



**Einsatz höherwertiger Filtration
für Gasturbinenanlagen**

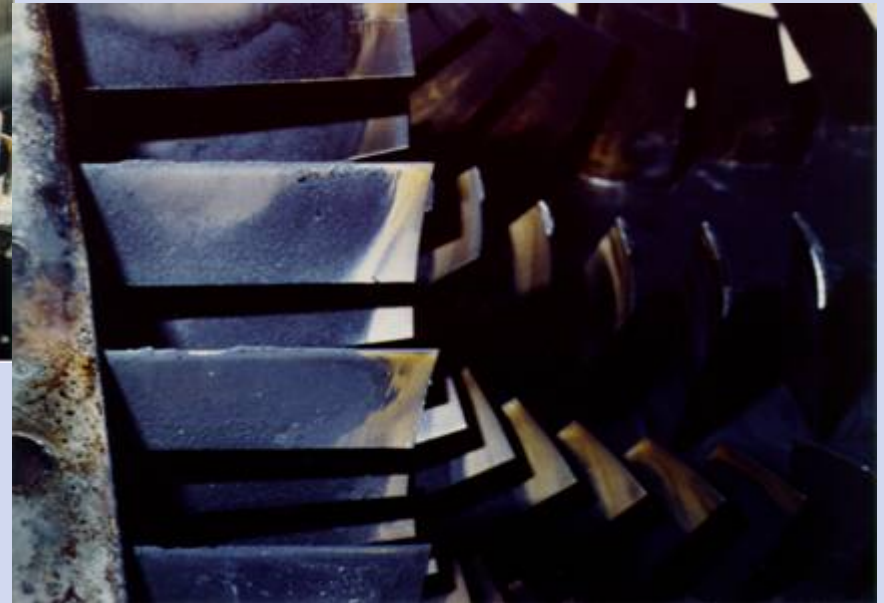
**Dipl. Ing. Andreas Rothmann
Freudenberg Filtration Technologies KG**

