Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „TIFF (LZW)“ benötigt.

Beitrag der Holzfeuerungen zur Feinstaubbelastung

Arten von Feinstaub, gesundheitliche Aspekte, Hochrechnungen und Minderungspotenzial

Thomas Nussbaumer

Hochschule für Technik + Architektur HTA Luzern, www.fhz.hta.ch

Ingenieurbüro Verenum, Zürich, www.verenum.ch

11th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles
Zürich, 15. August 2007

Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „TIFF (LZW)“ benötigt.

1. Arten Feinstaub aus Holzfeuerungen
2. Reduktion von Russ und organischem Feinstaub
3. Feinstaubabscheidung
4. Hochrechnung Schweiz
5. Minderungspotenzial und Schlussfolgerungen

Holz als Brennstoff

$$\mathbf{CH_{1.44}O_{0.66}} + O_2 \rightarrow CO_2 + 0.72\ H_2O$$

$\rightarrow$ CO, C_XH_Y, C_{org}, C_{el} (Russ)

N $\rightarrow$ NO_X

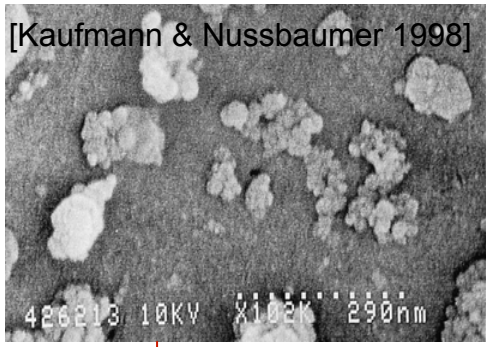
K, Ca, Na, Cl, S.. $\rightarrow$ KCl, K_2SO_4, $CaCO_3$ ...

Feinstaub

K, Ca, Na, Cl, S... →
KCl, K_2SO_4, $CaCO_3$

Russ & organische Partikel

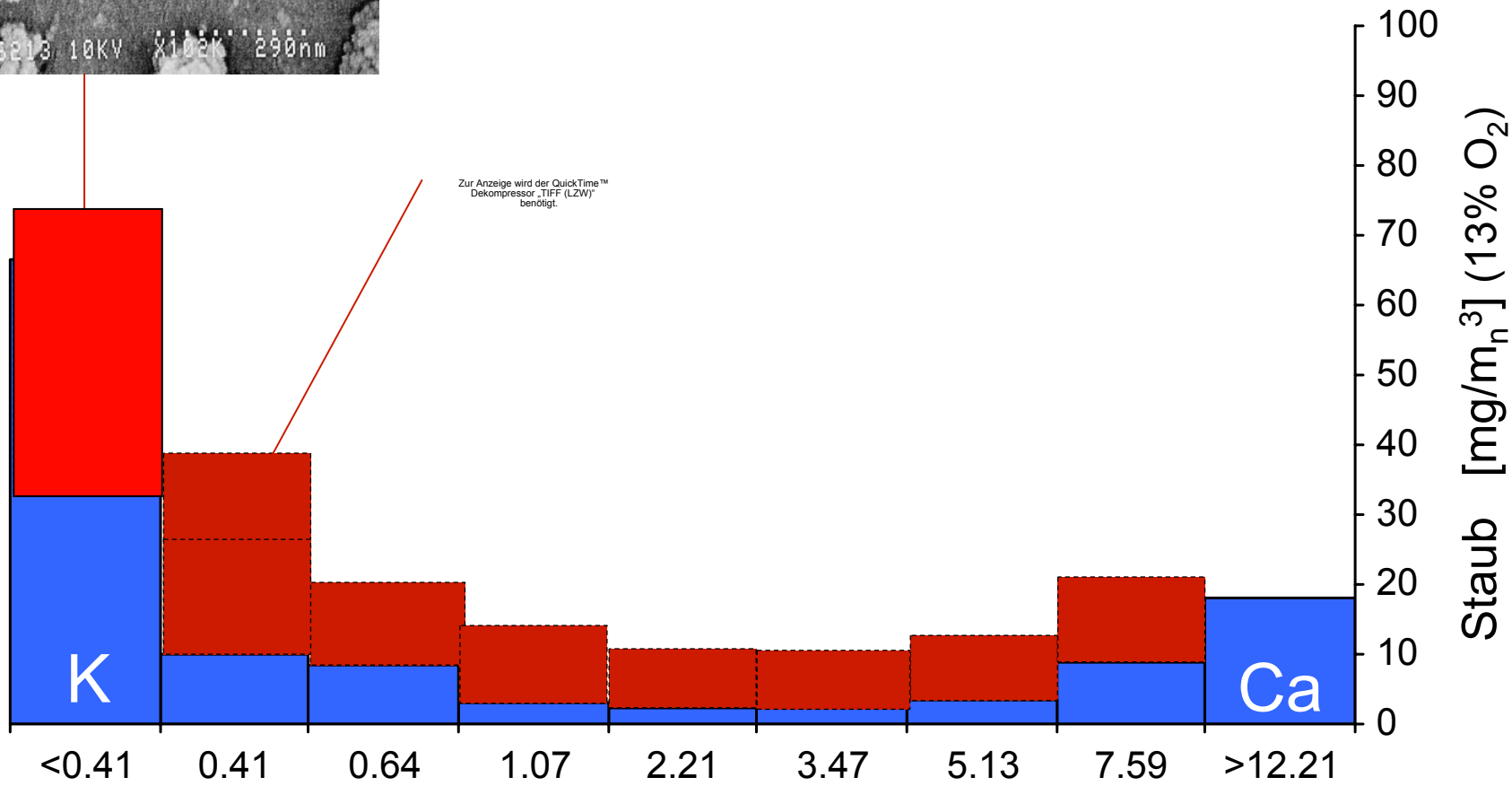
[Kaufmann & Nussbaumer 1998]



[Kägi & Schmatloch 2002]

Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „TIFF (LZW)" benötigt.

Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „TIFF (LZW)" benötigt.



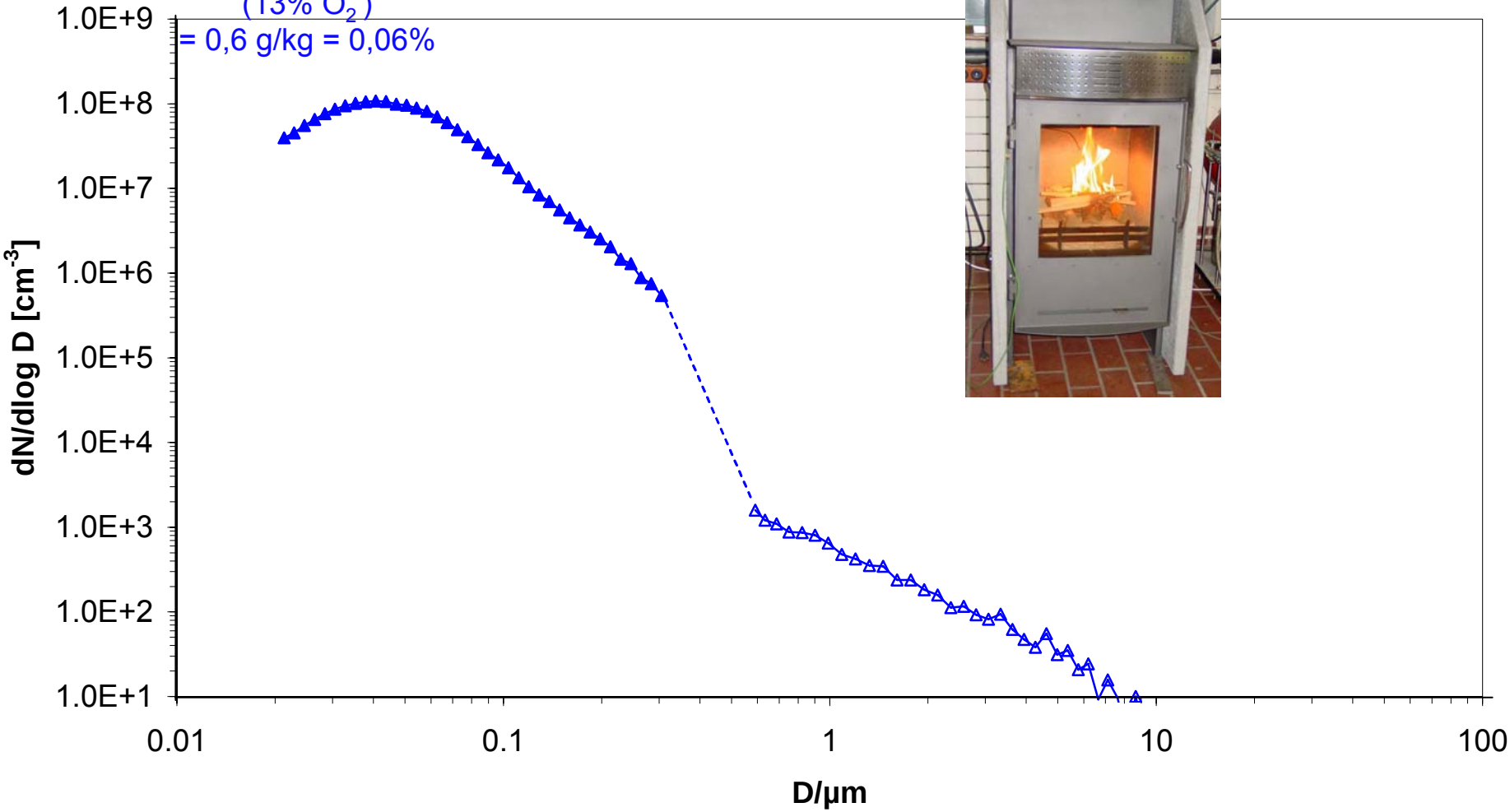
Verenum

Hochschule für Technik + Architektur Luzern

Holzofen 1-stufig

50 mg/m³
(13% O_2)
= 0,6 g/kg = 0,06%

Idealbetrieb



Holzofen 1-stufig

50 mg/m³
(13% O_2)
= 0,6 g/kg = 0,06%

Idealbetrieb

Autom.
Holzf.
100 mg/m³
95% Salze

dN/dlog D [cm^{-3}]

1.0E+9
1.0E+8
1.0E+7
1.0E+6
1.0E+5
1.0E+4
1.0E+3
1.0E+2
1.0E+1

0.01 0.1 1 10

D/µm

Verenum

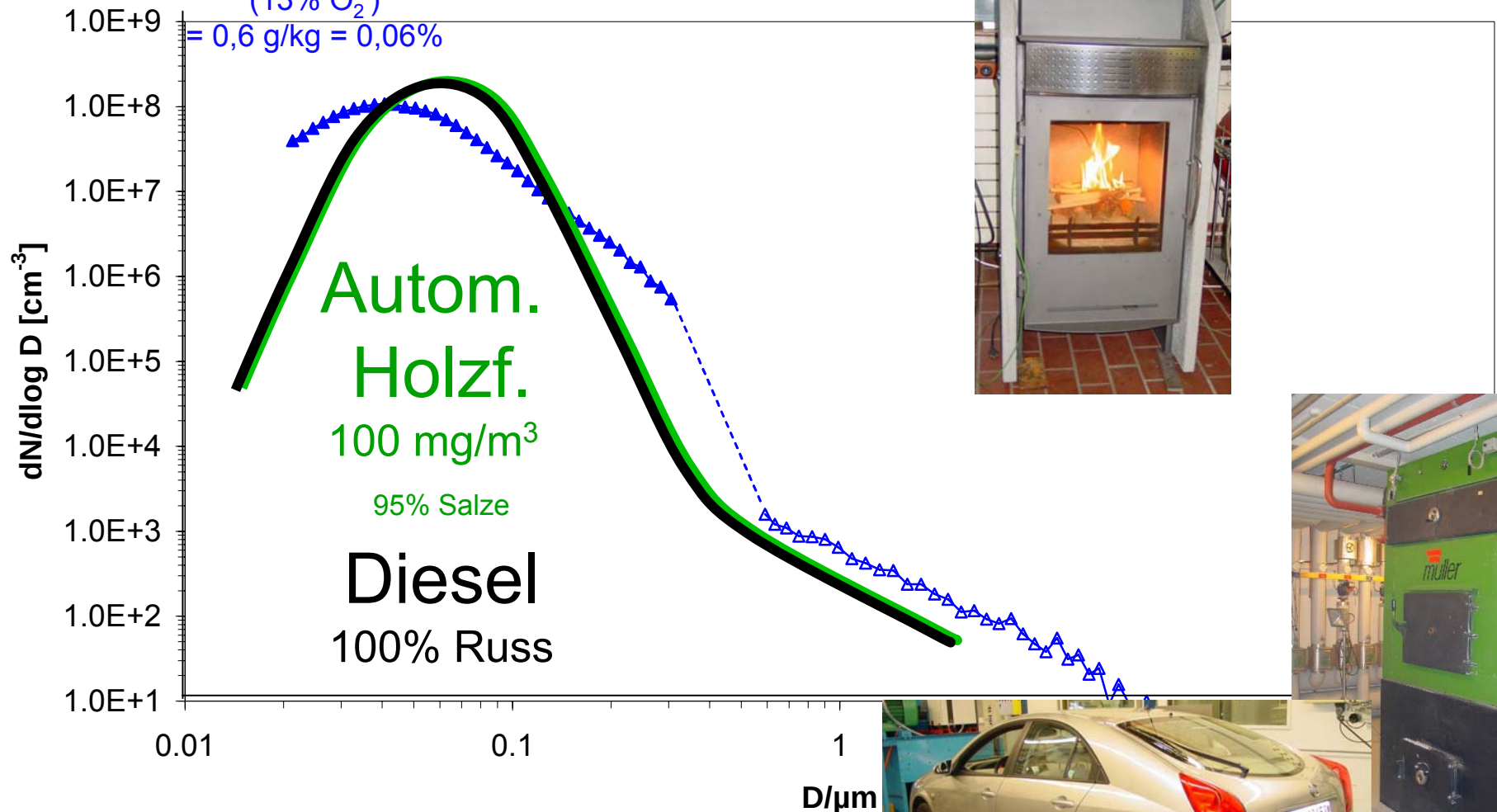
[Klippel und Nussbaumer 2006]

