Feinstaub und Gesundheit

Stoffsammlung ohne Anspruch auf Vollständigkeit, keine wissenschaftliche Arbeit!

Vorwort

Diese Stoffsammlung ist ohne Anspruch auf Vollständigkeit, keine wissenschaftliche Arbeit und dient als Hilfestellungen zum besseren Verständnis sowie als Arbeitsunterlage für Bürgerinitiativen und andere Interessenten am o. g. Thema. Eine Veröffentlichung ist nicht vorgesehen und aus urheberrechtlichen Gründen untersagt. Vor Weitergabe von Texten an Dritte bzw. Zitaten hieraus sind diese stets auf Aktualität zu prüfen - unter dem Namen des Verfassers (s. u.) ist dies ebenfalls untersagt. Nutzungsrechte bei Verwendung der Datenquellen sind zu beachten, bzw. einzuholen. Der Wortlaut der mit [xx] zitierten Artikel stellt nicht die Meinung des Verfassers dar.

Darstellungen in einigen Quelltexten fallen oft undeutlich oder nicht genügend sachlich aus. Anmerkungen in dieser Stoffsammlung (ggf. nach der Abkürzung Anm.:) verweisen auf Richtigstellungen oder Ergänzungen zu einigen Originalzitaten. Im laufenden Text stehende Punkte „…“ deuten auf Auslassungen im Originaltext hin, etwa wegen nicht zutreffender oder nebensächlicher Aussagen. Außerdem werden einige Originaltexte erst nach orthografischer Korrektur oder Entflechtung verständlich.

Verwendete Abkürzungen

C	Kohlenstoff, englisch: carbon
CO2	Kohlendioxid
kW	Kilowatt (z. B. elektrische Leistung)
kWh	Kilowattstunde (z. B. elektrische Arbeit)
MW	Megawatt = 1000 kW
mg	Milligramm = ein tausendstel Gramm
µg	Mikrogramm = ein millionstel Gramm
µm	Mikrometer = ein tausendstel Millimeter
nm	Nanometer = ein millionstel Millimeter
PM10	Partikel mit einer Größe von 10 µm und kleiner
PM2,5	Partikel mit einer Größe von 2,5 µm und kleiner
PM1	Partikel mit einer Größe von 0,1 µm = 100 nm und kleiner
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
t	Tonne
Tt	Tausend Tonnen
Mt	Megatonnen = Millionen Tonnen
Gt	Gigatonnen = Milliarde Tonnen
ha	Hektar
a	Jahr
g/a	Gramm pro Jahr
t/ha/a	Tonnen pro Hektar und Jahr
ºC	Grad Celsius
mg/Nm³	Milligramm pro Normkubikmeter
CO2-eq	Kohlendioxid-Äquivalent
BImSchV	Bundes-Immissions-Schutz-Verordnung

Verfasser: Hannes Allabauer, Dipl. Ing. (FH) Elektrotechnik

Gewidmet der Arbeitsgemeinschaft Neue Energien in Erlangen
und der Bürgerinitiative Energiewende Erlangen/ Erlangen-Höchstadt

Redaktionsschluss 1.6.2016

Feinstaub und Gesundheit

Stoffsammlung ohne Anspruch auf Vollständigkeit, keine wissenschaftliche Arbeit!

Übersicht

1. Begriffe zu Feinstaub

2. Klassifizierung von Feinstäuben

2.1 Aktuelle Begriffe
2.2 Kategorien / Grobstaub, Feinstaub, Schwebstaub

3. Feinstaubquellen (Emittenten)

3.1 Hauptverursacher
3.1.1 Außenbereich (Umwelt)
3.1.2 Innenbereich (Wohnraum)/ Gift im Hausstaub, Schwarzstaub (Fogging)
3.2 Private Ofen- und Kesselfeuerungen
3.2.1 Holzpelletkessel
3.2.2 Hackschnitzelkessel
3.2.3 Kaminöfen
3.3 Silvesterfeuerwerk
3.4 Verkehrsmittel mit fossilen Kraftstoffen / Ultrafeinstaub, Auto und Filter, Flugverkehr, Schiffsverkehr
3.5 Landwirtschaft
3.6 Industrieanlagen
3.6.1 Kohle
3.6.2 Petroleum

4. Verbreitung von Feinstaub (Immissionswege)

4.1 Deutschland / Stuttgart, 17 schmutzigste deutsche Städte, Umweltzonen
4.2 Europa
4.3 Weltweit

5. Schäden durch Feinstaub

5.1 Allgemeine Erkrankungen
5.2 Neurodegenerative Erkrankungen
5.3 Vorzeitige Todesfälle
5.4 Klimaschädlichkeit
5.5 Schadstoffe von Biomasse in Feuerungsanlagen

6. Vermeiden von Feinstaub

6.1 Aktuelle Situation / Richtiges Heizen mit Holz
6.2 Vorschriften und Kontrollen für Heizungen
6.2.1 Ungeeignete Messmethoden
6.2.2 Stilllegungszwang und viele Ausnahmen
6.3 Grenzwerte / WHO
6.4 Messung / Rußzahl
6.5 Private Eigenverantwortung / Info „Richtig Heizen“
6.6 Politische Verantwortung / Europäische Grenzwerte

7. Abscheiden von Feinstaub (Filtertechnik)

7.1 Kleinfeuerungsanlagen mit Holz
7.1.1 Kaminöfen Modell „Pellwood“ und Modell „Wodtke“
7.1.2 Feinstaubfilter mit Glasfasern
7.1.3 Feinstaubfilter mit Glaswolle
7.1.4 Feinstaubfilter mit „Pall-Ringen“
7.1.5 Feinstaubfilter elektrostatisch „Carola Clean Air“

7.2 Großfeuerungsanlagen mit Biomasse

8. Diskussion / „Alternative Fakten“

9. Quellenverzeichnis

1. Begriffe zu Feinstaub

Der Begriff Feinstaub umfasst den primär emittierten und den sekundär gebildeten Feinstaub. **Primärer Feinstaub** wird unmittelbar an der Quelle freigesetzt, zum Beispiel bei Verbrennungsprozessen. Entstehen Partikel aus gasförmigen Vorläufersubstanzen wie Schwefel- und Stickoxiden und Ammoniak, so werden sie als **Sekundärer Feinstaub** bezeichnet [4]. Die Verbrennungsprozesse kommen überwiegend vor bei Verbrennungskraftmaschinen (Kolbenmotoren, Turbinen usw.), Wohnungen (Heizungen, Kochstellen, Kerzen), Industrieanlagen und Dampfkraftwerken.

Die Definition des Feinstaubs geht zurück auf den im Jahre 1987 eingeführten „National Air Quality"-Standard for Particulate Matter (kurz als PM-Standard bezeichnet) der US-Umweltschutzbehörde EPA (Environmental Protection Agency). Feinstaub ist ein Teil des Schwebstaubs. PM10 ist beispielsweise eine Kategorie für Teilchen, deren aerodynamischer Durchmesser gleich oder weniger als 10 µm beträgt [18].

Die Kenntnis von Feinstaub ist wichtig, weil nicht wie im Idealfall z. B. bei der Verbrennung von Holz lediglich Kohlendioxid, Asche und Wasser entstehen. Leider existiert eine solch perfekte Verbrennung nicht und der Rauch aus Holzfeuerungen enthält stark gesundheitsschädliche Substanzen. Die wichtigsten Schadstoffe sind Feinstaub (PM) und Ruß sowie Teerverbindungen, auch als Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) bezeichnet, Dioxine, flüchtige organische Verbindungen (VOC), Stickoxide (NOx) und Kohlenstoffmonoxid (CO) [61].

In den Medien finden sich häufig unsachliche bis verharmlosende Mitteilungen über Straßenstaub durch Abrieb oder Staub in Wohnungen. Wenn auch von Feinstaub die Rede ist, so wird doch nicht heraus gestellt, dass der Ultrafeinstaub der gefährlichste und durch Kfz-Verkehr und Holzheizungen der gegenwärtigste ist – extrem im Winter in Großstädten.

2. Klassifizierung von Feinstäuben [18]

2.1 Aktuelle Begriffe

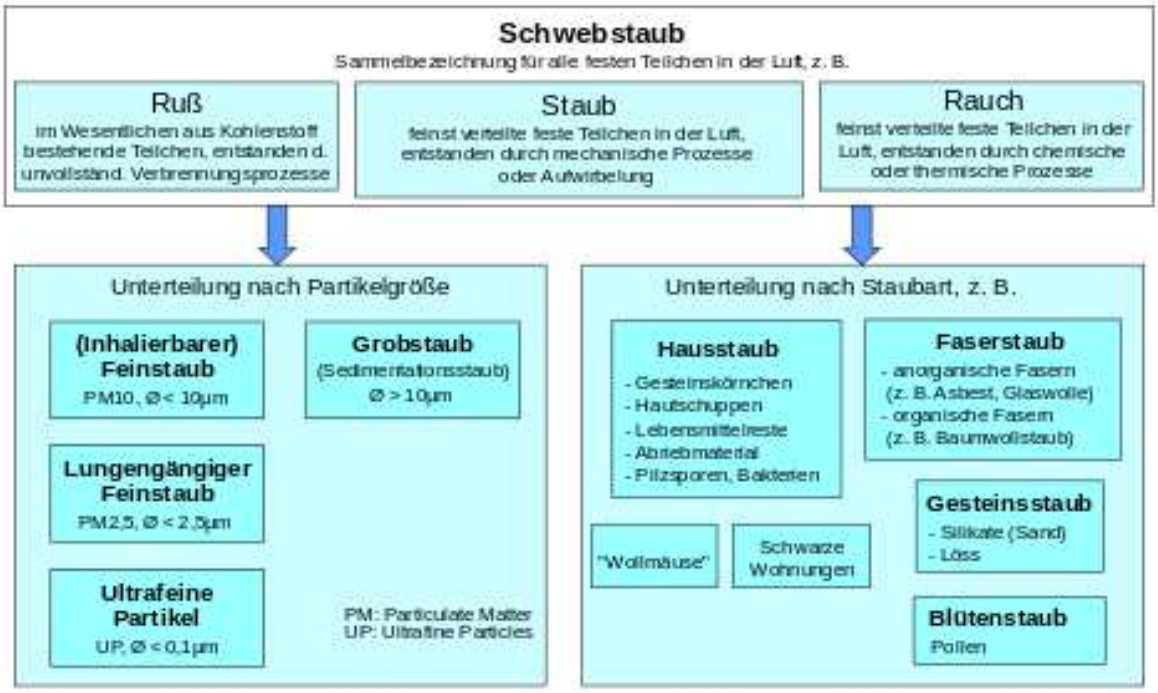
Feinstaub besteht aus einem komplexen Gemisch fester und flüssiger Partikel und wird abhängig von deren Größe in unterschiedliche Fraktionen eingeteilt. Unterschieden werden:

PM10 (PM, particulate matter) **Feinstaub** mit einem maximalen Durchmesser von 10 µm,

PM2,5 Feinststaub mit einem maximalen Durchmesser von 2,5 µm und

PM1 Ultrafeinstaub - ultrafeine Partikel (auch „UP"genannt) mit Durchmesser kleiner 0,1 µm = 100 nm [4].

