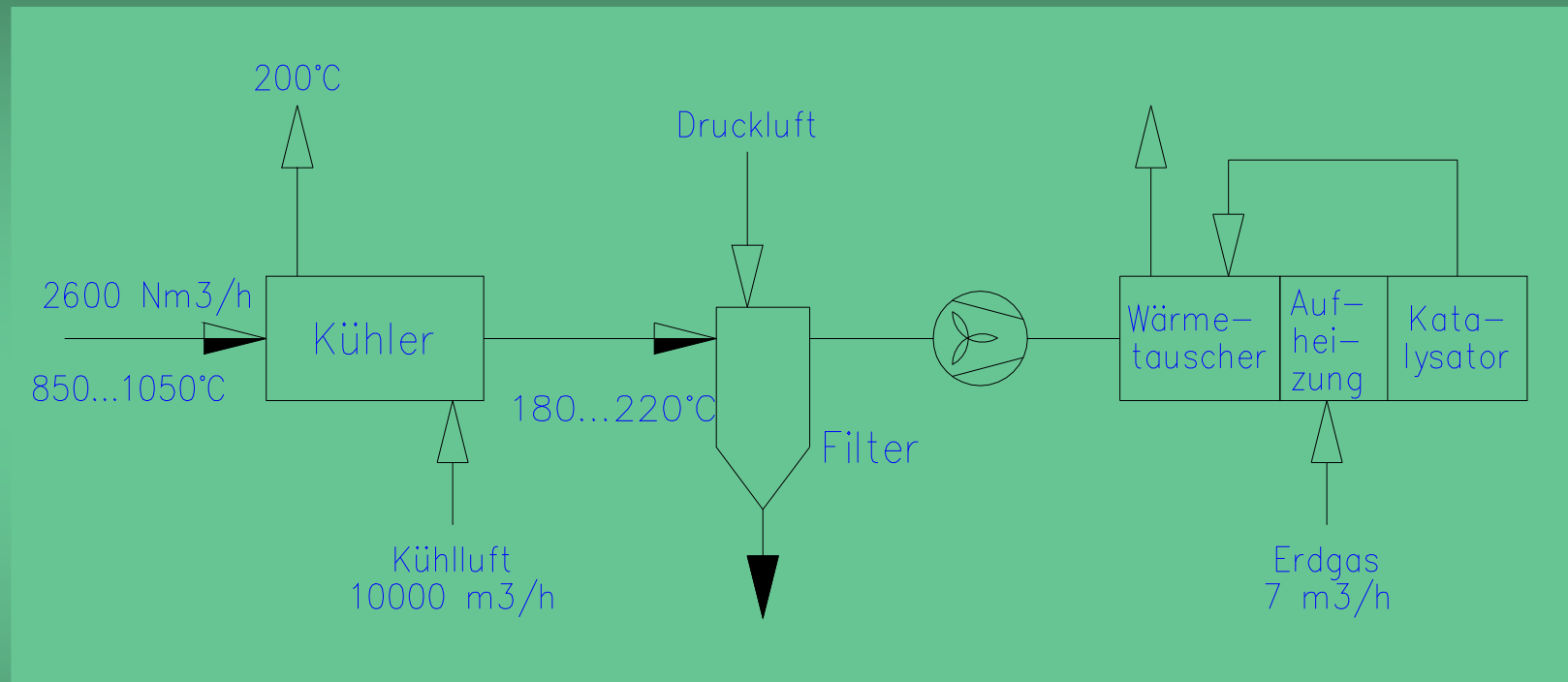
Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Flugstromverfahren (Additiv-Verfahren)

- Additive: Calciumhydroxid/Aktivkohle
Calciumhydroxid/Aktivkohle/Herdfenkoks
Natriumbicarbonat
- Abscheidung von sauren Schadgasen, Dioxine/Furanen und Quecksilber
- geringer Platzbedarf
- anlagentechnischer Aufwand relativ niedrig - geringe Investitionskosten
- Additiv-Rezirkulation zur besseren Ausnutzung
- zusätzlicher Anfall von Reststoffen (Untertagedeponie)

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Katalytische Rauchgasreinigung



Verfahrensschema Katalysatorverfahren („Kaltes Filter“)

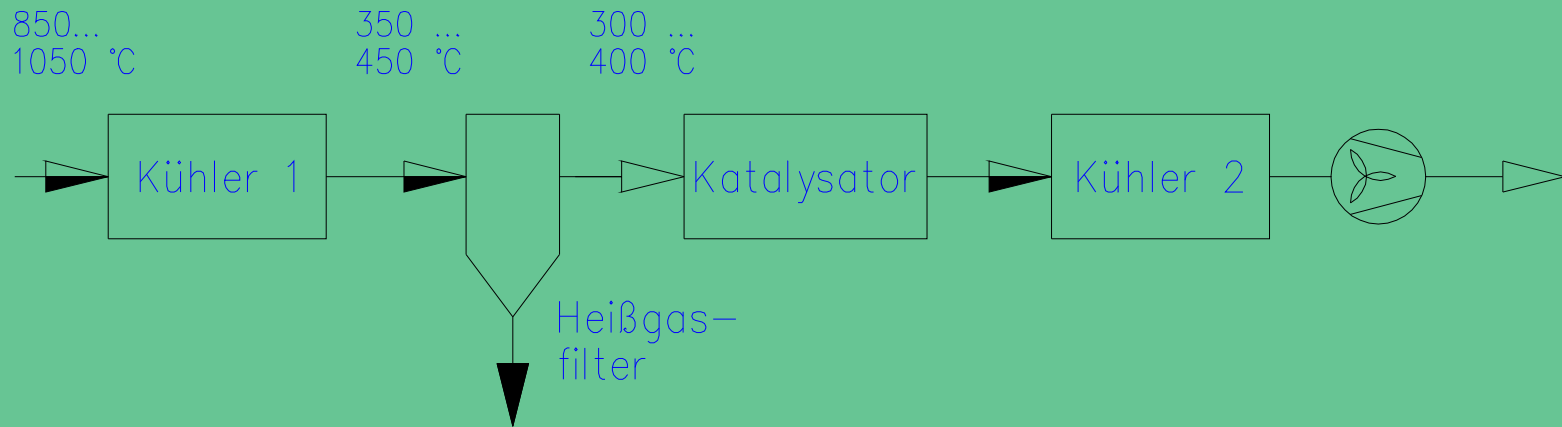
Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Katalytische Rauchgasreinigung

- Cordieritwaben, Molekularsiebe oder metallischer Träger mit Platindotierung
- Abscheidung von Kohlenmonoxid, unverbrannten Kohlenwasserstoffen und Dioxinen/Furanen
- reststoffreien Umsetzung der Schadstoffe (verbrauchte Katalysatoren werden meist vom Hersteller zurückgenommen)
- mögliche Zerstörung durch Katalysatorgifte (Hg, SO₂, HCl und HF)
- geringe Standzeitgarantien der Hersteller
- noch keine Erfahrungen zum Einsatz über einen längeren Zeitraum unter den Betriebsbedingungen von Einäscherungsöfen
- höherer anlagen- und regelungstechnischer Aufwand sowie höhere Betriebskosten

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Katalytische Rauchgasreinigung (Varianten)

