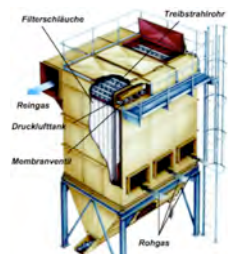


Überwachung und Vollzug der LRV für Holzheizungen ab 500 kW mit Feinstaubabscheidern im Kanton Zürich

Jürgen Good, Thomas Nussbaumer



10. Holzenergie-Symposium
ETH Zürich, 12. September 2008



1. Was sagt die LRV
2. Betriebsverhalten von Holzfeuerungen
3. Betriebsverhalten von Staubabscheidern
4. Verfügbarkeit von Staubabscheidern
5. Modell zur Abschätzung der Staubemissionen
6. Vorschlag zur Ersatz-Beurteilung für LRV Art. 15
7. Methodik zur Überwachung von Staubabscheidern
8. Empfehlungen



LRV Anhang 3, Ziffer 522 *Emissionsgrenzwerte*

Feuerungswärmeleistung

70 kW – 500 kW	bis 2012	150 mg/m ³ bez. 13% O ₂
	ab 2012	50 mg/m ³ bez. 13% O ₂
500 kW – 1'000 kW	ab 2012	20 mg/m ³ bez. 13% O ₂
1'000 kW – 10'000 kW	ab 2012	20 mg/m ³ bez. 11% O ₂

Sanierungsfristen Holzfeuerungen (LRV Art. 10)

Sanierungsfrist: 10 Jahre

Bei Überschreitung des früheren Emissionsgrenzwertes reduziert sich die Sanierungsfrist auf 5 Jahre.

Ausnahmen: Sanierungsfristen in Massnahmegebieten



LRV Art. 13 *Emissionsmessungen und -kontrollen*

³ In der Regel ist die **Messung oder Kontrolle bei Feuerungen alle zwei Jahre**,

⁴ Bei Anlagen, aus denen **erhebliche Emissionen austreten können**, ordnet die Behörde die **kontinuierliche Messung** und Aufzeichnung der Emissionen oder einer anderen Betriebsgrösse an, welche die Kontrolle der Emissionen ermöglicht.

- **erhebliche Emissionen?**
- **austreten können → Verdacht reicht!**
- **Wenn Messung, dann kontinuierlich**



LRV Art. 14 *Durchführung der Messungen*

¹ Die Messungen müssen die für die Beurteilung **wichtigen Betriebszustände erfassen**.

2

3

4

- **Teillast, Schwachlast?**
- **Anfahren?**
- **EIN/AUS?**
- **Abreinigung des Abscheiders?**



LRV Art. 15 *Beurteilung der Emissionen*

¹ Die gemessenen Werte sind **auf die** in Anhang 1 Ziffer 23 festgelegten **Bezugsgrößen umzurechnen**.

² Soweit die Anhänge 1–4 nichts anderes bestimmen, sind die nach Absatz 1 errechneten Werte für die Beurteilung über den Zeitraum **einer Stunde zu mitteln**. Die Behörde kann in begründeten Fällen andere geeignete Mittelungszeiten festlegen.

³ Bei Abnahme- und Kontrollmessungen gelten die Emissionsbegrenzungen als eingehalten, **wenn keiner der** nach Absatz 2 bestimmten **Mittelwerte den Grenzwert überschreitet**.

4

- **Normierung notwendig → O₂ messen**
- **Stundenmittelwerte**



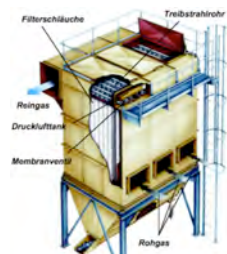
LRV Art. 15 *Beurteilung der Emissionen*

⁴ Bei kontinuierlicher Messung der Emissionen gelten die **Emissionsgrenzwerte** als **eingehalten**, wenn innerhalb eines Kalenderjahres:

- a keiner der Tagesmittelwerte den Emissionsgrenzwert überschreitet;**
- b 97 Prozent aller Stundenmittelwerte das 1,2-fache des Grenzwertes nicht überschreiten und**
- c keiner der Stundenmittelwerte das 2-fache des Grenzwertes überschreitet.**

⁵ **Die Emissionen während der An- und Abfahrzeiten** der Anlage werden von der Behörde unter Berücksichtigung der besonderen Umstände beurteilt.