Hochschule für Technik + Architektur Luzern

Holzofen 1-stufig

50 mg/m³
(13% O_2)
= 0,6 g/kg = 0,06%

Idealbetrieb



[Oser et al. 2004] mit EMPA Dübendorf

[Klippel und Nussbaumer 2006]

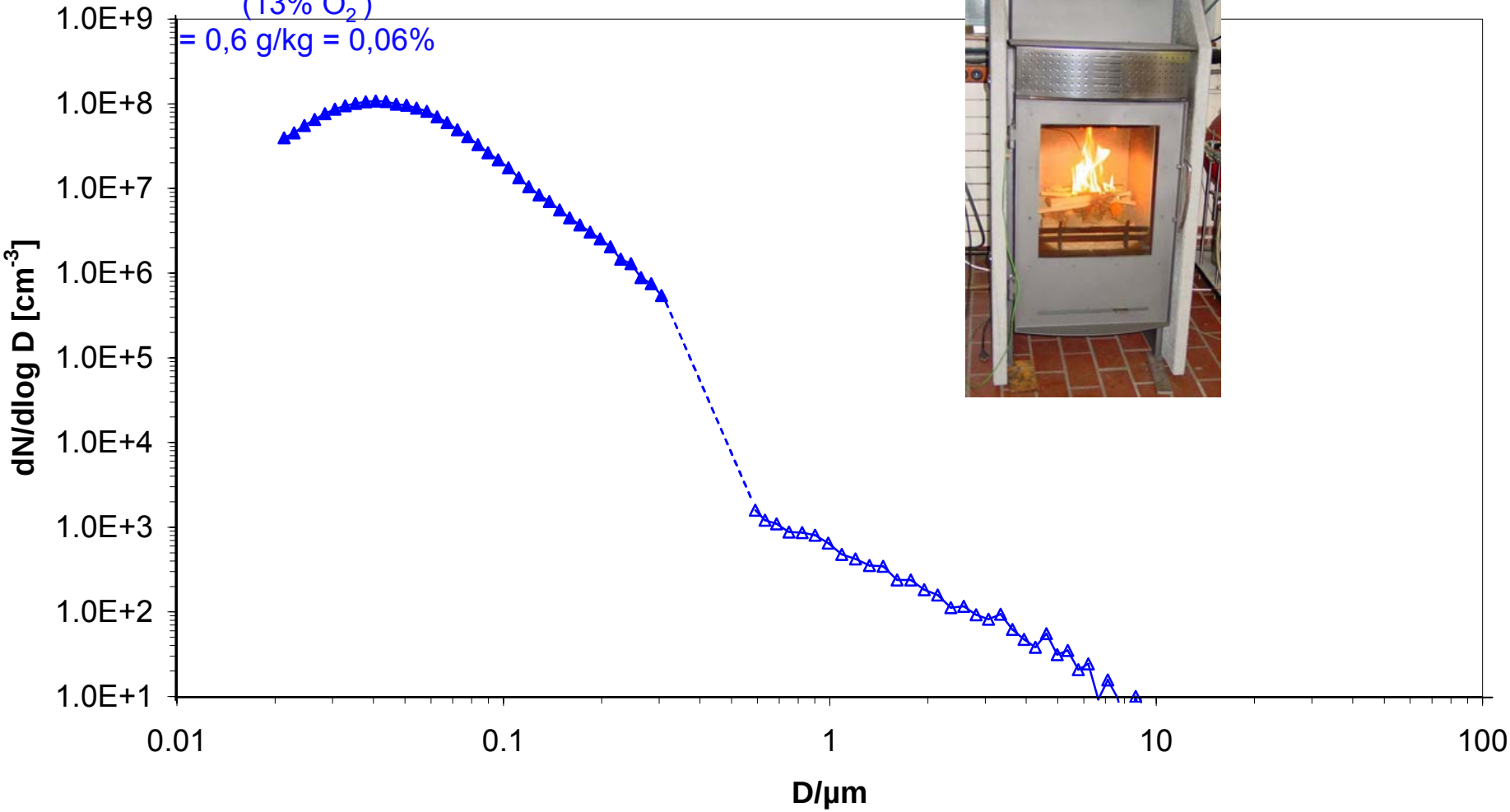
Verenum

k + Architektur Luzern

Holzofen 1-stufig

50 mg/m³
(13% O_2)
= 0,6 g/kg = 0,06%

Idealbetrieb



Holzofen 1-stufig

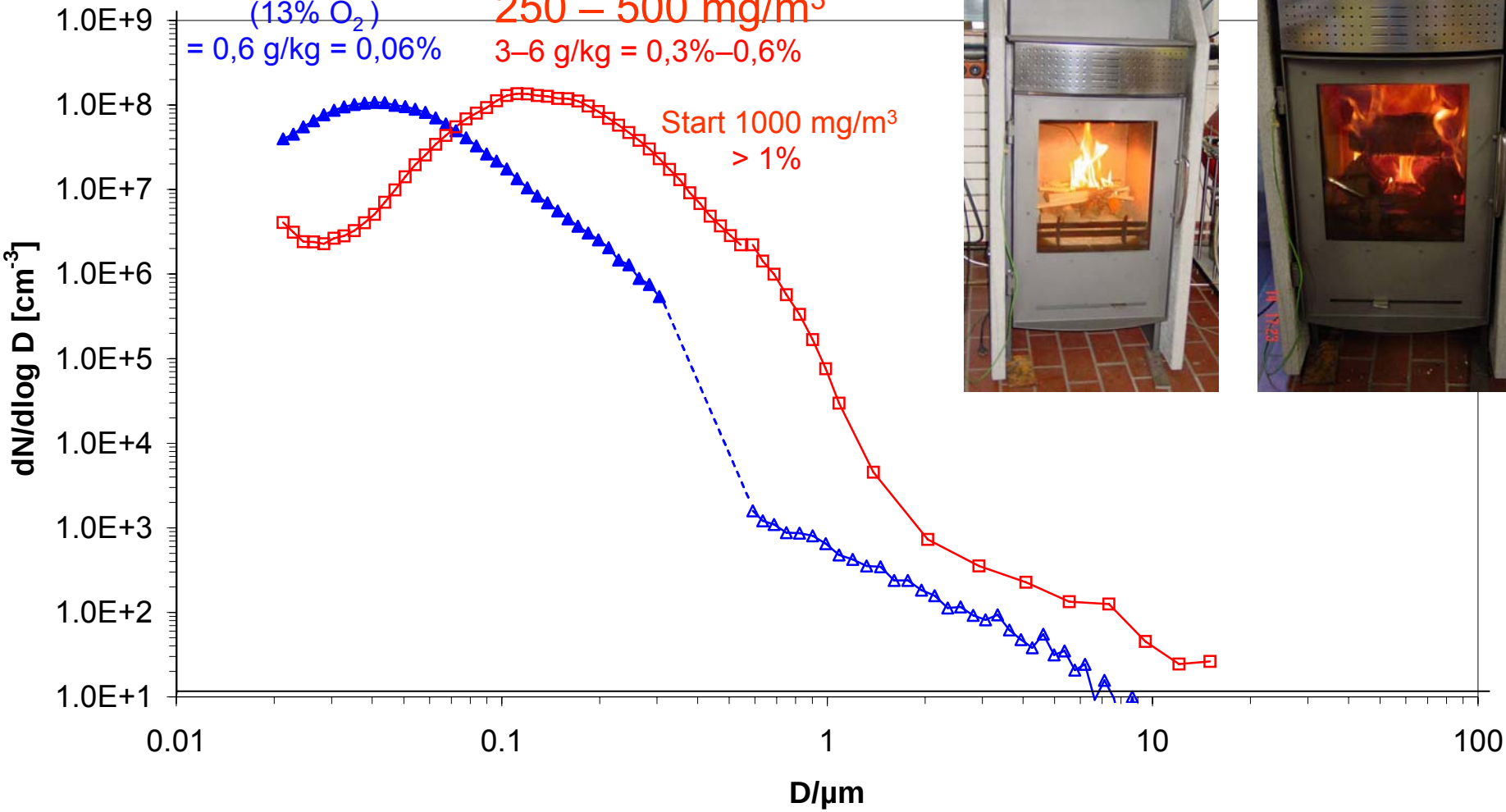
50 mg/m³
(13% O_2)
= 0,6 g/kg = 0,06%

Ofen normal befüllt
250 – 500 mg/m³
3–6 g/kg = 0,3%–0,6%

Start 1000 mg/m³
> 1%

Idealbetrieb

Ofen befüllt



Holzofen 1-stufig

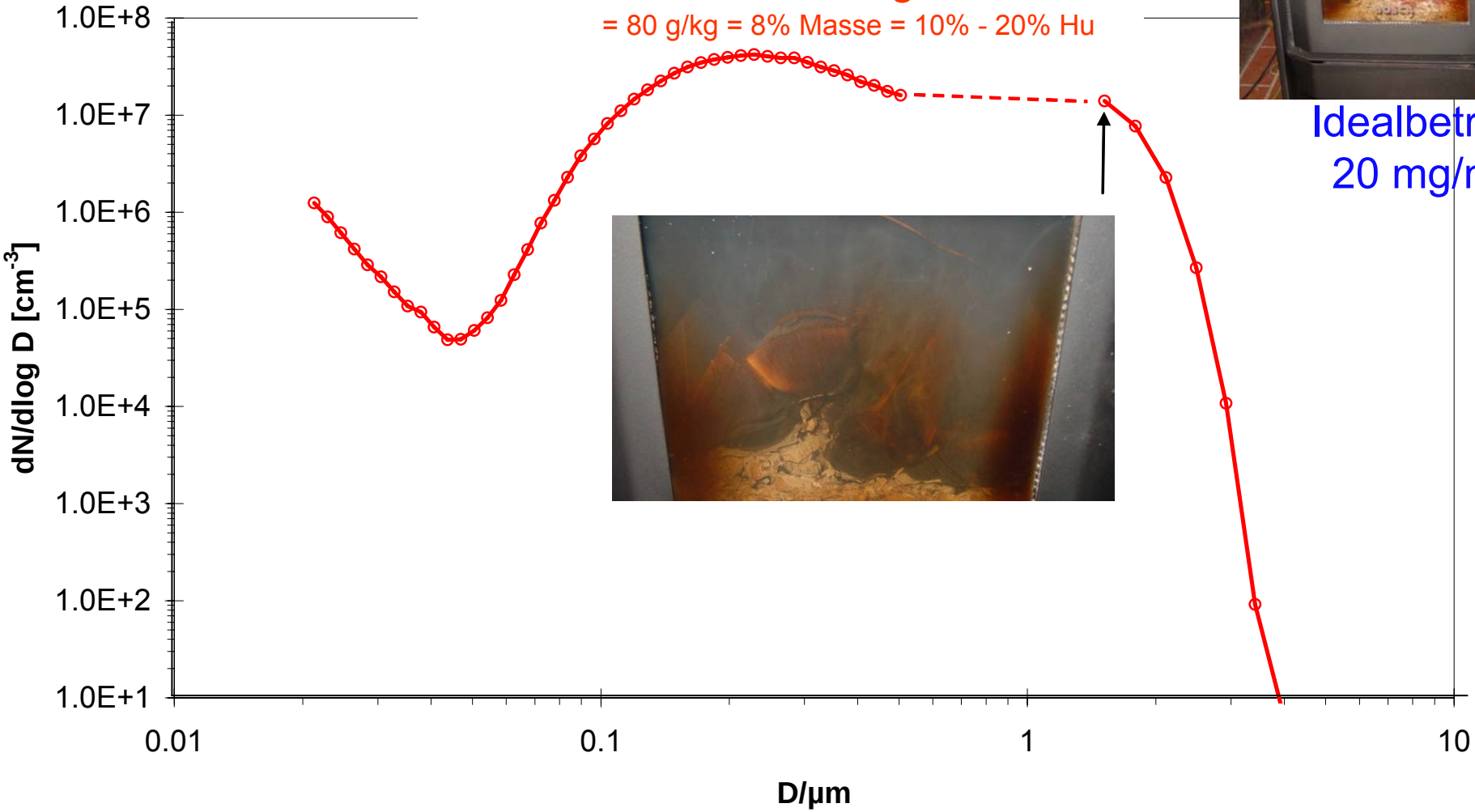
Luftzufuhr geschlossen

6'600 mg/m^3

= 80 g/kg = 8% Masse = 10% - 20% Hu

