

# Entstehung und Wirkung von Feinstaub

Hans Ritt, TIW Niederbayern

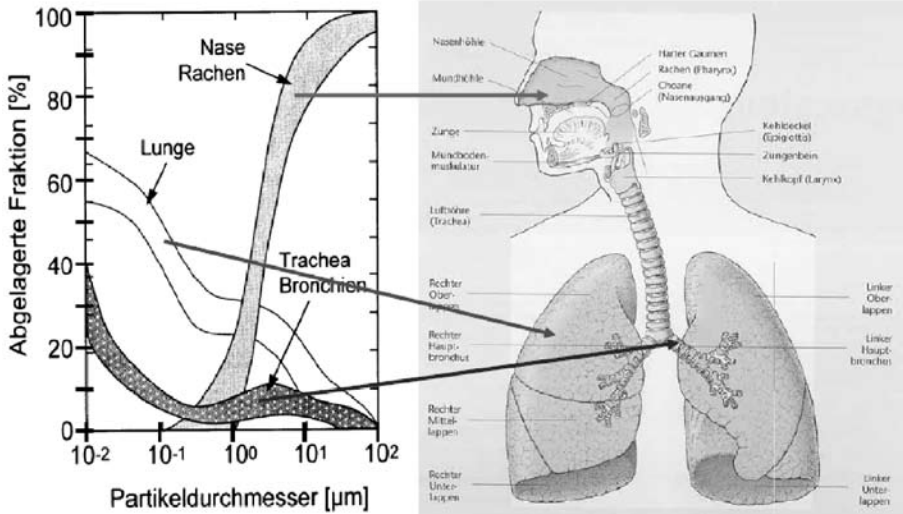
Staub ist ein natürlicher Bestandteil der Luft und somit überall (ubiquitär). Je nach Größe der Partikel spricht man von Schwebstaub, Feinstaub und ultrafeinem Staub. Die EU hat zur Rahmenrichtlinie „Luftqualität“ den Grenzwert für Partikel im Jahre 1999 festgelegt. Danach ist die Belastung durch Feinstaubpartikel bei einer Größe von kleiner 10 Mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) auf 35 Überschreitungen im Jahr zulässig. Am meisten Sorgen bereiten diese Partikel von weniger als 10 Mikrometer ( $\mu\text{m}$ ). Während größere Stäube bereits in der Nase aus dem Luftstrom gefiltert werden oder sich im Rachen ablagern, gelangen kleinere Partikel in die Bronchien und Bronchialregion. Dort verursachen sie entzündliche Abwehrreaktionen. Der permanente Reiz, verengt die Atemwege und kann zu Asthma, Bronchitis und Atemnot führen. Studien besagen, dass sich die Lebenserwartung in Europa statistisch um neun Monate durch die Einwirkung von Feinstaub verkürzt. Je feiner die Teilchen sind, umso weiter können sie sich im Körper ausbreiten. Ultrafeine Partikel kleiner  $0,1 \mu\text{m}$  können über das fein verästelte System der Lunge von der Luft in das Blut übertreten. Über das Blut breiten sie sich im ganzen Körper aus und führen so unter anderem zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen und zu möglichen Schädigungen des Zentralnervensystems. Besonders bedenklich ist, dass ultrafeine Teilchen auch direkt von der Nase ins Gehirn gelangen können. Die Gefährlichkeit von Feinstäuben ist deshalb unter anderem eine Folge ihrer geringen Größe, welche die Aufnahme im Körper begünstigt. Feinstaub angegeben als PM 10 oder PM 2,5 gilt deshalb seit 1990 als wichtigster Indikator der Gesundheitsschädigung durch Luftschadstoffe. So zeigt zum Beispiel eine Studie in den USA eine ausgeprägte Korrelation zwischen Todesfallrate und Feinstaubbelastung. Es ist heute unbestritten, dass Feinstäube gesundheitsschädlich und deshalb an der Quelle zu

verhindern sind. Dies ist umso dringlicher, als die zum Schutz der Menschen eingeführten Grenzwerte in der Umgebungsluft zum Teil erheblich und oft überschritten werden. So wird in vielen Städten in Deutschland der zulässige Tagesmittelwert an PM 10 von  $50 \mu\text{g}$  pro  $\text{m}^3$  an weit mehr als den erlaubten 35 Tagen pro Jahr überschritten und dies in Konzentrationen, die teilweise bis zum Dreifachen des Grenzwerts ausmachen.

## **Auch 2006 dicke Luft in vielen deutschen Städten**

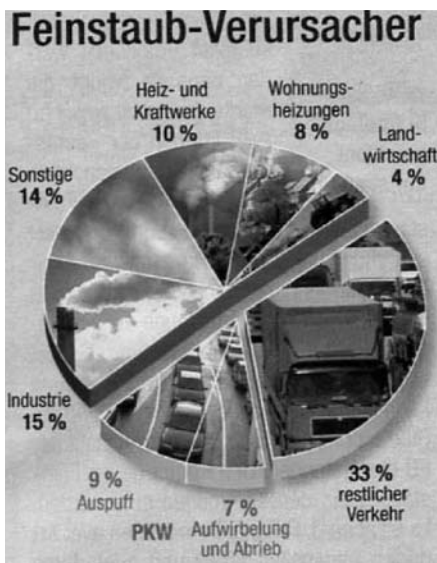
Das Umweltbundesamt (UBA) zieht erste Bilanz der Belastung in Deutschland. Die Auswertung der noch vorläufigen Feinstaubdaten für das Jahr 2006 zeigt: Die Belastung der Bevölkerung mit gesundheitsschädlichen Feinstäuben ist – wie schon im Jahr 2005 – zu hoch. An 100 der zirka 450 Messstationen lag die Feinstaubkonzentration im vergangenen Jahr an mehr als 35 Tagen über dem zulässigen Wert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Im Vergleich zum Vorjahr hat sich 2006 die Belastung der menschlichen Gesundheit und der Umwelt mit Feinstäuben weder verbessert noch verschlechtert. Wie 2005 traten die Grenzwertüberschreitungen überwiegend an städtischen Verkehrsmessstationen auf.