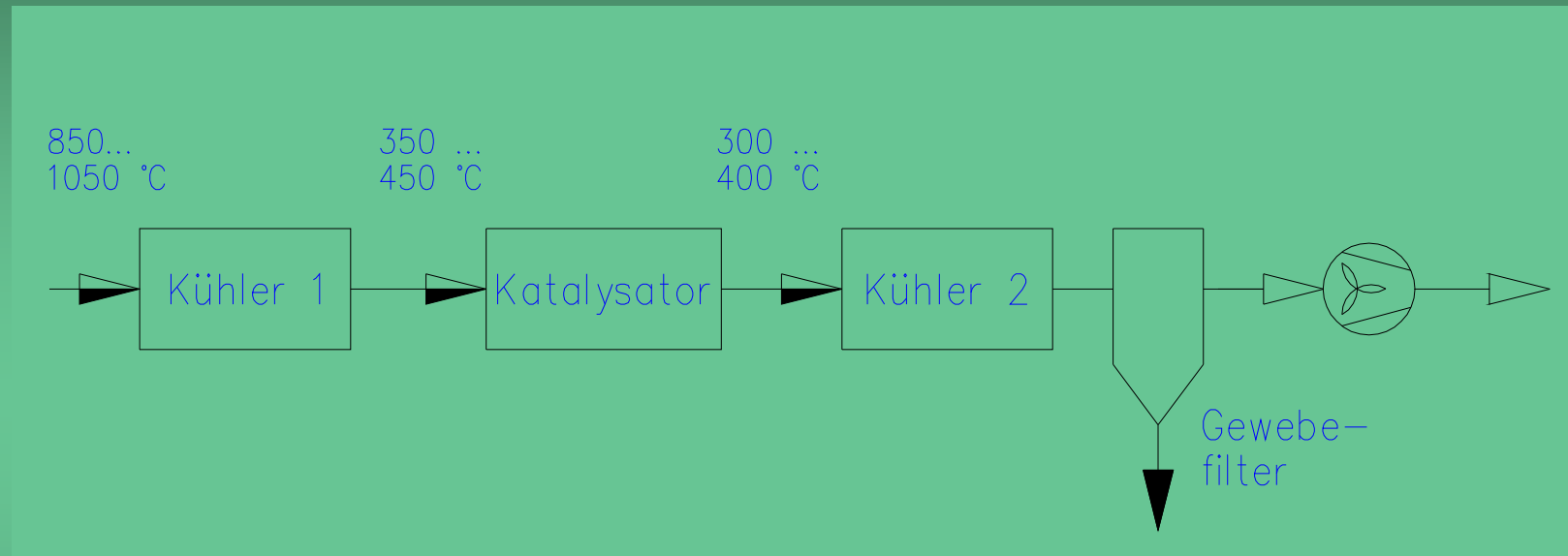


Verfahrensschema Katalysatorverfahren („Low Dust“)

- Bildung von PCDD/F im Heißgasfilter
- Verringerte Abscheidung von Quecksilber

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Katalytische Rauchgasreinigung (Varianten)

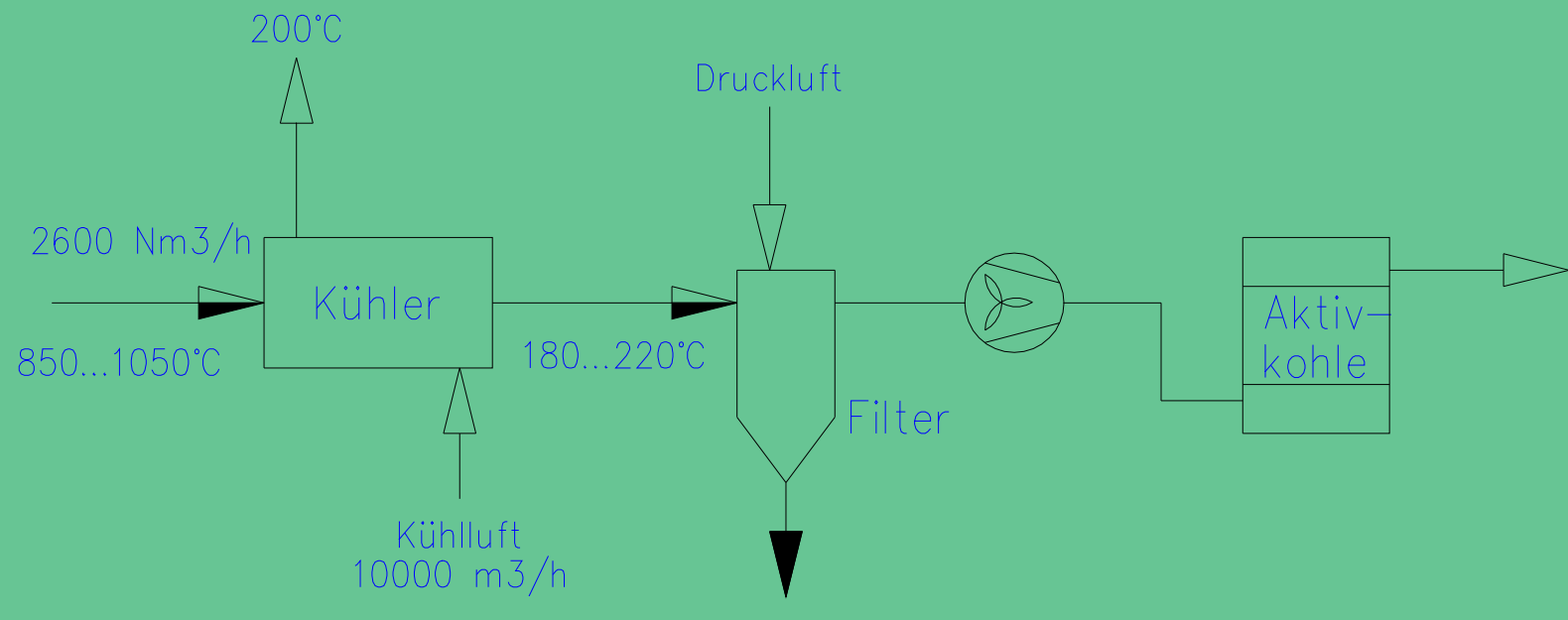


Verfahrensschema Katalysatorverfahren („High Dust“)

- Verschmutzung, Verstopfung und Abrieb des Katalysators

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Festbettverfahren



Verfahrensschema Festbettverfahren

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Festbettverfahren

- Aktivkohle, Aktivkoks oder Herdofenkoks bzw. Gemische
- Abscheidung von Quecksilber und Dioxinen/Furanen
- große Effektivität auch bei geringen Schadstoffkonzentrationen
- zusätzliche Sicherheits- und Meßeinrichtungen (CO-Überwachung und Anlage zur Inertisierung des Filters)
- Reststoffanfall, da der Inhalt des Filter regelmäßig (z.B. jährlich) gewechselt werden muß

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Festbettverfahren - Erfahrungen und Weiterentwicklung

- Erfahrungen aus realisierten Anlagen
- Messwerte
- Weiterentwicklung - 2-Schicht-Filter

- Emissionsverhalten der PCDD/F

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Erfahrungen mit Festbettfilter-Anlagen

Vorteile der Festbettfiltertechnik:

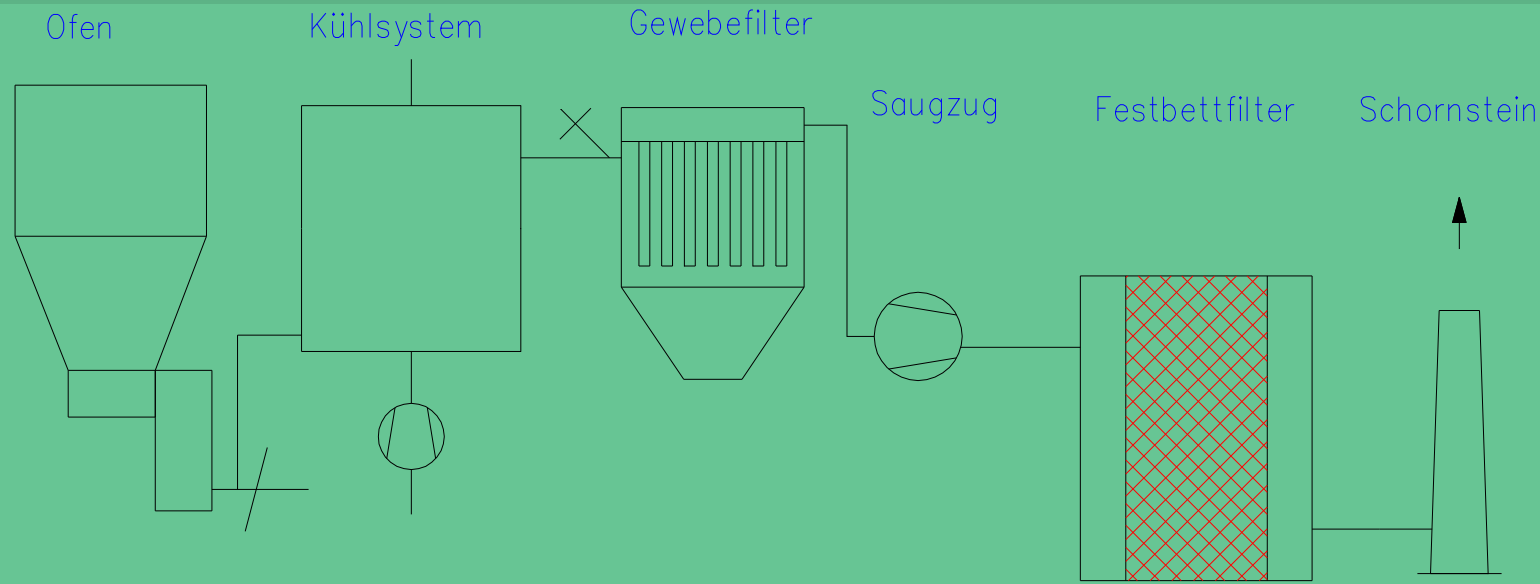
- große Abscheideeffektivität bei geringen Schadstoffkonzentrationen
- hohe Speicherkapazität, relative Unempfindlichkeit gegenüber Schadstoffspitzen
- Betrieb ohne Bedienungsaufwand
- zusätzlich mögliche Abscheidung von Schwermetallen und sauren Schadgasen