Idealbetrieb

20 mg/m^3



Holzofen mit Luftklappen zu

..10 x ..10 = 100

PM mit Russ, Teer & Kondensat

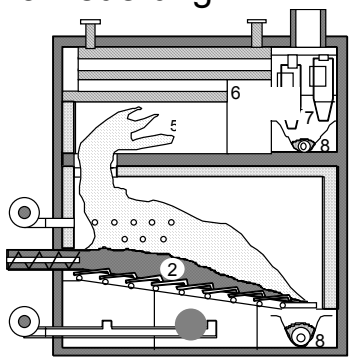
Diesel PW Euro 3 ohne DPF

PM10 Toxizität

1 x 1 = 1

Dieselruss

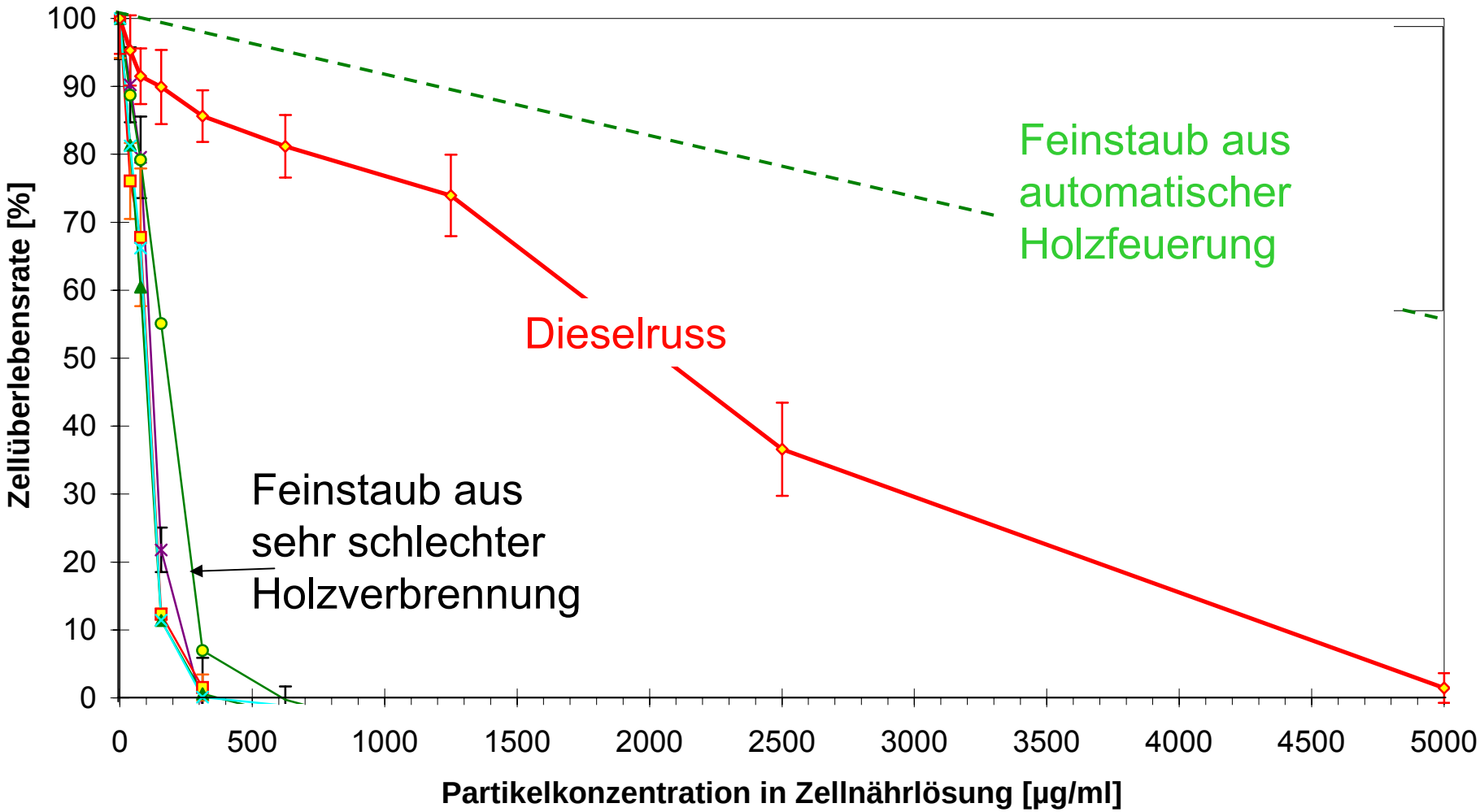
Automatische Holzfeuerung



1 x <0.2 = <0.2

PM aus Holz, v.a. Salze

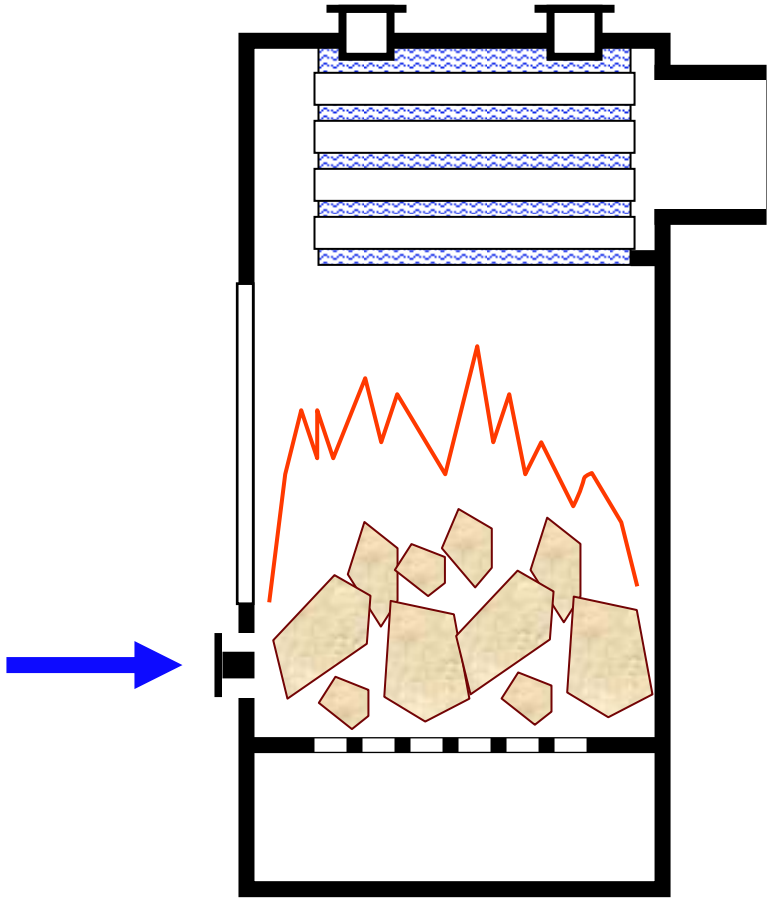
Zytotoxizitätstests mit Feinstaub



Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „TIFF (LZW)“ benötigt.

1. Arten Feinstaub aus Holzfeuerungen
2. Reduktion von Russ und organischem Feinstaub
3. Feinstaubabscheidung
4. Hochrechnung Schweiz
5. Minderungspotenzial und Schlussfolgerungen