2.2 Kategorien [18]



Es gibt mehrere Definitionen von Fein- und Grobstaub. Teilweise wird erst bei PM-2,5-Partikeln von Feinstaub gesprochen.

Die mit dem US-Standard eingeführte PM-Kategorisierung stellt eine grundlegende Veränderung in der Bewertung von Immissionen dar: Während zuvor die Gesamtimmission betrachtet wurde, liegt der Fokus nun auf dem einatembaren Anteil der Immissionen. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass feine Partikel von den Schleimhäuten im Nasenraum/Rachenraum bzw. den Haaren im Nasenbereich nur teilweise zurückgehalten werden, während gröbere Partikel keine Belastung der Atemwege darstellen, daher wird im Zusammenhang mit Feinstaub auch von inhalierbarem Feinstaub bzw. als thorakalem Schwebstaub gesprochen (thorakal = lungengängig).

In der ersten Fassung der amerikanischen Richtlinie wurde der Standard PM10 definiert, für den seit Anfang 2005 auch in der EU ein Grenzwert einzuhalten ist. **PM10** bedeutet, dass Partikel berücksichtigt werden, die einen **aerodynamischen Durchmesser von 10 µm oder weniger** besitzen. Im Gegensatz dazu wird im Gefahrstoffrecht für die einatembare Staubfraktion keine scharfe Begrenzung der Immissionen auf einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm festgelegt; vielmehr wurde versucht, das Abscheideverhalten der oberen Atemwege nachzubilden: Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 1 µm werden hier vollständig einbezogen, bei größeren Partikeln wird ein gewisser Prozentsatz gewertet, der mit zunehmender Partikelgröße abnimmt und bei ca. 15 µm schließlich 0% erreicht. Technisch gesehen entspricht dies der Anwendung einer Gewichtungsfunktion (in der Fachsprache Trennkurve bzw. Trennfunktion) auf die Immissionen (in der Praxis wird dies durch einen größenselektiven Einlass an den Messgeräten erreicht). Aus dem Verlauf dieser Gewichtungsfunktion leitet sich letztendlich auch ein mittlerer Durchmesser wie bei PM10 ab, da bei ca. 10 µm genau die Hälfte der Partikel in die Gewichtung eingehen.

Im Jahr 1997 wurde die amerikanische Richtlinie um **PM2.5** ergänzt, die dem lungengängigen

(alveolengängigen) Feinstaub (dann auch **Feinststaub** genannt) entspricht. Die Definition ist analog zu PM10, allerdings ist die Gewichtungsfunktion wesentlich steiler (100% Gewichtung < 0,5 µm; 0% Gewichtung > 3,5 µm; 50% Gewichtung bei ca. 2,5 µm). Diese wesentlich schärfere Trennung lässt sich bei der Messung nicht mehr durch einen speziellen Einlass erreichen, hierfür kommen in der Praxis Impaktoren oder Zyklone zum Einsatz.

Weiterhin existiert noch die Definition **PM1** der ultrafeinen Partikel (UP bzw. UFP, „**Ultrafeinstaub**“), dies sind Nanopartikel mit einem Durchmesser von weniger als 100 nm. Sie können durch die Lunge hindurch in die Blutbahn vordringen (blutgängig).

Grobstaub - Feinstaub

Seit es die großen Schwefelfilteranlagen bei den Kraftwerken und die Katalysatoren bei den Kraftfahrzeugen gibt und nicht mehr alles verbrannt werden darf, was Energie erzeugt, sind Grobstäube in Deutschland kein Problem mehr. Die Schäden durch Grobstäube betrafen aber ohnehin weniger die Gesundheit als die Sauberkeit unserer Umwelt. Beim „VW-Betrug“ geht es nur um Feinstäube aus Dieselmotoren. Das jedenfalls ist ein gewaltiges Problem. Darüber aber, dass die Feinstäube aus den Benzindirekteinspritzern viel gefährlicher sind und über die allergefährlichsten Ultrafeinstäube aus allen bekannten Verbrennungsmotoren hörte man bisher allerdings wenig. Der alte Zweitaktmotor schleudert allen Dreck ungefiltert zum Auspuff hinaus. Beim … Dieselmotor nehmen die gesetzlich vorgeschriebenen Filter wenigstens einen beträchtlichen Teil der Feinstäube aus der Atemluft heraus.

Schwebstaub [31]

Schwebstaub (TSP–Total Suspended Particulates) sind Partikel bis zu einem Durchmesser von etwa 30 µm. Abhängig von der Größe und Dichte der Staubpartikel bleiben diese eine bestimmte Zeit in der Schwebe. Partikel > 10 µm (größer als PM10) sedimentieren zum Teil innerhalb weniger Minuten. Feinere, z. B. mit 1 µm (noch PM2,5), können **mehrere Tage im Zustand der Schwebe** verbleiben (siehe auch 4.2). Sehr feine Partikel, z. B. von 10 nm, reagieren in der Luft miteinander und bilden größere Partikel bzw. lagern sich an größere Partikel an.

3. Feinstaubquellen (Emittenten)

3.1 Hauptverursacher [18]

Hauptverursacher des menschgemachten Feinstaubs in Deutschland waren (laut Bundesumweltministerium und ergänzenden Quellen) um **2001** (Emissionen von Ottomotoren wurden leider nicht extra ausgewiesen):

Wirtschaft: 74.000 t/Jahr **(36,1%)**

Industrie: 60.000 t/Jahr

Schüttgutumschlag: 8.000 t/Jahr

Industriefeuerungen: 6.000 t/Jahr

Verkehr: 64.000 t/Jahr **(31,2%)**

Straßenverkehr: 42.000 t/Jahr (20,5%-Punkte in 31,2)

Abgase der Otto-Motoren

Abgase der Diesel-Motoren 29.000 t/Jahr (14,2%-Punkte in 31,2)

Abrieb von

Fahrzeugkatalysatoren

Antriebssystemen (Kardanwellen, Dichtungen, Getrieben)

Bremssystemen, Bremsenabrieb: 7.000 t/Jahr

Reifen, Reifenabrieb (Gummireifen): 6.000 t/Jahr

Straßenbelag, Straßenoberfläche: derzeit keine Angaben verfügbar

Aufwirbelung von Straßenstaub

Luftverkehr, Schiffsverkehr und sonstiger Verkehr: 16.000 t/Jahr

Abgase der Turbinen-Antriebe

Abgase der Düsen-Antriebe (Raketen-Antriebe)

Partikel durch verglühende Satelliten und Raketen-Antriebsstufen

Schienenverkehr: 6.000 t/Jahr (2,9%-Punkte in 31,2)

Abgase der Diesel-Motoren

Bremssand

Abrieb Rad-Schiene *)

Abrieb Kohleleiste des Stromabnehmers und der Oberleitung

Zermahlung des Schotters

Privathaushalte und Kleinverbraucher: 33.000 t/Jahr **(16,1%)**

Heizungen

Gas-Brenner

Öl-Brenner

Holzheizungen

andere Heizungen

Sonstiges

Räucherwerk (Räucherstäbchen und Räucherkerzen aus Privathaushalten und anderes Räucherwerk aus liturgischen Verbrauchern)

Kerzen, Öllampen und andere Leuchtmittel mit Abbrand

Elektrizitäts- und Fernheizwerke: 19.000 t/Jahr **(9,3%)**

Öl-Brenner, Gas-Brenner, Kohle-Brenner

Filterstäube

Kühlmittel

Landwirtschaft: 15.000 t/Jahr **(7,3%)**

Tierhaltung: 7.500 t/Jahr (ca. 4,5% der Gesamtmenge, Ergänzung)

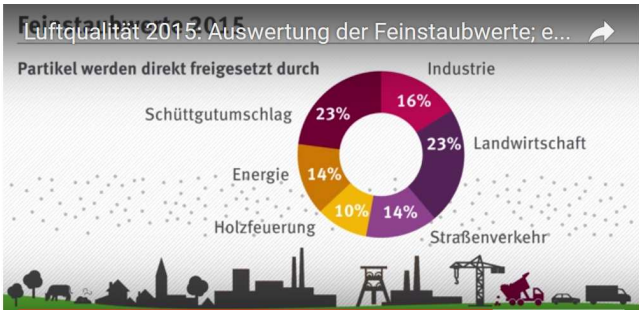
Sonstige: 7.500 t/Jahr (ca. 4,5% der Gesamtmenge, Ergänzung)

*) Die Bürgerinitiative Bahnlärm rechnet noch dazu den Bahn-Bremsabrieb mit etwa mit 7.000 t/Jahr [19].

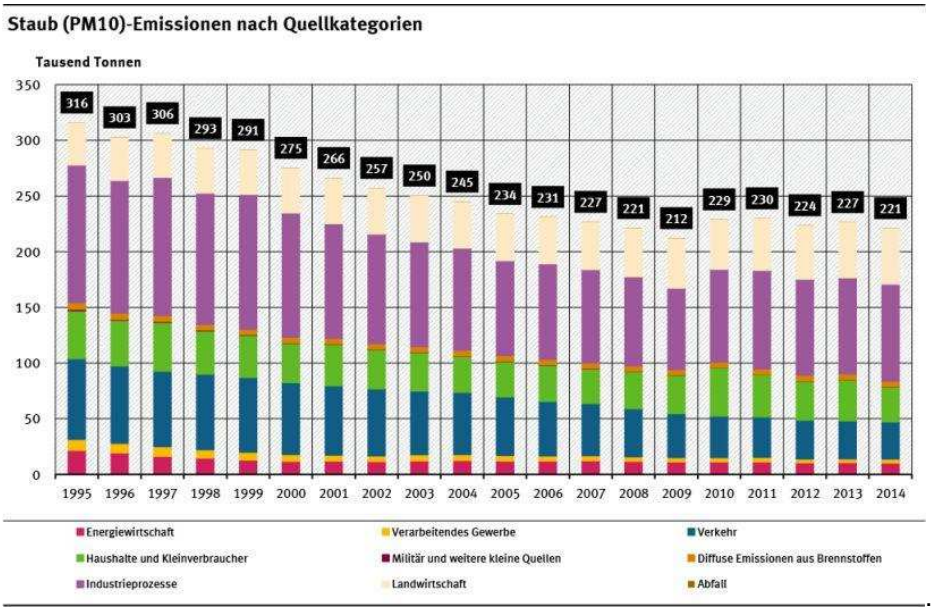
Dies ergab eine Gesamtzahl von rund 205.000 t/Jahr **(100%)**. Diese Zahl war in vieler Hinsicht unvollständig - Umweltbundesamt 2004: Zum Beispiel wurde Feinstaub aus Tagebauen wie dem Braunkohletagebau ignoriert und der Anteil des Straßenverkehrs wurde zunächst nur teilweise berücksichtigt: Der Abrieb von Reifen, Bremsbelägen und Straßenasphalt fehlte. Der Reifenabrieb verursachte grob geschätzt rund 60.000 t/Jahr (davon PM10-Anteil etwa 10%, also rund 6.000 t/Jahr) und Bremsabrieb 5.500 bis 8.500 t/Jahr (überwiegend PM10). Über Emissionen von der Straßenoberfläche waren hier noch keine Schätzungen bekannt.