Typische durch Partikel in der Umgebungsluft verursachte Schäden

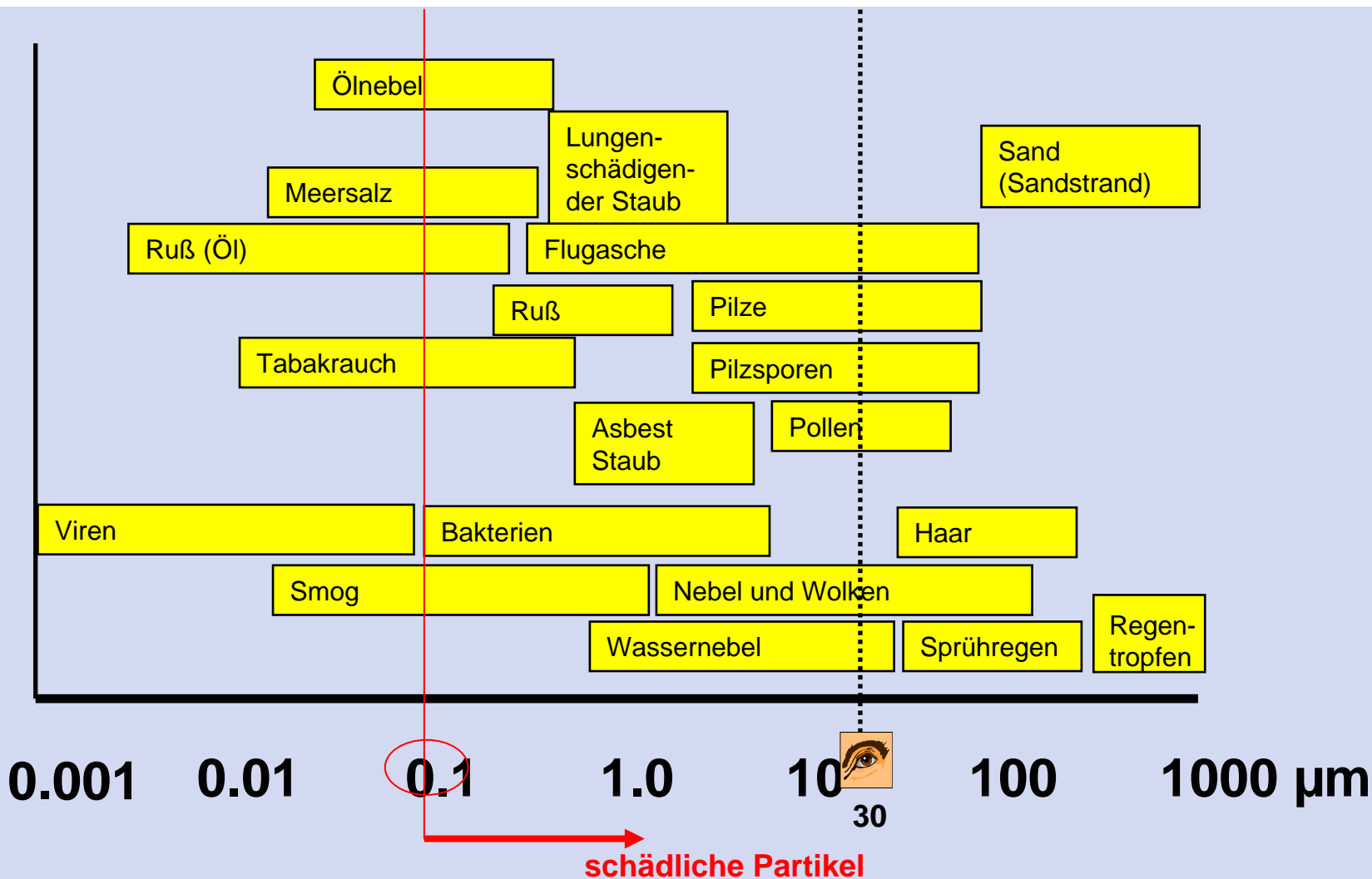


Fouling auf Kompressorschaukeln verursacht von Partikeln zwischen 0,1 und 5 μm

on-line gewaschener Kompressor

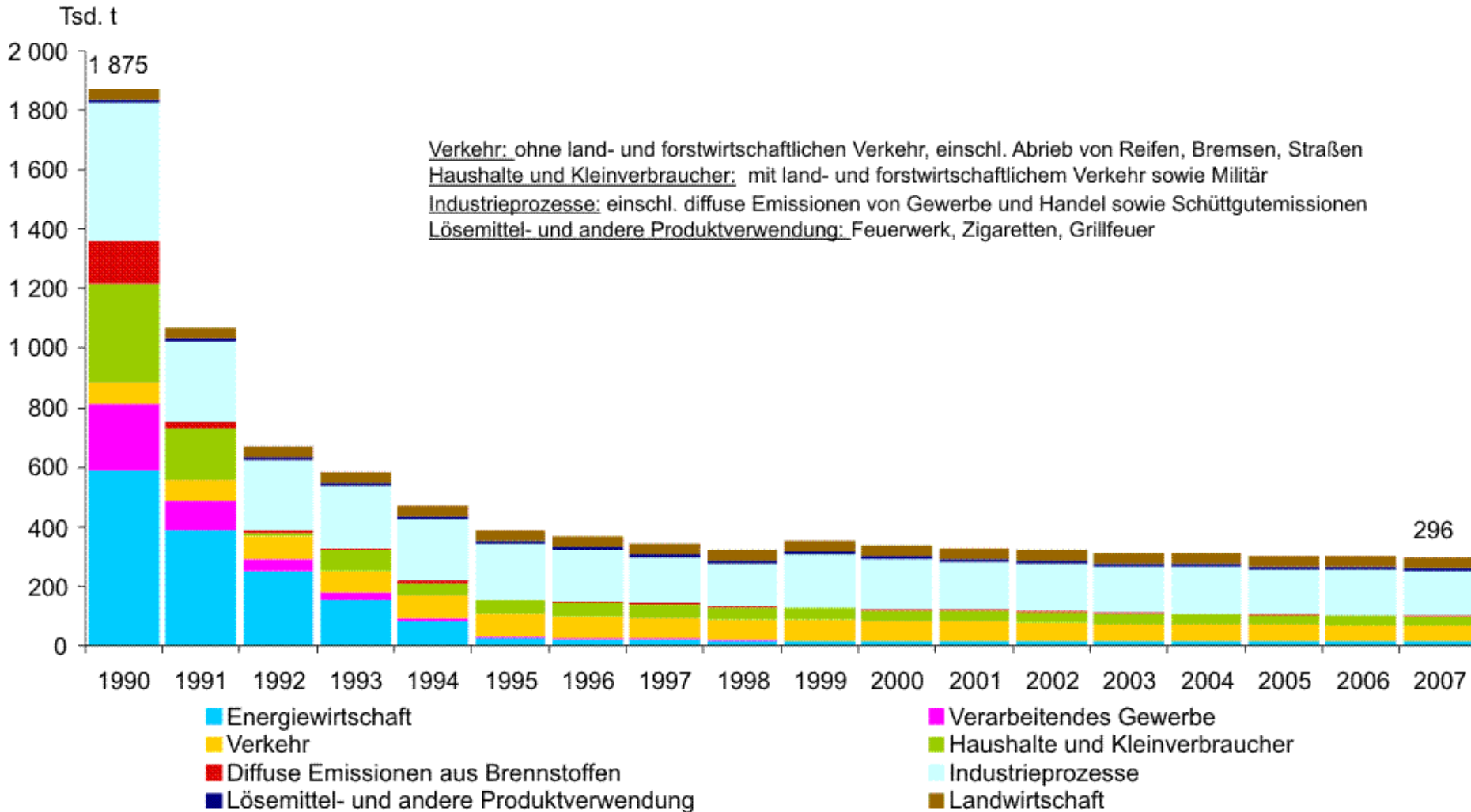


Feste und gasförmige Substanzen in der Außenluft



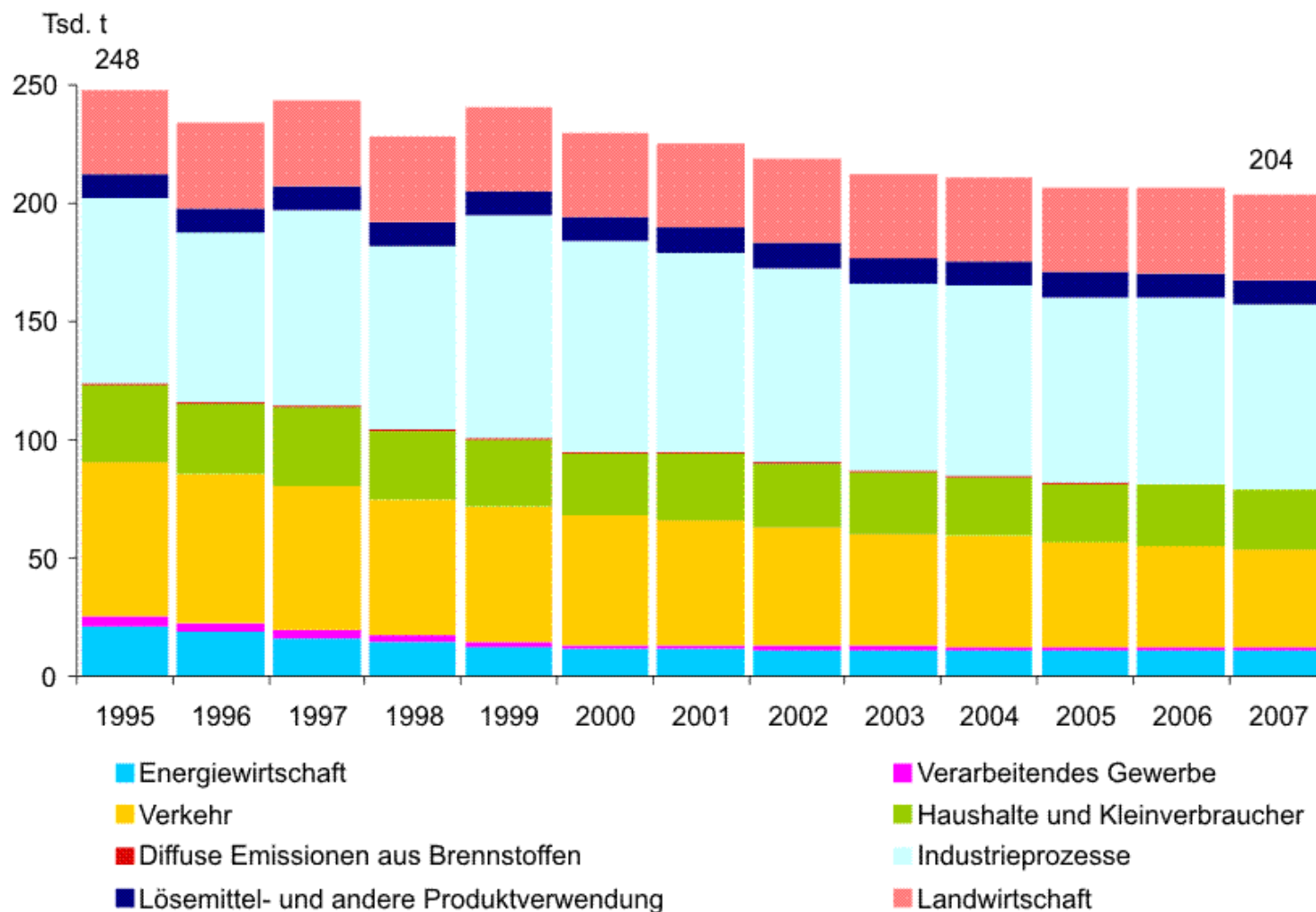
Emissionen sinken und Grobstaubanteil nimmt ab !

Staub-Gesamtemissionen nach Quellkategorien



Quelle: Umweltbundesamt, Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen, Emissionsentwicklung 1990-2007 (Endstand 20.02.2009), www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm

Staub-(PM₁₀)-Emissionen nach Quellkategorien



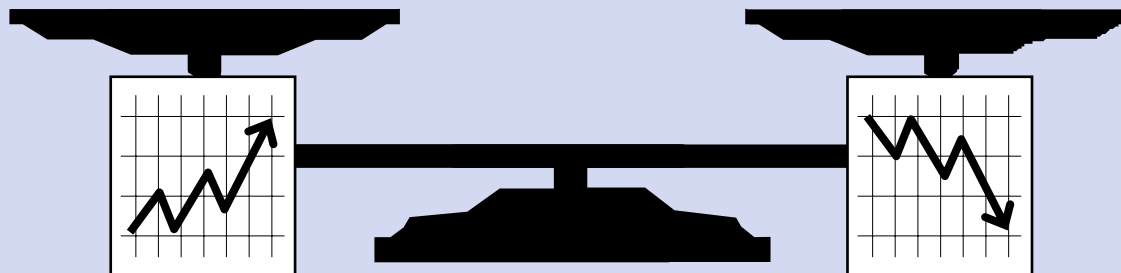
Verkehr: ohne land- und forstwirtschaftlichen Verkehr, einschl. Abrieb von Reifen, Bremsen, Straßen
Haushalte und Kleinverbraucher: mit land- und forstwirtschaftlichem Verkehr sowie Militär
Industrieprozesse: einschl. diffuse Emissionen von Gewerbe und Handel sowie Schüttgutemissionen
Lösemittel- und andere Produktverwendung: Feuerwerk, Zigaretten, Grillfeuer