- **Grosser Aufwand!!**



1. Was sagt die LRV
2. Betriebsverhalten von Holzfeuerungen
3. Betriebsverhalten von Staubabscheidern
4. Verfügbarkeit von Staubabscheidern
5. Modell zur Abschätzung der Staubemissionen
6. Vorschlag zur Ersatz-Beurteilung für LRV Art. 15
7. Methodik zur Überwachung von Staubabscheidern
8. Empfehlungen



Betriebsverhalten von Holzfeuerungen

Positiv bezüglich Emissionen:

- Lange Betriebsphasen zwischen Voll- und Teillast
- ‚Sanfte‘ Lastwechsel
- Wenig EIN/AUS-Phasen
- Gute Abstimmung von Brennstoff und Feuerungssystem
- Geeignete Systemwahl
- Korrekte Dimensionierung der Holzessel
- Speicher mit geeigneter Laderegelung

→ Planungsphase bei Heizanlagen mit Holz sehr wichtig

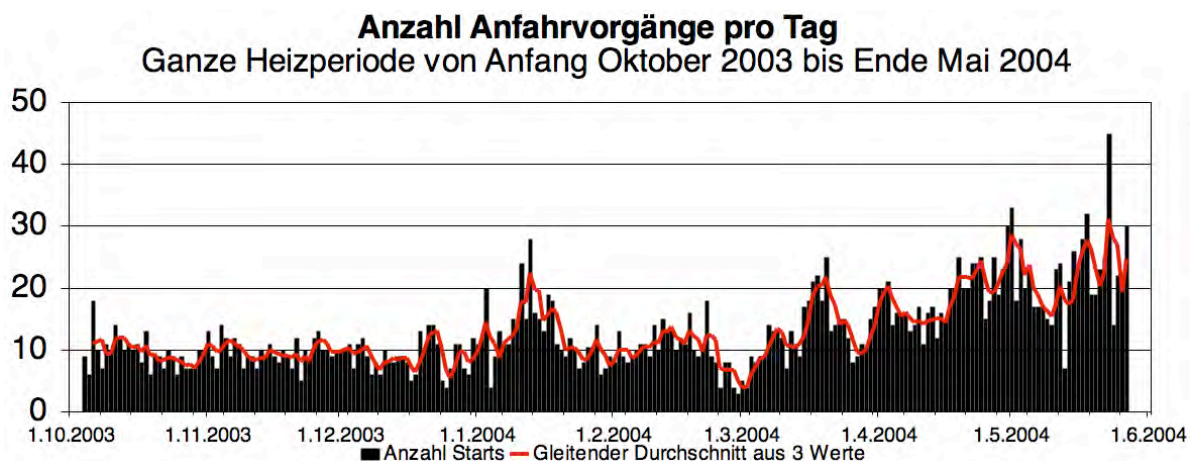
→ QM Holzheizwerke

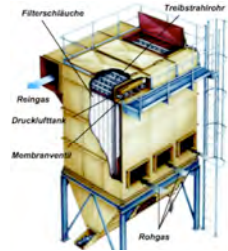


Betriebsverhalten von Holzfeuerungen

Kritisch, erhöhte Emissionen:

- Viele EIN/AUS-Phasen...
 - Übergang Stationär → Stillstand ...Ausbrand
 - Übergang Stillstand → Stationär ...Anfahren





