

1. Ausgangslage

Die Luftbelastung nahm vor einigen Jahrzehnten, im Zeitraum der technischen Weiterentwicklung massiv zu. Erst in jüngerer Zeit, nachdem man die teils verheerenden Auswirkungen erkannte, wurden partielle Emissionsgrenzwerte gesetzt. (Stichwort und Beispiel: saurer Regen)

Ein wesentlicher Bestandteil der Luftbelastung sind Feinstaubpartikel. Die in der Luft schwebenden kleinen und kleinsten Partikel, von einigen Tausenstel bis zu wenigen Millionstel Millimeter Grösse, belasten die Menschen erheblich. Die Partikel gelangen über die Atemwege in die Lungenzellen und teilweise bis in die Blutbahnen. Die teilweise kanzerogenen Partikel wie Russteilchen aus Dieselverbrennung oder schlechten Holzfeuerungen erzeugen steigende, nachweisbare Krankheitsraten.

Gemäss BAFU werden in der Schweiz jährlich etwa 21'000 Tonnen Feinstaub in die Umgebungsluft emittiert. Dieser Wert stammt vom Jahr 2000. Hiervon sollen immerhin 8 % aus (unvollständigen) Holzverbrennungen stammen. Diese 1'680 Tonnen pro Jahr sind bedeutend und könnten grösstenteils vermieden werden. Vor allem alte, meist kleine Stückholzfeuerungen wie Cheminéeöfen tragen unverhältnismässig stark zur Belastung bei. Umso mehr, wenn der energetische Nutzen und der Wirkungsgrad dieser Anlagen bewertet wird.

Es gibt verschiedene, nachfolgend in grober Übersicht dargestellte Feinstaub Reduktionsmöglichkeiten. Es gibt aber wenige begrenzte Möglichkeiten, Feinstaubreduktionen bei Schnitzelfeuerungen so zu lösen, dass durch die **Reinigung der Gase gleichzeitig eine Wirkungsgradverbesserung** erzielt werden kann.

2. Zusammenfassung

Staubreduktionsmassnahmen im Fachgebiet Schnitzelfeuerungsanlagen müssen ab sofort, bzw. in naher Zukunft verbessert werden. Die Luftreinhalteverordnung vom Sommer 2007 (LRV 2007) verlangt teilweise bis zu 10-fache tiefere Grenzwerte im Vergleich zur LRV 1992.

Reduktionsmassnahmen welche einerseits die neuen Grenzwerte erfüllen, andererseits aber zu mehr Fremdenergieinput und sogar zu reduzierten Anlagenwirkungsgraden führen, sind „einseitig“ und im Sinne der notwendigen Ressourceneffizienz mit markanten Nachteilen behaftet. Auch Raumbedarf und Wartungsaufwand müssen im Sinne der Anlagenökonomie bewertet werden.

Feinstaubreduktionen welche nebst der Reduktion von Emissionen noch weitere positive Effekte wie Erhöhung der Wirtschaftlichkeit, Wartungsarmut und allenfalls sogar Anlagenleistungserhöhung erbringen, werden sich unweigerlich in naher Zukunft im Markt durchsetzen.

Leider wurde in der neuen LRV Vorgabe weder eine bilanzierte Staubfracht (mg/Nutzwärmeinheit) noch eine Bewertung von Hilfsenergie und Ressourcenverbrauch mitbewertet. Somit wird auch künftig ein einziger Wert isoliert gemessen und eine Anlage danach beurteilt. Ebenfalls wurde in der neuen LRV 07 versäumt, dass zukunftsfähige Ressourcenschonende Techniken mit einem Bonus bewertet werden.

3. Neue Luftreinhalteverordnung 2007

Ziff. 521 Abs. 1

¹ In Holzfeuerungen dürfen nur Holzbrennstoffe nach Anhang 5 Ziffer 3 Absatz 1 verbrannt werden, die aufgrund ihrer Art, Qualität und Feuchtigkeit für das Verbrennen in diesen Anlagen geeignet sind.

Ziff. 522 Abs. 1

¹ Die Emissionen von Feuerungen, die mit Holzbrennstoffen nach Anhang 5 Ziffer 3 Absatz 1 betrieben werden, dürfen folgende Werte nicht überschreiten:

		Feuerungswärmeleistung				
		bis 70 kW	über 70 kW bis 500 kW	über 500 kW bis 1 MW	über 1 MW bis 10 MW	über 10 MW
<i>Holzbrennstoffe</i>						
– Bezugsgrösse:						
Die Grenzwerte beziehen sich auf einen Sauerstoffgehalt im Abgas von						
	%vol	13	13	13	11	11
– Feststoffe insgesamt:						
– ab 1. September 2007	mg/m ³	–	150	150	20	10
– ab 1. Januar 2008	mg/m ³	–	150	20	20	10
– ab 1. Januar 2012	mg/m ³	–	50 ¹	20	20	10
– Kohlenmonoxid (CO):						
– für Holzbrennstoffe nach Anh. 5 Ziff. 3 Abs. 1 Bst. a, b und d						
– ab 1. September 2007	mg/m ³	4000 ²	1000	500	250	150
– ab 1. Januar 2012	mg/m ³	4000 ²	500	500	250	150
– für Holzbrennstoffe nach Anh. 5 Ziff. 3 Abs. 1 Bst. c						
– ab 1. September 2007	mg/m ³	1000	1000	500	250	150
– ab 1. Januar 2012	mg/m ³	1000	500	500	250	150
– Stickoxide (NO _x) angegeben als Stickstoffdioxid (NO ₂)	mg/m ³	3	3	3	3	150
– gasförmige organische Stoffe, angegeben als Gesamtkohlenstoff (C)	mg/m ³	–	–	–	–	50
– Ammoniak und Ammoniumverbindungen, angegeben als Ammoniak ⁴	mg/m ³	–	–	–	30	30