Neben dem Feinstaub bietet ein anderer Luftschadstoff Anlass zu mehr und mehr Sorge: Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ), ein Gas, das die Atmung beeinträchtigt und bei Verbrennungsvorgängen – etwa bei der Energieerzeugung und im Straßenverkehr – entsteht. Nach Auffassung des UBA läuft Deutschland Gefahr, auch beim  $\text{NO}_2$  den ab 2010 EU-weit geltenden Grenzwert von 40 Mikrogramm  $\text{NO}_2$  pro Kubikmeter Luft im Jahresmittel nicht einzuhalten. Derzeit überschreiten die  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen an rund der Hälfte der städtischen, verkehrsnahen Messstellen in Deutschland den ab 2010 geltenden Jahresgrenzwert.



Partikel im submikrometer-Bereich (< 1000 nm) gelten als besonders bedenklich, da sie ungehindert in die Lunge gelangen (s. Abscheidekurve).

Die Verursacher der Feinstäube in Deutschland sind in nachfolgender Graphik aufgeführt.



Quelle: ADAC-Motorwelt (1/2007)

### Definition Feinstaub

1987 von der US-Umweltschutzbehörde definierter Begriff „Particulate Matter“ (kurz PM-Standard)

PM 10 sind Teilchen mit einem Durchmesser von ca. 10 Mikrometern ( $10\mu\text{m} = 1/100\text{mm}$ ). Bei der Definition von PM10 werden auch kleinere und etwas größere Teilchen als  $10\mu\text{m}$  betrachtet.

**PM 2,5** auch lungengängiger Feinstaub genannt, Teilchendurchmesser kleiner als  $2,5\mu\text{m}$ , ist noch gefährlicher als PM10, denn je kleiner die Teilchen, um so leichter werden sie in der Lunge aufgenommen und können direkt durch die Lungenbläschen in die Blutbahn gelangen.

**Ultrafeine Partikel**, Teilchen kleiner als  $0,1\mu\text{m}$

Im Bereich der Feuerstätten für feste Brennstoffe sollten nur solche aufgestellt werden, die DIN Plus geprüft sind. Diese DIN-Plus Geprüften Feuerstätten geben weitaus weniger Staub und damit Feinstaub in die Umwelt ab. Nur hochwertige Feuerstätten gewährleis-



gibt es in einigen Städten in Deutschland bereits Brennstoffverordnungen. Wie z.B. in München, Regensburg und Stuttgart. Auch die Stadt Landshut überlegt eine Brennstoffverordnung zu erlassen. In Regensburg dürfen Feuerstätten nur aufgestellt werden, wenn diese mindestens die Anforderungen nach DIN Plus erfüllen. Das Qualitätssiegel setzt hohe Anforderungen, unter anderem bezüglich Emissionen und Wirkungsgrad der Holzfeuerstätten. Es trennt somit die Spreu vom Weizen! Nachfolgende Tabelle zeigt verschiedene Anforderungen.

**Um die Staubgrenzwerte einzuhalten, werden in den einzelnen europäischen Ländern unterschiedliche Strategien verfolgt:**

ten, dass man gegenüber zukünftigen Gesetzesänderungen gewappnet ist. Die Bundesregierung plant eine Novellierung der Bundes-Immissionsschutz-Verordnung. Nach Auffassung des Umweltbundesamtes (UBA) sind dabei Emissionsgrenzwerte und Mindestwirkungsgrade für alle Einzelfeuerstätten bei der Typprüfung festzulegen. Diese erfolgt, ehe die Feuerstätten auf den Markt zugelassen werden. Das garantiert, dass saubere Anlagen auf den Markt kommen. Im Übrigen

In London hat die 2003 eingeführte City-Maut in Höhe von bisher 5 £ (ca. 7,50 €) zu 18 % weniger Verkehr und 12 % weniger Feinstaub geführt. Seit Juli 2005 beträgt die Gebühr 8 £. Ab 2007 ist eine Verdoppelung der Mautzone geplant.

In Italien gibt es Fahrverbote, die generell, nur sonntags oder abwechselnd für Fahrzeuge mit geradem oder ungeradem Kennzeichen gelten.

**Grenzwertanforderungen an Feuerstätten (Scheitholz)**

	Emissionsgrenzwerte bezogen auf 13% O <sub>2</sub>					Wirkungsgrad
	CO	CO	NOx	CnHm	Staub	Mind.
ehemals Stuttgart (derzeit wieder in Diskussion)	0,2 Vol%	2,5 g/Nm <sup>3</sup>	-	-	-	-
Regensburg <sup>1)</sup>	0,12 Vol%	1,5 g/Nm <sup>3</sup>	-	-	75 mg/Nm <sup>3</sup>	-
München <sup>1)</sup>	0,12 Vol%	1,5 g/Nm <sup>3</sup>	200 mg/Nm <sup>3</sup>	-	75 mg/Nm <sup>3</sup>	-

<sup>1)</sup> Staubgehalt bei biogenen Brennstoff bezogen auf 13 % O<sub>2</sub>, bei fossilem Brennstoff bezogen auf 8% O<sub>2</sub>

DINplus 18891 Kaminöfen	0,12 Vol% Toleranzgrenze	1500 mg/Nm <sup>3</sup>	200 mg/Nm <sup>3</sup> 210 mg/Nm <sup>3</sup>	120 mg/Nm <sup>3</sup> 130 mg/Nm <sup>3</sup>	75,0 mg/Nm <sup>3</sup>	75 %
DINplus 18892 Dauerbrandheizeinsätze					76,9 mg/Nm <sup>3</sup>	
DINplus 18895 Kamin-kassetten Kamineinsätze					75,0 mg/Nm <sup>3</sup> 76,9 mg/Nm <sup>3</sup>	

Quelle: HKI

In Österreich gibt es Subventionen für Partikelfilter bei Dieselfahrzeugen sowie Förderung von Biodiesel. Außerdem gibt es Luftsanierungsgebiete – z.B. in Tirol, in Teilen des Inntals oder im Großraum Graz sowie Feinstaubtempolimits auf diversen Autobahnen. Im Verkehrsbereich sollen zukünftig Diesel-Pkw nur mit Partikelfilter zugelassen werden. Für bestehende Fahrzeuge gibt es Nachrüstsätze, die die Feinstaubpartikel reduzieren.

Deutschland plant Subventionen für Partikelfilter, eine emissionsabhängige Maut für Lkw sowie Fahrverbote in Städten für nicht als emissionsarm gekennzeichnete Fahrzeuge.