Positiver Effekt auf die Leistung einer Gasturbine

- Erhöhung von Leistungsabgabe und Wirkungsgrad durch weniger Fouling auf Lauf- und Leitschaufeln

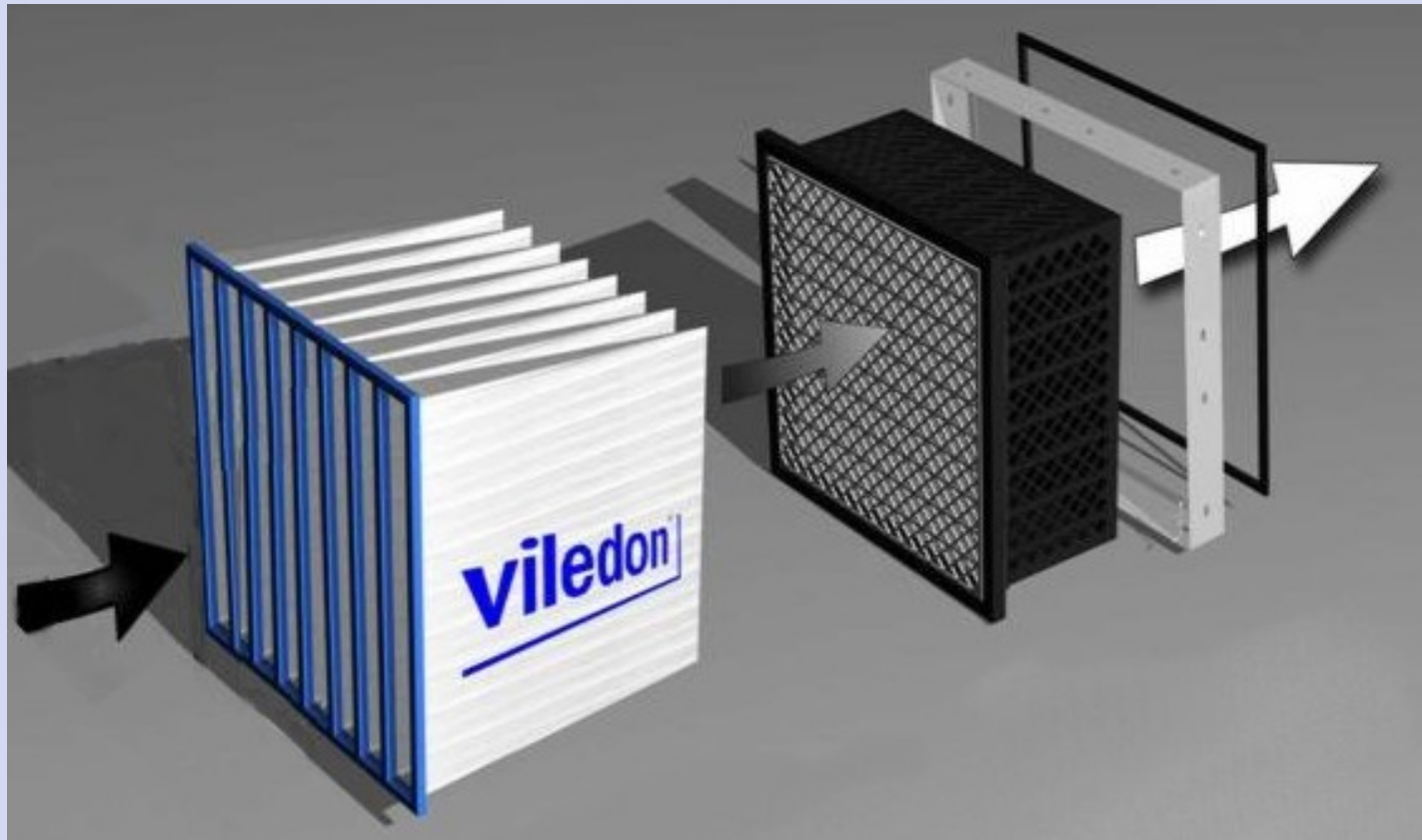
Negativer Effekt auf die Leistung einer Gasturbine

- Reduktion von Leistungsabgabe und Wirkungsgrad wegen höheren Druckabfalls im Zuluftsystem