Hinweise:

- Die Angabe eines Strichs in der Tabelle bedeutet, dass weder nach Anhang 3 noch nach Anhang 1 eine Begrenzung vorgeschrieben ist.
- ¹ Feststoff-Grenzwert für handbeschickte Stückholzkessel für Holzbrennstoffe nach Anhang 5 Ziffer 3 Absatz 1 Buchstabe a mit einer Feuerungswärmeleistung bis 120 kW: 100 mg/m³.
- ² Gilt nicht für Zentralheizungsherde.
- ³ Siehe Stickoxid-Grenzwert Anhang 1 Ziffer 6.
- ⁴ Diese Emissionsbegrenzung ist nur für Feuerungsanlagen mit Entstickungseinrichtung von Bedeutung.

4. Feinstaubentstehung

Gemäss Schätzungen des Bundesamts für Umwelt tragen die Verbrennungsprozesse zu rund 44% zur gesamten PM10-Belastung bei. Der Anteil der Holzbrennstoffe wird auf 8% des gesamten Feinstaubs geschätzt, weitere 7% werden der offenen Verbrennung und der Verbrennung von Forstabfällen zugeordnet. Zu den Verbrennungspartikeln tragen die Holzheizungen zu 18%, die offene Verbrennung zu 16% bei. Holzheizungen und offene Verbrennung verursachen zusammen annähernd gleich viel Feinstaub wie die Dieselmotoren, welche 39% der Verbrennungspartikel ausmachen. Die Holzheizungen verursachen zudem ein Mehrfaches an Feinstaub wie sämtliche Öl- und Gasheizungen, obwohl sie einen geringeren Anteil zur Wärmeerzeugung leisten. In Bezug auf die Überschreitung der Feinstaubgrenzwerte wird die Bedeutung der Holzheizungen noch dadurch verschärft, dass sie während der bezüglich Feinstaub kritischen kalten Jahreszeit betrieben werden und ihre Emissionen zudem im Siedlungsraum anfallen. Der Beitrag der Holzfeuerungen zur lokalen Feinstaubbelastung kann deshalb besonders im Winter noch deutlich höher sein als im Jahresdurchschnitt in der Schweiz. Massnahmen zur Verminderung der Feinstaubemissionen aus Holzfeuerungen sind deshalb vordringlich, wobei Unterschiede bezüglich der verschiedenen Brennstoffe und Feuerungstypen zu berücksichtigen sind.

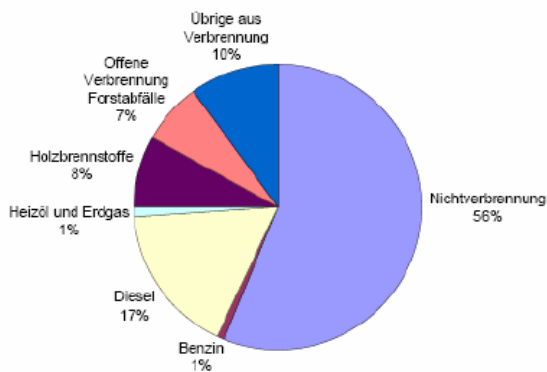


Abb. 1 Quellen der Feinstaub-Emissionen im Jahr 2000 (Gesamtmenge rund 21'000 Tonnen PM10)

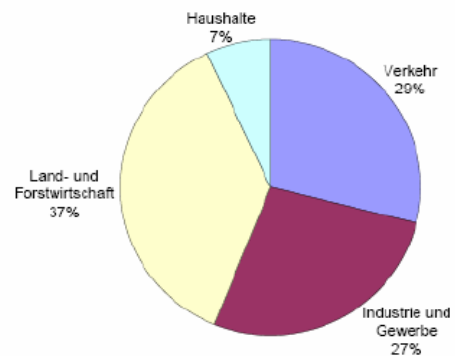


Abb. 2 Herkunft der Feinstaub-Emissionen im Jahr 2000 (Gesamtmenge rund 21'000 Tonnen PM10)

Quellen der Feinstaub-Emissionen im Jahr 2000 (Gesamtmenge rund 21'000 Tonnen PM10) nach Abschätzung des Bundesamts für Umwelt 2006 [3].

Um Feinstaubreduktionsmassnahmen planen zu können, sollte in erster Annäherung eruiert werden, wie und warum Feinstaub entsteht. Da die Entstehung in einem Verbrennungsprozess abläuft, ist die Analyse erschwert. Die Entstehung ist vielschichtig. Eine detaillierte Darstellung sprengt den hier gegebenen Rahmen.