Derzeit arbeitet die Bundesregierung an einer Einführung bzw. Nachrüstung von Partikelfiltern in Dieselfahrzeugen und Vergünstigungen bei der Kraftfahrzeugsteuer für damit ausgestattete Diesel-Fahrzeuge. Partikelfilter nach dem Wandstromprinzip stellen wegen ihres hohen Filtrationswirkungsgrades (>95 %) für Partikel aller Größen eine wirkliche Möglichkeit zur Reduzierung dieser Partikelemissionen dar. Da gerade der Dieselruß krebserregend wirkt, ist diese Maßnahme trotz ihrer geringen Gesamtauswirkung auf die Feinstaubbelastung sinnvoll.

Der Verband der Automobilindustrie hält eine regelmäßige Straßenreinigung in Hauptverkehrsstraßen für effizienter als die Lösung

des Feinstaub-Problems durch die Einführung von Dieseldieselrußfiltern. Die Bundesregierung hat am 31. Mai 2006 eine Verordnung zur Kennzeichnung emissionsarmer Kraftfahrzeuge (Kennzeichnungsverordnung) nach § 40 Abs. 3 des Bundes Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) beschlossen. Sie soll dazu beitragen, die Feinstaubbelastung zu reduzieren, die in den Städten derzeit vielfach zu hoch ist. Dazu sieht die Verordnung eine bundesweit einheitliche Kennzeichnung von Autos, Lastwagen und Bussen mit Plaketten nach Höhe ihrer Feinstaubemission vor. Zudem wird ein neues Verkehrszeichen „Umweltzone“ eingeführt, das ein feinstaubbedingtes Fahrverbot signalisiert. Bei einem solchen Fahrverbot dürfen künftig lediglich Fahrzeuge fahren, die eine bestimmte Feinstaubplakette auf der Windschutzscheibe tragen.

Bis heute wird die alle Grenzwerte bei weitem übersteigende Feinstaubbelastung durch Tabakrauch in Innenräumen vielfach ignoriert. Italienische Wissenschaftler leiteten aus entsprechenden Untersuchungen die dringende Forderung ab, in allen geschlossenen öffentlichen Räumen und Arbeitsstätten ein Rauchverbot zu verhängen.

**Die Hauptquellen von Feinstaub sind heute Dieselmotoren ohne Partikelfilter und Holzfeuerungen.**



Die Abhilfe für Dieselmotoren haben inzwischen verschiedene Hersteller umgesetzt und unter dem Druck der Verbraucher ziehen immer mehr nach. Auch Holzfeuerer müssen nicht qualmen und stinken, wie das offene Waldfeuer auf dem Foto.

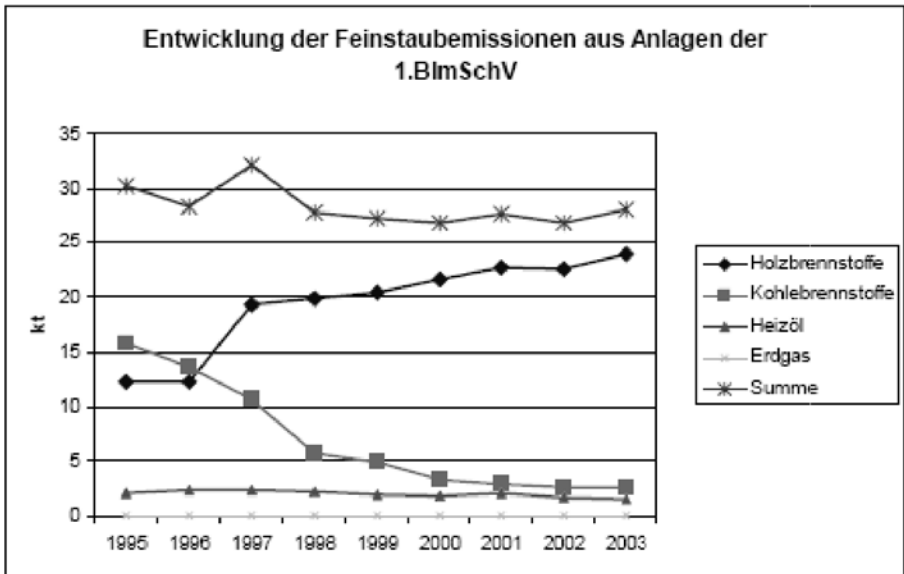


Abb. 1: Entwicklung der Feinstaubemissionen (PM<sub>10</sub>) aus Kleinfeuerungsanlagen  
 Quelle: Zentrales System Emissionen im Umweltbundesamt

Während der Feinstaub-Ausstoß aus Kohleöfen – von denen es immer weniger gibt – in den vergangenen Jahren stark zurückging, steigen die Emissionen aus Holzfeuerungsanlagen weiter, wie die folgende Abbildung zeigt. Nach Aussage des HKI wurden im Jahr 2001 in Deutschland 125 000 Einzelfeuerstätten und im Jahr 2006 400 000 Einzelfeuerstätten errichtet.

Die Verbrennungstechnik in modernen Feuerstätten für feste Brennstoffe hat in den letzten Jahren auf breiter Basis Fortschritte gemacht. Dies gilt sowohl in Bezug auf eine Reduzierung der Emissionen als auch hinsichtlich einer Steigerung des Wirkungsgrades der einzelnen Geräte. Für die Gerätehersteller ist speziell die emissionsreduzierte Verbrennung gegenüber dem zunehmend umweltbewussten Verbraucher ein wichtiges Argument.

Moderne Feuerstätten für feste Brennstoffe erzielen Wirkungsgrade von 70 Prozent und mehr. Neben einer optimalen Energienutzung führt die Steigerung des Wirkungsgrades zu

einer emissionsarmen Verbrennung und entlastet so nicht zuletzt die Umwelt. Bei einer ökologischen Gesamtbilanz zählen zudem weitere Faktoren. Holz ist ein nachwachsender Rohstoff, der nicht zum Treibhauseffekt beiträgt: Bei seiner Verbrennung wird nur soviel Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) freigesetzt wie beim natürlichen Zersetzungsprozess im Wald ohnehin entstehen würde. Durch die Verwendung von Brennstoffen mit einheitlich geprüfter und überwachter Qualität, wie sie für Holzpellets und Holzbriketts gilt, wird ein zusätzlicher Beitrag zur emissionsreduzierten Verbrennung geleistet. Hauptverursacher des hohen Feinstaub-Ausstoßes sind die – zumeist älteren – Einzelraumfeuerungen. Sie werden zwar oft nur als Zusatzheizung zu einem Gas- oder Ölkessel betrieben, verursachen aber bei gleichem Primär-Energieeinsatz um ein Vielfaches höhere Feinstaub-Emissionen als moderne Holzfeuerungs-Anlagen.