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Erfahrungen mit Festbettfilter-Anlagen (Anlagenlayout)

Gewebefilter Staubabscheidung

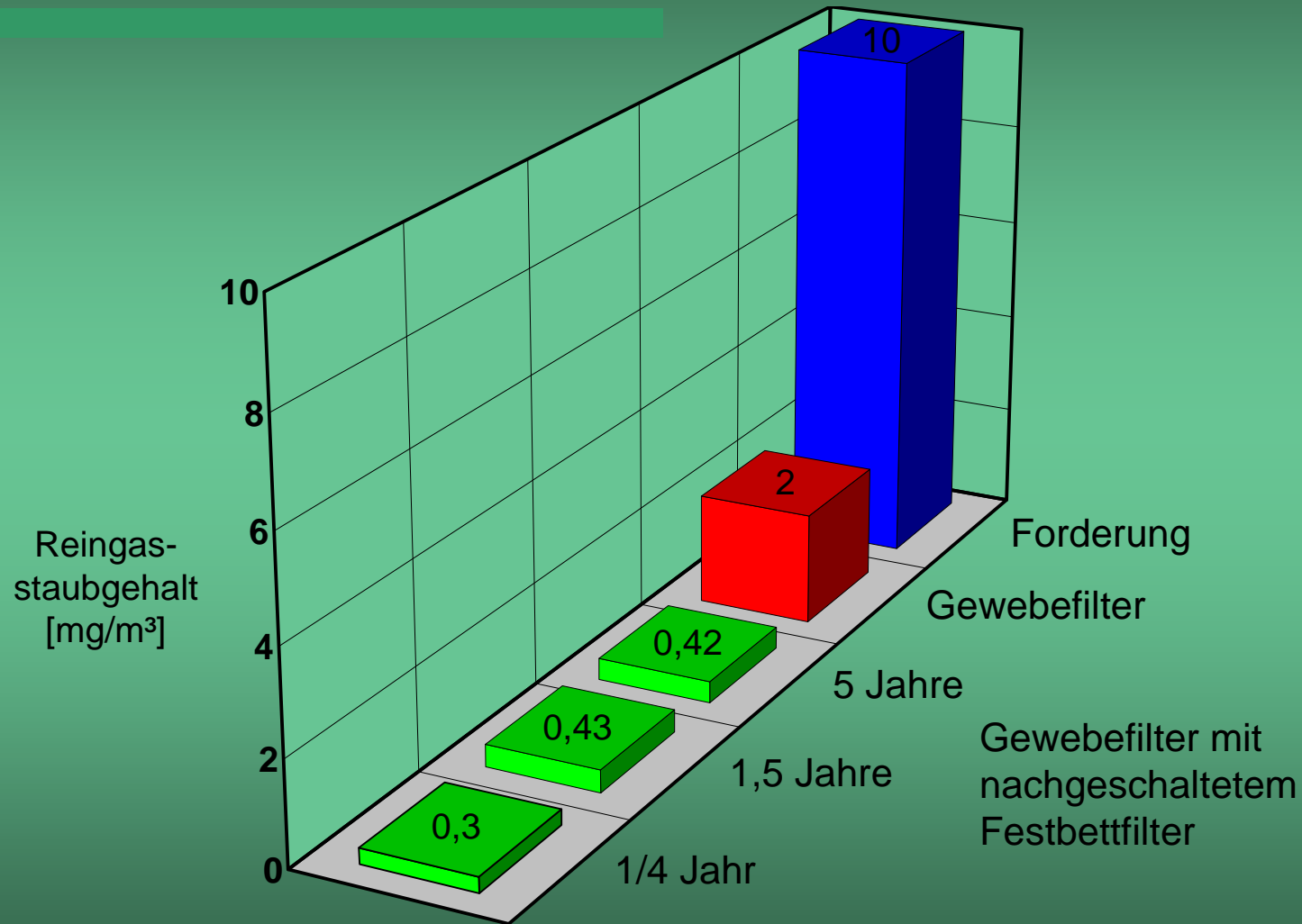
Festbettfilter Schadgasadsorption/Feinstaubabscheidung



Schema einer Rauchgasreinigungsanlage mit Gewebe- und Festbettfilter

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Erfahrungen mit Festbettfilter-Anlagen (Verbesserte Staubabscheidung)

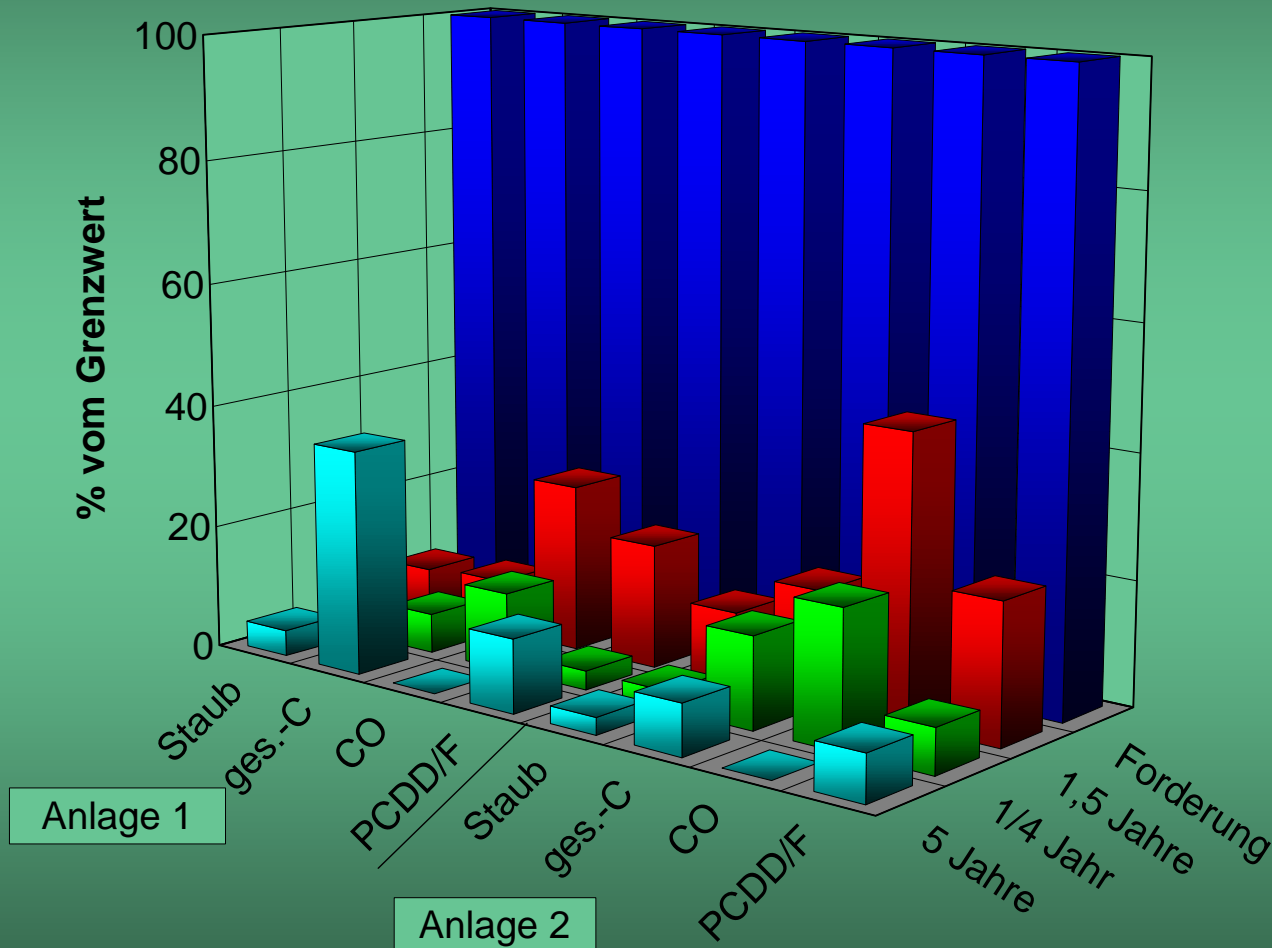


Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Erfahrungen mit Festbettfilter-Anlagen (Realisierte Anlagen)