Wir verweisen auf eine gute Darstellung in der Publikation: Tagungsband Holzenergie-Symposium 2006, Klippel/Nussbaumer, ISBN Nr.: 3-98705-14-2

Zusammengefasst sind folgende Fakten von zentraler Bedeutung

- Feinstaub aus vollständiger Holzverbrennung ist weitgehend anorganisch und weist eine 5- bis 10-fach geringere Toxizität auf als Feinstaub/Russ aus Dieselölverbrennung.
- Kaminruss aus typischen, meist kleineren Holzfeuerungen ist ähnlich toxisch wie Dieselruss.
- Feinstaub aus Holzfeuerungen mit schlechter Verbrennung ist bis zu 10-fach toxischer als Dieselruss.
 - **Der Unterschied von guter zu unvollständiger, schlechter Verbrennung liegt somit bei einem Faktor von 100!**
 - **Ein schlecht brennender Kaminofen von 10 kW produziert mehr problematischen Feinstaub als eine gut eingestellte Schnitzelfeuerung von 1'000 kW!**

Die Entstehung von Feinstaub lässt sich in folgende Bereiche unterteilen:

- Bildung von Salzpartikeln bei der Kondensation von verdampften Komponenten von Mineralien wie Kalium, Kalzium und Chlor.
- Unvollständige Verbrennung mit Bildung von Kohlenstoffhaltigen Partikeln. Sichtbarer Rauch und Niederschlag als Russ und Teer.
- Mitreissen von feinsten Aschenpartikeln durch hohe Gasgeschwindigkeit und Unruhe wie mechanische Bewegungen im Glut- und Aschenbett.

Die Feinstaubfrachten von automatischen Holzfeuerungen liegen im Bereich von: 50-150 mg/Nm³ Abgas. Die meisten Partikel (Anzahlmässig) liegen bei 70 nm (Nanometer). Die grösste Gewichtsmenge (Masse) liegt in einem stark eingegrenzten Grössenbereich um 0.1 µm.

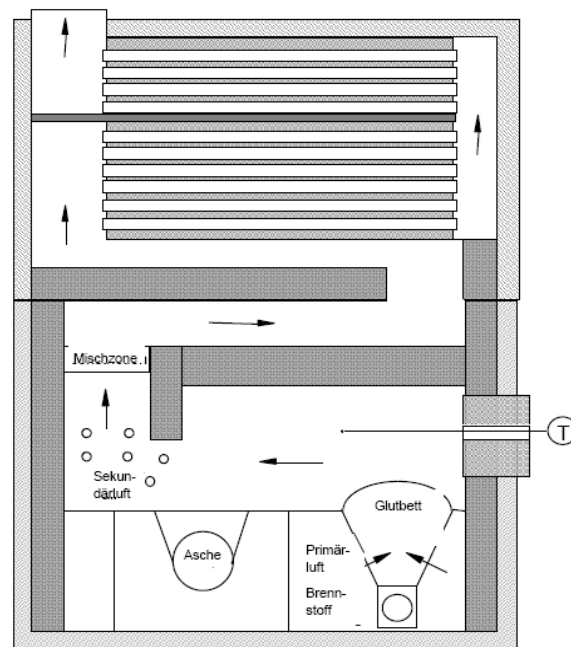
5. Reduktionsmassnahmen

5.1 Primäre Massnahmen

Durch gezielte Lufteinführung mit stark unterstöchiometrischer Luftzufuhr in das Glutbett kann die Partikelmasse im Abgas massiv reduziert werden.

- Die mangelnde Sauerstoffzufuhr verhindert die Oxidation von schwer flüchtigen Kaliumverbindungen zu Kaliumoxiden.
- Es entsteht durch den Mangel an Sauerstoff eine wesentlich tiefere Temperatur.
- Die reduzierte Luftzufuhr ergibt ein ruhiges, unbewegtes Glutbett und reduziert somit das Mitreissen von Partikeln.