1-stufige Verbrennung



CO_2, H_2O, O_2, N_2
CO, C_xH_y

+ Luft

O_2 + N_2

mit $\lambda > 1$

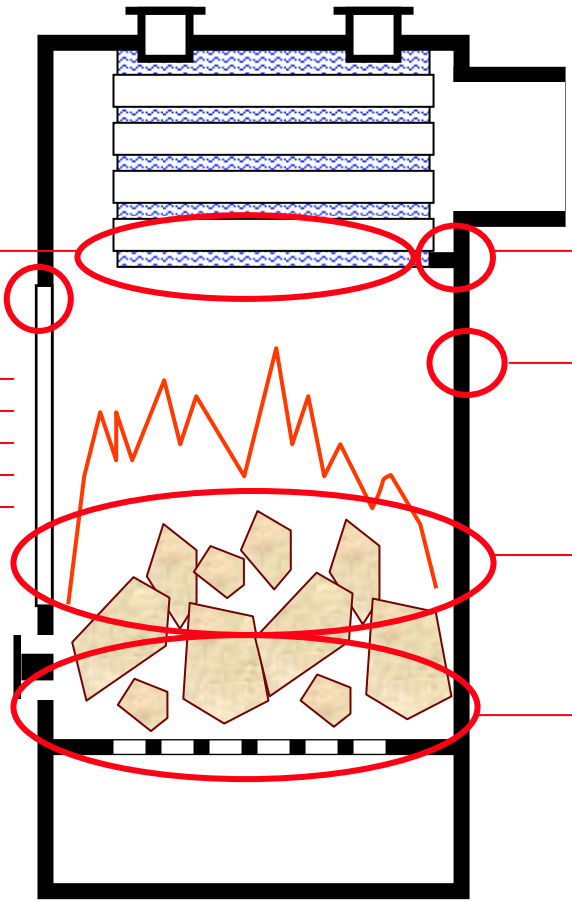
Holz: **C H O**

Grenzen der 1-stufigen Verbrennung

Problem 7:
Brennstoff + Betrieb
Feuchte, Abfall
Anfeuern, Teillast,
Nachrutschen

Problem 6:
Flammenkühlung

Problem 5:
Wärmeabfuhr aus der
Verbrennungszone



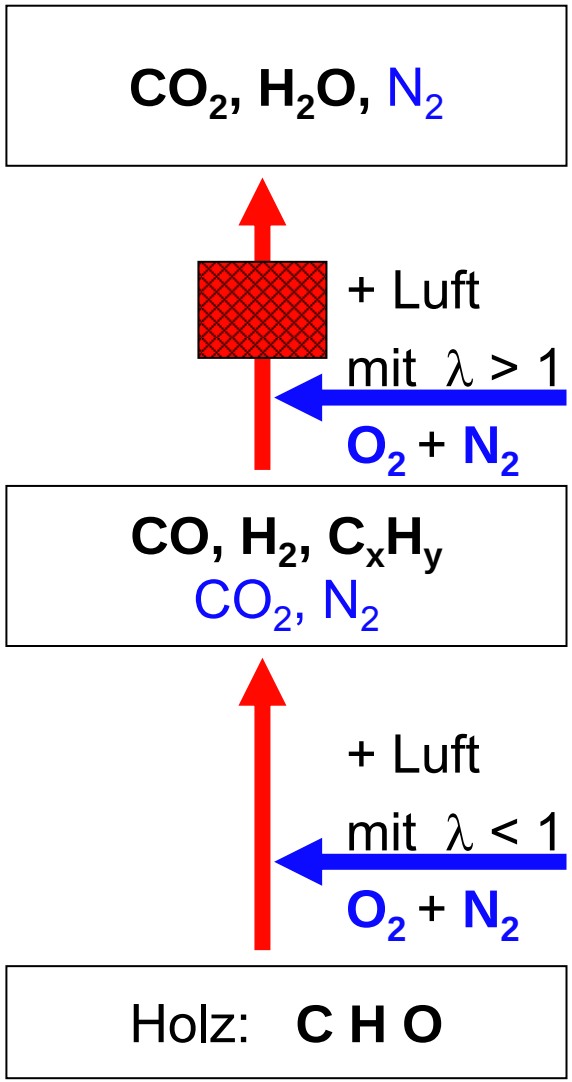
Problem 4:
Gas Undichtheit

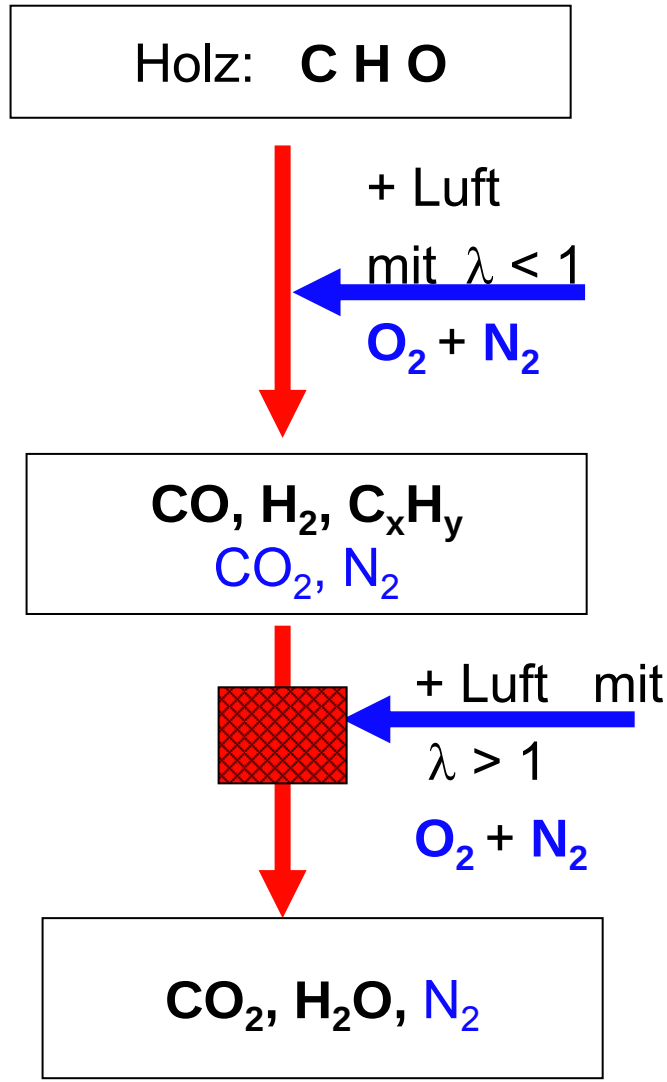
Problem 3:
Luft Undichtheit

Problem 2:
Mischung Gas und Luft

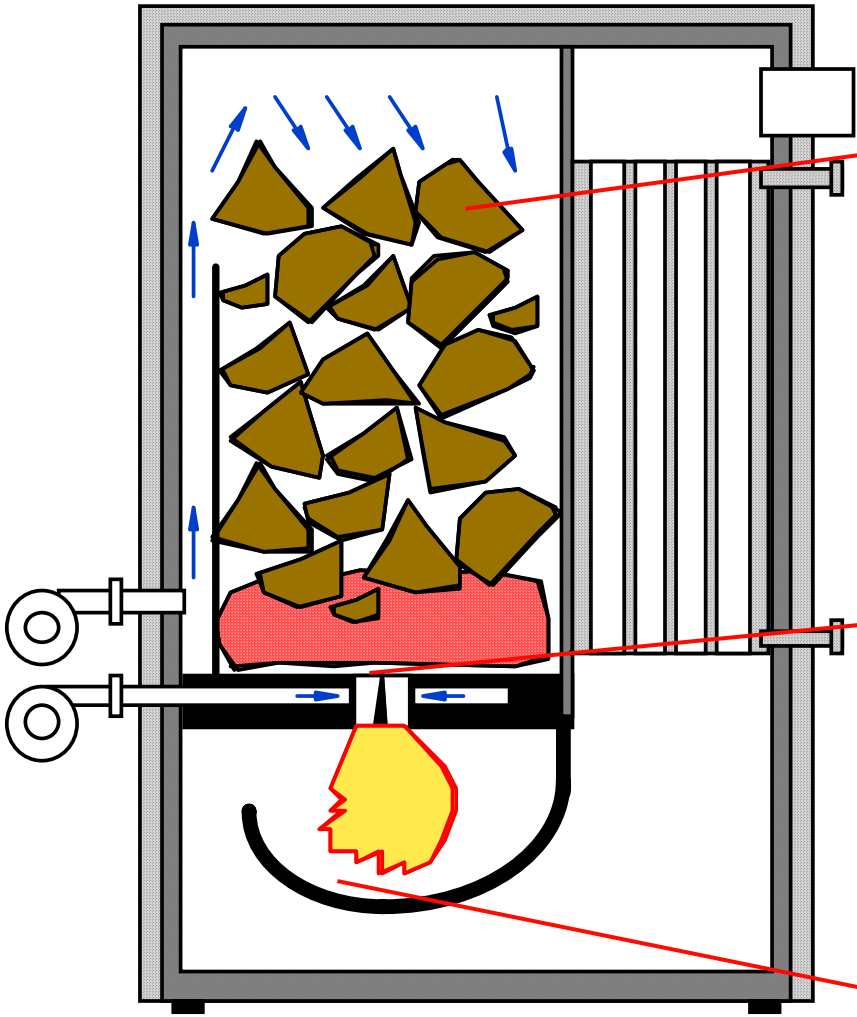
Problem 1:
Luftverteilung

2-stufige Verbrennung





2-stufige Verbrennung: Beispiel Sturzbrand



Holz: **C H O**

+ Luft

mit $\lambda < 1$

$O_2 + N_2$

CO, H_2, C_xH_y

CO_2, N_2

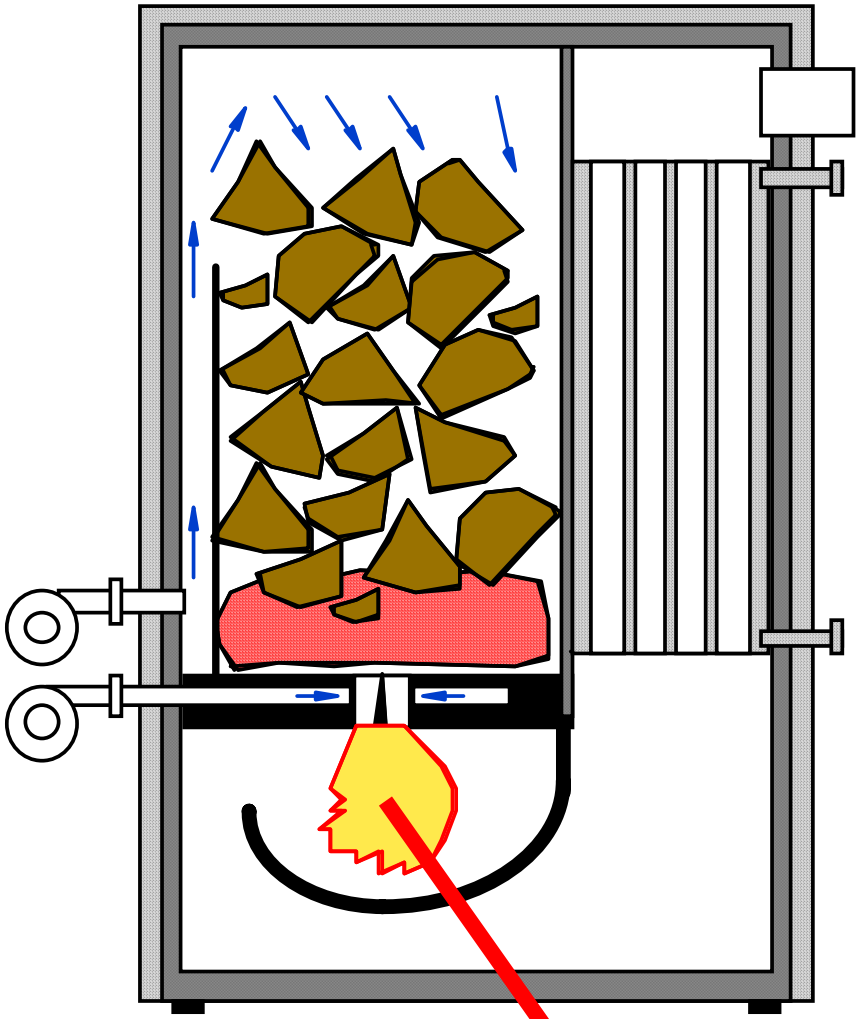
+ Luft mit

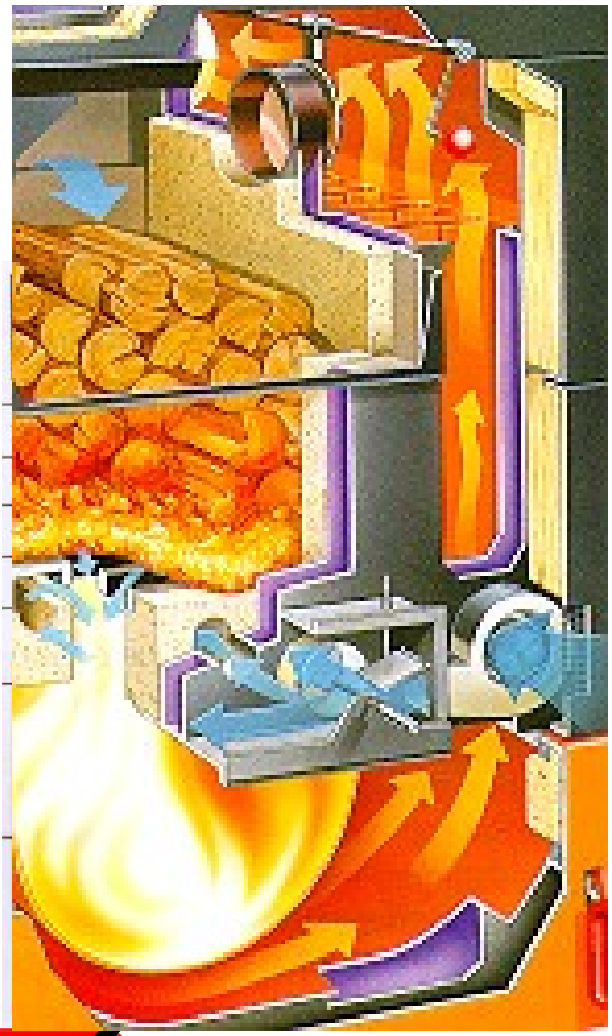
$\lambda > 1$

$O_2 + N_2$

CO_2, H_2O, N_2

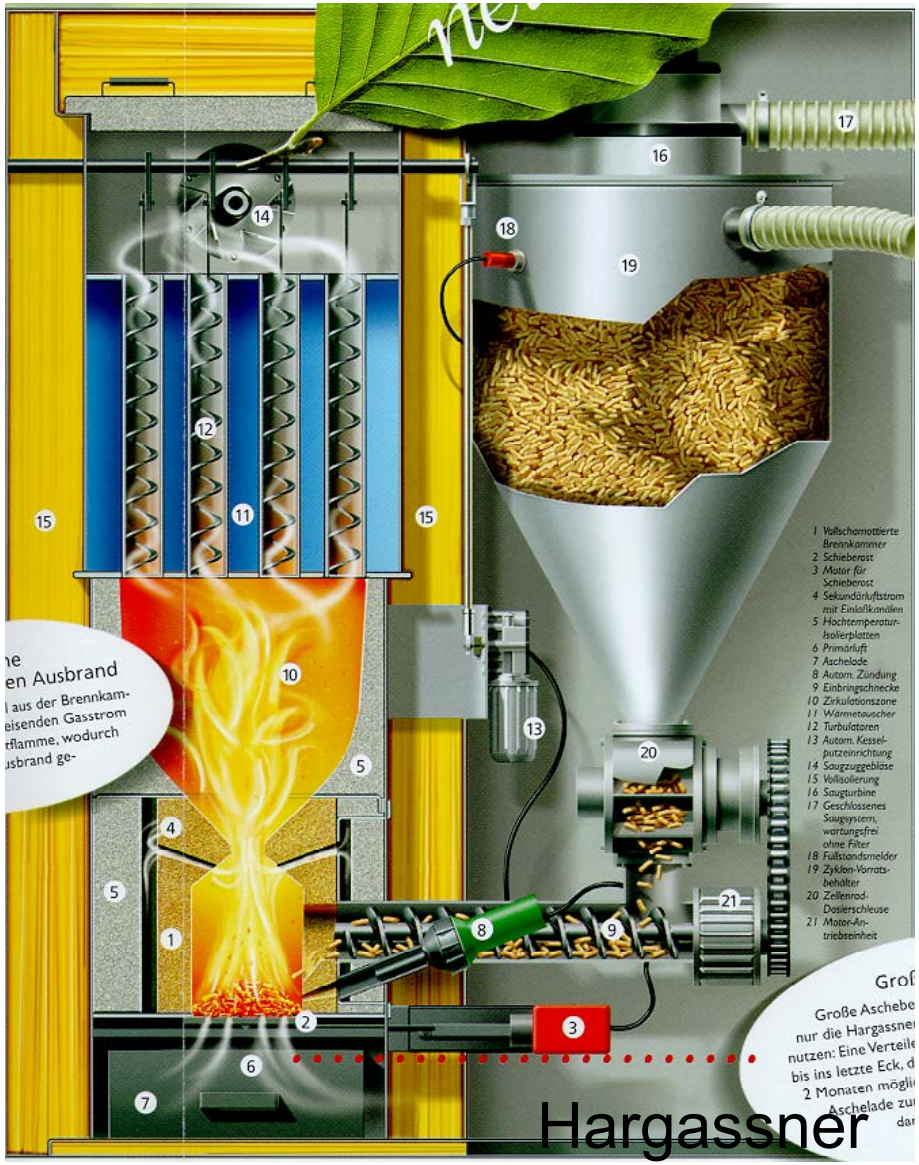
2-stufige Verbrennung: Beispiel Sturzbrand