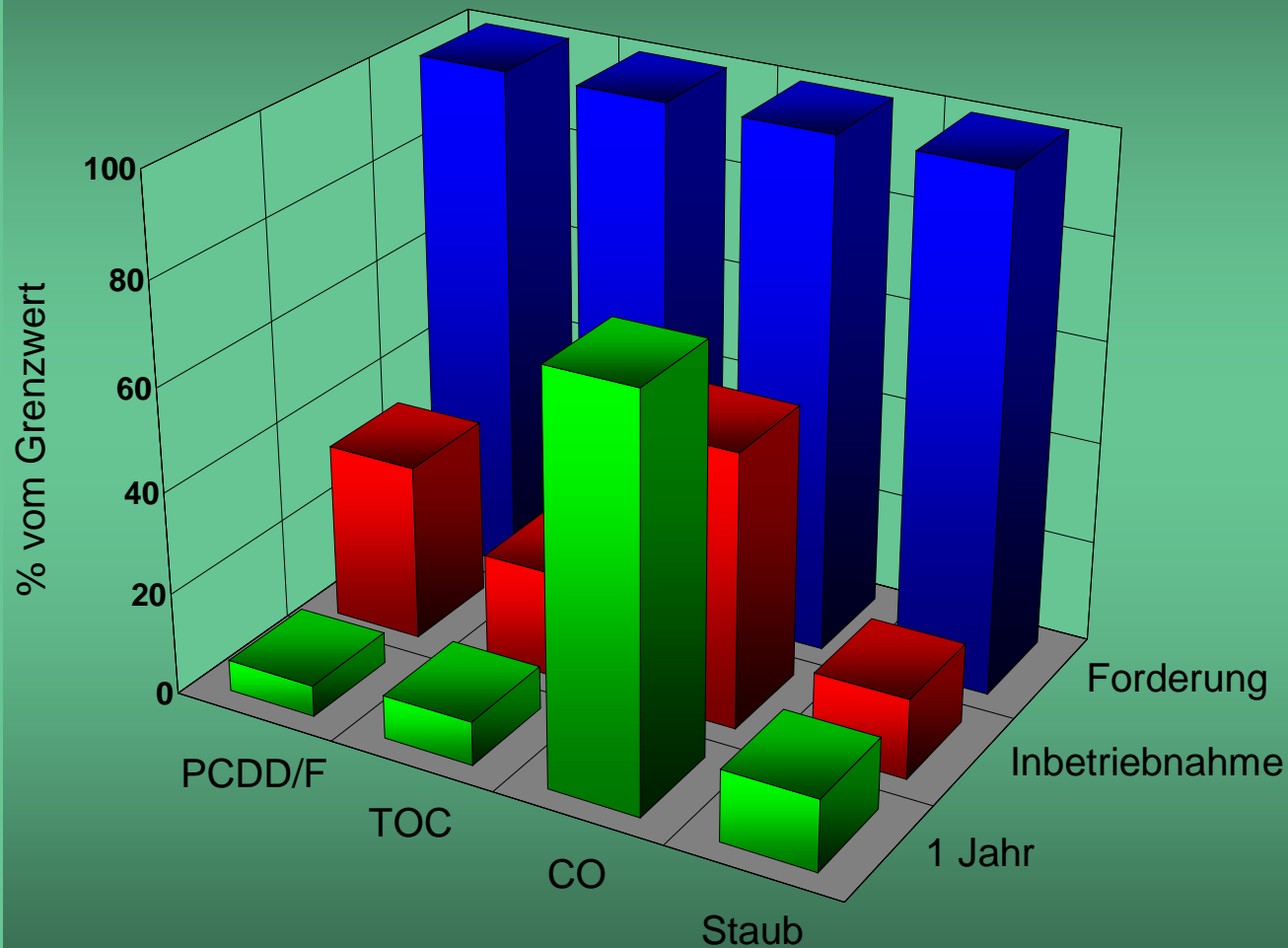
- 1996 Potsdam (2 Anlagen neu)
- 1998 Aachen (2 Anlagen neu)
- 1999 Gera (1 Anlage neu)
- 1999 Meißen (2 Anlagen ertüchtigt)
- 2000 Görlitz (1 Anlage ertüchtigt)

Messwerte Krematorium Potsdam (1996 - 2001)



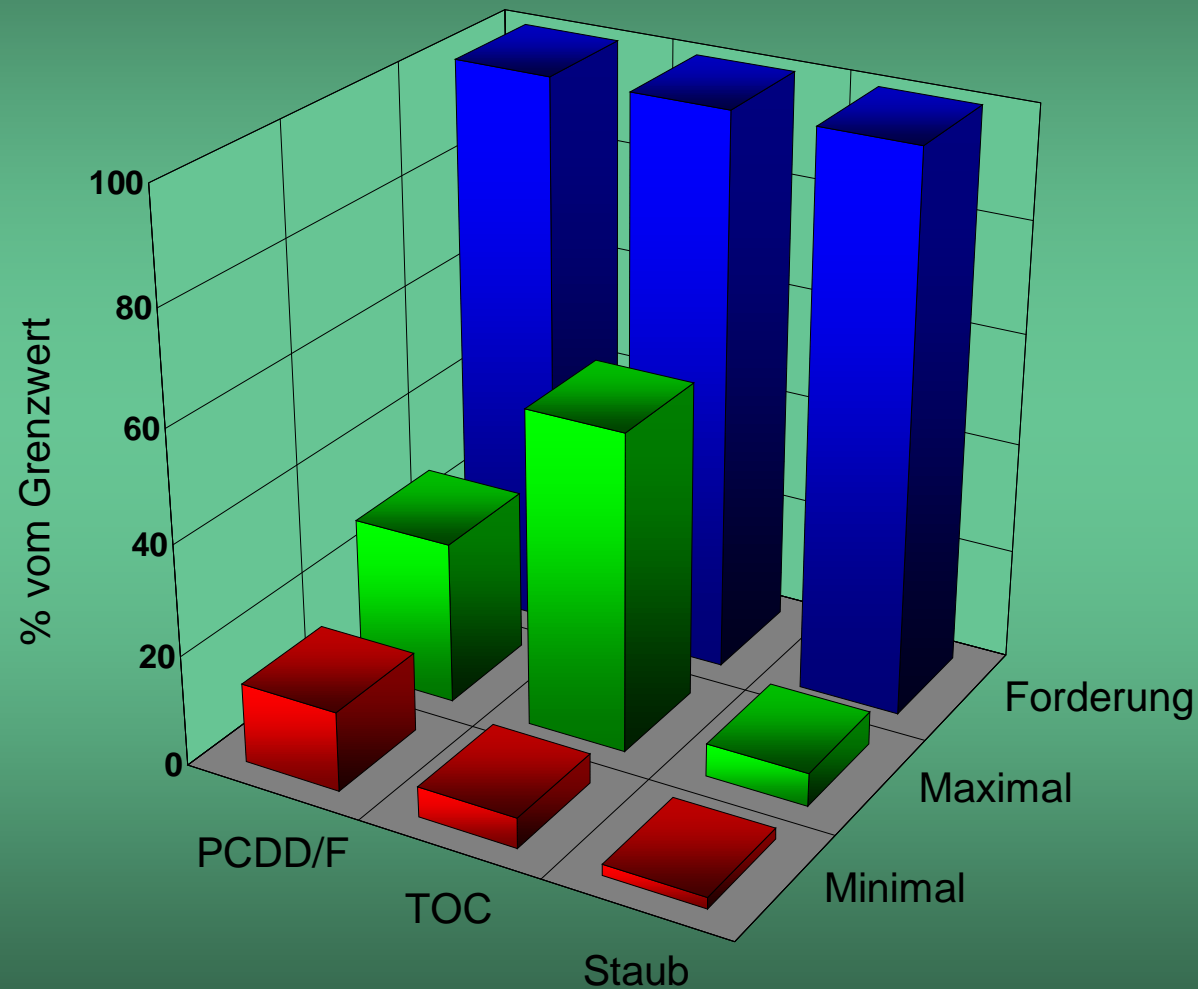
Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Messwerte Krematorium Gera (02/2000, 03/2001)



Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

Messwerte (Krematorium Görlitz 11/2000)



Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

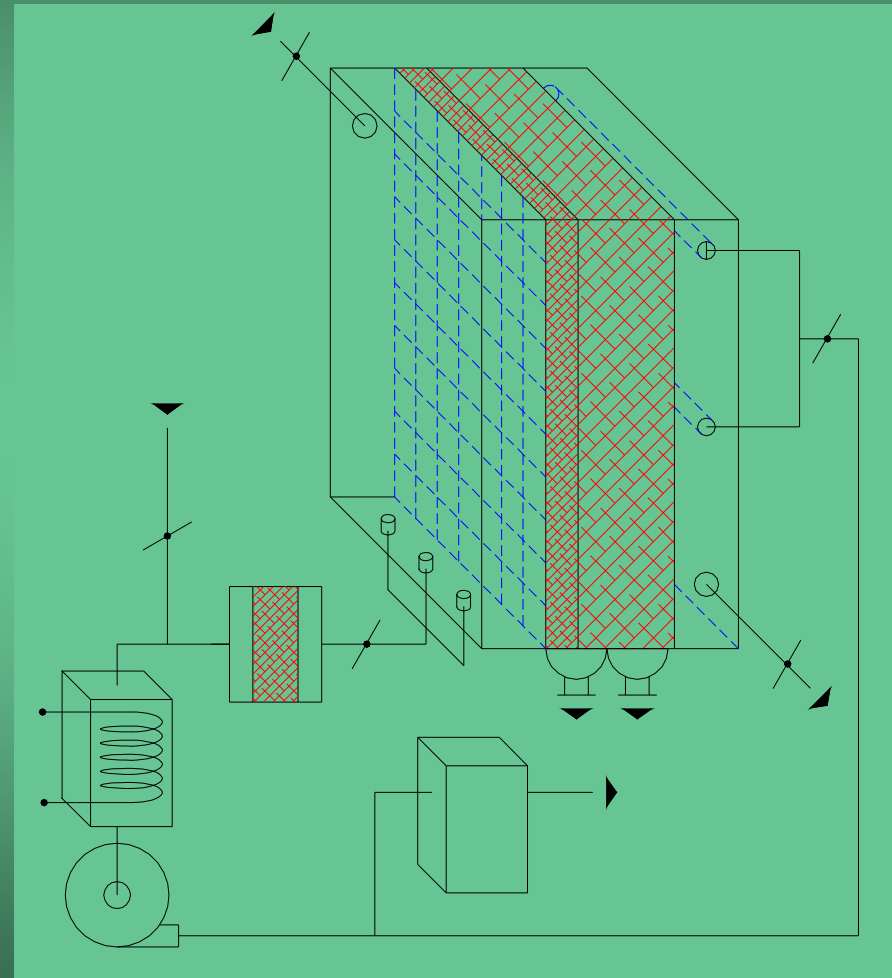
2-Schicht-Filter (Idee)

- Ausgangspunkt: unterschiedliche Eindringtiefe von Schadstoffen in das Festbett
- Verwendung von 2 unterschiedlichen Schichten:
 - Vorschicht: Abscheidung und Ausschleusung von Staub, Quecksilber, saueren Schadstoffen
 - Hauptschicht: Langzeit-Abscheidung von Dioxinen/Furanen
im Filter durch Heizkreis thermisch regenerierbar, ausgetriebene PCDD/F werden mittels Katalysator zerstört

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

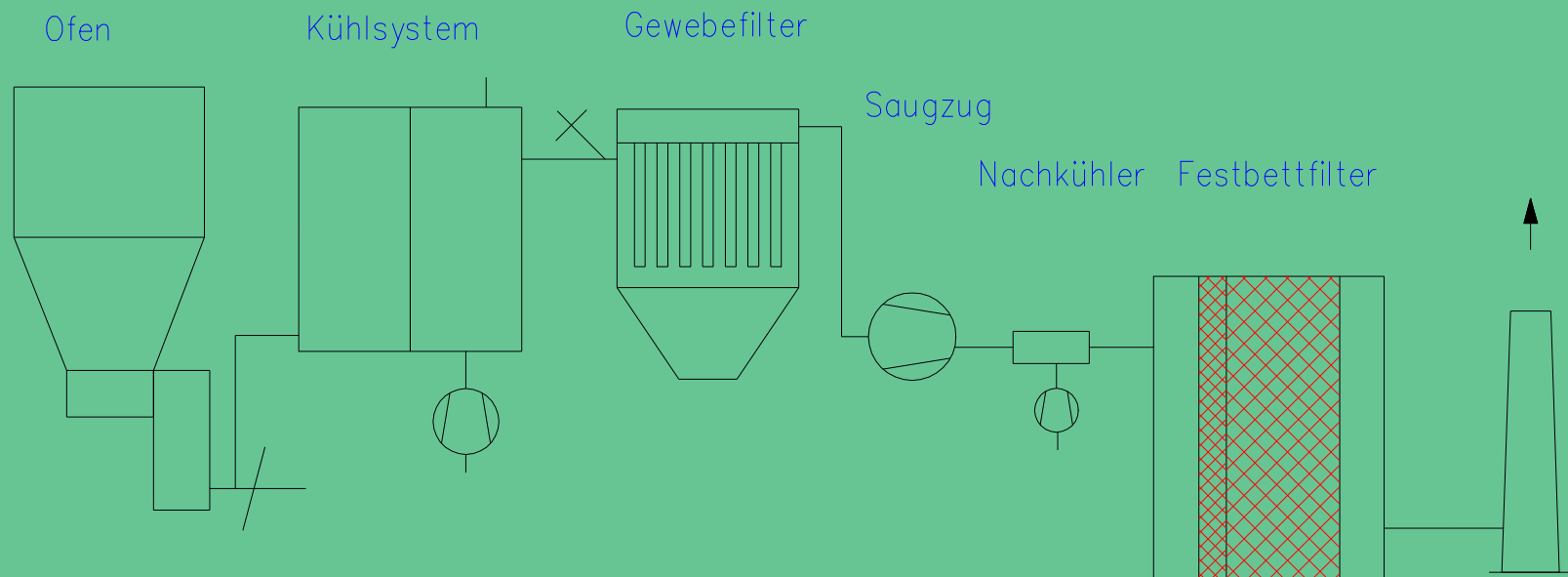
2-Schicht-Filter (Aufbau)

- Festbettfilter mit 2 stehenden Schichten
- Regenerier-/Aufheizkreis mit Heizregister und Katalysator



Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

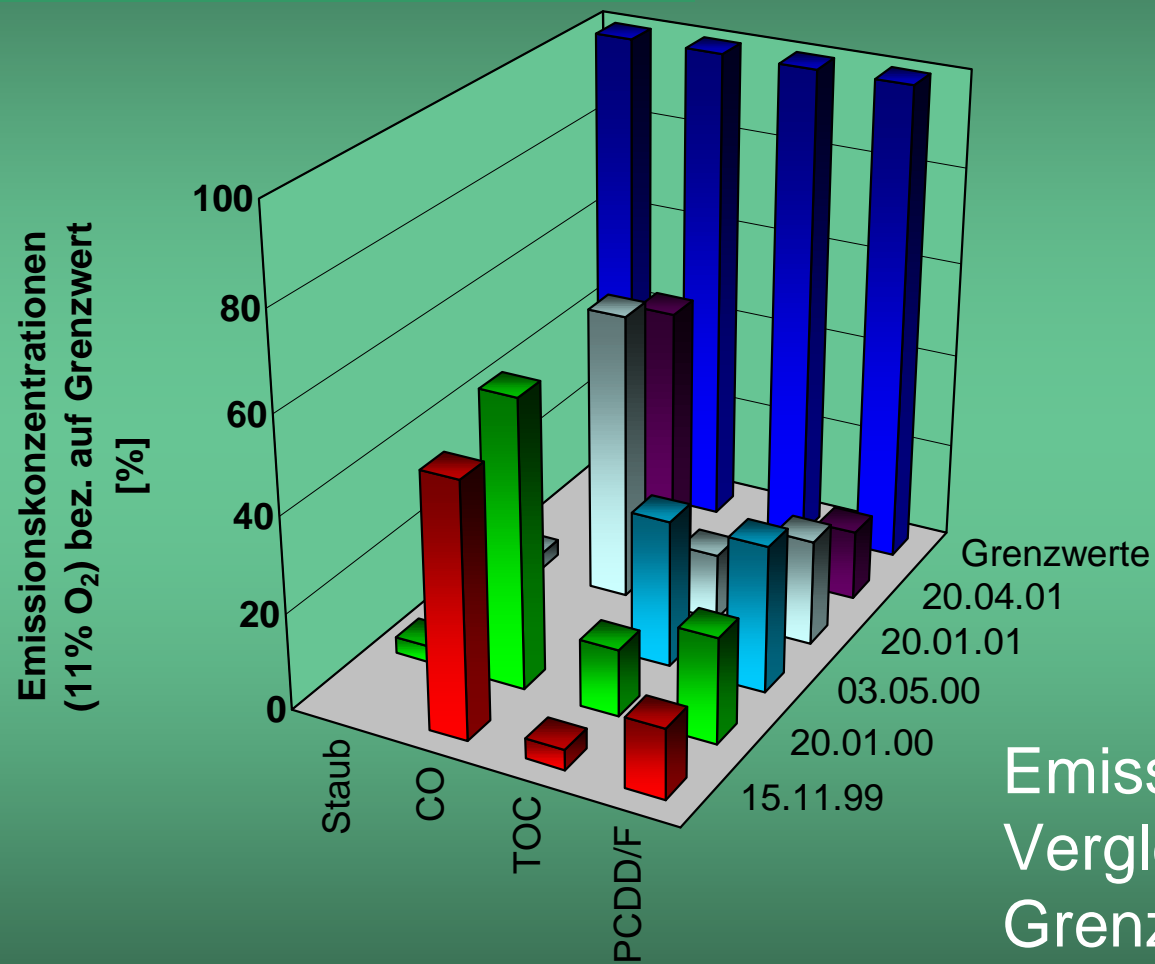
2-Schichtfilter (Anlagenschema)