Low-Particle-Pelletfeuerung



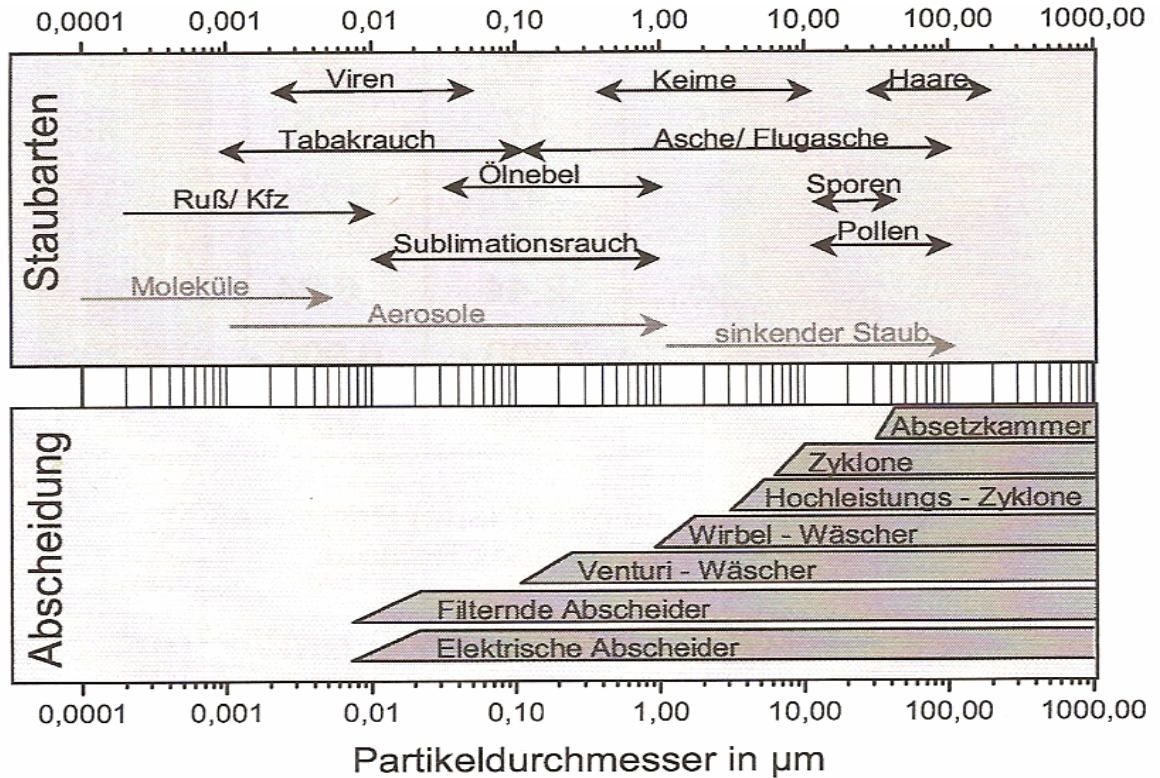
müller heizt natürlich mit Holz

Eine ideale Anlage kann die emittierten Partikel auf bis unter 20 mg/m^3 Rauchgas reduzieren. Die Praxistauglichkeit und problemlose Reproduzierbarkeit der Werte mit entsprechenden Feuerraum-Geometrien ist zurzeit noch nicht gegeben. Reale Praxiswerte liegen im Bereich von 50 mg/Nm^3 .

5.2 Sekundäre Massnahmen

Bei sekundären Massnahmen (dem Verbrennungsprozess nachgeschaltete Verfahren), kommen eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Anwendung. Je nach Ziel der Abscheidequalität wird die entsprechende Technik eingesetzt.

Übersicht



Standart Elektrofilter



Kompakt Elektrofilter



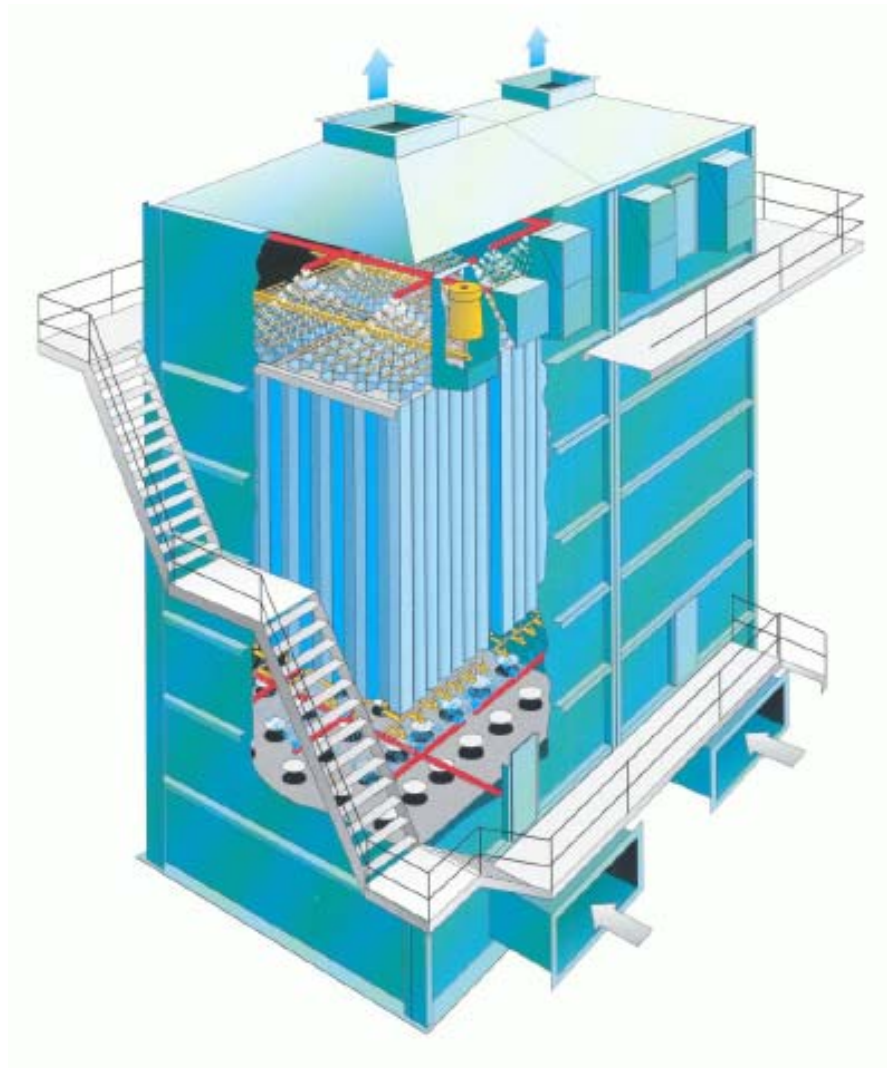
Kombinierte Elektro-Nassabscheider

Durch den Einbau von Wasser-Sprühanlagen kann bei Elektrofiltern der Vorteil von Gaswäschern mitgenommen werden.