In der nachfolgenden Tabelle sind die auf den Energieeinsatz bezogenen Emissionen einiger Anlagentypen aufgeführt.

Feuerung	Nennwärmeleistung [Kilowatt kW]	PM <sub>10</sub> [kg/Terajoule (TJ) Brennstoffenergie]
Dauerbrandöfen	< 15	71
Kachelöfen	< 15	111
Kamine	< 15	158
Kaminöfen	< 15	113
Heizkessel	4 – 25	22

Tabelle: Spezifische PM<sub>10</sub>- Emissionen einiger kleiner Holzfeuerungsanlagen (Durchschnittswerte aus dem Anlagenbestand in Haushalten)

Quelle: Struschka, M. et al: Ermittlung und Evaluierung der Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher sowie Ableitung von geeigneten Maßnahmen zur Emissionsminderung; UBA-Texte 41/03, Februar 2003

Aus rund 14 Mio. häuslichen Kamin- und Kachelöfen und 600 000 Heizkesseln entwichen nach Schätzungen des Umweltbundesamtes (UBA) beim Holzverbrennen rund 24 000 t Feinstaub im Jahr.

PM10-Emissionen in kt	2002	2003
Kleine Holzfeuerungen in Haushalten und im Kleingewerbe	22,7	24,0
Straßenverkehr (nur Verbrennung)	25,4	22,7

Quelle: Zentrales System Emissionen des Umweltbundesamtes, Stand 15.2.06;

Tabelle: Vorläufige Zahlen Jahresemissionen PM10 in Kilotonnen (kt, eine Kilotonne = 1000 Tonnen)

Für viele dieser Kamine, Kesseln und Kachelöfen fehlen bisher jedoch gesetzliche Vorgaben, die die Emissionen von Feinstäuben begrenzen. Denn die Anforderungen der Kleinfeuerungsanlagenverordnung (1. BImSchV) betreffen bislang nur Feuerstätten mit einer Nennwärmeleistung größer als 15 kW.

Das Bundesumweltministerium (BMU) will den Geltungsbereich der Verordnung jetzt ausweiten und sie auf den aktuellen Stand der Technik bringen. Die bisherigen Vorgaben für das Verbrennen von Holz sind zum Teil veraltet. Mit der neuen Verordnung will das BMU alle Feuerstätten zur zentralen Beheizung mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 4 kW erfassen und dabei die Grenzwerte für Staub deutlich verschärfen.

### **Feinstaub im Abgas von Holzfeuerstätten kann durch folgende Prozesse entstehen:**

1. Verdampfen von organischen Komponenten des Brennstoffes (Kalium, Kalzium, Chlor, Schwefel) und anschließende Kondensation zu Salzpartikel,
2. Unvollständige Verbrennung mit Bildung von kohlenstoffhaltigen Partikeln (Ruß, Teer)
3. Austragung von Aschematerial aus dem Glutbett in den Abgasstrom.

Sowohl die Korngröße, als auch die chemische Zusammensetzung der Partikel im Abgas können sich stark unterscheiden, je nachdem welcher Bildungsmechanismus dominiert. Für moderne Feuerstätten ist bekannt, dass bei optimaler Verbrennung, der Hauptteil der Partikel aus anorganischen Salzen besteht. Demgegenüber können bei

schlecht gewarteten Feuerungsanlagen, die zum Teil nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen, erhebliche Anteile an Partikeln aus unvollständiger Verbrennung emittiert werden.

Um Feinstaubbelastungen wirksam bekämpfen zu können, muss man wissen, aus welchen Quellen die Partikel stammen. An der Nanopartikel-Konferenz, die kürzlich an der ETH in Zürich stattfand, sind unter anderem Methoden präsentiert worden, mit denen sich die Partikel in der Luft den unterschiedlichen Quellen zuordnen lassen.

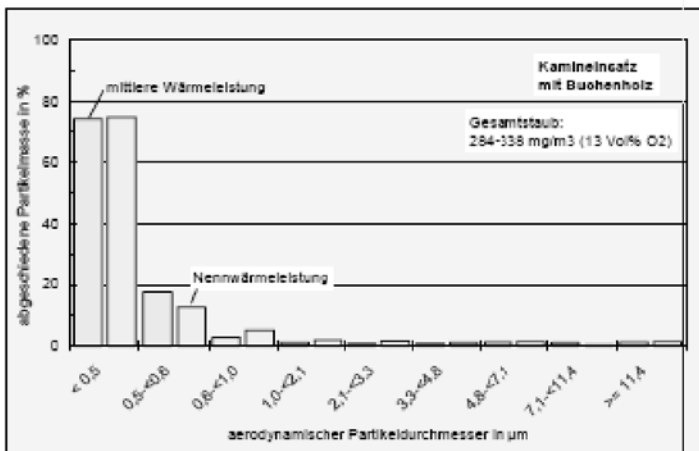
Die Forscher hatten in Messkampagnen mit einem so genannten Aerosolmassen Spektrometer Messungen durchgeführt. Die vorläufigen Ergebnisse zeigen, dass mehr als die Hälfte des Feinstaubs aus sekundären Partikeln bestand. Diese entstehen erst in der Luft aus entsprechenden Vorläufersubstanzen. Neben Ammonium und Sulfat waren mit etwa einem Drittel des gesamten Feinstaubs die Nitrare am häufigsten. Letztere werden hauptsächlich aus den Stickoxiden des Verkehrs gebildet.