Schema der Anlagen mit dem 2-Schichtfestbettfilter

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

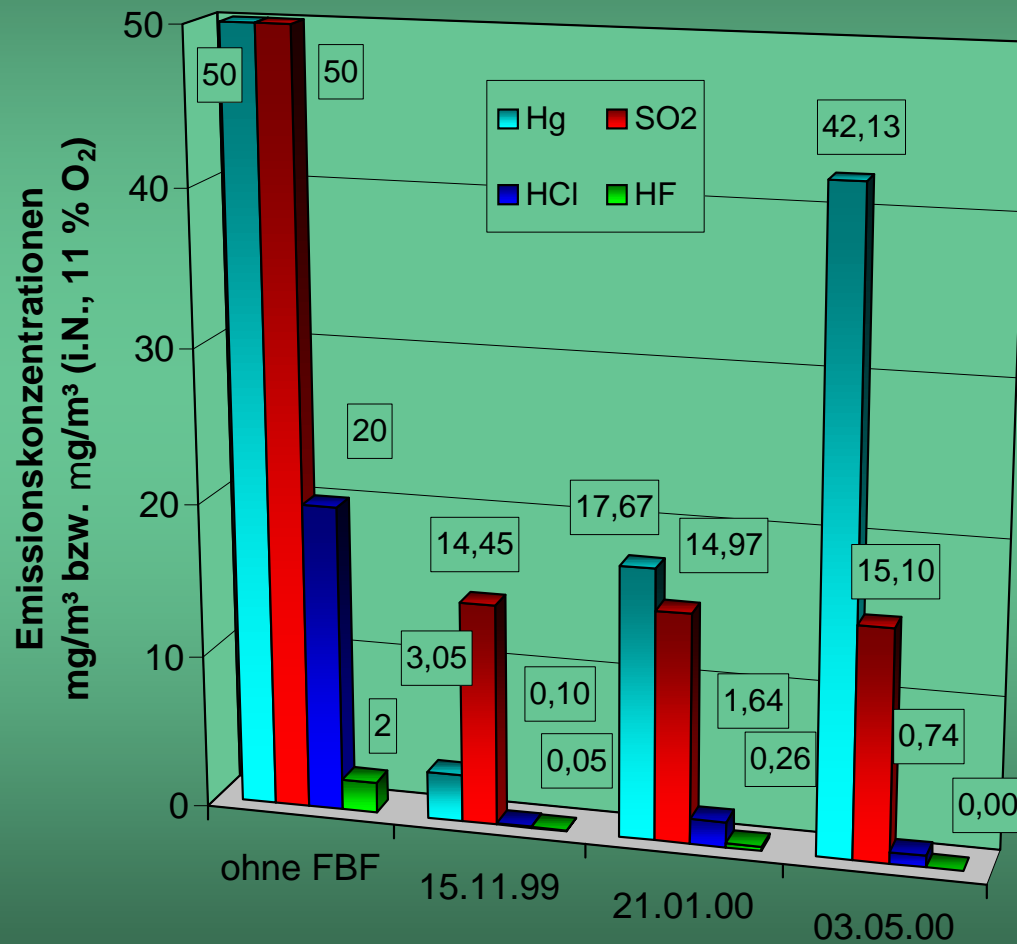
2-Schicht-Filter (Emissionen)



Emissionen im Vergleich mit den Grenzwerten

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen am Beispiel von Einäscherungsanlagen

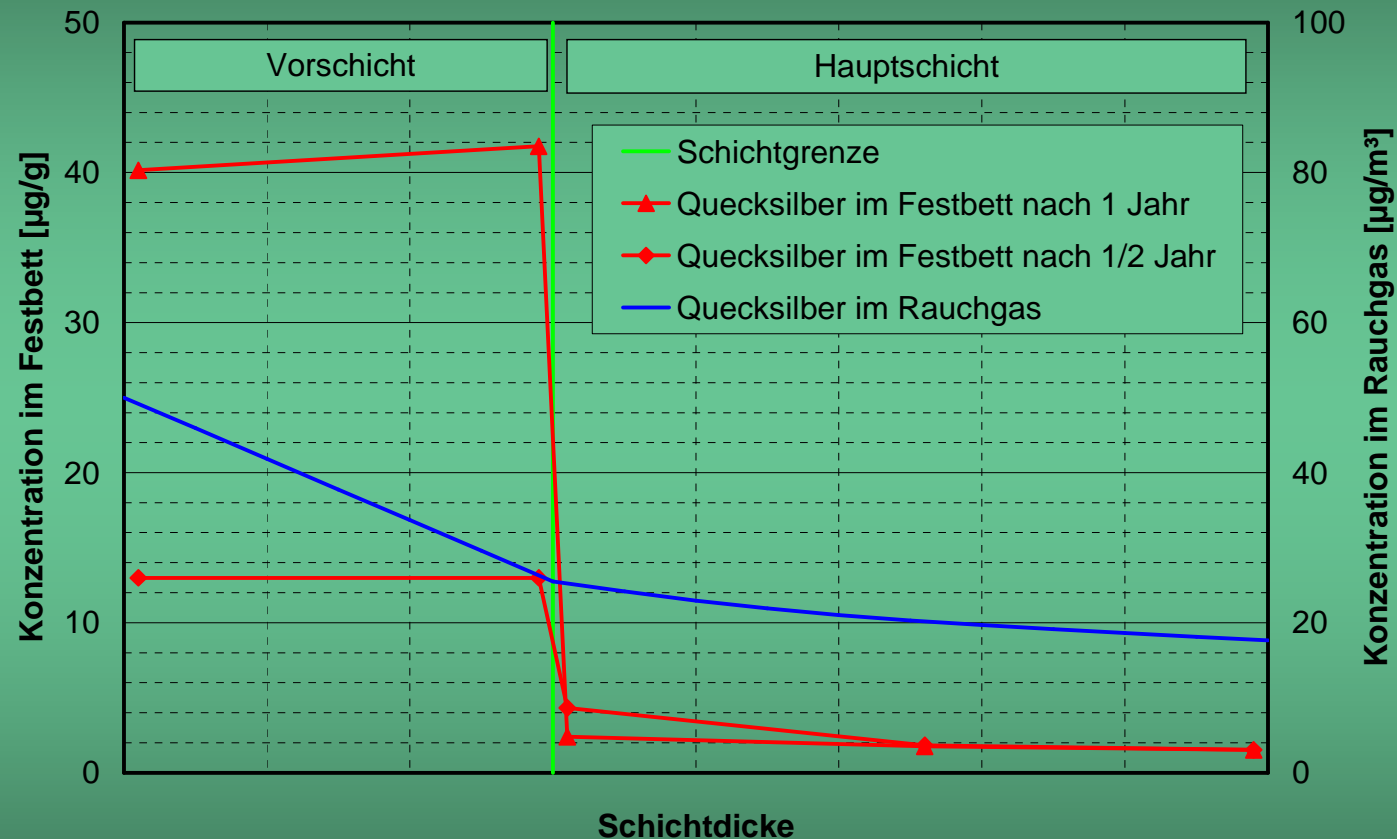
2-Schicht-Filter (Emission weiterer Schadstoffe)