Dadurch können zu den hohen Qualitäten eines trockenen Elektrofilters die Vorteile eines Gaswäschers dazu genommen werden.

Vorteile: hohe Ausscheidungsqualität auch von gasförmigen Partikeln

Nachteile: Platzbedarf, Kosten

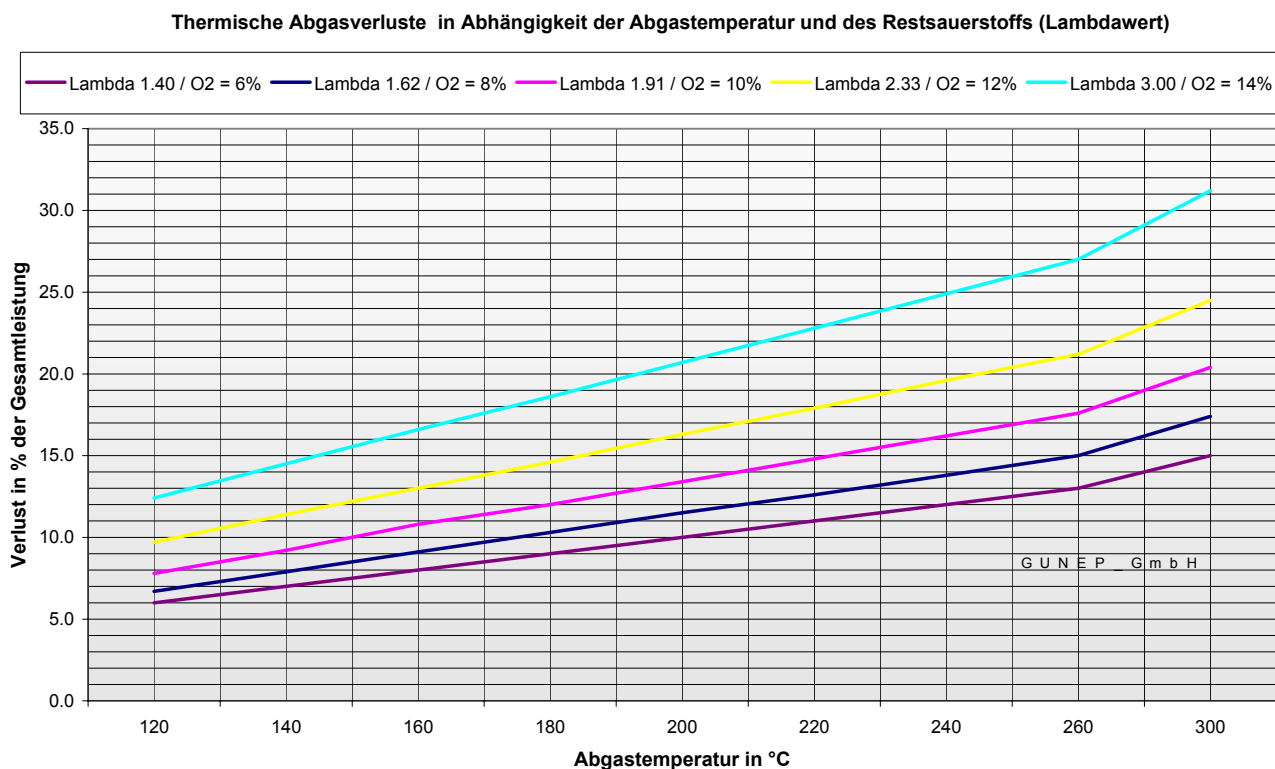


Die Möglichkeiten der E-Filter Technik werden in einem gesonderten Beitrag genau dargestellt und deshalb hier nicht weiter behandelt.

Gewebefilter unterschiedlicher Art, Zyklonfilter, Wäscher werden im Vortrag dargestellt und hier nicht aufgeführt.

6. Wirkungsgradverluste von Holzfeuerungen

Unter der Annahme, dass moderne Schnitzelfeuerungen eine geregelte Verbrennungstechnik haben, reduzieren sich die Verluste im Wesentlichen auf den Luftüberschuss und die thermischen Verluste durch die Abgase. Abstrahlverluste im tiefen Prozentbereich sowie chemische Verlust sind im Verhältnis von untergeordneter Bedeutung.