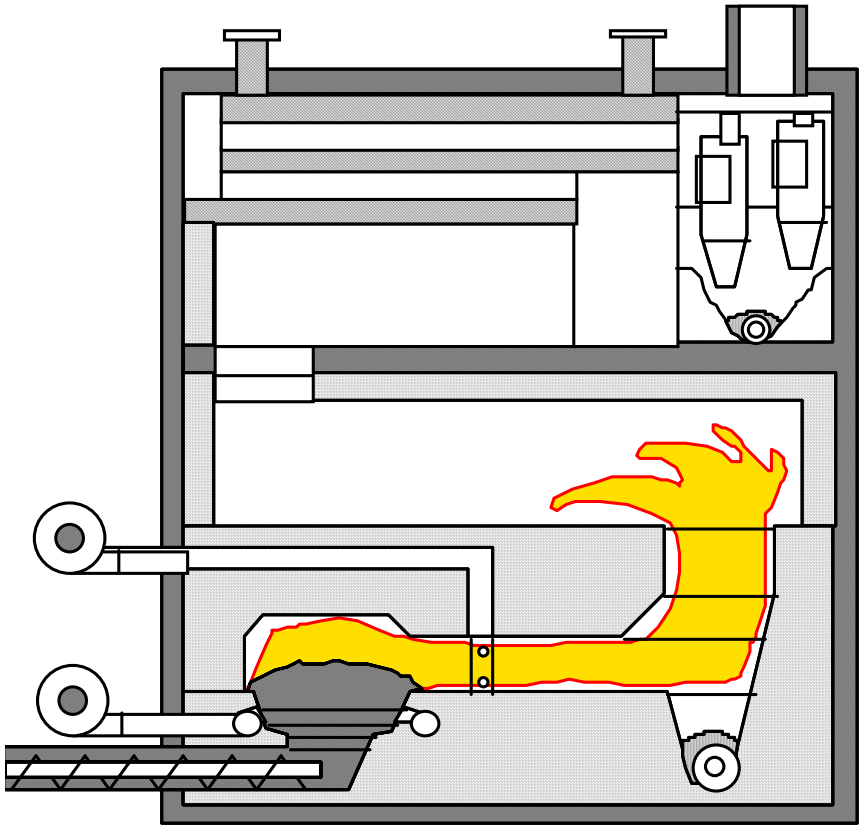
Vormischflamme

Pelletfeuerungen mit 2-stufiger Verbrennung



Unterschubfeuerung

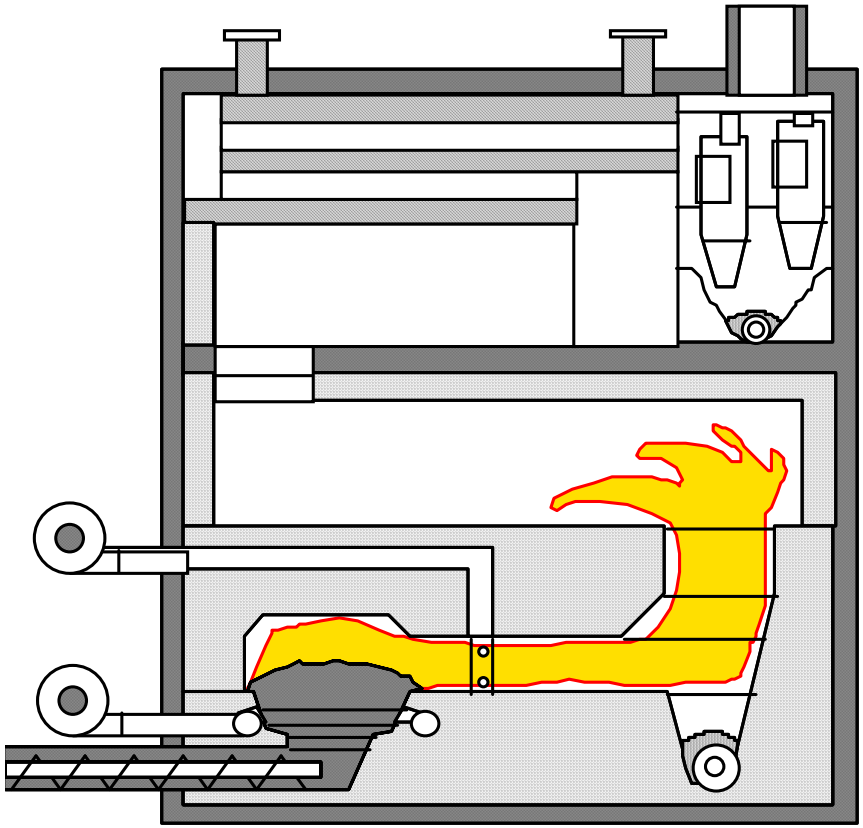
$w \approx 10\% - 50\%,\ a < 5\%$



20 kW ... 2000 kW

Unterschubfeuerung

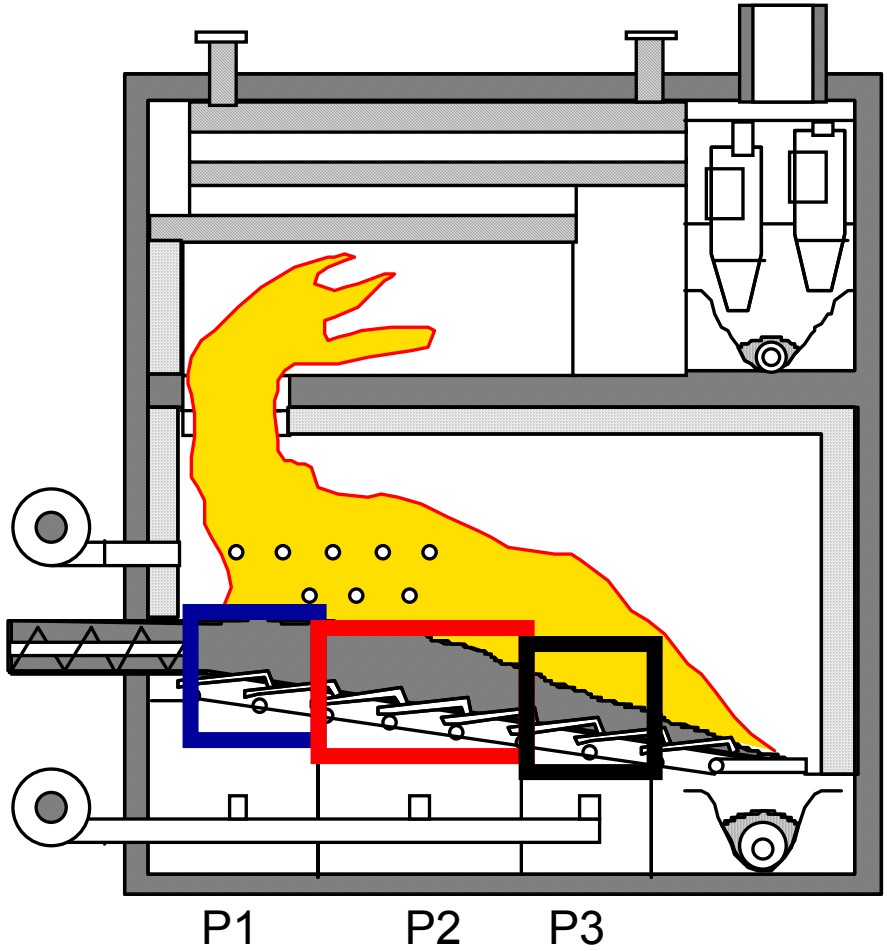
w ≈ 10% – 50%, a < 5%



20 kW ... 2000 kW

Rostfeuerung

w ≈ 10% – 55%, a < 50%



200 kW ... 10 MW

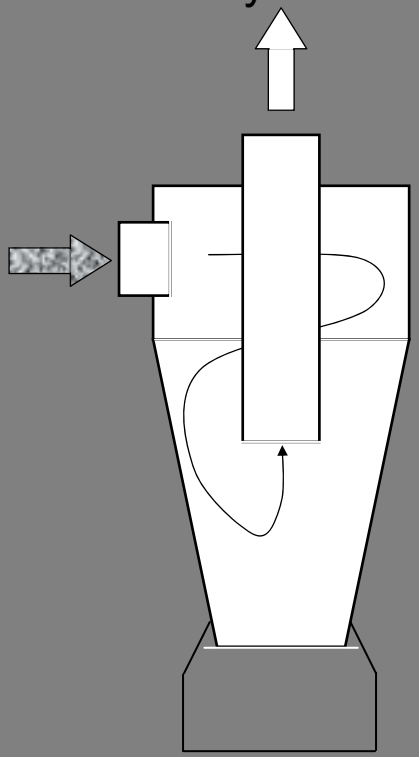
Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „TIFF (LZW)“ benötigt.

1. Arten Feinstaub aus Holzfeuerungen
2. Reduktion von Russ und organischem Feinstaub
3. Feinstaubabscheidung
4. Hochrechnung Schweiz
5. Minderungspotenzial und Schlussfolgerungen

Staubabscheideverfahren

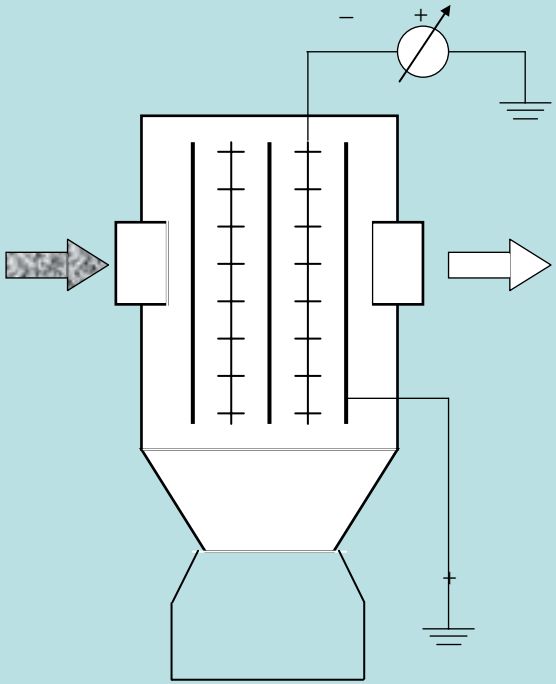
Vorabscheider > 5 µm

Zyklon

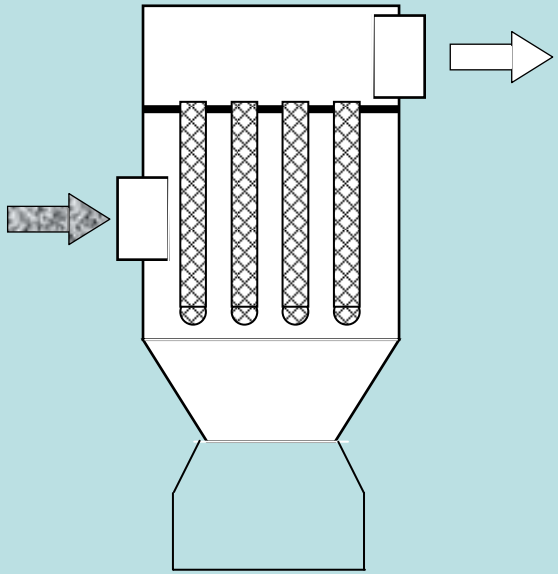


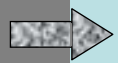
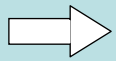
Feinstaubabscheider bis < 0,01 µm

Elektroabscheider



Gewebefilter

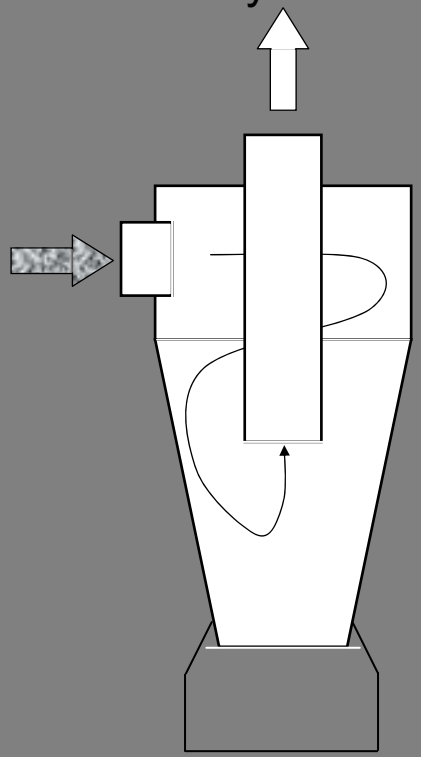


 Rohgas  Reingas

Staubabscheideverfahren

Vorabscheider > 5 µm

Zyklon



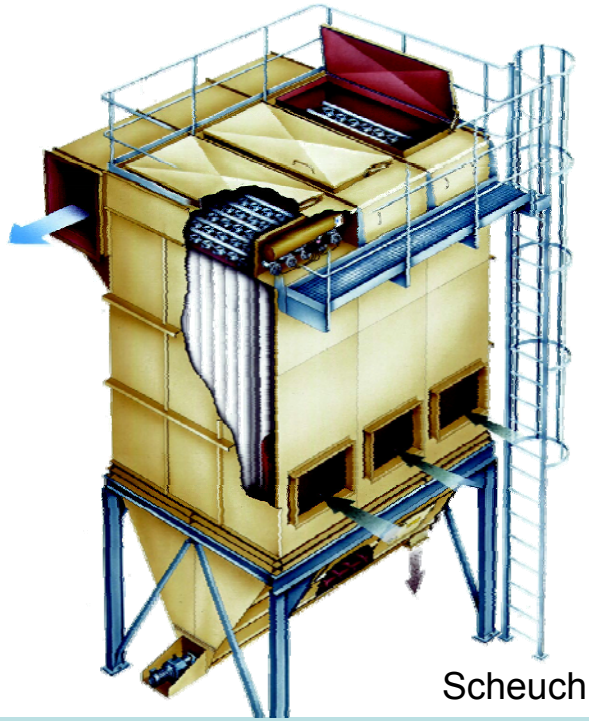
Feinstaubabscheider bis < 0,01 µm

Elektroabscheider

Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „TIFF (LZW)“ benötigt.