Gesundheitlich relevant ist jedoch vor allem Ruß, der aus Kohlenstoff sowie organischen, kohlenstoffhaltigen Partikeln besteht. Der Anteil des Kohlenstoffs am gesamten Feinstaub betrug zwischen 6 und 7 Prozent. Diese Partikel stammen vor allem aus Dieselmotoren

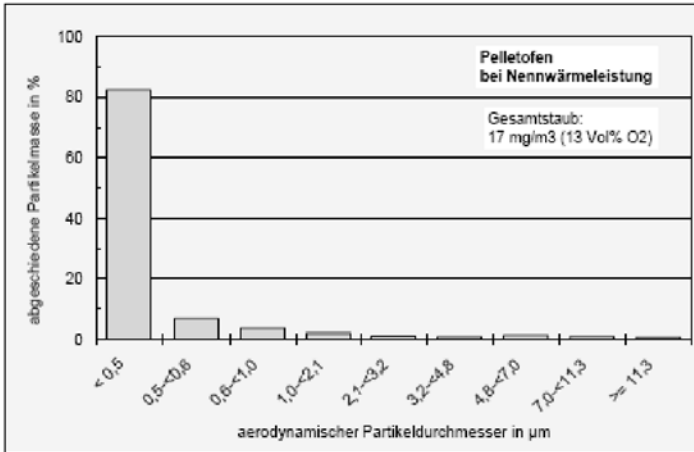
und der Holzverbrennung. Wie sich nun zeigte, hatte man den Beitrag der Holzheizungen deutlich unterschätzt.

Besonders groß ist der Beitrag der Holzheizungen jedoch bei den organischen, kohlenstoffhaltigen Partikeln; hier übersteigt er mit 7 bis 15 Prozent des gesamten Feinstaubs sogar den Beitrag des Verkehrs, der aufgrund der Messungen mit 6 bis 10 Prozent zu Buche schlägt. Insgesamt dürfte somit der Beitrag der Holzverbrennung zum Russ (schwarzer Kohlenstoff und organische Partikel) im vergangenen Januar und Februar 2006 mindestens so groß gewesen sein wie derjenige aus dem Verkehr.

Auch die Quellen des Holzrußes lassen sich mit Messungen – zumindest in extremen Situationen mit nur wenigen Emissionsquellen – eruieren. Massenspektrometrische Untersuchungen des Paul Scherer Institut (PSI) von Abgasen automatischer Schnitzelheizungen ergaben nämlich ein deutlich anderes Bild als von Abgasen handbeschickter Stückholzfeuerungen. Ein Vergleich mit den in der Luft vorherrschenden Partikeln liege dann laut den Forschern nahe, dass diese in erster Linie aus Öfen mit schlechter Verbrennung stammen müssen. Bei sehr guter Holzverbrennung mit hohen Temperaturen entstehe dagegen praktisch kein Ruß. Anders bei alten und schlecht betriebenen Anlagen.



Partikelgrößenverteilung bei einer Stückholzfeuerung



Partikel-Größenverteilung bei einer Pelletsfeuerung

Dass Holzruß aus gesundheitlicher Sicht relevant ist, zeigen auch neue toxikologische Versuche. Norbert Klippel vom Züricher Ingenieurbüro Verenum berichtete auf der Konferenz in Zürich, dass Rußpartikel aus Holzöfen mit sehr schlechter Verbrennung bei Lungenzellen von Hamstern bis zu zehnfach so toxisch waren wie Dieselruß. Anders sah es bei den salzartigen Partikeln aus, die bei einer vollständigen Holzverbrennung entstehen. Diese waren im Versuch deutlich weniger toxisch als Dieselruß.

Die untersuchten Holzöfen weisen eine riesige Bandbreite der Feinstaubemissionen von unter  $20 \text{ mg/m}^3$  bis über  $5000 \text{ mg/m}^3$  bei 13 Vol. %  $\text{O}_2$  auf. Der höchste Wert entspricht dem Feinstaub eines schlecht betriebenen Holzofens. Die große Bandbreite ist nicht nur, aber zu einem großen Teil, auf die Betriebsart zurückzuführen. So kann der Wechsel von einem idealen Betrieb zu einem typischen Praxisbetrieb eine Erhöhung der Emissionen um mehr als einen Faktor 10 bewirken. Dieser Sachverhalt wird in der heutigen Typprüfung nicht ausreichend berücksichtigt, weshalb für Prüfungen eine praxisgerechtere Betriebsart festgelegt werden sollte. Für die Partikelemissionen ist dabei die Erfassung von Anfahrvorgang, Nachlegen und stationärer Betriebsphase entscheidend, während die Ausbrandphase von untergeordneter Bedeutung ist.

Obwohl die Feinstaubemissionen von der Feuerungstechnik abhängig sind, kann zu-

mindest bei Holzöfen die Betriebsweise einen meist noch wesentlichen Einfluss haben. So steigen die Emissionen eines Holzofens mit Qualitätssiegel (z.B. DIN plus) von unter  $50 \text{ mg/m}^3$ , wenn anstelle eines idealen Betriebs mit sehr kleinen Chargen und trockenen Holzscheitern ein Betrieb mit einer größeren Charge von üblich großen Holzscheitern erfolgte auf rund  $250 \text{ mg/m}^3$  an. Bei Verwendung von feuchtem Holz betragen die Emissionen sogar rund  $500 \text{ mg/m}^3$ . In einem einfachen Holzofen resultierten unter schlechten Betriebsbedingungen durch Schließen der Luftklappen Staubemissionen von über  $5000 \text{ mg/m}^3$ , was im Vergleich zu einem Idealbetrieb mit kleinen Holzchargen im gleichen Ofen eine Erhöhung um mehr als den Faktor 100 entspricht. Moderne, richtig betriebene Holzheizungen schneiden bezüglich der Feinstaubemissionen wesentlich besser ab als der Durchschnitt der heute installierten Anlagen.