Vorfilter F6

Endfilter F8

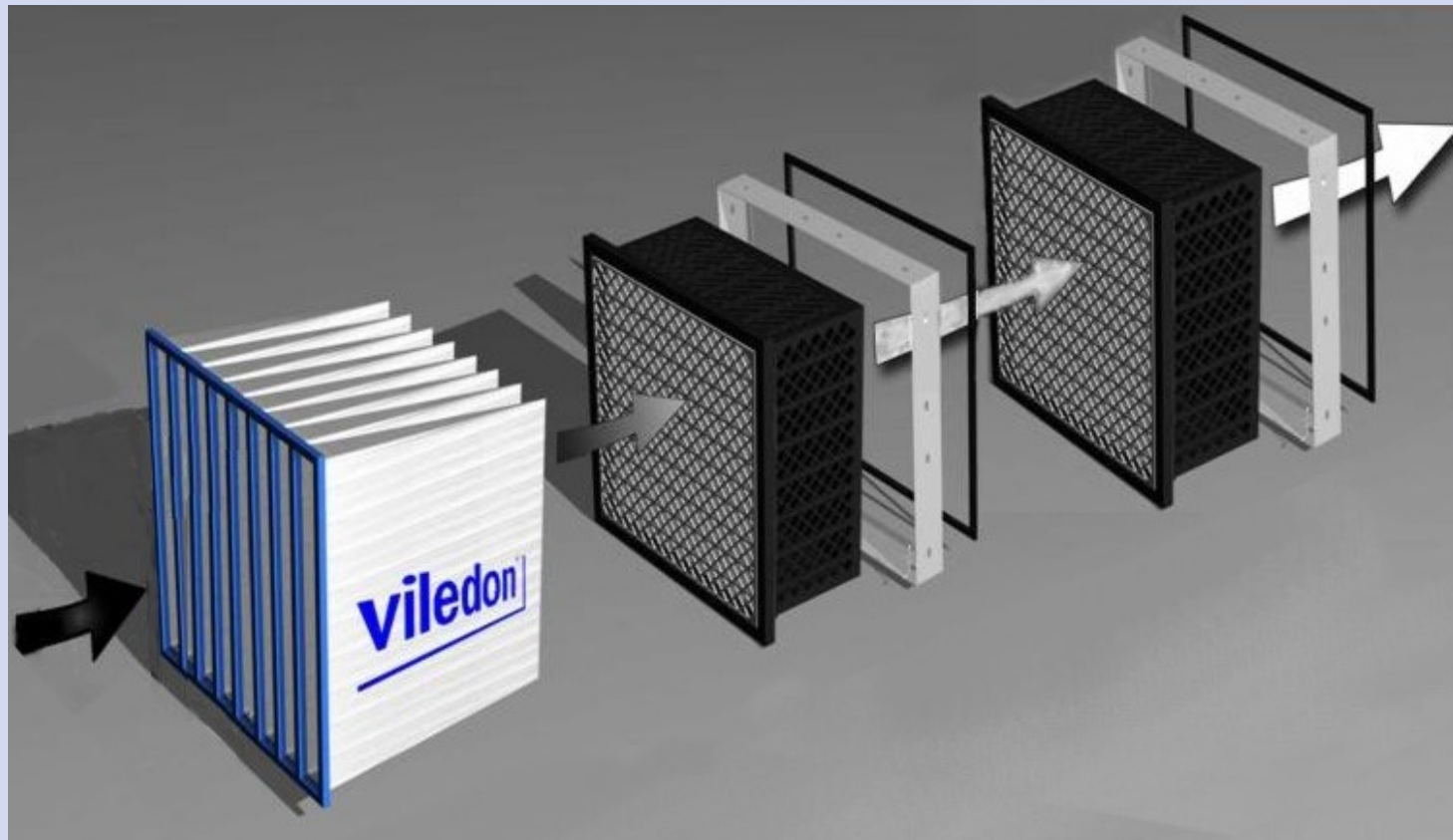


Hochabscheidendes, dreistufiges Filtersystem mit
Taschenfilter F6 und Kassettenfilter F9 und E11

Vorfilter F6

Zwischenfilter F9

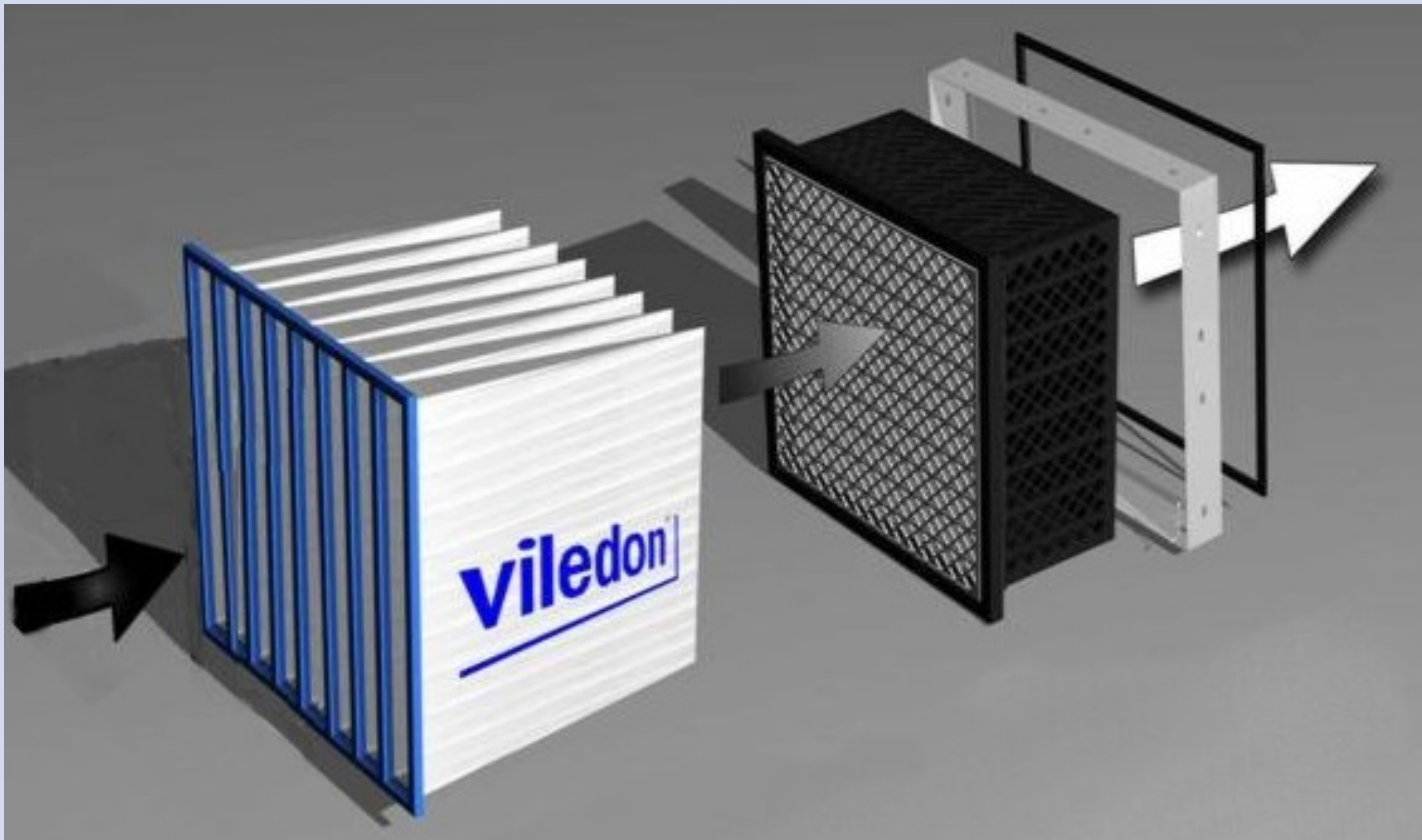
Endfilter E11



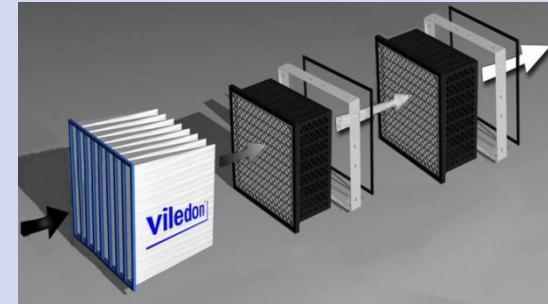
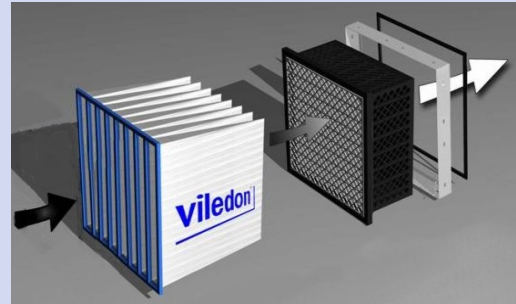
Zweistufiges Filtersystem z.B. mit Taschenfilter F7 und Kassettenfilter E11