Aerob-Beth

Gewebefilter

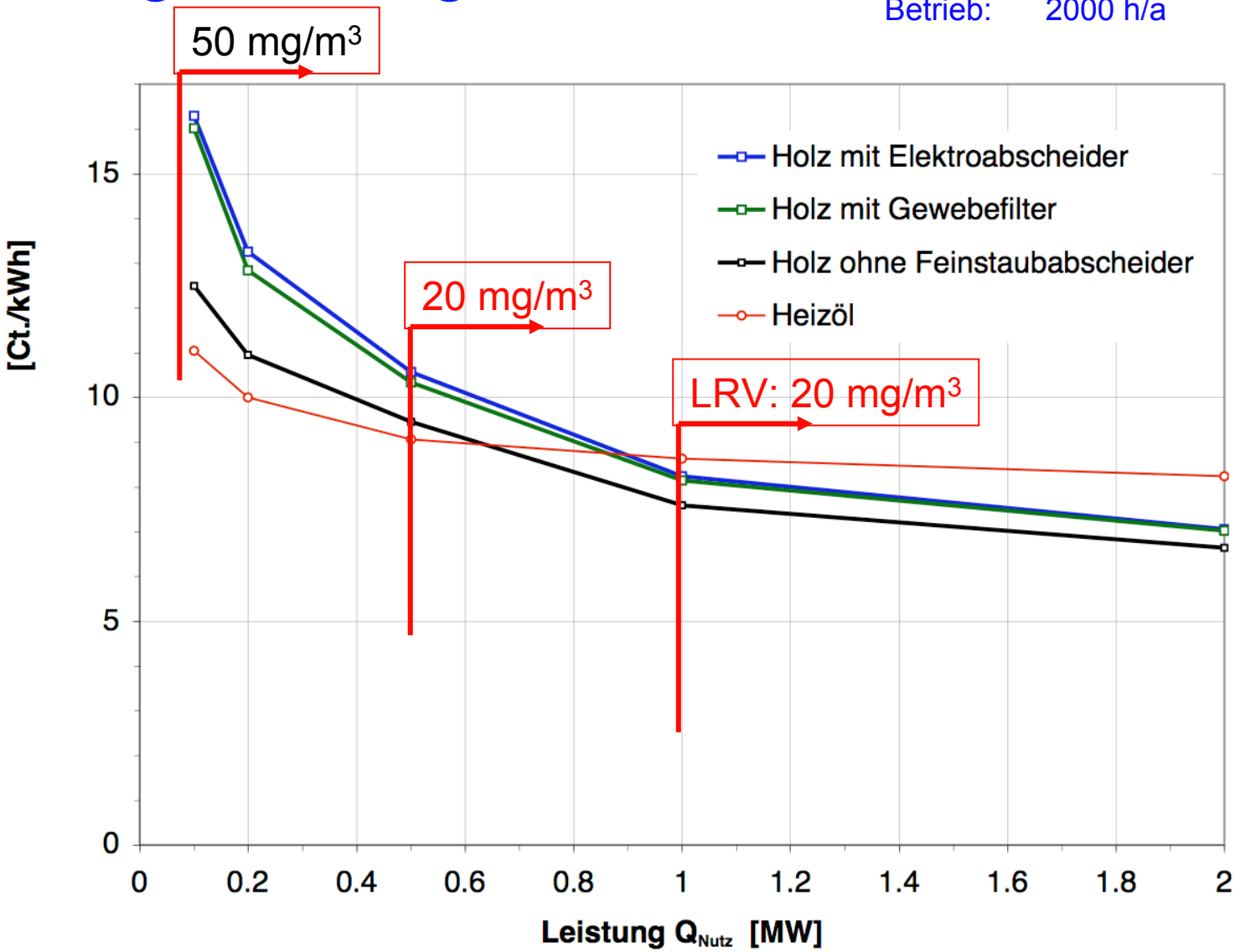


Scheuch

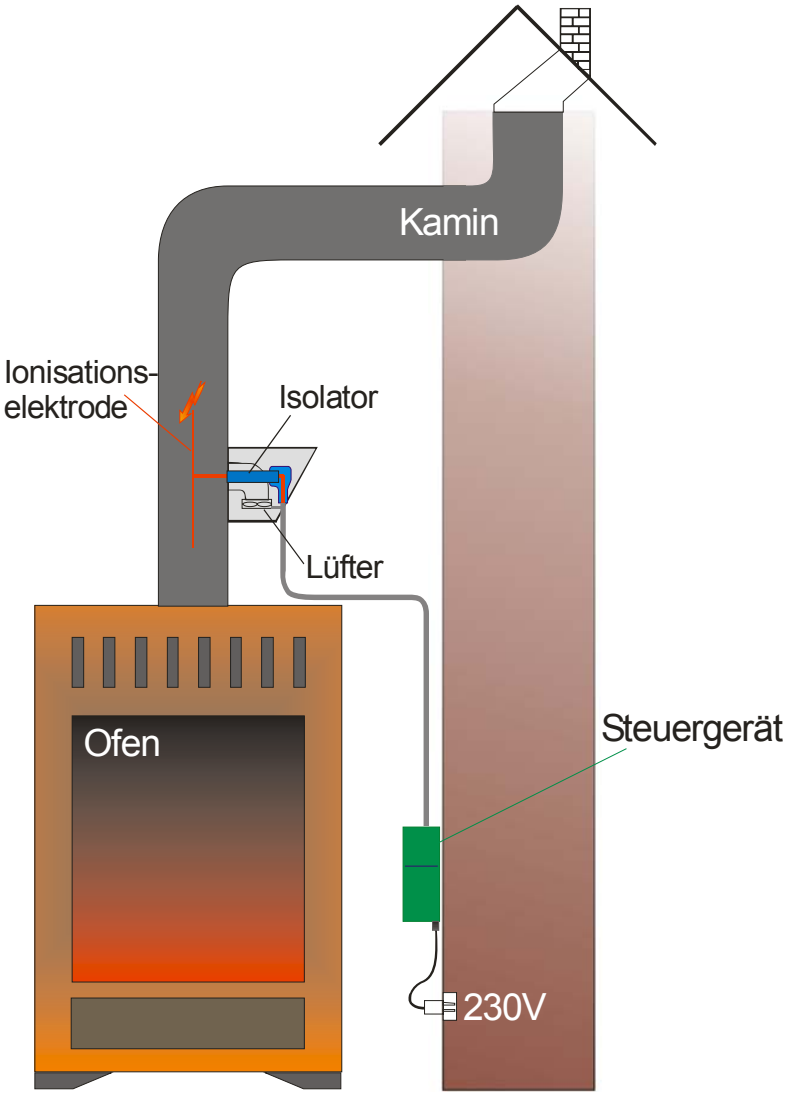
Rohgas → Reingas

Wärmegestehungskosten

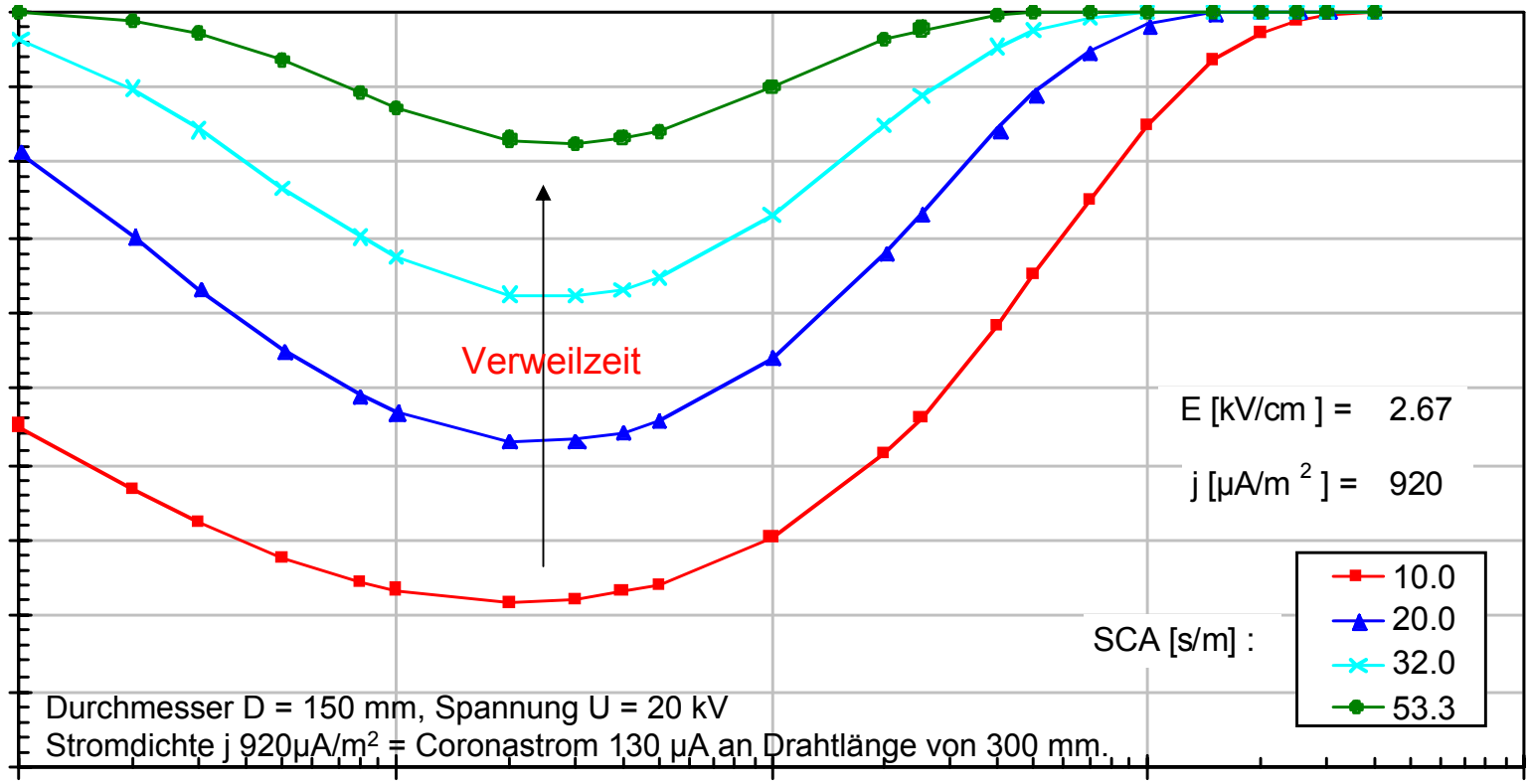
Holz: 3 Ct./kWh
Heizöl: 6 Ct./kWh (€ 60 pro 100 l)
Kapital: 5% p.a..
Betrieb: 2000 h/a



Elektroabscheider für häusliche Holzfeuerungen



Fraktions-Abscheidegrad des Rohr-Elektroabscheiders



Verbesserung der Abscheidung:
– Verweilzeit verlängern (Grösse)
– Spannung erhöhen
– Gassenbreite (Rohrdurchmesser) verringern

Holzkraftwerk mit Abgasreinigung auf < 5 mg/m^3

–> Nass-Elektroabscheider (Beispiel Kufstein mit 60 MW_t / 7 MW_e)

–> oder Gewebefilter (Beispiel Tegra in Ems)

Holzgas-Kombikraftwerk mit Wirbelschicht-Druck-Vergasung und Gas- und Dampfturbine

Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „TIFF (LZW)“ benötigt.