Emissionen
weiterer
Schadstoffe

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

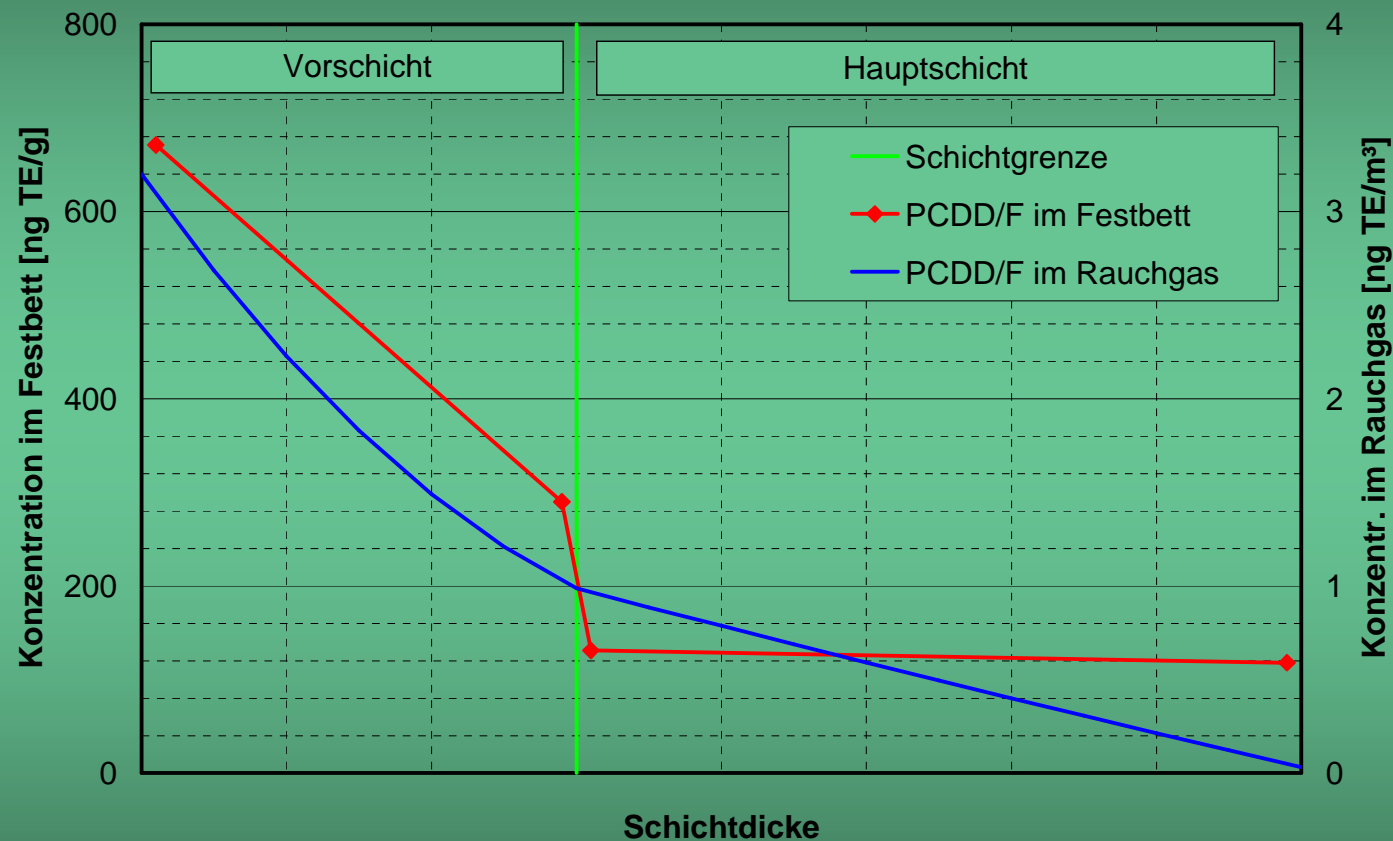
2-Schicht-Filter (Hg-Beladung und -Konzentration)



Beladung der Schicht mit Hg und Rauchgaskonzentration

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

2-Schicht-Filter (PCDD/F-Beladung und -Konzentration)



Beladung der Schicht mit PCDD/F und RG-Konzentration

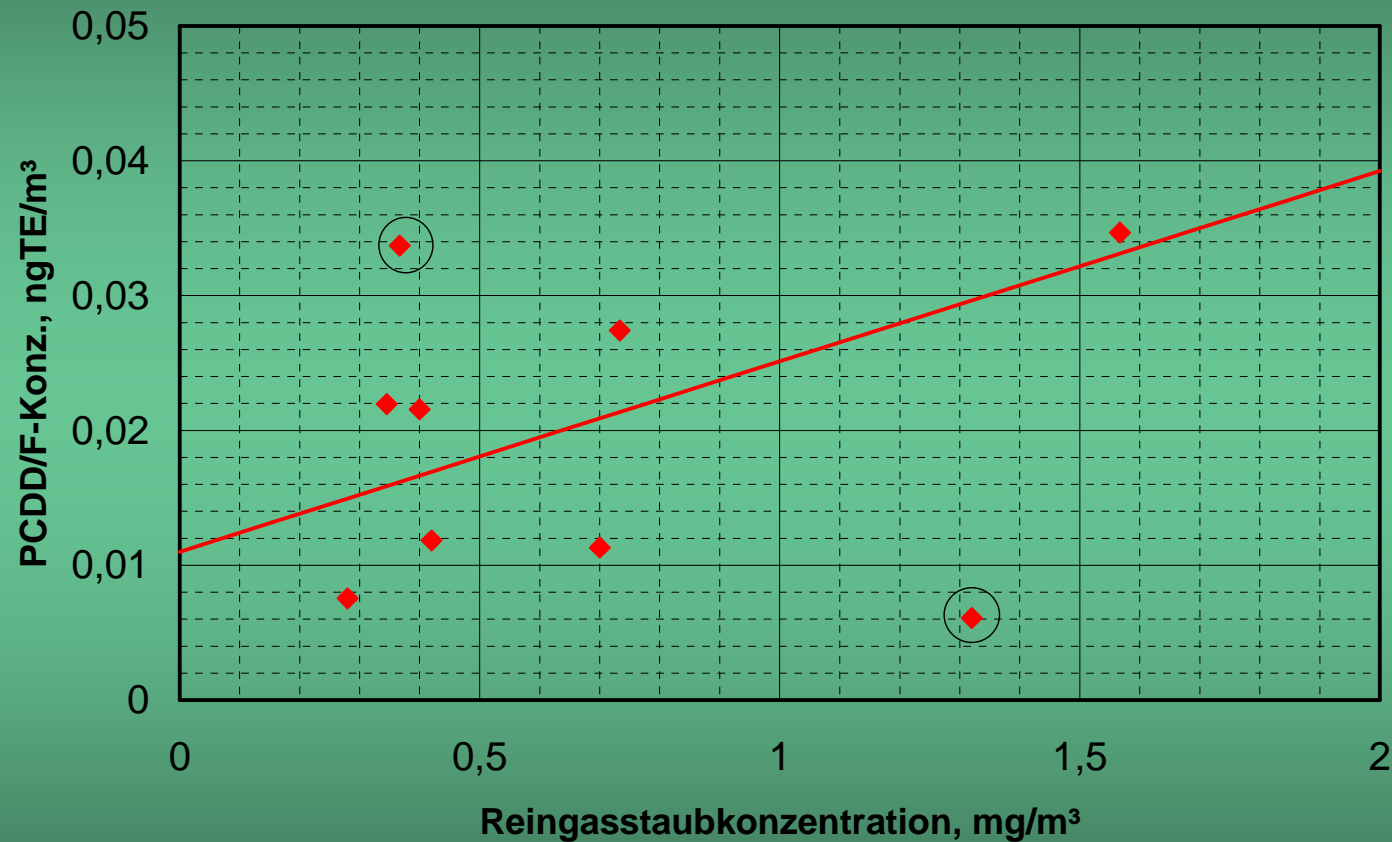
Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

2-Schicht-Filter (Vorteile)