1. Was sagt die LRV
2. Betriebsverhalten von Holzfeuerungen
- ➔ 3. Betriebsverhalten von Staubabscheidern
4. Verfügbarkeit von Staubabscheidern
5. Modell zur Abschätzung der Staubemissionen
6. Vorschlag zur Ersatz-Beurteilung für LRV Art. 15
7. Methodik zur Überwachung von Staubabscheidern
8. Empfehlungen



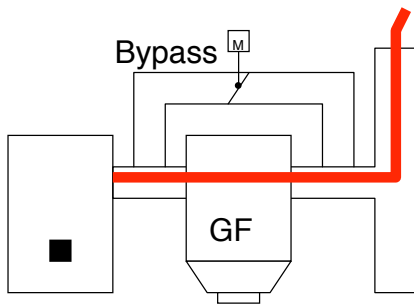
Betriebsverhalten von Staubabscheidern

Kritisch:

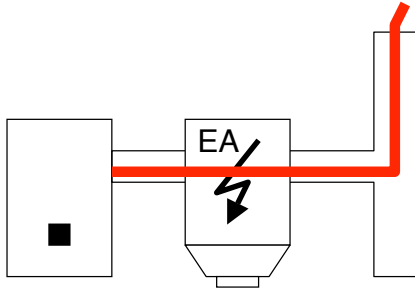
- **Keine Kondensation** im Abscheider
- Temperatur im Abscheider immer über Taupunkt
 - Wassergehalt Brennstoff / Luftüberschuss → Taupunkt
 - Schwachlast / EIN/AUS-Phasen → Abgastemperatur
- Wenn Abgastemperatur < Betriebstemperatur Abscheider?
 - Bypassbetrieb
 - Hochspannung reduziert oder ausgeschaltet?
 - **keine** Abscheidung
 - Abscheider beheizbar?