Foster Wheeler
(Bioflow/Sydkraft)

Värnamö (S)

6 MW_e (4 + 2 MW_e)
9 MW_t

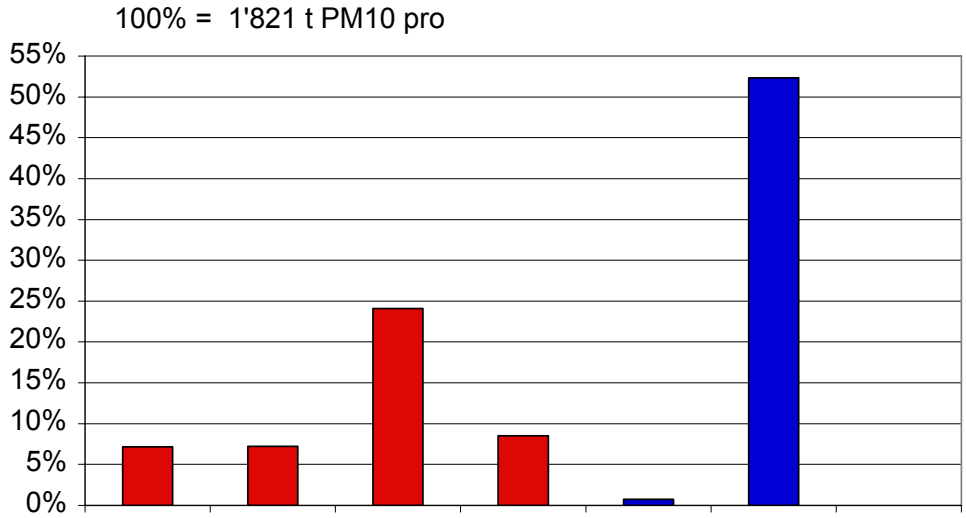
Eta_e = 33–37%

Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „TIFF (LZW)“ benötigt.

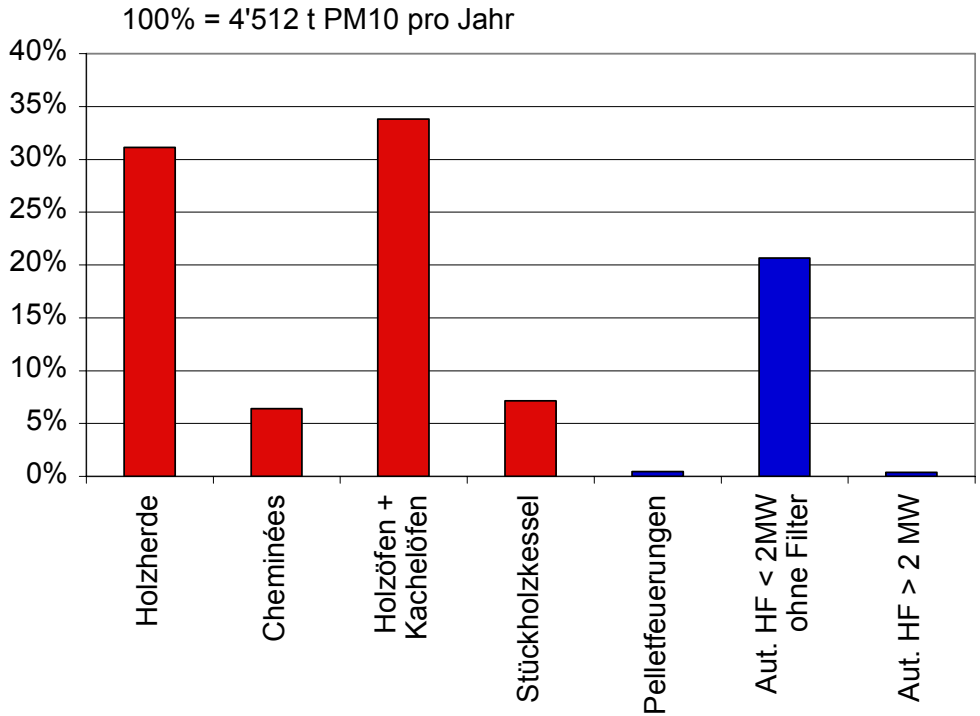
1. Arten Feinstaub aus Holzfeuerungen
2. Reduktion von Russ und organischem Feinstaub
3. Feinstaubabscheidung
4. Hochrechnung Schweiz
5. Minderungspotenzial und Schlussfolgerungen

PM10-Emissionsfaktoren Holzöfen in [mg/MJ_{end}]	Betrieb (Feuerung)		
	gut	typisch	schlecht
Schweiz - BAFU		100	
Schweiz - Bsp. TN	< 50	300	> 2000
Deutschland		94	
Österreich		148	
Schweden	22	90	260
Norwegen		1931	
Dänemark		1000	

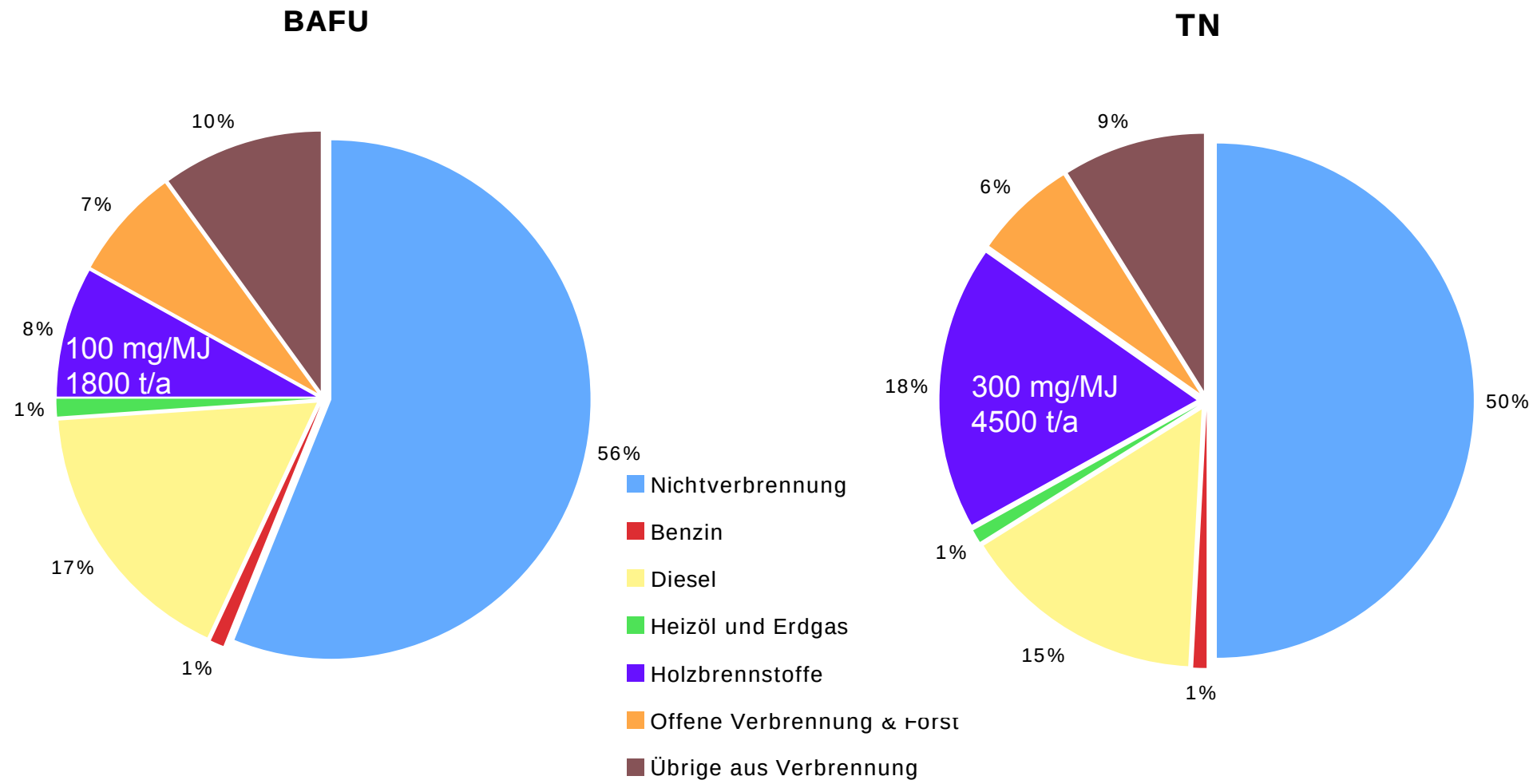
BAFU


100% = 1'821 t PM10 pro
55%
50%
45%
40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%

TN

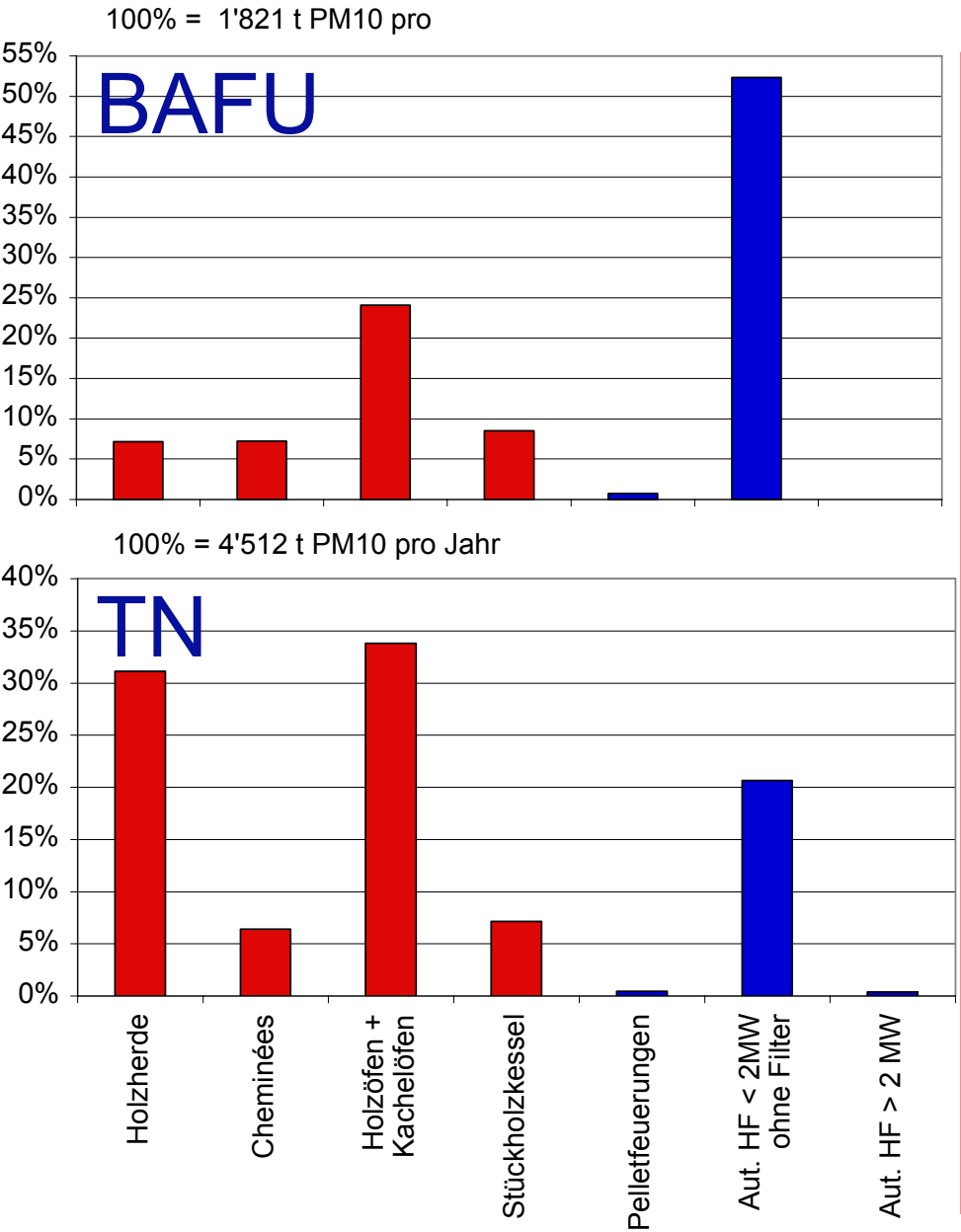

100% = 4'512 t PM10 pro Jahr
40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
Holzherde
Cheminées
Holzöfen + Kachelöfen
Stückholzkessel
Pelletfeuerungen
Aut. HF < 2MW ohne Filter
Aut. HF > 2 MW

PM10 aus Holzfeuerungen



Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „TIFF (LZW)“ benötigt.

1. Arten Feinstaub aus Holzfeuerungen
2. Reduktion von Russ und organischem Feinstaub
3. Feinstaubabscheidung
4. Hochrechnung Schweiz
5. Minderungspotenzial und Schlussfolgerungen



1. LRV für autom. Holzfeurungen
   –> bis – 900 t/a = –10% bis –25%

2. Problem: Handbeschickte HF:
   – Heutige Typenprüfung reicht nicht
   – Betrieb entscheidend
   – Keine Reduktion zu erwarten

   –> Bessere Feuerungen & Regelung
   –> Praxisgerechtere Typenprüfung
   –> Ersatz bestehender Öfen
   –> Strikter Vollzug in Praxis
   –> Option kleiner Abscheider

3. Pelletfeuerungen statt Stückholz

4. In Kleinfeuerungen nur Holz,
   keine anderen Biomasse-Brennstoffe

5. Grossanlagen statt Stückholz

Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „TIFF (LZW)“ benötigt.