### Feinstaub ist nicht gleich Feinstaub

So besteht Dieselruß vorwiegend aus Kohlenstoff und dieser kann zudem gesundheitsschädliche organische Kohlenwasserstoffe enthalten. Staub aus vollständiger Holzverbrennung besteht dagegen hauptsächlich aus Salzen, wie z.B. Kaliumchlorid, das auch als Düngemittel verwendet wird und eine geringere Gefährdung als Ruß darstellt. Zudem verkürzt die Wasserlöslichkeit der Salze die Aufenthaltszeit in der Atmosphäre (siehe nachfolgende Graphik). Auch bei der Holz-



Euro 3 Diesel-PW ohne Partikelfilter

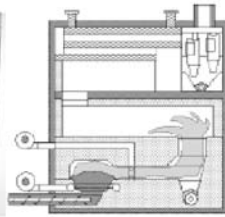
Abgas Dieselmotor



Filter beladen mit 0,5 g Feinstaub (Dieselruß)



Automatische Holzfeuerung mit annähernd vollständiger Verbrennung und ohne Filter

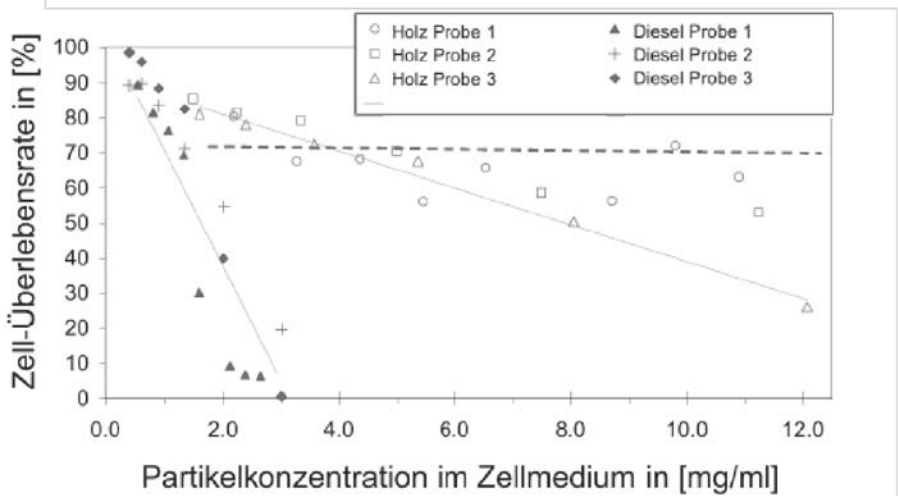


Abgas Holzfeuerung



Filter beladen mit 2 g Feinstaub (vorwiegend Salze)

Vergleich von Dieselruß (Kohlenstoff und organische Verbindungen) und Staub einer automatischen Holzfeuerung (hauptsächlich Salze) nach [Nussbaumer et al. 2005].



Vergleich der Zell-Überlebensrate von Dieselruß und Partikeln aus einer automatischen Holzfeuerung in Zytotoxizitätstests nach [Nussbaumer et al. 2005].

verbrennung kann Ruß als Folge von unvollständiger Verbrennung gebildet werden, was z.B. bei Verwendung von feuchtem Holz oder

in einer ungeeigneten Feuerstätte typisch ist. Bisherige Forschungsprojekte mit Tests mit Partikeln an Lungenzellen von Hamstern zei-

gen, dass Dieselruß eine deutlich höhere Toxizität aufweist als Partikel aus vollständiger Holzverbrennung. Obwohl die Anstrengungen zur Staubminderung in Holzfeuerstätten nicht in Frage gestellt werden, unterstreicht dieser Vergleich die Bedeutung von Dieselruß.

Sollen handbeschickte Holzfeuerungen auch in Zukunft noch vermehrt eingesetzt werden können, müssen die Feinstaubemissionen aus handbeschickten Holzfeuerstätten deutlich reduziert werden. Hier wird an verschiede-

nen Staubabscheidesystemen sowie neuen Verbrennungstechniken geforscht.

### Staubabscheidesysteme:

Bei Einsatz von Staubabscheidern ist deren Abscheidecharakteristik bezüglich feiner Partikel zu beachten, siehe Abb. Zyklone sind zwar preisgünstig, scheiden aber die feinen Partikel nicht ab. Wenn möglich, sollte schon auf Feuerungskonstruktionen Wert gelegt werden, bei der die Partikel nicht entstehen.

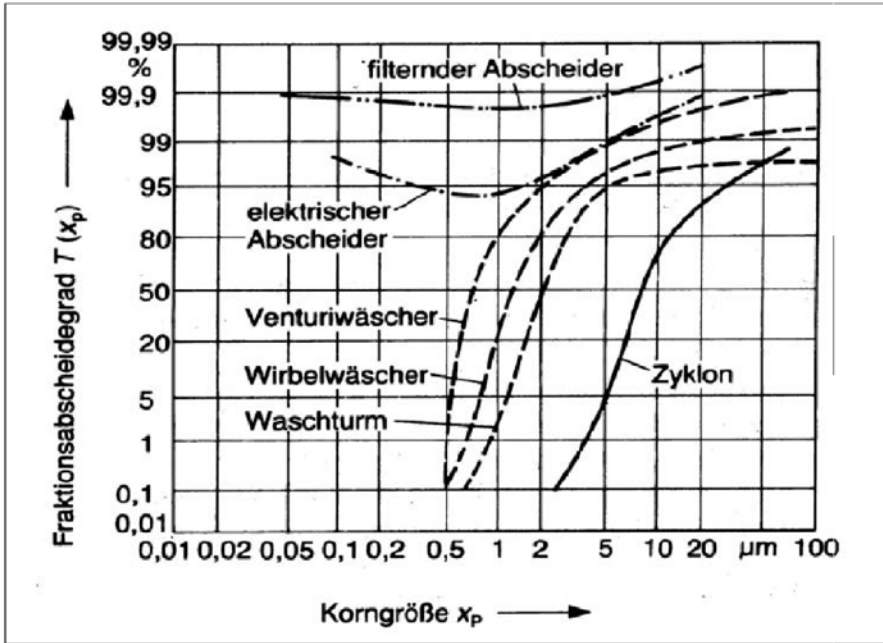


Abb.: Partikel Abscheidecharakteristiken verschiedener Staubabscheidersysteme

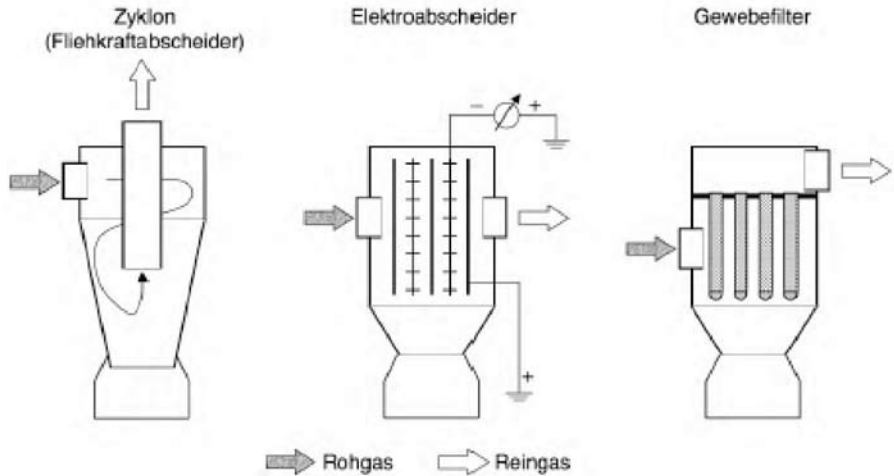
### Verfahren zur Staubabscheidung

Die Verfahren zur Abscheidung von partikel-förmigen Emissionen beruhen im Wesentlichen auf folgenden Abscheidemechanismen:

- Fliehkraftabscheidung (Zyklon, Multizyklon)
- Elektrische Feldkräfte (Trocken- und Nass-Elektroabscheider)

- Filtration, Gitterwirkung und Haftkäufe (Gewebefilter, Metallfilter, Schüttschichtfilter, Keramikfilter)
- Nassentstaubung, Nasswäscher (Grenzflächenkräfte).

Nachfolgendes Bild zeigt eine Zusammenstellung der wichtigsten Filtersysteme von Staubabscheidern.



### Elektrofilter der Fa. Rüegg

Die Firma Rüegg in der Schweiz hat eine marktreife Lösung vorgestellt. Der Partikelabscheider funktioniert nach dem Prinzip der elektrostatischen Partikelabscheidung. Dabei wird mittels einer im Abgasrohr platzierten drahtförmigen Elektrode ein elektrisches Feld erzeugt, welches im Endeffekt dazu führt, dass die Partikel im Abgasstrom aufgeladen

werden. Aufgrund des elektrischen Feldes werden die geladenen Partikel dann an die Wände des Abgasrohres aus Metall gedrängt, wo sie schließlich abgeschieden werden. Auf diese Art und Weise kann der Ausstoß von Feinstaub, nach Herstellerangaben um rund 60–80 Prozent reduziert werden. Integrieren lässt sich der Partikelabscheider in vielen Kleinf Feuerungen, auch bestehende Anlagen können damit nachgerüstet werden.

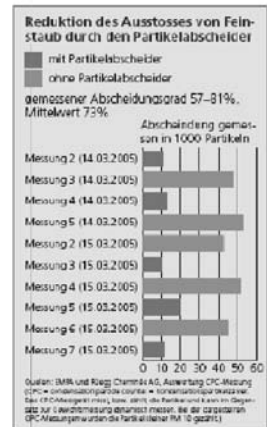
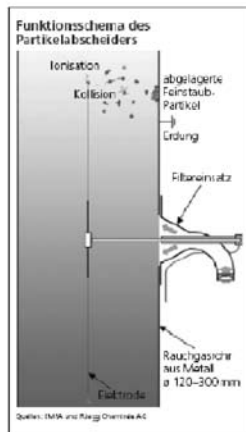
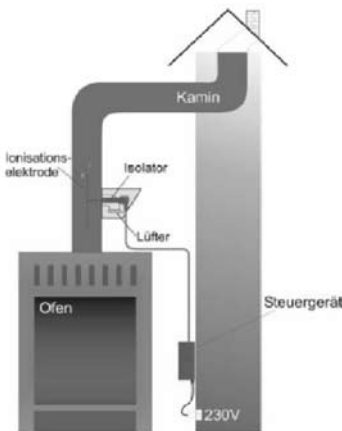
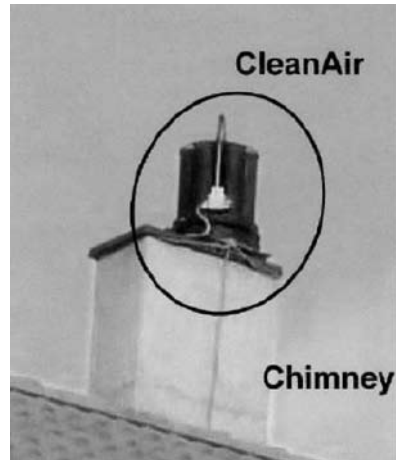


Abbildung: Funktionsschema und Reduktionsergebnisse des Klein-Elektroabscheiders der Fa. Rüegg

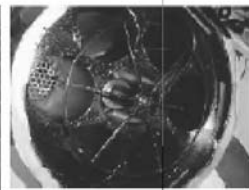
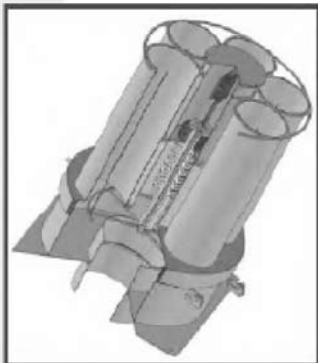
## Elektroabscheider „CleanAir unit“

Morten Berntsen vom Institute of Technology in Oslo entwickelte in einem europäischen Forschungsvorhaben eine „CleanAir unit“. Der Elektroabscheider wird als unabhängige Einheit auf dem Kamin angebracht und ist für Neuanlagen oder für Nachrüstungen geeignet. Die „CleanAir unit“ weist eine Querschnittserweiterung auf sechs zentrisch angeordnete Einheiten von Rohrelektroabscheidern auf. Der Druckverlust ist vernachlässigbar, so dass auch eine Anwendung für Naturzuganlagen unproblematisch wäre. Die Baugröße ist für häusliche Feuerstätten ausgelegt, wobei die Leistung auch für mehr als eine Feuerstätte ausreicht. Die „CleanAir unit“ wurde in Feldtests in Norwegen erfolgreich getestet und in einem Prüflabor in Schweden für verschiedene Feuerungen und Betriebszustände mit Brennholz und Kohle untersucht. Die Technik erreicht eine Abscheidewirkung von über 90 %. Da bis zu 20 kg Staub abgeschieden werden können, ist ein Betrieb von mehr als einem Jahr möglich. Der Stromverbrauch beträgt dabei weni-

ger als 120 W und das System kann durch Temperaturdifferenzmessung automatisch ein und ausgeschaltet werden. Die Fertigungskosten betragen bei kleinen Stückzahlen rund € 400,- bei einer Serienproduktion in Norwegen wird ein Preis von € 150,- erwartet.