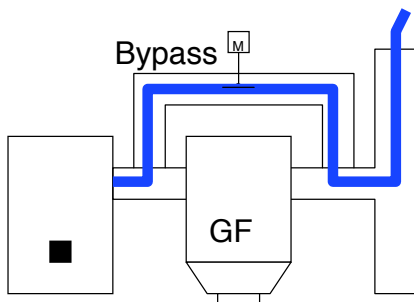
Betriebsverhalten von Staubabscheidern



**Temperatur hoch genug:
→ Abscheidung OK**



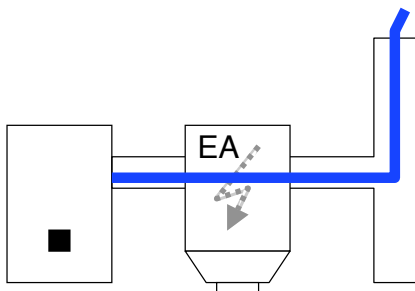
Betriebsverhalten von Staubabscheidern



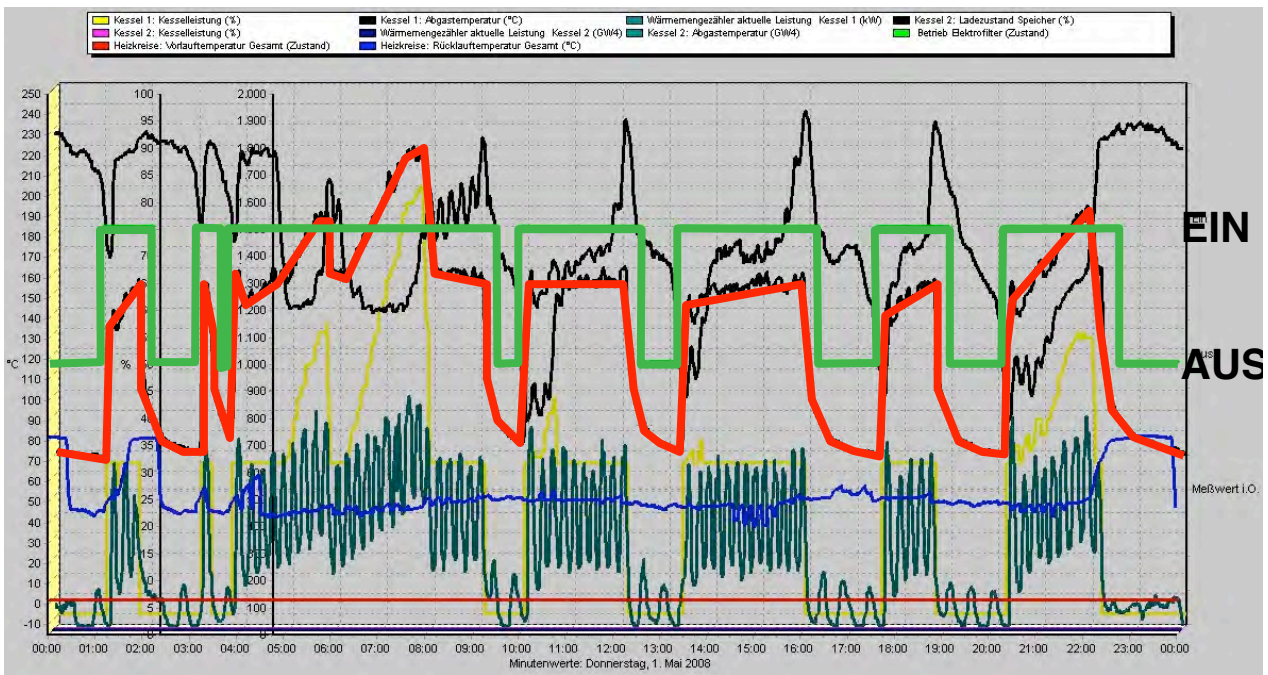
Temperatur zu tief:

- Bypassbetrieb
- Hochspannung AUS

→ KEINE Abscheidung

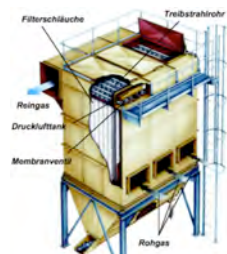


Betriebsverhalten von Staubabscheidern



Abgastemperatur

Elektroabscheider EIN/AUS



1. Was sagt die LRV
2. Betriebsverhalten von Holzfeuerungen
3. Betriebsverhalten von Staubabscheidern
- ➔ 4. Verfügbarkeit von Staubabscheidern
5. Modell zur Abschätzung der Staubemissionen
6. Vorschlag zur Ersatz-Beurteilung für LRV Art. 15
7. Methodik zur Überwachung von Staubabscheidern
8. Empfehlungen



Verfügbarkeit von Staubabscheidern

Wunsch: Einfache Messung zur Kontrolle nach LRV

- Die zeitliche Verfügbarkeit eines Feinstaubabscheiders ist eine einfach zu bestimmende Grösse:

$$\frac{\text{Betriebszeit Staubabscheider h/a}}{\text{Betriebszeit Holzfeuerung h/a}}$$