Verdankung

Bundesamt für Umwelt
Bundesamt für Energie
Direktion für Entwicklung und Zusam. (DEZA)
Internationale Energie Agentur Bio Task 32

EMPA Dübendorf, Abt. Verbrennungsmotoren

Müller AG, Tiba AG, Schmid AG, Liebi AG, ...

N. Klippel, C. Czasch, J. Good, M. Baillifard, ...
R. Bühler, A. Jenni, ...

Weitere Informationen

Thomas Nussbaumer

www.verenum.ch

www.holzenergie-symposium.ch

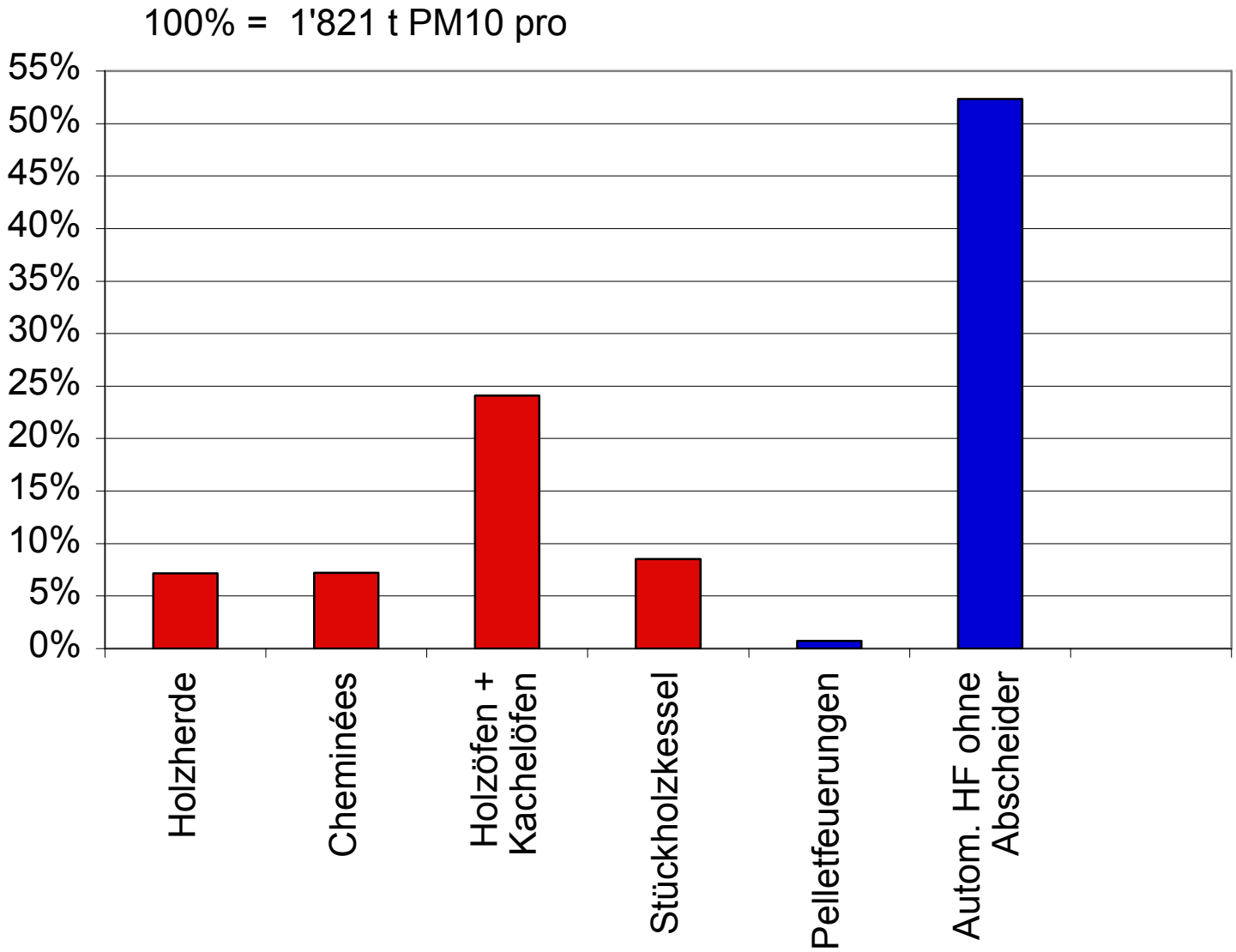
www.hta.fhz.ch

PM10 aus Holzfeuerungen nach BAFU 2006

		BAFU 2006			
	ca.-Werte vereinfacht	Endenergie	PM10		
	Kategorie	TJ/a	mg/MJ$_{end}$	t PM10/a	%
ma-	Holzherde	1'303	100	130	**7.2%**
ma-	Cheminées	1'310	100	131	**7.2%**
nu-	Holzöfen + Kachelöfen	4'392	100	439	**24.1%**
ell	Stückholzkessel	3'096	50	155	**8.5%**
auto	Pelletfeuerungen	432	30	13	**0.7%**
ma-	Autom. HF ohne Abscheider	10'584	90	953	**52.3%**
tisch					
	Total	**21'118**		**1821**	**100%**

Basis	Holzenergie-Statistik 2004 Emissionsfaktoren BAFU 2005

PM10 aus Holzfeuerungen nach BAFU 2006

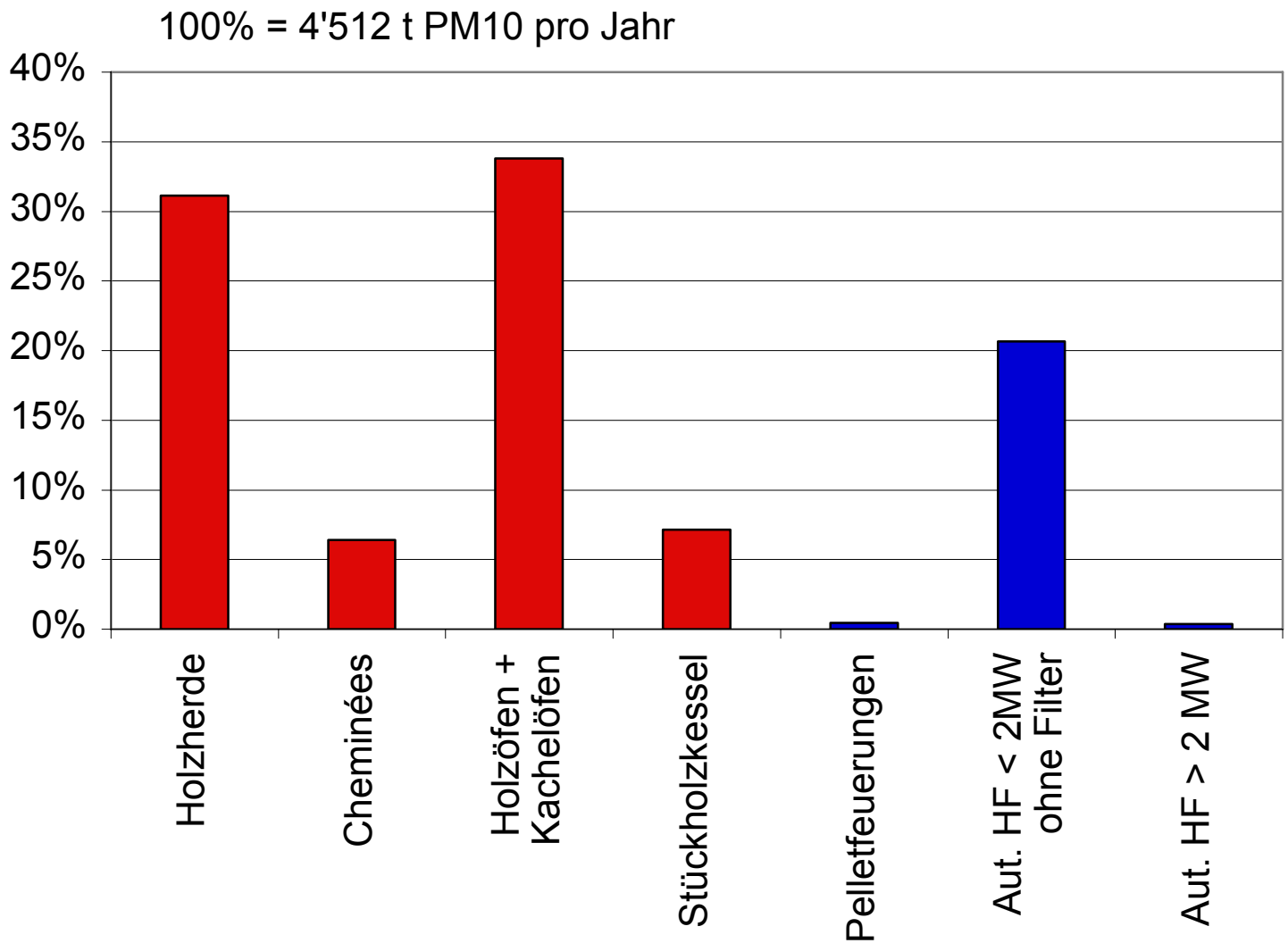


PM10 aus Holzfeuerungen

		BAFU 2006				TN 2007				
		Endenergie	PM10			Endenergie	PM10			
	Kategorie	TJ/a	mg/MJ$_{end}$	t PM10/a	%	TJ/a	mg/MJ$_{end}$	t PM10/a	%	Zusatz TN
ma-	Holzherde	1'303	100	130	**7.2%**	3'938	300	1'181	**26.2%**	inkl. Z-Herde
nu-	Cheminées	1'310	100	131	**7.2%**	1'125	300	338	**7.5%**	
ell	Holzöfen + Kachelöfen	4'392	100	439	**24.1%**	5'800	300	1'740	**38.6%**	
	Stückholzkessel	3'096	50	155	**8.5%**	477	100	48	**1.1%**	ohne Venti
						5'324	50	266	**5.9%**	mit Venti
	Pelletfeuerungen	432	30	13	**0.7%**	438	30	13	**0.3%**	Öfen
auto						438	20	9	**0.2%**	Kessel
ma-	Autom. HF ohne Abscheider	10'584	90	953	**52.3%**	10'080	90	907	**20.1%**	< 2 MW
tisch						128	20	3	**0.1%**	2–10 MW mA
						2'594	3	8	**0.2%**	> 10 MW mA
	Total	**21'118**		**1821**	**100%**	**30'342**		**4'512**	**100%**	

Basis	Holzenergie-Statistik 2004 Emissionsfaktoren BAFU 2005	Holzenergie-Statistik 2005 Emissionsfaktoren TN 2007 (Schätzung Praxiswerte)

PM10 aus Holzfeuerungen nach TN 2007



PM10 aus Holzfeuerungen

Ca.-Werte zusammengefasst

	B A F U		T N	
Quelle	t PM10/a	%	t PM10/a	%
Nichtverbrennung	12'600	56%	12'600	50%
Benzin	225	1%	225	1%
Diesel	3'825	17%	3'825	15%
Heizöl und Erdgas	225	1%	225	1%
Holzbrennstoffe	1'800	8%	4'500	18%
Offene Verbrennung & Forst	1'575	7%	1'575	6%
Übrige aus Verbrennung	2'250	10%	2'250	9%
Total	22'500	100%	25'200	100%

Staubgrenzwerte und *Emissionswerte* Holzfeuerungen

	LRV 1992	LRV 2007*	TEGRA	LRV 07/TEGRA LRV 92/TEGRA
> 10 MW	50 mg/m³	10 mg/m³ ab 2007	2.5 mg/m³ *(1.5 mg/m³)*	4 20
> 1 MW	150 mg/m³	20 mg/m³ ab 2007	(3.2 mg/m³)	7 60
> 500 kW	150 mg/m³	20 mg/m³ ab 2008		7 60
> 70 kW	150 mg/m³	50 mg/m³ ab 2012		25 60
< 70 kW Prüfung	–	40 – 120 mg/m³		16 – 48
< 70 kW Praxis	–	*100 – 1000 mg/m³*		50 – 500

Sauerstoffbezug: ≤ 1 MW: 13%vol > 1MW: 11 %vol

Vergleich mit Holzöfen

Emission von Holzheizkraftwerk	=	1.5 mg/m^3
Emission von Holzofen/-kessel	=	150 mg/m^3

–> 260‘000 t Holz/a in Holzheizkraftwerk

= 2‘600 t Holz/a in Holzöfen

= 1‘000 Einwohner mit Verbrauch von 2,6 t Holz/a

–> Wenn der Grossraum Chur mit Holzöfen beheizt würde, wäre die Belastung mit der gleichen Holzmenge rund 100 mal grösser