Vorfilter F7

Endfilter E11

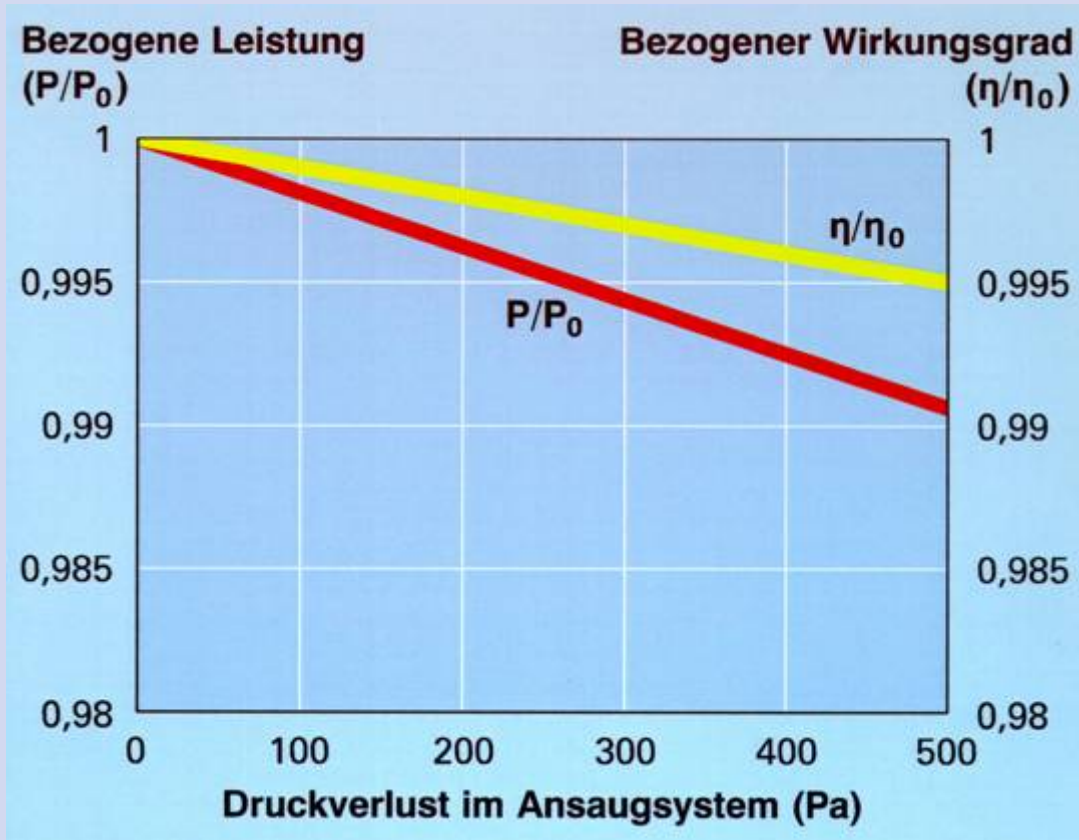


Vergleich Abscheideleistungen von zwei- und dreistufigen Filtersystemen



Partikel größe μm	Partikel in Atmosphäre Anzahl / m^3	Anfangs- abscheidung der Filtration	Partikel Penetration Anzahl / m^3	Anfangs- abscheidung der Filtration	Partikel Penetration Anzahl / m^3
0.3-0.5	20,000,000	$\approx 64\%$	7,200,000	$\approx 98,9\%$	220,000
0.5-1.0	4,000,000	$\approx 80\%$	800,000	$\approx 99,9\%$	4,000
1.0-2.0	300,000	$\approx 95\%$	15,000	$\approx 99.999\%$	3
		zweistufig (F6 + F8)		dreistufig (F6 + F9 + E11)	

Leistungs- und Wirkungsgradabfall einer Gasturbine durch den Druckverlust im Ansaugsystem



Annahme:

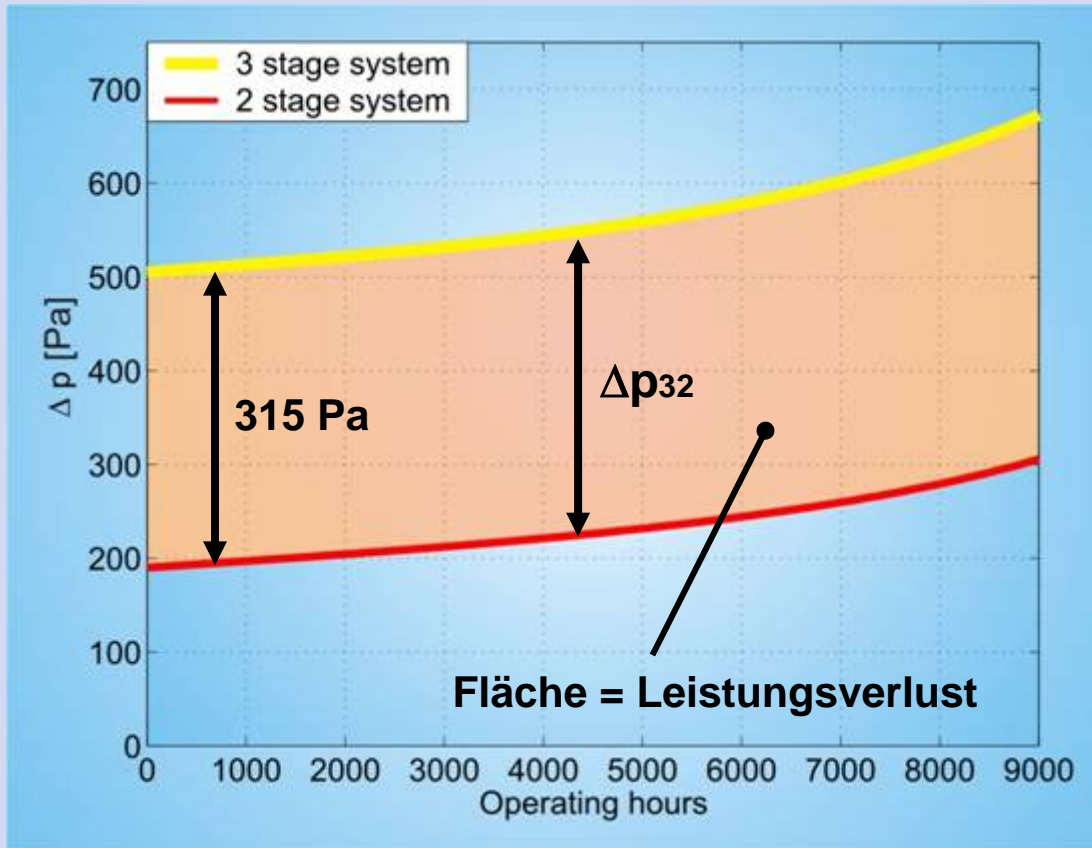
Leistungsrückgang von 0,1% pro 50 Pa

$C_p \sim 0,1\%$ pro 50 Pa

C_p hängt ab von der GT

(GE Frame 7:
0.071% / 50 Pa)