Eine Publikation des Umweltbundesamtes (UBA) mit Video „Luftqualität 2015: Auswertung der Feinstaubwerte ...“ [53] zeigt für das Jahr 2005 folgende Masseanteile: Landwirtschaft 23%,

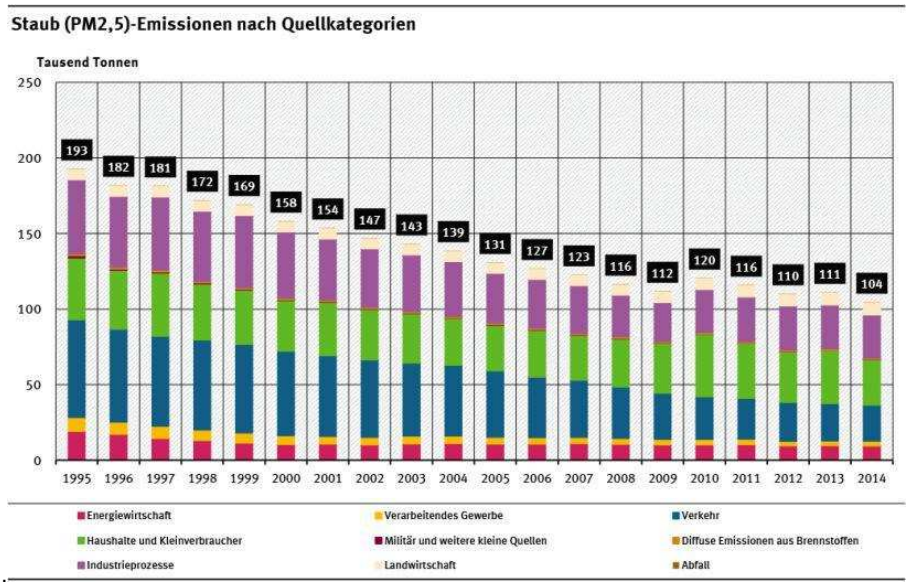
Schüttgutumschlag 23%, Industrie 16%, Energie 14%, Straßenverkehr 14%, Holzfeuerung 10% (sonstige Feuerungen sind vermutlich in „Energie“ enthalten).



Interessant ist auch der Verlauf der letzten 20 Jahre für PM10 und PM2,5 bis 2014 [63]:



Oben: Diese Emittenten-Gruppen stoßen Staub der Partikelgröße **PM10** aus, also Feinstaub-Partikel unter 10 µm. Bild: Umweltbundesamt (Stand 3/2016)



Und hier sind die Emittenten von Staub der Partikelgröße **PM2,5** zu sehen, also Feinstaub-Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser unter 2,5 µm. Diese kleineren Partikel sind ein größeres Gesundheitsrisiko, da sie tiefer in die Atemwege eindringen. Bild: Umweltbundesamt (Stand 3/2016). **Anm.: PM2,5 ist somit permanent zu etwa 50% in PM10 enthalten!**

3.1.1 Außenbereich (Umwelt)

Experten haben ermittelt, dass die Emissionen dieser vom Gewicht her doch leichten Feinstäube in der Summe für ganz Deutschland im Jahr 2011 fast 210.000 Tonnen ausgemacht haben! [27]. **Anm**.: s. o. 230 Tt.

Ob Ruß aus Bränden, Feinstaub aus Abgasen oder Schwefelaerosole aus Vulkanausbrüchen: Schon heute beeinflussen Schwebstoffe in der Atmosphäre (Aerosole) unser Wetter und Klima. Doch in Zukunft könnte der Dunstschleier in unserer Atmosphäre noch dichter werden, wie Forscher prognostizieren: Wo durch den **Klimawandel** seltener Regen fällt, werden die Aerosole nicht mehr ausgewaschen. Als Folge könnte vor allem in unseren Breiten im Sommer der Himmel trüber werden. Aerosole sind winzige feste oder flüssige Schwebstoffe, die von der Erdoberfläche in die Atmosphäre getragen werden. Viele von ihnen sind natürlichen Ursprungs, wie beispielsweise Wüstenstaub, Schwefelverbindungen und Asche aus Vulkanausbrüchen oder die organischen Mikropartikel, die mit der Meeresgischt in die Luft gelangen. Ein großer Teil der Aerosole ist jedoch menschengemacht, darunter der Ruß aus Brandrodungen oder Sulfate und Feinstaub aus Verkehrs- und Industrieabgasen. Mit den Winden werden diese Schwebstoffe in der Atmosphäre verteilt und bilden einen Dunstschleier, der nicht nur die Luftqualität beeinflusst, sondern auch das irdische Klima. So gilt vor allem Ruß als Faktor, der die Erwärmung der Atmosphäre verstärkt. Seine Partikel absorbieren einfallende Sonnenstrahlung und heizen sich und ihre Umgebung dabei auf [26].

Zu den größten Quellen der Schadstoffe zählen neben Kohlekraftwerken etwa der Verkehr, die Industrie sowie alte Heizanlagen in Privathaushalten [22].

Feinstaub wird vor allem durch menschliches Handeln erzeugt: **Primärer Feinstaub** (siehe auch Kapitel 1) entsteht durch Emissionen aus Kraftfahrzeugen, Kraft- und Fernheizwerken, Öfen und Heizungen in Wohnhäusern, bei der Metallerzeugung oder auch beim Umschlagen von Schüttgütern. Er kann aber auch natürlichen Ursprungs sein (beispielsweise als Folge von Bodenerosion). In Ballungsgebieten ist der Straßenverkehr die dominierende Staubquelle. Dabei gelangt Feinstaub nicht nur aus Motoren – vorrangig aus Dieselmotoren – in die Luft, sondern auch durch Bremsen- und Reifenabrieb sowie durch die Aufwirbelung des Staubes von der Straßenoberfläche. Eine weitere wichtige Quelle ist die **Landwirtschaft**: Die Emissionen gasförmiger Vorläuferstoffe, insbesondere die Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung, tragen zur sekundären Feinstaubbildung bei [4] (**Sekundärer Feinstaub** siehe auch Kapitel 1 und 5).

Etwa ab 2000 wurden Feinstaubreduktionen mittels emissionsärmerer Formen der Holzverbrennung durch eine Zunahme der Holzverfeuerungsanlagen zunichtegemacht. Die Feinstaubemissionen aus Holzfeuerungsanlagen überstiegen nach einer Untersuchung des Umweltbundesamtes die Emissionen aus dem Straßenverkehr (nur Verbrennung) von 22.700 Tonnen [5].

80% der Staubemissionen aus Holzfeuerungen in Deutschland kommen aus Einzelraumfeuerungsanlagen. Hier besteht deutlicher Handlungsbedarf, die Emissionen zu senken. Dazu braucht es innovative Unternehmen, die effizientere, emissionsarme Feuerstätten entwickeln [7] – siehe auch Kapitel 7.

EU-Bürger haben seit dem 26. Mai 2011 die Möglichkeit, genau zu sehen, wer in ihrer Umgebung Luft verschmutzt. Europäische Kommission und Europäische Umweltagentur haben im European Pollutant Release and Transfer Register neue Karten veröffentlicht, die auf einer Skala von 5 x 5 km zeigen, wo Emissionsquellen wie Straßen- und Luftverkehr u.a. Feinstaub emittieren. Bisher waren solche Werte nur punktuell, z. B. bei einzelnen Industrieanlagen, einsehbar [18].

3.1.2 Innenbereich (Wohnraum)

Feinstaubquellen in Innenräumen sind Zigarettenrauch, Laserdrucker, Kopierer, Kerzen, Kochaktivitäten und Staubsauger ohne (HEPA-)Feinstaubfilter. In einer Studie des DAAB (Deutscher Allergie- und Asthmabund) und der GUI (Gesellschaft für Umwelt- und Innenraumanalytik), Mönchengladbach aus dem Jahre 2005, stellte man einen signifikanten Anstieg von Feinstaub in der Innenraumluft von Räumen mit Glattböden fest. Das spräche für den Einsatz von Teppichböden in Innenräumen, um die Belastung mit Feinstaub zu reduzieren und damit auch die Menge von allergenen Stoffen in der Raumluft. Nach den Messergebnissen liegt der arithmetische Mittelwert der Feinstaubkonzentration in Räumen mit Glattböden mit 62,9 µg/m³ deutlich oberhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 50 µg/m³. Bei den Haushalten mit Teppichböden liegt der Mittelwert bei 30,4 µg/m³ und damit deutlich unterhalb des Grenzwertes [18].

Das Rauchen einer einzigen Zigarette erzeugt so viel Feinstaub wie ein Dieselmotor ohne Filter, der eineinhalb Stunden läuft [17].

Anmerkung: Durch Hausumbauten entsteht bei der Bearbeitung alter Bausubstanz mit inzwischen

verbotenen Materialien ohne entsprechende Schutzmaßnahmen gefährlicher Staub, z. B. Asbestfasern.

Schadstoffe im Hausstaub [43]

Der Hausstaub enthält nicht nur Bakterien, Milbenkot und Pilze, sondern auch viele gesundheitsschädliche Chemikalien in teilweise hohe Konzentrationen wie Phtalate, Phenole, fluorierte Kohlenwasserstoffe und andere. Vor allem für Kinder ist die Belastung überraschend hoch. Forscher wiesen 45 verschiedene potenziell giftige und gesundheitsschädliche Substanzen in den Proben nach. Mit Abstand am häufigsten vertreten waren Phtalate – Weichmacher, die in Kunststoffen enthalten sind. Sie erreichten im Mittel Konzentrationen von 7,7 µg/g Hausstaub, wie die Forscher berichten.

Viele Phtalate stehen im Verdacht, krebserregend zu sein, gleichzeitig wirken sie hormonähnlich und gelten daher als endokrine Disruptoren. Wahrscheinlich erhöhen sie zudem das Asthmarisiko bei Kindern. Werden Ungeborene den Weichmachern im Mutterleib ausgesetzt, kann dies zudem Verhaltensstörungen und geistige Defizite bei Kindern fördern, wie Studien nahelegen.