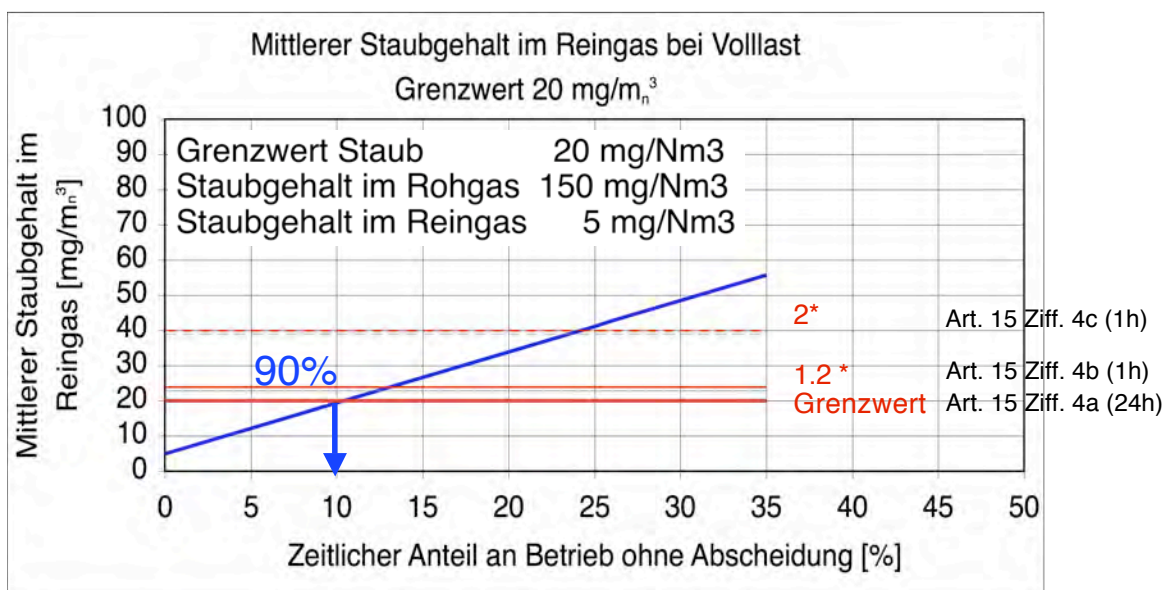
- Kann damit die Einhaltung von LRV Art. 15 kontrolliert werden?



Verfügbarkeit von Staubabscheidern

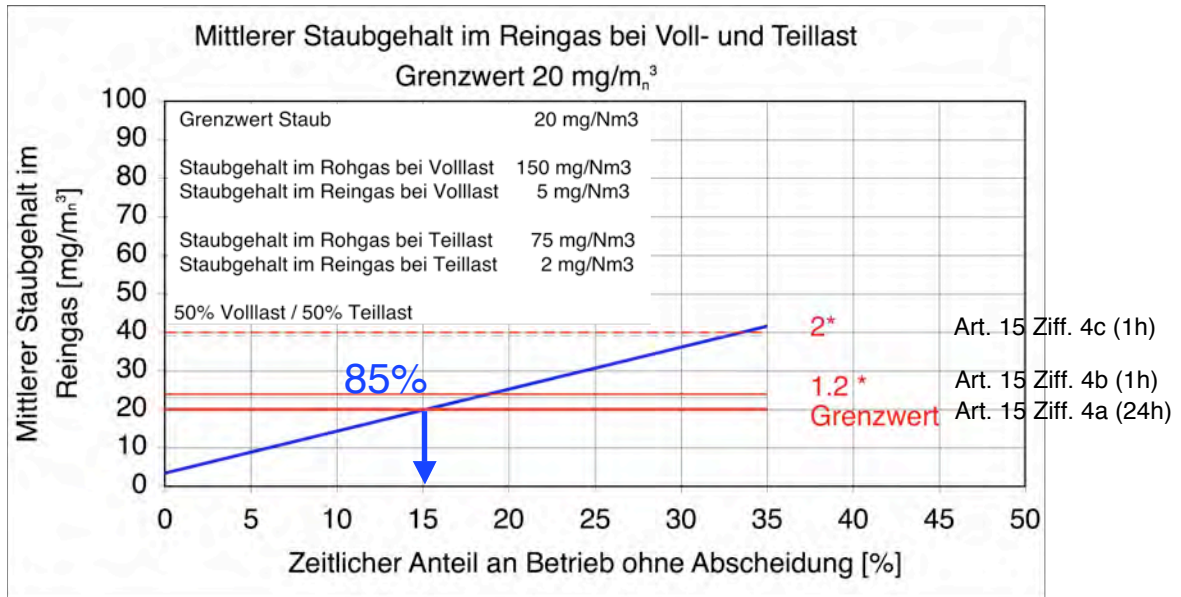
Fiktives Beispiel, Betrieb bei Volllast:

- Verfügbarkeit → Wie hoch muss sie mindestens sein?