## Die "CleanAir" Einheit



[www.teknologi01.no](http://www.teknologi01.no)

## Entwicklung von Abgasarmen Feuerstätten

Für die Zukunft sollen Feuerstätten entwickelt werden, die nach dem Low-Partikel Konzept konstruiert sind. Hauptaspekt dabei ist, dass die Feuerungsanlagen mit einem Glutbett-Luftüberschuss betrieben werden der bei  $\lambda$  0,2-0,4 liegt, dies bewirkt minimale Staubemissionen. Dabei müssen verschiedene Punkte berücksichtigt werden:

- Betrieb bei sehr geringen Glutbett-Luftüberschuss  $\lambda$  0,2-0,4, für tiefe Partikel-Massenkonzentrationen im Abgas.
- Hohe Gasdichtheit der Feuerstätte inklusive Brennstoffzuführung um einen geringen und exakten Luftüberschuss zu ermöglichen (z.B. Einsatz einer Zellrad-schleuse und geringer Unterdruck im Feuerraum).
- Betrieb bei geringen Gesamt-Luftüberschuss ( $\lambda$  1,3-1,7) für tiefe Partikel-Anzahlkonzentrationen im Abgas.
- Ausreichend hoch dimensionierter Feuerraum um ein hohes Glutbett zu ermöglichen, dass sich aufgrund der tiefen Glutbett-Luftüberschusses einstellt.

- Späte Sekundärluftzuführung (ausgeprägte Luftstufung) und geeignete geometrische Anordnung zur sicheren Verhinderung einer partiellen Rückströmung der Sekundärluft zum Glutbett.
- Genügend hohe Temperaturen im primären Brennraum, d.h. im Bereich des Glutbettes über 650 °C, um eine quasi-vollständige Umsetzung der organischen Feststoffkomponenten zu gasförmigen Komponenten zu erreichen.

### Entwicklungsbeispiel:

#### Abgasarmer Kaminofen der Fa. Specht

Die Verbrennungstechnik des Twinfire der Fa. Specht sorgt dafür, dass die Feinstaubemissionen extrem gesenkt werden. So liegt nach Herstellerangaben der Feinstaubgehalt in den Abgasen der Twinfire-Öfen mit nur 25 mg/m<sup>3</sup> äußerst niedrig. Das Verbrennungsprinzip: Wie gewohnt wird im oberen Brennraum des Ofens ein Feuer entfacht. Hat sich ausreichend Glut gebildet, wird durch Betätigen eines Hebels der direkte Abzug der Rauchgase über den Kamin gestoppt. Damit werden die Schwelgase nach unten in eine zweite Brennkammer geführt. Durch die Zuführung von Luft entflammt das Gas, ein

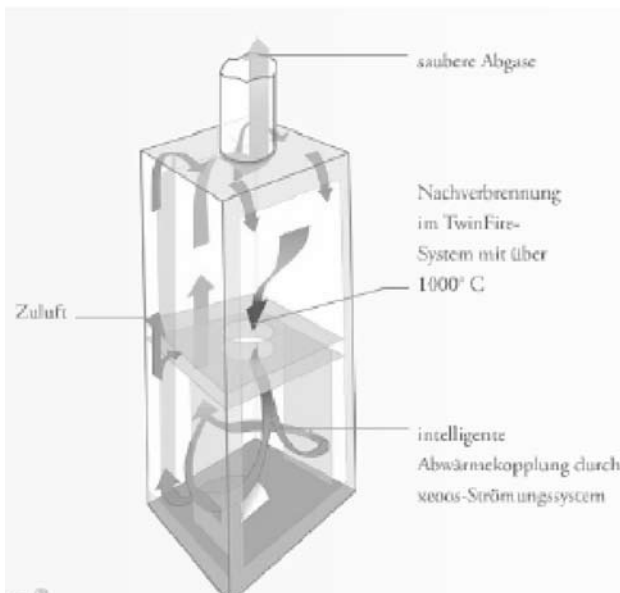


Abb.: Xeoos-Twinfire, Fa. Specht

zweites Feuer entsteht. Schwelgase sowie Kohlenwasserstoffe werden nach Herstellerangaben nahezu vollständig verbrannt. Die Energieausnutzung beträgt nach Herstellerangaben bis zu 90 %. Im nachfolgenden Bild ist der Xeoos-Twinfire der Fa. Specht abgebildet.

#### **Fazit:**

Der überproportionale Anteil der Holzfeuerstätten an der Feinstaubproblematik hat viel mit Anlagen zu tun, die nicht mehr dem neuesten Stand der Technik entsprechen oder falsch betrieben werden. Moderne, richtig betriebene Feuerstätten für feste Brennstoffe gewinnen aus dem Holz schadstoffarme und effizient behagliche Energie. Mit dem konsequenten Vollzug verschärfter Vorschriften sowie Anreizen für besonders gute Anlagen kann der Bund einen wichtigen Beitrag leisten, damit Holz aus dem Wald nicht nur eine nachwachsende, CO<sup>2</sup>-neutrale und sichere, sondern auch eine besonders umweltfreundliche Energie bleibt. Das Ziel muss sein, mög-

lichst eine Verdoppelung der Holzenergienutzung in Deutschland zu erreichen. Diese kann nur akzeptiert werden, wenn die Belastung unserer Luft mit Feinstaub aus Holzheizungen nicht zunimmt.

#### **Literatur**

Thomas Nussbaumer: Dieselruß und Holzfeinstaub grundverschieden, Holz-Zentralblatt, 70 (2005), 932–933;

Norbert Klippel und Thomas Nussbaumer Feinstaubbildung in Holzfeuerungen und Gesundheitsrelevanz von Holzstaub im Vergleich zu Dieselruß, 9. Holzenergiesymposium Zürich 2006, ISBN 3-908705-14-2, 21-40,

Prof. Dr.-Ing. Günter Baumbach und Dr.-Ing. Michael Struschka, Feinstäube aus Biomassefeuerungen – Herausforderungen an Anlagen sowie an die Mess- und Regeltechnik, 5. Holzfeuerungs-Kolloquiums Anlagentechnik für die Zukunft – Feinstaubminderung, Stuttgart 2005, 25-26,