Vergleich zwischen zwei- und dreistufigem Filtersystem

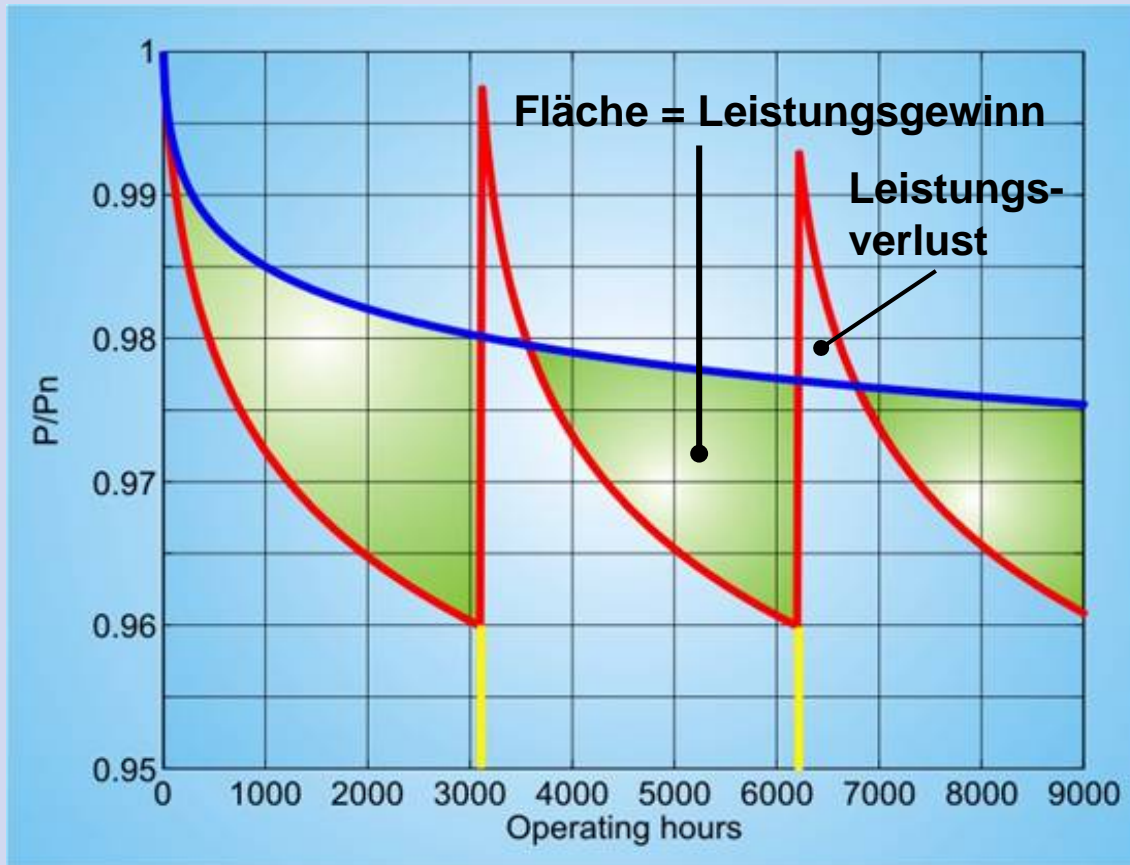


Δp_{32} ist die Differenz des Druckverlustes zwischen drei- und zweistufiger Filtration

$$\Delta p_{32} = \Delta p_{3stage} - \Delta p_{2stage}$$

Leistungsverlust durch höheren Druckverlust:

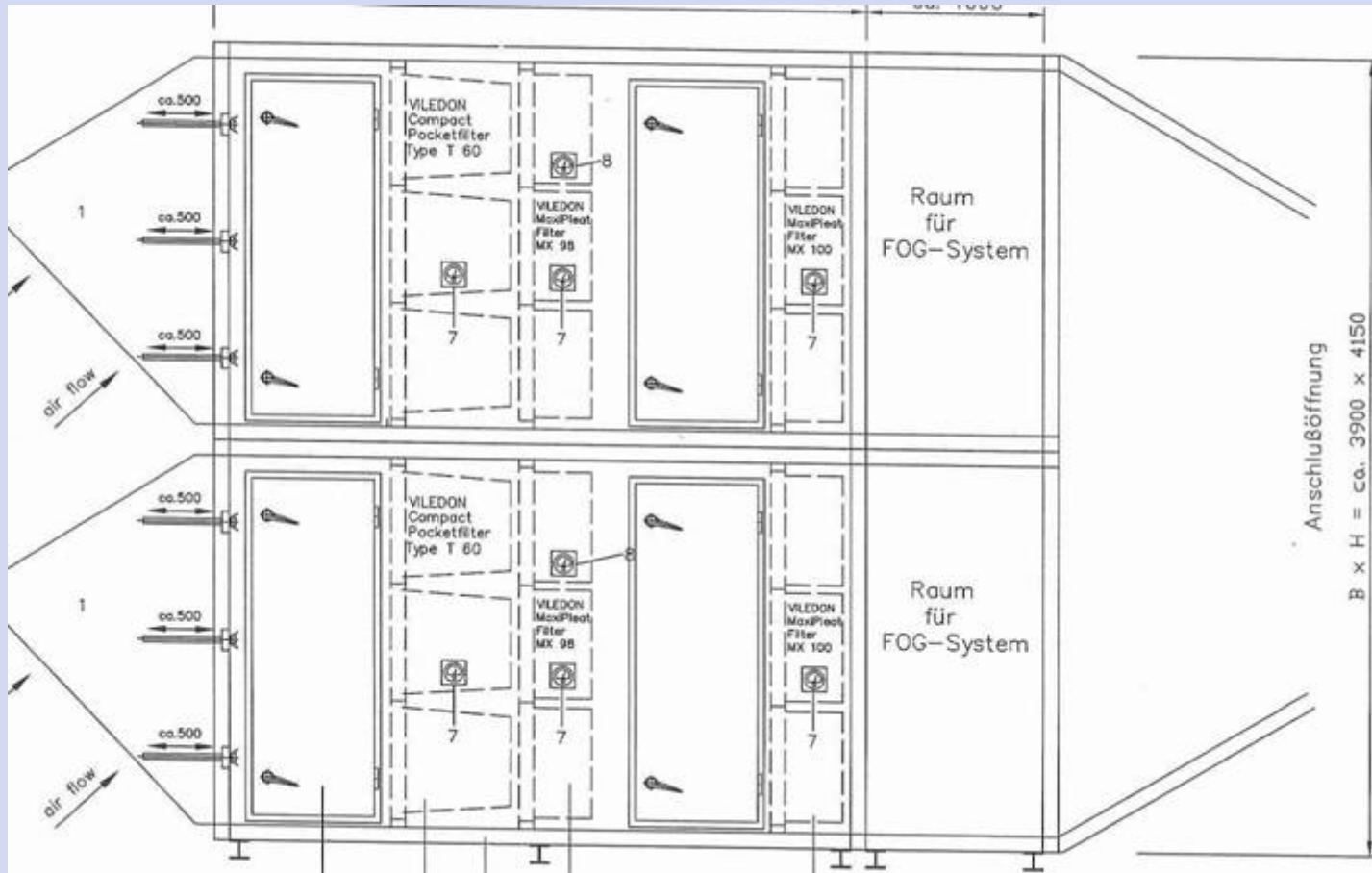
$$P_p^- = \int C_p \cdot P_n \cdot \Delta p_{32}(t) \cdot dt$$



Leistungsgewinn durch geringeres Fouling:

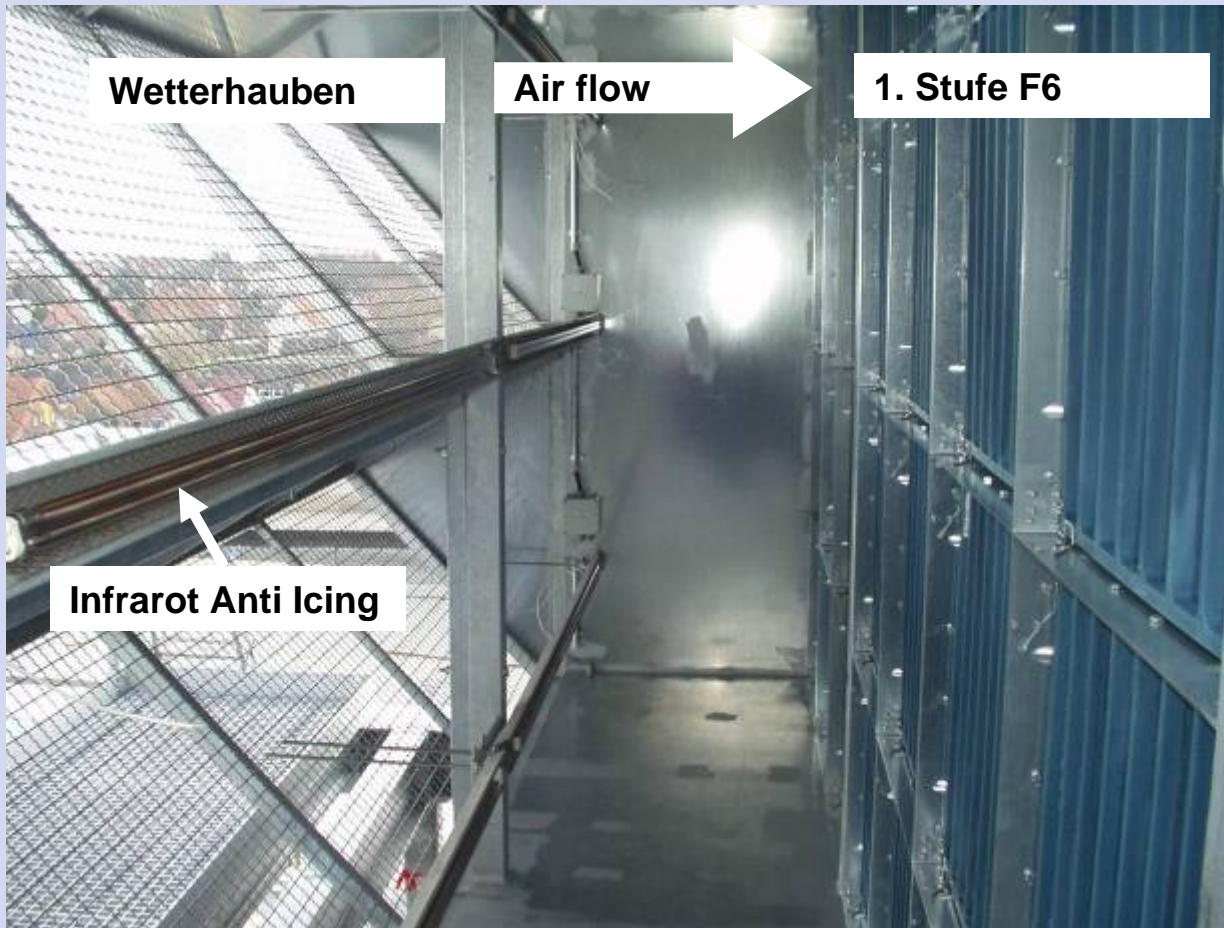
$$P^+ = \int P_{3stage} - P_{2stage} \cdot dt$$

- Weniger eindringende Partikel, die zu einer irreversiblen Degradation der Gasturbine mit einer reduzierten Lebenserwartung und höheren Instandhaltungskosten führen können
- Weniger Verbrauch von Waschmitteln → Kostenreduktion
- Höhere Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit
- Deutlich weniger Anhaftungen, d.h. eine neue GT bleibt sauber.



-
- **Maschine läuft seit Jan 2003**
 - **Um Druckverlust zu kompensieren wurde das Filterhaus etwas überdimensioniert (36 Filter/Stufe statt 24)**
 - **Bisher erst eine Off-Line Wäsche zu Testzwecken.
Ergebnis war absolut sauberes Waschwasser.**
 - **Kein On –Line Waschen bis heute erforderlich**
 - **Kein Fouling Effekt.**
 - **Stabile Leistungsabgabe**
 - **Wechsel Stufe 1. und 3. im August 2005, Stufe 2. Mitte 2006, Stufe 3 August 2010**
-

Beispiel: Papier & Kartonfabrik Varel
2 x Taurus 65 mit je 6,3 MW



Beispiel: Papier & Kartonfabrik Varel
2 x Taurus 65 mit je 6,3 MW

3. Stufe H11

Air flow

2. Stufe F9



Beispiel: Papier & Kartonfabrik Varel
2 x Taurus 65 mit je 6,3 MW

Verdichterbeschaufelung nach ca. 9000 Betriebsstunden



Bilder aufgenommen von Turbomach
Deutschland GmbH

Beispiel: Papier & Kartonfabrik Varel 2 x Taurus 65 mit je 6,3 MW



Verdichterbeschaukelung
nach ca. 9000 Betriebsstunden



Bilder aufgenommen von Turbomach
Deutschland GmbH

Beispiel : 2 x GT13E2 Singapur

21



- 2 x Alstom GT 13 E2, 165 MW/GT
V =1.500.000 m³/h
- 360 F5 Taschenfilter F50
- 360 F8 MaxiPleat MX 95
- 360 H11 MaxiPleat MX100
Volumenstrom / Filter ca. 4200 m³/h