Die zweithäufigste Gruppe von Schadstoffen im Hausstaub bildeten Phenole, Chemikalien, die vor allem in Reinigungsmitteln enthalten sind. An dritter Stelle standen Flammschutzmittel aus Möbeln, Bodenbelägen und Baustoffen.

Ebenfalls unter den vier häufigsten Schadstoffklassen waren perfluorierte Kohlenwasserstoffe, darunter die besonders gesundheitsschädliche Perfluoroktansäure (PFOA). Sie gilt als krebserregend und kann sowohl den Hormonhaushalt als auch das Immunsystem beeinträchtigen. Dennoch ist diese Chemikalie noch immer in vielen Produkten enthalten, darunter vor allem Outdoorkleidung, Sportschuhen oder Antihaft-Beschichtungen.

Sämtliche dieser Chemikalien im Hausstaub werden über die Atemluft, über die Haut oder durch kontaminierte Hände aufgenommen. Besonders gefährdet sind dabei vor allem Kinder, die oft auf dem Boden umherkriechen. Ein besonderes Risiko dabei: Weil viele der Chemikalien ähnliche Wirkungen haben, können sich ihre gesundheitsschädlichen Effekte addieren und vielleicht sogar multiplizieren. Dadurch kann eine Belastung selbst einzeln betrachtet mit nur geringen Mengen das Gesundheitsrisiko deutlich erhöhen.

Fogging (Schwarzstaub) [45]

Als Fogging-Effekt, auch Schwarzstaub oder magic dust genannt, bezeichnet man die beschleunigte Schwarzverfärbung von Räumen in Gebäuden. Der Effekt tritt in beheizten Wohnungen meistens zur Winterzeit auf. An Zimmerdecke oder Wand setzt sich ein flächiger schwarzer Belag fest. Dieser Effekt tritt sowohl in Raucher- als auch in Nichtraucherwohnungen auf (der Grauschleier, der an der Außenseite von Fensterstürzen der Fenster erkennbar ist, die ... zur Belüftung der Wohnungen geöffnet werden, wird nicht als Schwarzstaub-Effekt angesehen). Mitunter lagern sich flüchtige organische Verbindungen an andere Stäube (Rußteilchen aus Kaminen, Staubteilchen in angesaugter Garagenluft) an.

Dieses Phänomen wird üblicherweise nicht mit Auftreten von Schwarzschimmelsporen in Verbindung gebracht, mitunter aber damit verwechselt. Schwarzschimmel gedeiht infolge von Wärmebrücken an dadurch feuchten Wänden. Kondensation von Luftfeuchtigkeit führt zu Feuchteansammlung im Innenputz und an Wandfarben, wobei die Schimmelpilze organische Bestandteile der Farben „verzehren“. Schimmelbefall kann durch mikrobiologische Untersuchung identifiziert bzw. ausgeschlossen werden.

Im Schwarzstaub finden sich u.a. **schwerflüchtige organische Verbindungen**. Gemäß einer statistischen Untersuchung des Umweltbundesamtes (1996) findet man diese Schwarzfärbungen fast ausschließlich während der Heizperiode in Wohnungen, die zuvor renoviert oder neu bezogen wurden. In 34% der Fälle wurden Fußbodenarbeiten (incl. Teppichbodenverlegung) vorgenommen, in 52% Malerarbeiten. Die Ausdünstungen wurden mit schwerflüchtigen organischen Verbindungen (SVOC = „Semi Volatile Organic Compounds“) in Verbindung gebracht, sie stammen vor allem aus Bauprodukten wie Farben, Lacken, Tapeten, Kassettendecken aus Styropor, Heizkörperlacken, Laminatfußböden, PVC-Platten und Isolierschäumen, Elektrokabelumhüllungen und Folien. Weitere Quellen sind Auslegeware mit einem Rücken aus aufgeschäumten Styrol-Butadien-Kautschuk, Holzimitat-Paneele und Kunststoffdekorplatten sowie diverse Klebstoffe, z.B. von Bodenbelägen und Kunststoffoberflächen von Einrichtungsgegenständen und Möbeln. Bei diversen Materialien (beispielsweise Kunststofftapeten) können derartige schwerflüchtige organische Verbindungen auch an die Oberfläche wandern und auf diese Art und Weise einen Klebefilm bilden. In Hausstaub werden Weichmacher (z. B. verschiedene Phthalate wie DEHP, DBP) oft nachgewiesen, da sie häufig und in großen Mengen verwendet werden. Der Weichmacheranteil in den Produkten aus PVC (Fußböden, Beschichtungen, Tischdecken, Duschvorhänge, Vinylschaumtapeten, etc.) kann bis zu 70% betragen. Weichmacher sind aber auch in Lebensmitteln (als Verunreinigung) enthalten.

Schwarzstaubniederschläge werden sich nicht vollständig vermeiden lassen, weil die möglichen Abscheidemechanismen natürliche physikalische Effekte sind, die nicht durch Umweltgifte oder Ähnliches bedingt sind. Um den Effekt weitgehend zu reduzieren, müssen Temperaturunterschiede zwischen der Raumluft und kalten Flächen möglichst klein gehalten werden. Das lässt sich durch größere Heizungsflächen mit geringerer Temperatur erreichen oder durch eine gleichmäßige Beheizung der Wohnung. **Die Raumtemperatur sollte nicht unter 17ºC abgesenkt werden.** Ideal in diesem Sinne ist eine Fußboden- oder Wandheizung.

Sofern der Effekt auf Ausdünstungen von schwerflüchtigen organischen Verbindungen beruht und diese gesundheitliche Wirkungen hätten, sollte auf die Verwendung dieser Stoffe verzichtet werden. Die Raumluft kann auch sauberer gehalten werden, wenn auf Rauchen verzichtet wird und nur rußarme Kerzen zum Einsatz kommen. Nur eine Beseitigung der Belastungsfaktoren kann zu einem Expositionsstop führen, hilfreich dazu wäre eine Volldeklaration aller Inhaltsstoffe eines Bauteils oder Baustoffs, aber auch bei Reinigungsmitteln und Gebrauchsgegenständen.

Auch ein geringerer Staubgehalt in der Raumluft wird die Wände sauberer halten. Wird eine Wohnung nicht regelmäßig gereinigt, treten vermehrt Schwarzstaubniederschläge auf. Ein regelmäßiges Reinigen der Wohnung sorgt für saubere Fußböden und Heizkörper. Dies bedeutet wiederum, dass der Staub aufgrund des Heizens nicht an der Wand hochgewirbelt wird. Die Wand bleibt sauber. **Anmerkung**: Kompakte (Hochleistungs-)Heizkörper sind meist sehr schlecht zu reinigen.

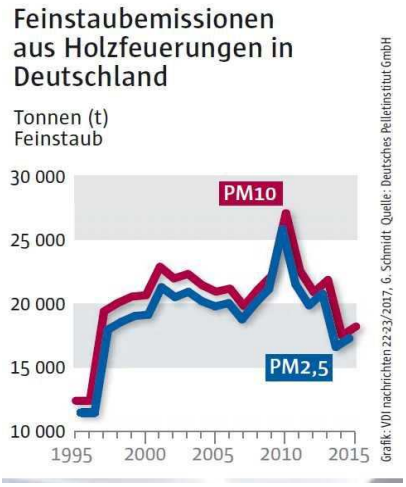
Anmerkung: Tatsächlich legen neueste Beobachtungen nahe, dass es genau umgekehrt ist. Je mehr grober Staub in der Wohnung, desto eher kann sich der Feinstaub an diesen anlagern, und desto weniger bleibt in der Raumluft und kann sich an Wänden abscheiden. Besser weniger oft wischen, dafür aber die Quellen minimieren! Die tatsächlichen Gründe für Fogging sind allerdings immer noch nicht komplett geklärt und werden in der Fachwelt immer noch diskutiert. Die Ursachen sind offensichtlich sehr vielseitig [Y. S.].

Die meisten Beschwerden über Holzfeuerung werden durch **Geruchsbelastung** verursacht. Der Geruch ist auf unverbrannte flüchtige organische Substanzen zurückzuführen und birgt an sich keine Gesundheitsgefahr. Er weist jedoch auf eine unvollständige Verbrennung und damit auf eine hohe Schadstoffbelastung hin. Vielen Ofenbesitzern ist nicht bewusst, dass das Heizen mit Holz auch in den eigenen vier Wänden die Luft erheblich verschmutzen kann, besonders beim regelmäßigen Nachlegen und dem damit verbundenen Öffnen der Ofentür sowie durch undichte Anlagen. In gut isolierten Häusern besteht ein weiteres Problem: Hier „kämpft“ der Kaminzug mitunter gegen die hauseigene Lüftungsanlage oder den Dunstabzug in der Küche an [61].