Verfügbarkeit von Staubabscheidern

Gleiche Situation, aber 50% Volllast und 50% Teillast



 Verenum

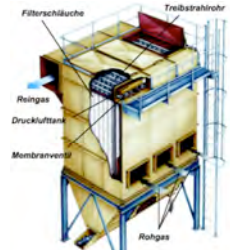
Verfügbarkeit von Staubabscheidern

Die zeitliche Verfügbarkeit eines Feinstaubabscheiders allein ist **nicht ausreichend** zur Beurteilung nach LRV Art. 15, **weil**

die **minimal notwendige Verfügbarkeit** abhängig ist von Rohgaswert / Reingaswert / Grenzwert jeweils bei Voll- und bei Teillast

→ Wunsch leider nicht erfüllt

 Verenum



1. Was sagt die LRV
2. Betriebsverhalten von Holzfeuerungen
3. Betriebsverhalten von Staubabscheidern
4. Verfügbarkeit von Staubabscheidern
- ➔ 5. Modell zur Abschätzung der Staubemissionen
6. Vorschlag zur Ersatz-Beurteilung für LRV Art. 15
7. Methodik zur Überwachung von Staubabscheidern
8. Empfehlungen

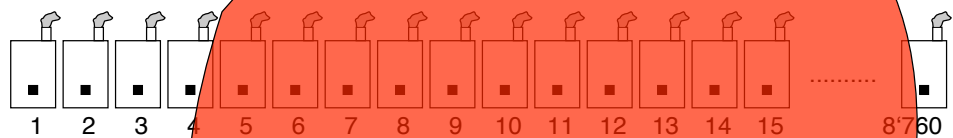


Abschätzung der Staubemissionen

Stundenmittelwert: 8'760 mal 1h

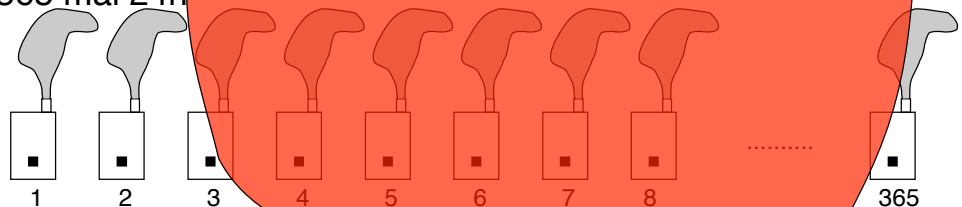
Art.15 Ziff. 4b
97% (1h) < 1,2*GW

Art.15 Ziff. 4c
100% (1h) < 2*GW



Tagesmittelwert: 365 mal 24h

Art.15 Ziff. 4a
100% (24h) < GW



**Neuer Vorschlag zur Kontrolle:
Jahresmittelwert: 1 mal 8'760h
Betrachtung der Staub-Jahresfracht**



Modell zur Abschätzung der Staubemissionen

Was braucht dazu?

- Messungen
 - Periodische Staubmessung bei Voll- und Teillast
 - ABER: auch **Rohgaswert** bei Voll- und Teillast
 - Kont. Erfassung diverse Betriebsstundenzähler
- Annahmen/Abschätzungen (Anfahren/Abfahren, Standby)
- Berechnungen

Berechnung

1. Berechnung der Staubfracht g/h in allen Betriebszuständen
2. Aufsummieren → Staub-Jahresfracht kg/a
3. Dividieren durch aufsummiertes Abgasvolumen in m_n^3/a
4. → Staub-Jahresmittelwert in mg/m_n^3
5. → Vergleich mit Grenzwert