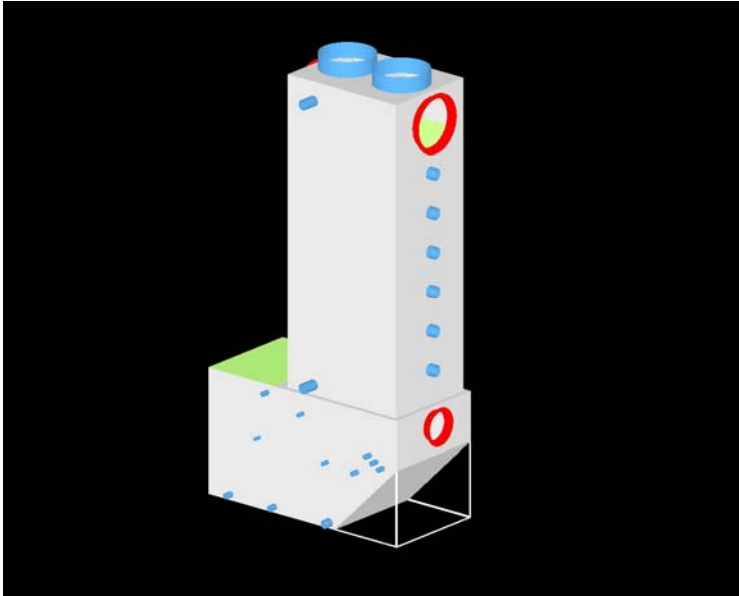


7. Wirkungsgradverbesserung UND Emissionsreduktion dank Abgaskondensation

Etwa 1/3 der gesamtschweizerisch eingesetzten Primärenergie geht als Verlust verloren. Enorme Mengen an hochwertiger Energie werden unter anderen Verlustorten in Form von Dampf und heissen Gasen über die Abgasleitungen der Heizkessel in die Atmosphäre geführt. Speziell bei Schnitzelfeuerungen wird durch den hohen Anteil an Wasser im Holz viel edle, auf hohem Temperaturniveau befindende Energie schlicht und einfach weggeblasen.

Dass dieser Umstand nicht sein muss, ist seit längerem bewiesen. Nur zögerlich fasst eine Technik Fuss, welche einerseits den Wirkungsgrad anheben kann und andererseits die Staubfrachten reduziert. Die politischen/gesetzlichen Rahmenbedingungen helfen dabei wenig, diesen Misstand zu beseitigen. Auch bei der neuen LRV 2007 wurde es seitens Gesetzgeber verpasst, lenkende Bonus-Malus Werte zu gestalten, damit die Verschleuderung von Primärressourcen reduziert wird. Das Ziel muss sein, **saubere Abgase bei hoher Effizienz** zu erreichen. Leider ist der zweite Teil dieser Forderung inexistent beim Gesetzgeber. Der einzige bewertete Faktor ist mg/m³ normierte Gasmenge. Wie viel Nutzenergie pro emittierte Gewichtsmenge produziert wird ist nicht bewertet und hat keinen Einfluss auf gesetzliche Konformität.

7.1 EKO der Emissionskondensator als multifunktionales Gerät bis 500 kW



Der EKO (Emissionskondensator) besteht aus einem **Wäscherteil** und einem **Kondensationsteil**. Dazu kommen die Kondensatwanne, die Abschlämzung, die Steuerung und die Zubehörteile wie Pumpen und Ventile.

Funktionsbeschreibung von Kondensation und WRG:

Durch die Abkühlung der Rauchgase auf tiefere Temperaturen ergibt sich ein höherer Nutzungsgrad der Primärenergie Holz. Die Abkühlung der Rauchgase ist einerseits als fühlbare Wärmeenergie und andererseits als latente Wärmeenergie nutzbar.

Wichtigste Einflussfaktoren der Funktion Wärmerückgewinnung:

- Tiefe Rücklauftemperatur des Heizkreislaufs
- Holzfeuchte
- Luftüberschuss der Feuerungsanlage (Lambdawert)
- Wärmetauscherfläche und Erhalt der Funktion (Keine Verschmutzung)

Entstaubungseffekt bei vor geschaltetem Vorabscheider

Durch den Wäscher und Kondensationseffekt können sich die feinen Staubpartikel mit Wasser binden und so ausgeschieden werden. Somit entsteht nebst dem Nutzen der Entstaubung ein Nebennutzen der Wärmeenergiegewinnung. Die Staub-Ausscheidung ist abhängig von der Qualität der Befeuchtung, der Verweilzeit welche wiederum direkt abhängig ist von der Geschwindigkeit und der Länge der Reaktionszone.

Grenzwerte unter 50 mg/Nm³ sind problemlos erreichbar. Werte unter 20 mg/Nm³ sind sehr schwierig zu erreichen. Hier gilt es noch mehr Praxiserfahrung zu sammeln und die Reproduzierbarkeit der Werte zu testen.