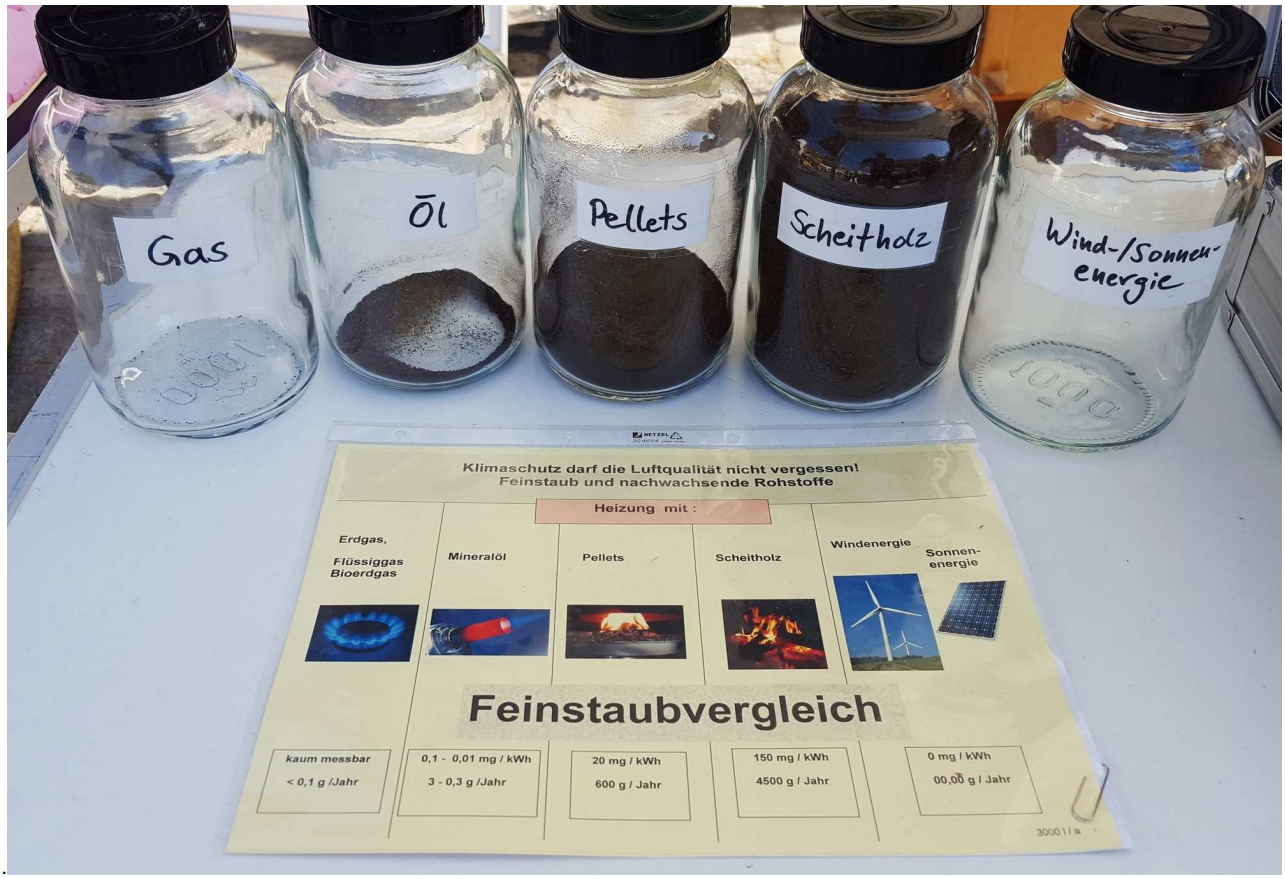
3.2 Private Ofen- und Kesselfeuerungen

Die Besitzer der rund 12 Millionen privat genutzten Holzheizungen in Deutschland verwenden jährlich rund 15 Mt Brennholz [9]. Im Jahr 2015 haben Feuerungsanlagen in Haushalten 26.860 Tonnen PM2,5 sowie 8.240 Tonnen Ruß ausgestoßen – weit mehr als der Straßenverkehr [61].

Etwa 15 Millionen Holzöfen sind in Deutschland registriert. Das Problem: Die meisten besitzen keine Filter und setzen deshalb viele Rußpartikel frei. Prof. Hartmut Herrmann vom Leibniz Institut für Troposphärenforschung in Leipzig: "Bei uns ist es so, dass die Kohlekraftwerke durch großtechnische Anlagen gut entstaubt sind, so dass leider die Summe der vielen kleinen Emittenten mehr Feinstaub freisetzt, als die Großkraftwerke." [23].



Mit der seit 2010 geltenden Novelle der ersten Bundesimmissionsschutzverordnung wurden … die Hersteller von Holzfeuerungen in die Pflicht genommen. Mit Erfolg, wie die neuen UBA-Daten zeigen. Um gut 25% sanken die Emissionen zwischen 2010 bis 2015. Dies gilt für Kesselanlagen, die durch den automatisierten Betrieb emissionsärmer zu fahren sind, und auch für oft handbeschickte Einzelraumfeuerungen (wie die vom Stuttgarter Luftreinhalteplan betroffenen Kaminöfen). Gerade in dem Segment entwickelt die Branche mit Erfolg neue Techniken. **Anm.**: Es fällt auf, dass die Werte von PM2,5 fast gleich hoch sind wie die von PM10. Das bedeutet, dass die Holzfeuerungen fast nur Ultrafeinstaub ausstoßen! 2014 waren es rund 17.400 t [64].



Demonstrationsmodell des BUND Ortsgruppe Erlangen vom 18.9.2016. Daten im Bildunterteil:

Feinstaubausstoß in mg/kWh: Gas <0,001/ Heizöl 0,01- 0,1/ Pellets 20/ Scheitholz 150/ Wind- und Sonnenenergie 0.

Feinstaubausstoß in g/a etwa: Gas <0,1/ Heizöl 0,3 - 3/ Pellets 600/ Scheitholz 4500/ Wind- und Sonnenenergie 0,0.

Das Heizen mit Holz liegt im Trend. Holzfeuer schaffen nicht nur Behaglichkeit (**Anm**.: laut Werbung) – das Heizen mit Holz dient (**Anm**.: angeblich) auch dem Klimaschutz. Beim Verbrennen von Holz wird „nur" so viel des klimaschädlichen Treibhausgases Kohlendioxid freigesetzt, wie vorher beim Pflanzenwachstum gebunden wurde. ... Doch der Klimaschutz muss mit dem Schutz der Gesundheit in Einklang gebracht werden. Die Verfeuerung von Holz setzt über den Schornstein verschiedene Luftschadstoffe in die Außenluft frei. Rund 97% des Gesamtstaubs aus Kaminen und Öfen besteht aus gesundheitsgefährdendem Feinstaub (PM10). **Die Gesamtmenge des Feinstaubs aus Kaminöfen und anderen Holzfeuerungsanlagen in Deutschland übersteigt mittlerweile** (17.1.2016) **diejenige aus Auspuffrohren aller Diesel-Pkw, Lkw und Motorräder** [3]. **Beim Feinstaub sorgen Kamine und Co mit 25% für den größten Ausstoß und übertreffen den des Verkehrs (rund 15%)** [10]**.**

Heizen mit Scheitholz, Holzbriketts, Holzhackschnitzel oder Pellets wird immer beliebter. Beweggründe der Nutzer sind neben den Brennstoffkosten ... Umweltaspekte: Wenn der Brennstoff aus nachhaltiger Holzwirtschaft stammt und ohne lange Transportwege verfügbar ist, verursacht er in der Bilanz „nur einen Bruchteil der CO2-Emissionen vergleichbarer Gas- oder Ölfeuerungen" (**Anm**.: Nur scheinbar – wenn man den Kohlenstoffanteil von Holz herausrechnet im Sinne von Kompensation. Das soll heißen, das beim Wachstum aufgenommene CO2 zählt beim Verbrennen nicht mit und wird vom CO2-Ausstoß abgezogen). Derzeit werden nach Angaben der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe in Deutschland etwa 850.000 holzbefeuerte Kesselanlagen betrieben. Im Prinzip können Partikel-Emissionen bei der Holzverbrennung durch Optimierung der Feuerung, der Brennstoffqualität und durch Nachverbrennung kohlenstoffhaltiger Stäube minimiert werden (**Anm**.: reell nur etwas vermindert). In der Praxis begrenzen wechselnde Brennstoffzusammensetzungen den Erfolg dieser Maßnahmen. Für viele Hackschnitzel- und Scheitholzkessel wird (**Anm**.: wäre) der Einbau von Partikel-Abscheidern erforderlich, die Abscheidegrade von 70% bis 90% aufweisen. Moderne Filtertechnologie ermöglicht es, ein breiteres Brennstoffsortiment zu nutzen (**Anm**.: Dieses Argument macht misstrauisch!). Sie wird eine erhebliche Rolle spielen, wenn mit der

Energiewende auch die thermische Biomassenutzung an Bedeutung gewinnt [8] (**Anm**.: entsprechende und befolgte Vorschriften vorausgesetzt).

Holzheizungen emittieren prinzipbedingt mehr Feinstaub, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Ruß als Gas- oder Ölheizungen vergleichbarer Leistungen. Wenn die Abgase viele Ruß- oder Aschepartikel enthalten, sieht der Rauch grau aus. Anhand des Grautons kann der **Rußgehalt geschätzt** (siehe Rußzahl unter 6.4) werden. Je dunkler der Grauton, desto höher ist der Rußgehalt. „Weißer Rauch" entsteht durch Wasserdampf, der nach dem Austreten aus dem Schornstein kondensiert (Wolkenbildung). Die meisten Schadstoffe - wie etwa Kohlenmonoxid - sind unsichtbar. Eine genaue Massebestimmung der Schadstoffe ist nur messtechnisch möglich. Von technischer Seite ist vor allem an eine Regelung der Verbrennungstemperatur und an eine Rauchgasreinigung zu denken [5].

Offene Kamine und Kaminöfen gehören zu den schlimmsten Emittenten von Feinst- und Feinstaub. 30% aller Emissionen kommen von diesen sogenannten Kleinfeuerungen. Trotzdem dürfen sie betrieben werden (siehe auch 6.2.2), selbst bei einem Feinstaubalarm, wie er 2016 wieder einmal in Stuttgart ausgerufen werden musste [2].

Holz ist ein schwieriges Brennmaterial. Zu viel Restfeuchte im Holz ist ein großes Problem. Es brennt eigentlich gar nicht. Es sind die flüchtigen Bestandteile, die bei entsprechender Temperatur aus dem Holz ausgasen und sich dann entzünden. Diese Gase müssen möglichst vollständig verbrennen. Dann bleibt die Wärmeenergie im Haus und der Feinstaubausstoß wird minimiert. Geschieht das nicht, entweicht ein Teil der Holzgase unverbrannt durch den Schornstein. Diese winzigen Rußpartikel bilden Feinstaub der zum Teil sogar lungengängig ist und Krebs verursachen kann. Er entsteht aus Rußpartikeln und Asche, sowie aus mineralischen Bestandteilen [6]. **Anm**.: Ruß ist brennbar, bedeutet also Verlust an Heizleistung!

3.2.1 Holzpelletkessel

Holzpelletkessel bieten den Komfort der klassischen Öl- oder Gasheizung, sofern der Betrieb automatisiert ist (Beschickung durch Förderschnecke, Entzündung durch Heißluft, Kesselreinigung durch Rütteln). Aufgrund des definierten Grades an Restfeuchte der Holzpellets und geregelter Verbrennung entstehen geringe Aschemengen. Moderne Pelletheizungen haben einen höheren Wirkungsgrad und geringere Abgaswerte als andere Holzfeuerungen [5].

Die **Feinstaubemissionen von Pelletheizungen** lagen um 2005 bei vergleichbarer thermischer Leistung im Vergleich zur Verbrennung von Scheitholz um den Faktor 2 bis 8 niedriger, aber **immer noch beim 1000-fachen einer Erdgasheizung** [18].

In seriösen Energieberatungsberichten [B. Raber] wurde bereits im Jahr 2006 u.a. auch die Staub–Problematik angesprochen. Bei der Umstellung eines Reihenhauses von einer alten Ölheizung auf eine Pelletheizung ergab sich folgendes:

- Der Ausstoß von Staub erhöhte sich von 560 g/a auf 10051 g/a, also 17-mal mehr
- NOX von 10935 g/a auf 10463 g/a - etwa gleich
- SO2 von 14071 g/a auf 969 g/a - 15-mal weniger = Reduzierung um 93%
- CO2 von 13123 kg/a auf 2513 kg/a - ca. 5-mal weniger = Reduzierung um 81%

Eine nachhaltige Pelletheizung ist für den Klimaschutz zwar vorteilhaft, der sehr hohe Staub-Ausstoß ist aber aus Gesundheitsgründen unbedingt zu beachten.