- Betriebssicherheit durch unbrennbare Schüttschichten
- Kostensenkung Wegfall Überwachung/Inertisierung
- erhebliche Einsparung Adsorbens/Entsorgung
- geringerer Druckverlust (Schichtdicke, Körnung)
- lange Standzeit des Festbetts
- Abscheidung von Feinstaub, sauren Schadgasen und Quecksilber
- geringer Wartungs- und Bedienungsaufwand
- ökologisch günstig (Energieeinsparung, Verminderung der Abfallmenge, Abscheidecharakteristik)

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

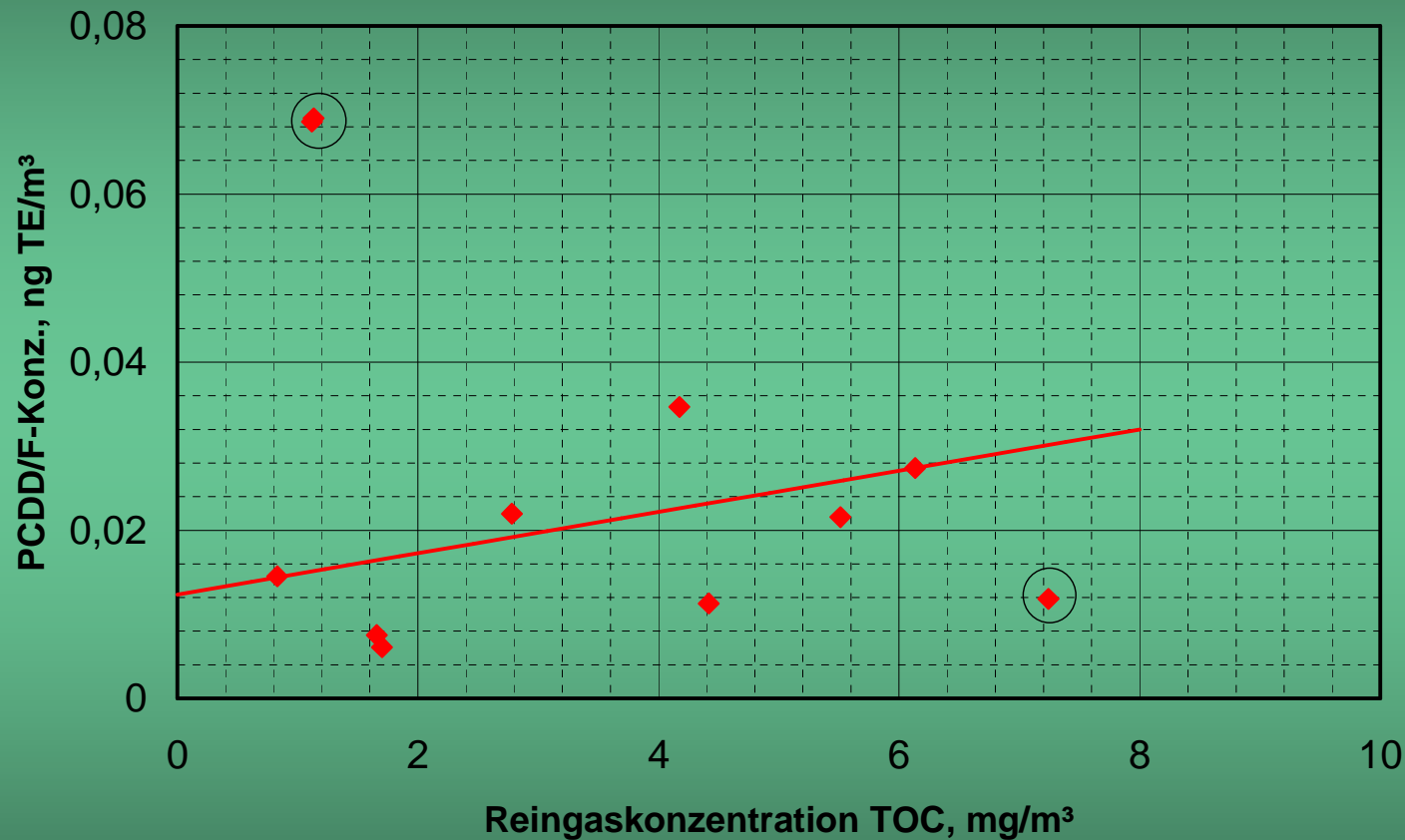
PCDD/F-Emissionsverhalten (Staub)



Zusammenhang Staub-/PCDD/F-Konzentration

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

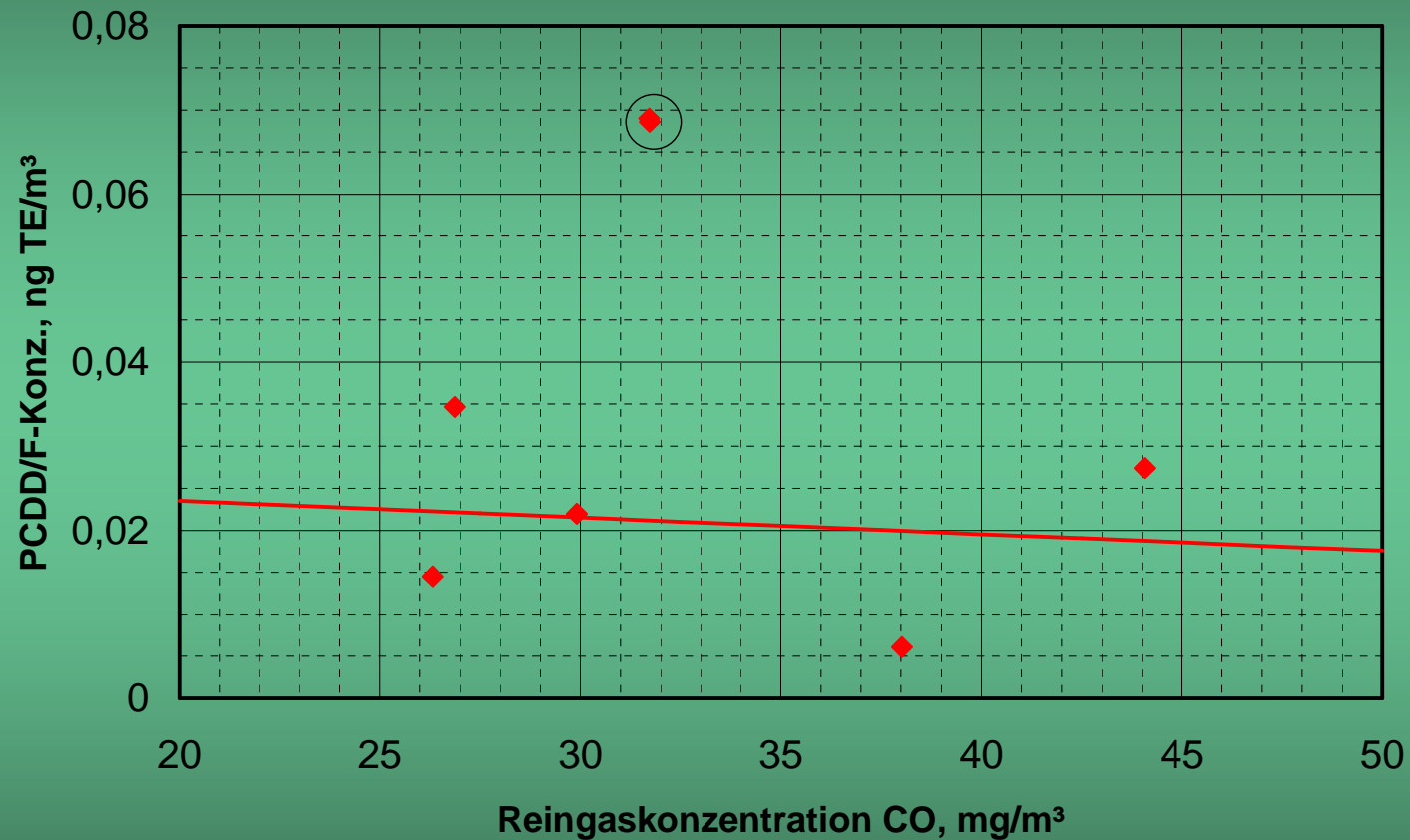
PCDD/F-Emissionsverhalten (TOC)



Zusammenhang Staub-/TOC-Konzentration

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen

PCDD/F-Emissionsverhalten (CO)



Zusammenhang Staub-/CO-Konzentration

Stephan List: Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen
am Beispiel von Einäscherungsanlagen