Wirkungsgradverbesserung durch den Einsatz eines EKO

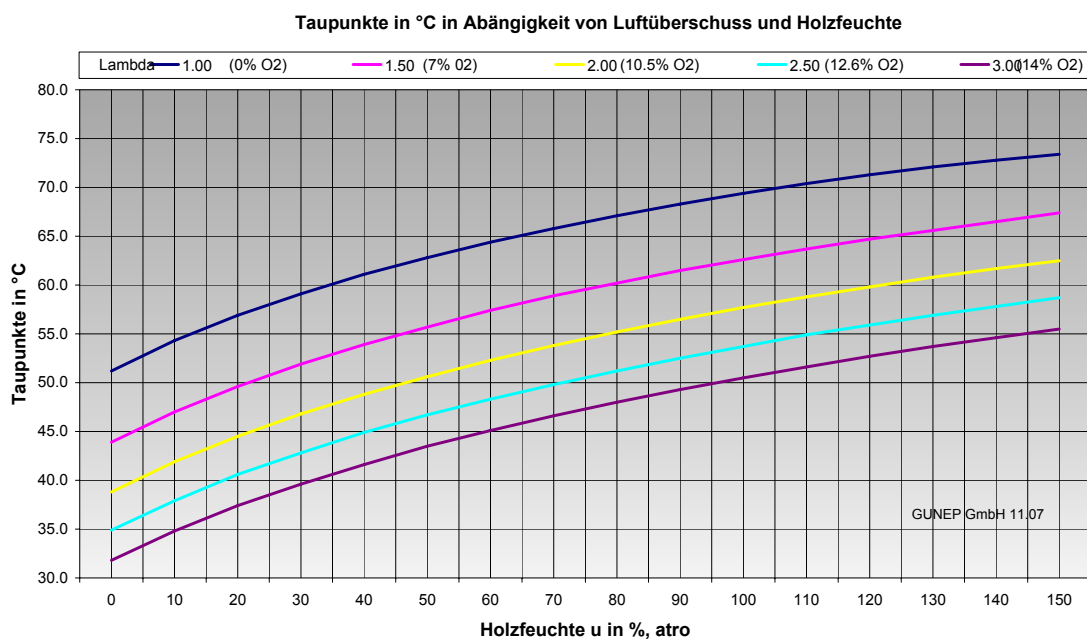
Wassergehalt des Brennstoffes	Rücklauftemperatur in °C			
	40	45	50	55
	Wirkungsgradverbesserung bei 150 °C Abgastemp., 6 % O ₂			
10 %	6.5	3	0	0
25 %	10.5	6.5	1.5	0
35 %	14	10	5	0
45 %	19.5	15	9.5	2.5
50 %	23.5	19	13	5.5

Die latente Wärme wird nur nutzbar, wenn die Rauchgase unter den Taupunkt gekühlt werden können, damit der im Abgas enthaltene Dampf kondensieren kann und somit die Energie in nutzbarer Form an das Heizungswasser abgegeben kann. Aus oben dargestellter Tabelle wird ersichtlich, wie elementar es ist, dass die Rücklauftemperaturen von Heizanlagen und Fernwärmenetzen so tief wie irgendwie möglich gehalten werden.

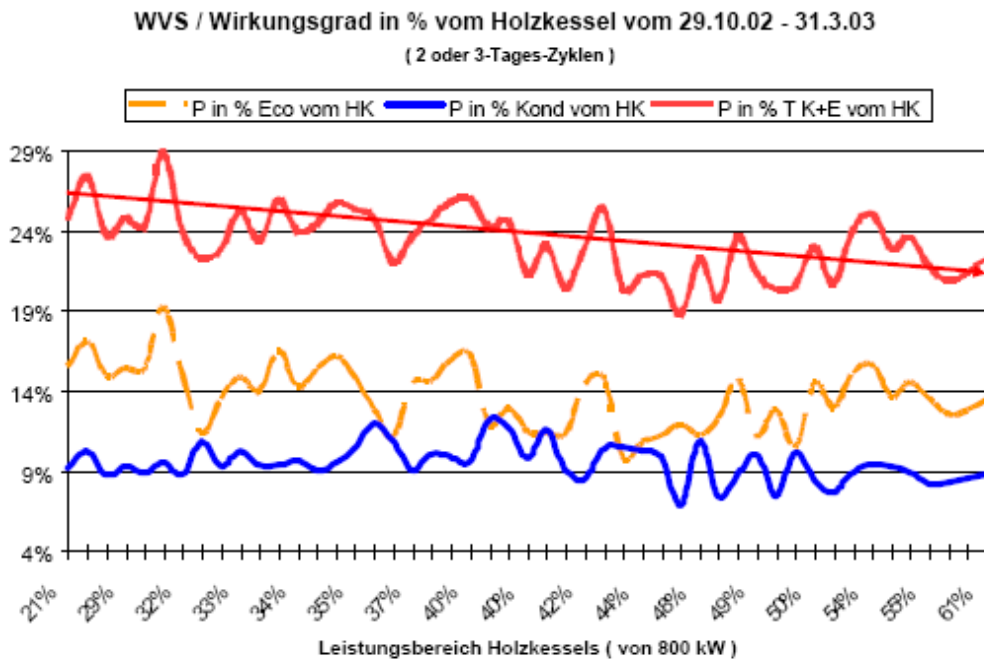
Taupunkte von Wasser im Abgas einer Holzfeuerung

Wassergehalt w relative Feuchte in %	Holzfeuchte u		Taupunkte von Wasser in °C			
			bei Luftüberschuss λ			
kg W/kg Holzfeucht	kg W/kg H atro	%	1.50	2.00	2.50	3.00
0.0	0.0	0	43.9	38.8	34.9	31.8
9.1	0.1	10	47.0	41.9	37.9	34.8
16.7	0.2	20	49.6	44.5	40.6	37.4
23.1	0.3	30	51.9	46.8	42.8	39.6
28.6	0.4	40	53.9	48.8	44.9	41.6
33.3	0.5	50	55.7	50.6	46.7	43.5
37.5	0.6	60	57.4	52.3	48.3	45.1
41.2	0.7	70	58.9	53.8	49.8	46.6
44.4	0.8	80	60.2	55.2	51.2	48.0
47.4	0.9	90	61.5	56.5	52.5	49.3
50.0	1.0	100	62.6	57.7	53.7	50.5
52.4	1.1	110	63.7	58.8	54.9	51.6
54.6	1.2	120	64.7	59.8	55.9	52.7
56.5	1.3	130	65.6	60.8	56.9	53.7
58.3	1.4	140	66.5	61.7	57.8	54.6
60.0	1.5	150	67.4	62.5	58.7	55.5

Taupunkte von Wasser im Abgas einer Holzfeuerung



7.2 Kondensationsanlage VAS in Schwanden, Kt. Glarus



Berichtauszug vom Schlussbericht Sept. 2003 z.H. BFE. Autor L.Bertozzi

Damit kann für diesen Anlagentyp eine störungsfreie Doppelfunktion ausgewiesen werden. Es ist dementsprechend nicht nur eine Wärmerrückgewinnung aus den Rauchgasen sondern es ist auch eine Filteranlage mit einem Wäschereffekt (Doppelfunktion).