Heizen mit Pellets aus Laub und Gras [58]

Ein neues Forschungsprojekt zeigt: Der Einsatz von Laub, Gras und Gewässerpflegematerial (**Anm**.: vermutlich Schilf) zur Energiegewinnung in Verbrennungs- oder Vergasungsanlagen ist bislang schwierig. Ein hoher Anteil von Asche, Kalium oder Chlor verhinderte bisher die umfangreiche energetische Nutzung. Nun ist es Forschern jedoch gelungen, Kleinfeuerungsanlagen regelbrennstoffkonform mit solchen Reststoffen zu betreiben. Dieser Brennstoff würde im Verbrauchszeitraum (**Anm**.: Jahreszyklus) nachwachsen. **Anmerkung: Regelbrennstoffkonform bedeutet anscheinend, dass der Feinstaubausstoß (noch) keine Rolle spielt.**

3.2.2 Hackschnitzelkessel [5]

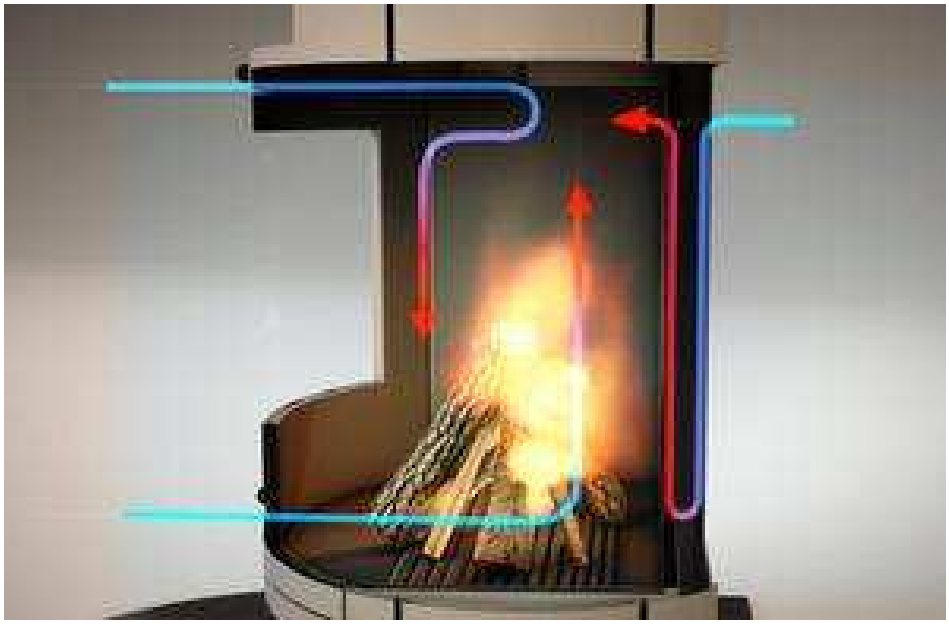
Holzhackschnitzelkessel bieten ebenfalls den Komfort der klassischen Öl- oder Gasheizung, wenn der Betrieb automatisiert ist (Beschickung mit Holzhackschnitzeln durch Förderschnecke, Entzündung durch Heißluft, Kesselreinigung durch Rütteln). Aufgrund der geregelten Verbrennung (mittels Lambdasonde) entstehen geringe Aschemengen.

3.2.3 Kaminöfen [6]

Zwischen 11 und 12 Millionen Kaminöfen gibt es in Deutschland, Autos rund 4-mal so viele. **Und doch verursachen Kaminöfen mehr Feinstaub als der gesamte Verkehr und die Industrie zusammen.** Das liegt daran, dass die Verbrennungsprozesse und Filtertechnologie in Fahrzeugen und großen, technischen Anlagen über Jahrzehnte verbessert worden sind. Die Qualität der Brennstoffe ist hoch und die Prozesse werden optimal gesteuert. Ein Kaminofen hingegen wird mit dem Naturprodukt Holz betrieben – das „schwierige Material“, denn es besteht aus unterschiedlichsten, biologischen Komponenten und ist großen Qualitätsschwankungen unterworfen. Allein das beeinflusst die Effizienz der Verbrennung erheblich.

Dazu kommt, dass Kaminofen-Besitzer oft falsch heizen. Schon die Art, wie die Scheite aufgeschichtet werden, hat einen Einfluss auf den Schadstoffausstoß. Häufig wird zudem feuchtes Holz verwendet. Es sollte maximal eine Restfeuchte von 20% haben. Sonst geht zu viel Energie für das Verdampfen des Wassers verloren. Zeitungspapier oder gar Tetrapacks und andere brennbare Materialien gehören überhaupt nicht in den Kamin. Ein weiterer, wichtiger Faktor ist der Aufbau des Ofens. Da hat sich in der Technik einiges getan. Besonders bei der Luftführung.

Zu viel Restfeuchte im Holz ist ein großes Problem. Die Verdunstung kühlt das Feuer herunter. Zudem sollte die Flamme frei abbrennen können und nicht gegen die Wände oder die Decke des Kamins schlagen/blaken. Auch das entzieht ihr Wärmeenergie. **Deshalb sind die Brennräume modernerer Kaminöfen schmal und hoch.** Hier kann die Flamme frei lodern. Ältere Öfen sind von ihrer Bauart hingegen oft niedrig und breit. Sie werden häufig überladen. Die Folge: Das Feuer brennt scheinbar optimal. Es hat viel Nahrung. Aber die Rauchgase werden nur unvollständig verbrannt. Die Energie bleibt nicht im Haus sondern entweicht ungenutzt durch den Schornstein. Der Feinstaubausstoß ist beträchtlich und der Betreiber muss ständig Holz nachlegen. Das Feuer braucht ausreichend Sauerstoff.



Luftzufuhr über Primär- Sekundär- und Tertiärluft.

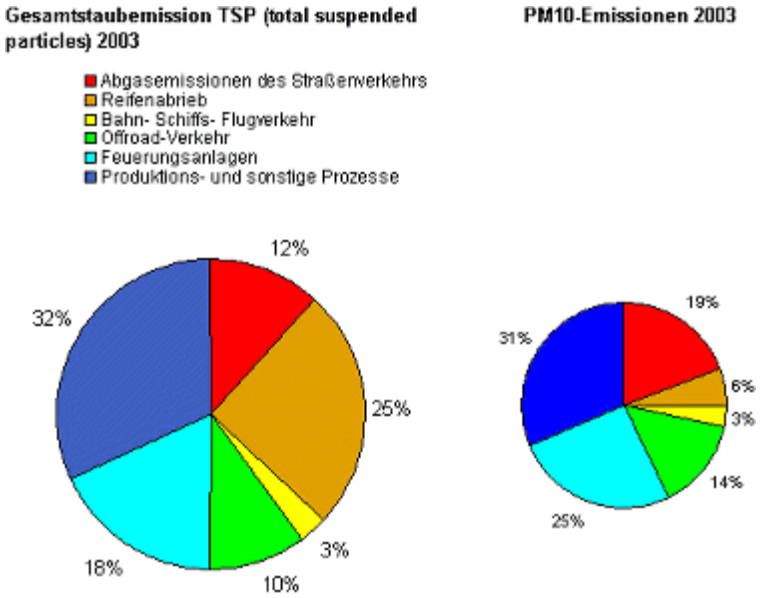
Ältere Öfen regeln die Luftzufuhr hauptsächlich über eine **Primärluft**, die von unten durch das Rost in den Brennraum strömt. Sie facht die Flammen zwar an und sorgt dafür, dass brennbare Bestandteile aus dem Holz ausgasen. Darüber besteht oft Sauerstoffmangel. **Die Spitzen der Flammen sind dann dunkelrot und der Qualm grau/schwarz.** Oft setzen sich auch Rußpartikel an der Scheibe ab und lassen sie blind werden. Zwar haben einige der älteren Öfen zusätzlich kleine Öffnungen durch die **Sekundärluft** von oben in den Brennraum hinein strömt. Doch die Luft ist in der Regel nicht vorgeheizt. So entzieht sie dem Feuer Wärmeenergie und verbessert die Verbrennung kaum. Deshalb führen neuere Öfen die Luft am Ofenrohr entlang und wärmen sie vor. Als Sekundärluft strömt sie vorne an der Scheibe entlang (Scheibenspülung) und verhindert, dass diese verrußt. Eine zusätzliche **Tertiärluft**, die von hinten durch Löcher oder Schlitze in den Ofen fließt, liefert den Sauerstoff der oben in der Flamme gebraucht wird. Auch sie wird in der Regel vorgewärmt. **Denn kalte Luft entzieht der Flamme Energie und verschlechtert die Verbrennung.**

3.3 Silvesterfeuerwerk [4]

Wenn wir Feuerwerkskörper abbrennen, steigt die Belastung der Luft mit Schadstoffen explosionsartig an. Zu großen Teilen besteht der Feuerwerksqualm aus Feinstaub (PM10). Auswertungen des Umweltbundesamtes zeigen: Am ersten Tag des neuen Jahres ist die Luftbelastung mit gesundheitsgefährdendem Feinstaub vielerorts so hoch wie sonst im ganzen Jahr nicht. PM10-Stundenwerte über 1000 µg/m³ sind in der ersten Stunde des neuen Jahres in Großstädten keine Ausnahme. Jährlich werden rund 4.000 Tonnen Feinstaub (PM10) durch das Abbrennen von Feuerwerkskörpern frei gesetzt, der größte Teil davon in der Silvesternacht. Diese Menge entspricht in etwa **15% der jährlich im Straßenverkehr abgegebenen Feinstaubmenge**.

3.4 Verkehrsmittel mit fossilen Kraftstoffen

Der Feinstaub PM10 in der Atmosphäre wird zu einem Großteil von der Emission unterschiedlich großer primärer Partikel hervorgerufen. Die Größe der Partikel wiederum beeinflusst deren Verweildauer in der Atmosphäre. Beispiel Baden-Württemberg:



Darstellung der Emissionen von Gesamtstaub (TSP = Total suspended particles) und lungengängigem Feinstaub PM10 im Jahr 2003 in Baden-Württemberg. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

Die Grafiken zeigen, dass der Reifenabrieb rund 25% der Masse an Gesamtstaub (TSP) ausmacht. **Zur Masse der emittierten PM10-Staubpartikel trägt der Reifenabrieb aber nur mit rund 6% bei.** Die **Abgasemissionen** des Verkehrs stellen 12% der Masse der Gesamtstaubemissionen, aber **20%** der Masse an PM10-Emissionen. Der überwiegende Anteil der Partikel des Reifenabriebs ist also größer als 10 µm (siehe unten: „Reifen und Bremsen“). Dagegen sind die Partikel aus den Abgasemissionen des Straßenverkehrs überwiegend kleiner als 10 µm, da sie im Gesamtstaub einen geringeren Massenanteil haben als in der PM10-Fraktion des Feinstaubs. Schwere Nutzfahrzeuge haben trotz der zum Pkw geringeren Fahrleistung einen verhältnismäßig hohen Anteil an den PM10-Emissionen [46].