Modell zur Abschätzung der Staubemissionen

Bezugs-Sauerstoffgehalt	11	Vol.-%
Lambda norm	2.1	Vol.-%
Feuerungswärmeleistung	1'000	kW
Wassergehalt	30.0	%
Holzfeuchtigkeit	42.9	%

mg/MJ = 0.557 mg/m3 bei O2 norm für Holz mit u

Rot: Eingaben

Blau: Berechnet

Betrieb Holzfeuerung		Zuluftgebläse				Abgasventilator				Betriebsart				TOT	
		EIN		AUS		EIN		AUS		EIN		AUS			
						Vollast		Teillast		An- oder abfähret		Abfahren		Standby	
										EIN		AUS		AUS	
Betrieb Holzfeuerung	Zuluftgebläse	EIN		AUS		EIN		AUS		EIN		AUS		AUS	
	Abgasventilator	EIN		AUS		EIN		AUS		EIN		AUS		AUS	
	Betriebsart	Vollast		Teillast		An- oder abfähret		Abfahren		Standby		AUS			
Betrieb Feinstaubabscheider		EIN	AUS	EIN	AUS	EIN	AUS	EIN	AUS	EIN	AUS	EIN	AUS		
	Volumenstrom	m_n^3/h	2'007	2'007	1'003	1'003	1'003	1'003	1'003	201	201	40	40	0	0
	FWL eff	kW	1'000	1'000	500	500	300	300	10	10	2	2	0	0	0
	O ₂	Vol.-%	11	11	11	11	15	15	20	20	20	20	21		
Rohgas	Staubgehalt	mg/m_n^3	150	150	75	75	150	150	150	150	150	150	150	0	0
Reingas	Staubgehalt	mg/m_n^3	10	150	5	75	10	150	10	150	10	150	10	150	0
	Lambda	-	2.1	2.1	2.1	2.1	3.5	3.5	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0		
	Lambda norm	-	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1		
	Staubgehalt norm	$mg/m_n^3_{norm}$	150	150	75	75	250	250	1'500	1'500	1'500	1'500	1'500	0	0
Reingas	Staubgehalt norm	$mg/m_n^3_{norm}$	10	150	5	75	17	250	100	1'500	100	1'500	100	1'500	0
Reingas	Staubfracht	g/h	20	301	5	75	10	151	2	30	0	6	0	6	0
Bandlastbetrieb	Vollast	h/a	8'760		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8'760
	Teillast	h/a	0	0	8'760	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8'760
Betrieb gut	Abscheidung immer	h/a	1'000	0	3'000	0	100	0	0	0	0	0	0	4'660	8'760
	Abscheidung mit Ein/Aus	h/a	900	100	2'700	300	0	100	0	0	0	0	0	4'660	8'760
Betrieb schlecht	Abscheidung immer	h/a	1'000	0	3'000	0	200	0	200	0	0	0	0	4'360	8'760
	Abscheidung mit Ein/Aus	h/a	900	100	2'700	300	0	200	0	200	0	0	0	4'360	8'760
Betrieb schlecht mit Standby	Abscheidung immer	h/a	1'000	0	3'000	0	200	0	200	0	4'000	0	0	360	8'760
	Abscheidung mit Ein/Aus	h/a	900	100	2'700	300	0	200	0	200	0	4'000	360	8'760	8'760



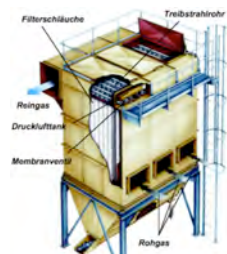
Modell zur Abschätzung der Staubemissionen

(Auszug aus Tabelle 3)

		Jahresmittel Staub mg/m_n^3 _{norm}	Verfügbarkeit Abscheider %
Bandlastbetrieb	Vollast	10.0	100.0
	Teillast	5.0	100.0
Betrieb gut	Abscheidung immer	7.1	100.0
	Abscheidung mit Ein/Aus	19.6	87.8
Betrieb schlecht	Abscheidung immer	7.3	100.0
	Abscheidung mit Ein/Aus	23.4	81.8
Betrieb schlecht mit Standby	Abscheidung immer	7.6	100.0
	Abscheidung mit Ein/Aus	28.0	42.9

Resultate der **Modell**rechnungen:

- Direkt vergleichbar mit Staub-Grenzwert von $20 \text{ mg}/\text{m}_n^3$
- Abscheider IMMER EIN → Grenzwert eingehalten
- Abscheider EIN/AUS → Betrieb Holzfeuerung entscheidend



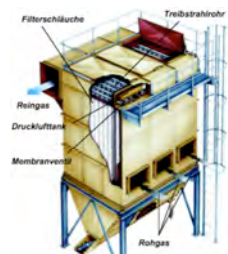
1. Was sagt die LRV
2. Betriebsverhalten von Holzfeuerungen
3. Betriebsverhalten von Staubabscheidern
4. Verfügbarkeit von Staubabscheidern
5. Modell zur Abschätzung der Staubemissionen
- ➔ 6. Vorschlag zur Ersatz-Beurteilung für LRV Art. 15
7. Methodik zur Überwachung von Staubabscheidern
8. Empfehlungen



Vorschlag zur Ersatz-Beurteilung für LRV Art. 15

1. Emissionsbegrenzung im Sinne der LRV wird als **Begrenzung der Staub-Jahresfracht** interpretiert.
2. Anstelle von mehreren Einzelanforderungen tritt **eine einzelne Ersatzanforderung:**

Staub-Jahresmittel < Grenzwert



1. Was sagt die LRV
2. Betriebsverhalten von Holzfeuerungen
3. Betriebsverhalten von Staubabscheidern
4. Verfügbarkeit von Staubabscheidern
5. Modell zur Abschätzung der Staubemissionen
6. Vorschlag zur Ersatz-Beurteilung für LRV Art. 15
- ➔ 7. Methodik zur Überwachung von Staubabscheidern
8. Empfehlungen



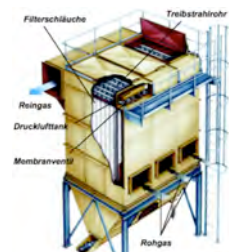
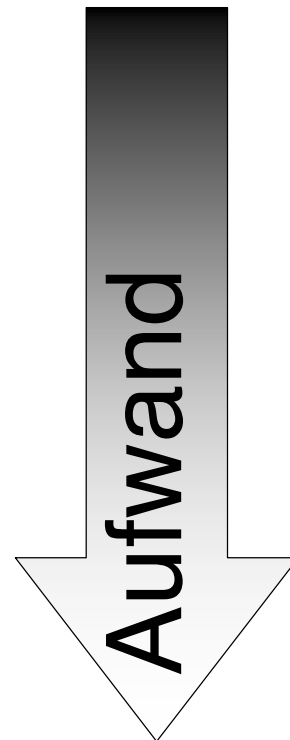
Methodik zur Überwachung von Staubabscheidern

Variante 1: Streng nach LRV

Variante 2: Etwas vereinfacht

Variante 3: Weiter vereinfacht

Variante 4: Unser Vorschlag



1. Was sagt die LRV
2. Betriebsverhalten von Holzfeuerungen
3. Betriebsverhalten von Staubabscheidern
4. Verfügbarkeit von Staubabscheidern
5. Modell zur Abschätzung der Staubemissionen
6. Vorschlag zur Ersatz-Beurteilung für LRV Art. 15
7. Methodik zur Überwachung von Staubabscheidern
8. Empfehlungen



Empfehlungen zum Vollzug der LRV

Anwenden der Ersatzanforderung – Staub-Jahresmittel

- Periodische Messung des Staubgehalts im Rein- und Rohgas bei Voll- und Teillast
- Kontinuierliche Aufzeichnung von relevanten Betriebsstunden bei Feuerung und Abscheider
- Kontrolle der Einhaltung des Staub-Jahresmittels

Einführung des Verfahrens auf Probe

- Erfahrung sammeln

Punktuelle Messungen an Praxisanlagen

- Kontrolle der Modellannahmen

Kontinuierliche Messung an Praxisanlagen

- Validierung des Modells



Verdankung

Die vorliegende Studie entstand im Auftrag des Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) des Kantons Zürich