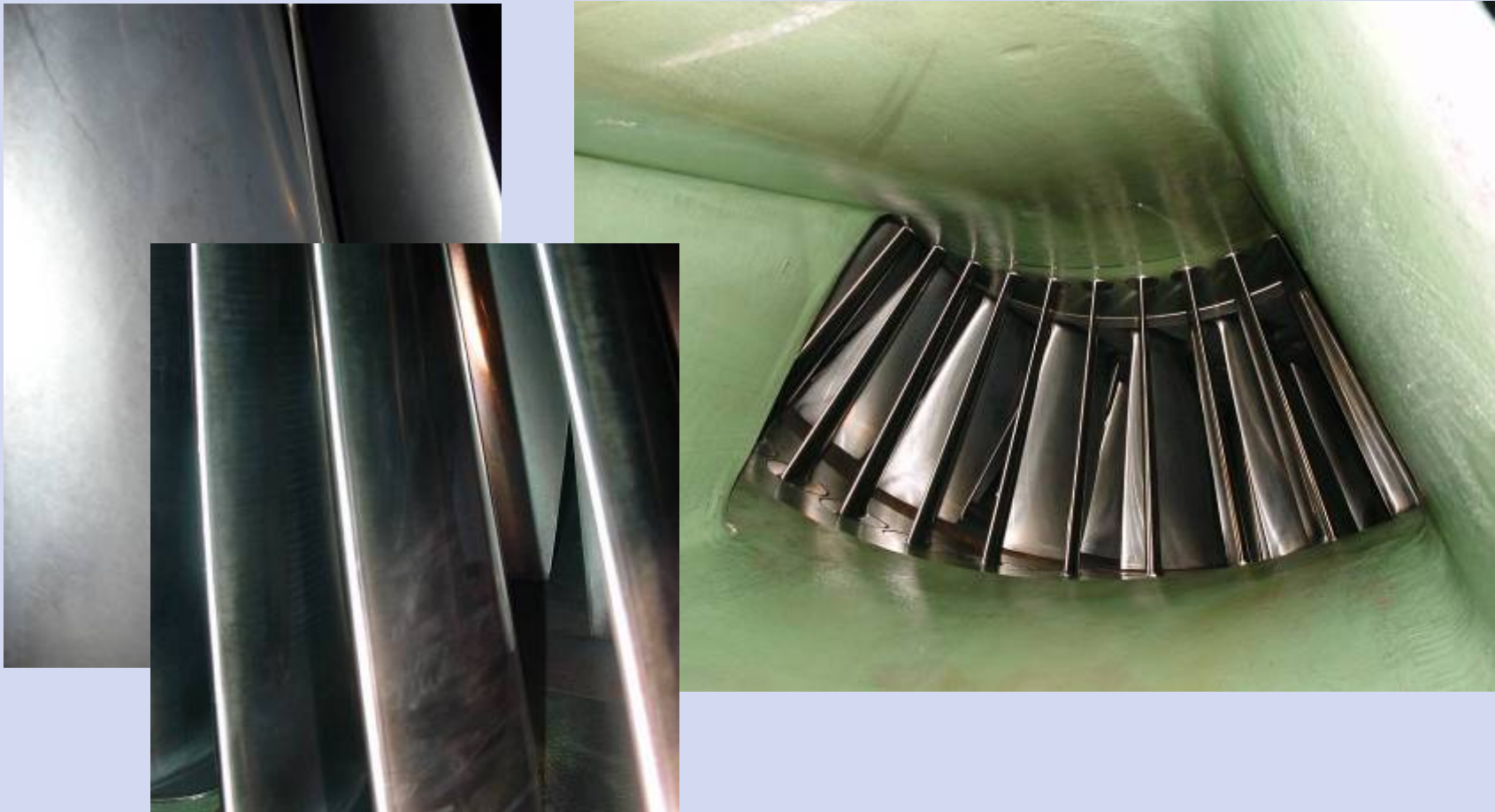
- Start Dez. 2007

Beispiel: 2 x GT13E2 Singapur



Beispiel: 2 x GT13E2 Singapur mit H 11 Filtern

Schaufeln nach 4 Monaten Betrieb ohne Wäsche



Beispiel: 2 x GT13E2 Singapur

Vergleich Fouling an Verdichterschaufeln mit MX100 H11 HEPA Filtern und F8 Minipleat Kassettenfiltern



Beispielrechnung SGT5-3000E (V 94.2 A)

Wirtschaftlichkeitsabschätzung, V 94.2A					
GT:	V94,2A				
Maximale Leistung, elektrisch	189	MW			
Betriebszeit pro Jahr	7.500	h			
Volumenstrom:	1.485.000	m ³ /h			
Anzahl Filter/Stufe	420	Stück			
1 Annahmen:					
Leistungsverlust pro 50 Pa Differenzdruckerhöhung	0,075	%			
Verlust durch Fouling "Angabe vom Kunden", bestehendes System	700	KW	in	40	Tagen
Strompreis	53	€/MWh	oder	0,053	€/kWh
2 Berechnung der Druckdifferenzen					
Belastung pro Filter:	3.536	m ³ /h			
2.1 Filtersystem, bestehend					
		Δp (Pa)	Δp (Pa)	Mittelwert	
		Anfang	Ende	integriert	
1. Stufe Coalescer Matte	G4	150	350	217	Pa
2. Stufe Taschenfilter	F5	50	70	57	Pa
3. Stufe Kassettenfilter	F8	100	130	110	Pa
4. Stufe				-	Pa
	Summe	300	550	383	Pa
2.2 Filtersystem, Empfehlung					
1. Stufe Coalescer Matte ausgebaut				-	Pa
2. Stufe Taschenfilter F7	T90	65	75	68	Pa
3. Stufe Kassettenfilter E11	MX 100	220	250	230	Pa
4. Stufe					
	Summe	285	325	298	Pa

Beispielrechnung SGT5-3000E (V 94.2 A)

3 Energieverlust durch Fouling, bestehendes System		
Zyklusdauer zwischen Waschvorgängen, bestehendes System	960	h
Anzahl Zyklen pro Betriebsdauer	7,8	
Nennleistung	189.000	kW
Verlust pro Zyklus	700	kW
Reduzierte Leistung	188.300	kW
Verlust pro Zyklus (960 h), integriert	224.000	kWh
Verlust in Betriebsdauer (7500 h), Summe über das Betriebsjahr	1.747.200	kWh
Kosten für Fouling (0,053 €/kWh, 7500 h), im Betriebsjahr	92.602	€
4 Energieverlust durch höhere Druckdifferenz am empfohlenen System		
Bestehendes System	383	Pa
Empfohlenes System	298	Pa
Druckdifferenzänderung, empfohlenes System	- 85	Pa
Leistungsverlust durch Druckdifferenzänderung	- 241	kW
Leistungsverlust in Betriebsdauer (7500 h)	- 1.807.313	kWh
Kosten für Druckdifferenzänderung bei empfohlenem System (0,053 €/kWh, 7500 h)	- 95.788	€
5 CO2-Emissionen		
CO2-Emission pro Leistungseinheit (148-428; co2-emissionen-vergleichen.de)	0,400	kg/kWh
Kosten für CO2-Emission pro Masseinheit	14	€/t
CO2-Emission bei Nennleistung (189000 kW innerhalb 7500 h)	7.938.000	€
CO2-Emission zum Ausgleich des Leistungsverlusts (1747200 kWh innerhalb 7500 h)	699	t
Kosten für CO2-Emission bei bestehendem System durch Fouling	9.784	€
6 Bilanz		
Kosten für Fouling (0,053 €/kWh, 7500 h), im Betriebsjahr	92.602	€
Kosten für Druckdifferenzänderung bei empfohlenem System (0,053 €/kWh, 7500 h)	95.788	€
Kosten für CO2-Emission bei bestehendem System durch Fouling	9.784	€
Erwartete Kostenersparnis bei Neusystem (0,053 €/kWh, 7500 h)	198.173	€

Referenzliste: HEPA Systeme

SITE	Country	GT	Number
Agrana Stärke	Austria	Taurus 60	2
ENERCOLSA	Colombia	Turbomach TAURUS 60	6
Teesside	England	W 701DA	4
Ryehouse	England	V94	3
SHB	England	13 E2	3
Barking Power	England	Frame9e	2
Dam Head	England	MHI	2
Timac	France	KB7	1
Meggle	Germany	Taurus70	1
Varel	Germany	SGT300	1
Varel	Germany	Taurus65	2
Bayer	Germany	Taurus60	1
Kali + Salz	Germany	Taurus60	1
Kali + Salz Zielitz	Germany	Taurus 14,7MMW	1
InfraLeuna Bitterfeld	Germany	MS6001B	1
Energie+Wasser Potsdam	Germany	2x GT GE	2
StoraEnsoEilenburg	Germany	MS5001PSA	1
Solvay Chemicals	Germany	FT8	1
Stadtwerke Greifswald	Germany	Taurus 60	1
Mitsubishi Paper Flensburg	Germany	Taurus 65	1
RWE	Germany / Bayer	V 94.2	2
RWE	Germany / Opel	Frame 6 FA	1
DSS Paper Mill	Indonesia	LM 6000	2
Tenaga Nasional Berhad	Malaysia	Frame 9 FA	2
Siemens (UK)	Manufacturer	SGT400	6
Centrax (UK)	Manufacturer	KB7	6
Centrax (UK)	Manufacturer	KB5	8
TUXPAN	Mexico	W501 F	4
Altamira	Mexico	W501 F	2
EMMS	Netherlands	Frame 9FA	5
Amata	Thailand	SGT 1000F	1
Megs	Senegal	Frame 6	2
Bergerac	France	KB7	1
Dalkia	France	LM6000	1
Sedamyl	France	SGT300	1
Isergie	France	LM2500	1
DSS Paper Mill	France	SGT100	2
AL Lavera	France	Frame6	2
AL Feyzin	France	LM6000	1
AL Fos-sur-Mer	France	LM6000	1
AL Belle-Etoile	France	LM6000	1
Dalkia Thermulys	France	LM6000	1
Dalkia Bazancourt	France	Taurus60	2
CTR	France	LM6000	2
AL Fos	France	LM6000	1
Seche	France	KB5	2
Cofely Lyon	France	KB7	1
Dalkia Evry	France	KB7	2
Drimm	France	KB5	1
EDF Paluel	France	KB7	1
Syral	France	Frame 5	1
		Total	103



Fragen ?



**Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit!**