Hauptproblem Ultrafeinstaub (PM2,5) [11]

Lange galten krebserregende Rußpartikel als Problem von Dieselfahrzeugen. Dunkle Abgasschwaden aus dem Auspuff zeigen, dass die Verbrennung unvollständig und ungefiltert abläuft. Seit Einführung der Euro 4 Norm vor 10 Jahren wurden die Selbstzünder durch Partikelfilter sauberer. **Die Benziner konnten dagegen selbst die strengeren Euro 5 und Euro 6 Normen ohne Filter erfüllen - auch deshalb, weil sie 10-mal mehr Feinstaub in die Luft blasen dürfen als Diesel-Pkw.**

Momentan (23.10.2016) wird eine neue Abgasrichtlinie im Technischen Ausschuss für Kraftfahrzeuge (TCMV) diskutiert. Dieser Fachausschuss der EU-Kommission plant in seinem Entwurf, die Euro-6c-Grenzwerte für Partikel aus Benzindirekteinspritzern um 50% zu erhöhen. Hintergrund sind hohe Schwankungen bei den Messergebnissen, die der Europäische Automobilverband ACEA auf bis zu 300% taxiert. Schwierig zu erfassen ist nicht die Partikelmasse, sondern die Anzahl kleinster Teilchen: Bei der Verbrennung in modernen Ottomotoren treten verstärkt ultrafeine Partikel auf. Dieser Ultrafeinstaub (PM1) ist besonders

gefährlich, weil er durch die Lunge direkt in die Blutbahn gelangen kann.

Das Auto

Der Verband der Automobilindustrie hält eine regelmäßige Straßenreinigung in den Hauptverkehrsstraßen für effizienter als die Lösung des Feinstaubproblems durch die Einführung von Dieselrußfiltern. Laut einer älteren vom Berliner Senat beauftragten Studie sollen 13% bis 16% der Feinstaub-Belastung von Ablagerungen auf den Straßen stammen [18].

Seit Jahren ist bekannt, dass der Partikelausstoß aus Verbrennungsmotoren einen umso höheren Anteil an sehr kleinen Teilchen enthält, je effizienter die Verbrennung ist [28].

Bei Direkteinspritz-**Benzinmotoren** überwiegen bei Ruß die ultrafeinen Partikel. So können diese schon den Grenzwert für die Feinstäube PM10 zwar problemlos einhalten, liegen aber schon bei der Partikelzahl PM2,5 weit darüber. Noch wesentlich ungünstiger ist das bei den Ultrafeinstäuben. Da sind die Direkteinspritzer, vorwiegend die fetten SUV's mit hoher Leistung und hohem Verbrauch, die gefährlichsten Drecksschleudern [27]. **Anmerkung**: Ein qualitativ-quantitativer Vergleich Benzin zu Diesel scheint derzeit (2016) nicht verfügbar bzw. nicht veröffentlicht.

Ob der Feinstaub oder die Stickoxide überwiegen, das hängt direkt mit der Motortechnik zusammen: Steigt der eine Wert, sinkt der andere - und umgekehrt. Grund dafür ist der sogenannte Diesel-Trade-off. Die auf niedrigen Verbrauch optimierte Verbrennung in modernen **Dieselmotoren** senkt zwar den Feinstaubausstoß, führt aber gleichzeitig zu einer höheren Stickoxidbelastung des Abgases. …. Erst nach 2018 müssen auch **Benziner** einen Feinstaubfilter bekommen. Der meiste Feinstaub entsteht durch Abrieb von Kupplungen, Bremsbelägen und Reifen. [17]. **Anmerkung**: Der Abrieb betrifft nicht den blutgängigen Feinststaub PM1!

"Dieselgate" hat die Stimmung in der Branche gewandelt. Wie wirksam die Filter sind, zeigt eine Untersuchung des Interessenverbands Association for Emissions Control by Catalyst (AECC). Ein aktuelles Auto mit Benzindirekteinspritzung zeigt im gültigen, aber veralteten Messzyklus NEFZ, dass es die kommenden Euro-6c-Grenzwerte noch unterschreiten kann. Im 2017 geltenden WLTP schafft es das nicht mehr ohne weitere Anstrengungen. Erst recht gilt das für die strengen Straßentests mit dem Kürzel RDE (*Real Driving Emissions*). Mit einem nachträglich installierten Filter sinkt die Zahl der Partikel im Test jedoch drastisch; selbst im anspruchsvollen RDE wurde eine Reduzierung um mindestens 75% erzielt. Die Zahl der Ottomotor-Pkw mit Direkteinspritzung ist im Bestand noch gering. Anders als beim Dieselmotor hat sich also noch keine riesige Kohorte von zweifelhaften Autos auf die Straßen geschlichen, die naturgemäß nicht einfach beseitigt werden kann. Es ist zum Handeln nicht zu spät [49].

Autoversessene weisen gern darauf hin, dass die Gesundheitsgefahr in Innenräumen zuweilen höher sei als an der schmutzigsten Straße. Tatsächlich setzen Kerzen, schlecht gewartete/ schlecht gefilterte Staubsauger, Laserdrucker oder ein offener Kamin Feinstaub in ultrafeiner und damit besonders gefährlicher Partikelgröße frei [17].

Filter fürs Auto wären kein Problem, aber die Regelung fehlt [29]

Dabei ließe sich das Problem leicht lösen. Ein Partikelfilter könnte die schädlichen Emissionen verhindern. Friedrich zufolge könnten die Hersteller schon für 20 bis 50 Euro ihre Pkw mit einem entsprechenden Filter ausrüsten. Technisch sei das kein Problem. Im Sommer vergangenen Jahres hatten Umwelthilfe und VCD den Partikelausstoß von 6 Fahrzeugen mit Direkteinspritzung sowie von einem Vergleichsfahrzeug gemessen. Das Ergebnis: Die Partikelanzahl pro Kilometer lag bei den Benzinern mit Direkteinspritzung höher als der zulässige Höchstwert für Dieselfahrzeuge gemäß der Abgasnorm Euro 5b. Nur für Dieselmotoren gilt ein gesetzlich festgeschriebener Grenzwert von 100 Milliarden Partikeln je Kilometer. Unreglementiert (**Anm**.: bis Euro 5) ist aber die Zahl der Partikel für Ottomotoren, dabei ist **bei den ultrafeinen Partikeln weniger die Masse, sondern vielmehr deren Anzahl entscheidend**. Die bisherige (**Anm**.: 2016) gültige Massebegrenzung auf weniger 4,5 mg/km (**Anm**.: und Anzahl von $6x10^{12}$) reicht also (**Anm**.: aber) längst nicht (**Anmerkungen** gem. Autobild vom 7.10.2016).

Neueste Meldung von „dreckigen Benziner" [66]

Seit vier Jahren untersuchen Forscher der Schweizer Forschungsanstalt EMPA intensiv die Emissionen von GDI-Fahrzeugen. Das sind Benziner, bei denen der Kraftstoff direkt in den Motorraum eingespritzt wird….Die Werte verglichen sie mit denen eines Peugeot 4008 mit Dieselmotor. Der hat einen Partikelfilter, fabriziert aber immer noch gewisse Mengen Feinstaub: „Also, die Benziner haben deutlich höhere Emissionen gezeigt als das Vergleichsfahrzeug mit dem Partikelfilter. Wir sprechen von Faktor 10 oder 100 oder durchaus auch

mal ein Faktor 1.000 mehr Partikel emittiert von einem direkt eingespritzten Benziner."… Es gibt kaum einen Unterschied zum Feinstaub aus Diesel-Motoren, auch nicht bei den anhaftenden Schadstoffen:

"Die Verbrennung ist lokal inhomogen, auch in einem GDI-Motor - so wie beim Diesel-Motor. Das heißt, es entstehen Bereiche, wo eben nicht genügend Sauerstoff zur Verfügung ist, um einen vollständigen Abbrand zu ermöglichen. Übrig bleibt dann ein kohlenstoffhaltiger, rußiger Partikel."

Die Staubteilchen sind typischerweise 80 nm bis 100 nm klein **(PM1)**. Und damit so winzig, dass sie tief in die Lunge eindringen, wenn man sie einatmet. Sie können sogar die Schranke zum Blutkreislauf passieren. Das gilt im Übrigen auch für die anhaftenden Schadstoffe. So fand Heebs Arbeitsgruppe zum Beispiel Benzpyren im Abgas aller Direkteinspritzer. Der Ruß-Bestandteil ist als humankarzinogen eingestuft, also nachweislich krebserregend. In der EU existiert deshalb ein Grenzwert für Benzpyren in der Außenluft: "Der liegt bei 1 ng/m³. Das ist ein ganzjährlicher Mittelwert. Sie müssten 1 m³ von diesen Benziner-Abgasen 200- bis 1700-mal verdünnen, um den Außenluft-Grenzwert einzuhalten."

In dem Projekt behandelten die Forscher das Abgas der Benziner testweise mit herkömmlichen Partikelfiltern. So gelang es ihnen, den Feinstaub-Ausstoß um bis zu 98% zu reduzieren.

Auch die Experten des ADAC attestieren den Benzin-Autos gravierende Schwächen. Unter verschärften Testbedingungen stießen sie im großen Stil zu viel Feinstaub aus. Betroffen sind nicht nur starke Motorisierungen wie beim Ford Focus RS, sondern auch der VW Tiguan 1.4 TSI oder der Opel Corsa 1.0 Turbo ecoFlex. Der durchschnittliche Partikelausstoß bei Benzin-Autos mit Direkteinspritz-Technik - rund 90% der neuen Benzinfahrzeuge - liege im Durchschnitt fast um das 5-fache über dem ab September 2017 gültigen Grenzwert, teilt der ADAC mit. Bis dahin ist es wegen einer Gesetzeslücke erlaubt, dass Benziner 10-mal so viele Partikel wie Dieselmotoren ausstoßen dürfen. Das schwache Abschneiden stellt die Tester vor ein kurioses Problem. Man wisse kaum noch, welche Autos man den Mitgliedern empfehlen soll. [67]

Lkw und Pkw [51]

Selbst moderne Dieselautos, die schon die strengen Euro-6-Werte einhalten, stoßen im realen Straßenverkehr mehr Stickoxide aus als Lkw und Busse. Die modernen Lkw stoßen im Schnitt 210 mg/km NOx aus, die Pkw dagegen mehr als 500 mg/km. Das ist auch kein Wunder, denn die Gesetzgeber in Europa haben den Autoherstellern viele Manipulationsmöglichkeiten eingeräumt. Zum Motorschutz ist es den Pkw-Herstellern erlaubt, im echten Verkehr die Abgasreinigung abzuschalten. Und das geschieht zum Beispiel bei geringen Temperaturen aber auch bei hohen Temperaturen und in den Bergen. Es ist davon auszugehen, dass aktuell im Winter fast alle Diesel-Pkw mit Euro-6-Zulassung in den Städten ohne Abgasreinigung unterwegs sind. Die Folge: dicke Luft. Diese RDE-Tests werden ab September 2017 in der EU schrittweise eingeführt. Dann dürfen neue Diesel-Pkw auch im Verkehr nur noch das 2,1-fache des Laborwertes von 80 mg/km NOx ausstoßen, das sind 168 mg/km.