Die Ergebnisse für die diese Messperiode (29.10.2002 – 31.3.2003) sind:

gelieferte Energiemenge von der Kondensation = 104,7 MWh (9 % vom Heizkessel),
gelieferte Energiemenge des Economizer = 147,1 MWh (12 % vom Heizkessel),

total gelieferte Energiemenge = 251,8 MWh (21,4 % vom Heizkessel)

Energieinput = 2 MWh (el. Energie bzw. 0,8 %) 2 Tage Stillstand (= 1,3 %)

Abscheidegrad über TPE (Gesamtstaub) über 25 %

Abscheidegrad bezüglich Partikel PM 0.6 über 59 %

Die wichtigsten vier Aussagen nach dieser Messperiode lauten:

- Das gewählte Konzept ist funktionstüchtig und hat alle Kenndaten des Werkvertrages erfüllt.
- Die hohe Zuverlässigkeit ist für einen Prototyp (bei welchem praktisch die gesamte Luftführung umgebaut werden musste) beeindruckend.
- Eine erfolgreiche Anwendung bei Neuanlagen oder Sanierungen ist jederzeit möglich.
- Die eingesetzte automatische Reinigung arbeitet einwandfrei. Eine zusätzliche Handreinigung während der Heizperiode oder am Ende der Heizperiode erübrigt sich.

Rauchgaskondensationsanlagen besitzen eine grosse Perspektive für die Zukunft. Diese Anlagen ermöglichen einen energieeffizienten Betrieb einer Holzschnitzelfeuerung. Ein nicht-materieller aber dennoch nicht zu unterschätzender Effekt ist die Kondensationsanlage als Rauchgaswäscher.

7.3 Kondensationsanlagen für Grossanlagen

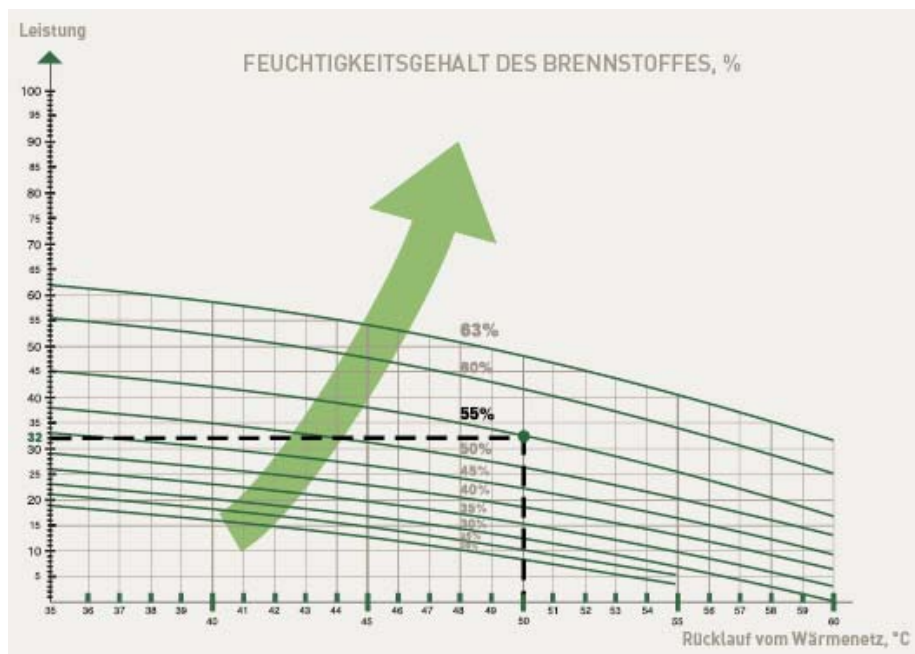
Grossanlagen sind prinzipiell gleich in der Technik, können aber durch die zu gewinnende Energiemenge eine aufwändigere Technik und somit ein noch besseres Ergebnis erzielen. Nachgeschaltete Nass-Elektrofilter reinigen die Abgase an die Nachweisgrenze von Staub und Aerosolen.



Renergi GK Gas Condenser for boiler outputs from 7 to 8 MW

Wirkungsgradverbesserungspotential in Abhängigkeit der Rücklauftemperatur und der Brennstofffeuchte.

Annahme bei 200 °C Abgastemperatur.



Verfasser: Eugen Koller, GUNEP GmbH, Holzenergiezentrum Diegten
Datenquellen und Bilder: h. baumgartner & sohn, LRV, BUWAL, Müller AG, Scheuch, Beth, Elteca
Fachliteratur: Nussbaumer:9. Holzenergie-Symposium, BFE: Grundlagen der Abgaskondensation,
Schlussbericht: Abgaskondensation Anlage Schwanden, 2003, L.Bertozzi