Da in Deutschland die durchschnittliche Tagestemperatur bei 8,5ºC liegt ist zu erwarten, dass eine wirksame Abgasreinigung nur in Ausnahmefällen funktioniert. [52]

Reifen und Bremsen [48]

Der anfallende Reifenabrieb wird hierzulande nach Angaben der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) auf 60.000 bis 100.000 Tonnen pro Jahr geschätzt. Diese Belastung wurde durch die BASt für jede Fahrzeugklasse analysiert und anhand folgender Werte festgehalten:

Pkw: 53 bis 200 mg/km
Lkw: 105 bis 1.700 mg/km
Sattelzug: 1.000 bis 1.500 mg/km

Wird berücksichtigt, dass die aktuelle Partikelgrenze für Dieselfahrzeuge gemäß der Abgasnorm Euro 4 gerade einmal 25 mg/km beträgt, wird deutlich, wie bedenklich diese Werte sind. Nach Abzug des Grobstaubs, verbleiben etwa 10% echter Feinstaub PM10. Etwa 5 bis 15% aller Feinstaubemissionen können laut Umweltbundesamt (UBA) dem Reifenabrieb zugeschrieben werden. (Siehe auch Anfang von Punkt 3.4).

In Reifen, Bremsbelägen und Kupplungen steckt ein Chemie-Cocktail, der bei jeder Fahrt freigesetzt wird, bestehend unter anderem aus Cadmium, Blei, Zink, Kupfer, Weichmacher und Stabilisatoren. Allein Pkw- und Lkw-Reifen verlieren geschätzt über 100.000 Tonnen "Gummimehl". Jedes Jahr, allein in Deutschland. Allein an Zink gelangen jährlich 1.600 Tonnen in die Umwelt. Schadstoffe wie Zink und Kupfer wirken in hohen Dosen toxisch auf Pflanzen und Bodenorganismen. Analysen des "Schälguts" zeigen, dass besonders die Kupferwerte problematisch sind. Hauptquelle: vermutlich Abriebe aus Bremsen. Die

Hauptquelle für Mikroplastik in Flüssen und Seen sind Reifenabriebe, denn diese werden von Wissenschaftlern zum Mikroplastik gezählt. Aber nicht nur Boden und Wasser nehmen die Abriebe auf, ein Teil der Partikel gelangt auch in die Luft – als Feinstaub [47].

Flugverkehr

Nicht nur Diesel-Fahrzeuge produzieren Feinstaub, sondern auch Flugzeuge beim Verbrennen von Kerosin. Passagiermaschinen produzieren zwar schon lange keine dunklen Rauchschwaden mehr, wenn sie starten. Die Triebwerke sind sauberer geworden, sie verbrennen Kerosin heute effizienter. Doch Ruß stoßen sie immer noch aus. Man sieht ihn nur nicht mehr: Feinstaub. Man hat praktisch keine Massenemission mehr. Sie sind extrem klein, diese Partikel. Dafür hat man eine sehr hohe Anzahl. Die ist viel größer als zum Beispiel beim Diesel-Pkw. Selbst im sogenannten Taxischub, wenn die Maschinen zur Startbahn rollen: "Im Taxischub entspricht 1 Sekunde Laufzeit etwa 60 km Autofahrt von einem Euro-6-Dieselfahrzeug mit Filter." Auch ohne Partikelfilter könnten Flugzeuge bald deutlich weniger Feinstaub ausstoßen. Der größte Einfluss ist der Treibstoff. Bio-Kraftstoff aus Pflanzen verbrennt sauberer. Besonders rußarm verbrennt auch Bio-Kerosin, das aus Algen oder anderen Pflanzen produziert wird [37].

Abgase aus Flugzeug-Turbinen haben einen besonders hohen Anteil an sog. Ultrafeinstaub **PM1**, d.h. Teilchen in einer Größe von 10 nm bis 100 nm. Untersuchungen am Flughafen Los Angeles, USA, haben gezeigt, dass **in einer Entfernung bis zu 10 km vom Flughafen die Konzentration an Ultrafeinstaub von Flugzeug-Abgasen dominiert wird**, ehe weiter entfernt der Beitrag des Autoverkehrs überwiegt [28].

Schiffsverkehr

Noch immer verfeuern sämtliche Schiffe weiterhin Schweröl. 80% der in Europa fahrenden Kreuzfahrtschiffe verfügen über gar keine Abgasreinigung oder kommen nur den gesetzlichen Mindeststandards nach. Nach wie vor werden an Bord keine effektiven Maßnahmen ergriffen, um Luftschadstoffe wie Ruß, ultrafeine Partikel oder Stickoxide zu beseitigen. Einzig aus Profitgründen verzichtet ein Großteil der Branche bislang darauf, auf höherwertige Kraftstoffe umzusteigen und ihre Schiffe mit Abgastechnik auszurüsten [38].

Aus Schiffstypen und -routen berechneten Forscher für die Frachter, Tanker und Containerschiffe Ostasiens über die letzten rund 10 Jahre einen um das rund 4-fache gestiegen Ausstoß [39].

Auch wenn Firmen wie Aida sich bessern wollen – immer noch erfüllen die meisten der überprüften Kreuzfahrtschiffe nicht die vom NABU entwickelten Kriterien. Das Schweröl, das die Schiffe als Kraftstoff verwenden, ist ein Rückstand aus Ölraffinerien. Es enthält zwischen 0,1% und 3,5% Schwefel sowie Nickel und Vanadium. Zum Vergleich: Der Schwefelanteil in Dieselkraftstoff für Lkws und Pkws darf in der EU nur 0,001% betragen – ein Unterschied um den Faktor 100 oder mehr [40].

In Deutschland fahren auf großen Flüssen wie Rhein, Main und Spree alle Arten von Binnenschiffen. Je nach Baujahr sind die Dampfer zwischen 30 bis 60 Jahre alt. Die meisten Schiffe fahren ohne Filter, emittieren jede Menge Schadstoffe, und so passieren sie auch die so genannten "Umweltzonen". So bläst ein Binnenschiff im Vergleich zum LKW pro Tonne transportierter Ladung doppelt so viele Stickoxide in die Luft, bei anderen Schadstoffen 30 bis 50 mal so viel [41].

Berechnungen ergaben, dass zurzeit 20% bis 30% der Schwefel- und Stickoxidkonzentrationen in der Nordseeluft auf die Schifffahrt zurückzuführen sind. Schiffsabgase werden durch die Winde verdriftet und reagieren mit Gasen aus Landwirtschaft, Industrie und Verkehr. Es kommt zur sogenannten Partikelbildung. Diese Partikel (u.a. Ultrafeinstaub) können über hunderte Kilometer durch die Atmosphäre transportiert und noch 500 km landeinwärts nachgewiesen werden [42].

3.5 Landwirtschaft

Stickstoffdüngung sowie diffuse Einträge von Stickstoff in Böden und Gewässer erhöhen die Freisetzung von Lachgas (N2O = Distickstoffoxid) in die Atmosphäre. Es ist nicht nur Vorläufersubstanz für die Ozonbildung. Es schädigt indirekt (gemeinsam mit anderen Stickstoffverbindungen sowie Schwefelverbindungen und Kohlenwasserstoffen) die Gesundheit durch Bildung sog. **Sekundärpartikel**. Diese sind ein wesentlicher Bestandteil des Feinstaubes (PM10) [13].

Vor allem Lachgas wegen der Überdüngung belastet die Atmosphäre. Diese Stickstoffverbindung (N2O) entsteht überall dort, wo zu viel Kunstdünger oder Wirtschaftsdünger, also Gülle, ausgebracht wird. Dann können die Pflanzen den Stickstoff nicht vollständig aufnehmen. Mit dem Sauerstoff der Luft bildet sich dann Lachgas, u.a. ein Gas mit hoher Treibhauswirkung [20].

Ammoniak, das durch die übermäßige Verwendung von Düngemitteln und Massentierhaltung in großen Mengen in die Atmosphäre gelangt, wandelt sich letztlich in Ammoniumsulfat und Nitrat um. Diese begünstigen die Bildung von Feinstaub [29].

3.6 Industrieanlagen

3.6.1 Kohle

Der Report mit dem Titel „Europe's Dark Cloud" zeigt, …. wie groß die Auswirkungen der Kraftwerksemissionen auf die Sterblichkeit sind ... Insbesondere Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Schlaganfälle spielen bei den Folgen der Feinstaubbelastung eine gravierende Rolle [15].

„Autoabgase waren in letzter Zeit (2016) beständig Thema in der Presse, doch andere Feinstaubquellen wie Kohlekraftwerke sind genauso wichtig. Der Dark-Cloud-Report zeigt klar auf, dass Kohlekraftwerke eine nicht zu vernachlässigende Quelle für Luftschadstoffemissionen sind. Außerdem legt die Studie zum ersten Mal offen, wie EU-Nachbarstaaten sich mit ihren Kohlekraftwerken gegenseitig schädigen und welche Gesundheitsfolgen und -kosten dadurch in den einzelnen Ländern entstehen. Diese Zahlen liefern ein weiteres starkes Argument für einen Ausstieg aus der Kohleverstromung", sagt Dr. Joachim Heinrich, Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Ludwig-Maximilians-Universität, München. „Millionen von Menschen sterben weltweit jedes Jahr an den Folgen der Luftverschmutzung. Der Klimawandel bringt steigende Temperaturen mit sich, die das Problem verschärfen werden. [15].

Der Feinstaub, der bei der Verbrennung von Kohle entsteht, kann die Atemwege schädigen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen begünstigen, sowie Schlaganfälle auslösen. Daneben sind weitere Schadstoffe wie Schwefeldioxid oder **Quecksilber** (ein Nervengift, schädigt das Gehirn) in den Abgasen enthalten [22].

Anmerkung: In den o. g. Informationsquellen wird auf die radioaktive Belastung durch Isotope (z. B. Strontium 90, ein harter β-Strahler) nicht hingewiesen, das ja in den fossilen Brennstoffen natürlicherweise enthalten ist. Über den Feinstaub findet es sich auch in jedem atmenden Organismus wieder.

3.6.2 Petroleum [16]

Das Hauptaugenmerk liegt auf Ruß-Partikeln, die entstehen, wenn Öl-Bohrinseln Erdgas abfackeln, das bei der Förderung grundsätzlich mit nach oben gelangt (Gas Flaring).

3.7 Unspezifische Probleme [18]

Feinstaub reichert sich in den stehenden Luftschichten an – **Fahrverbote** bringen zwar keine zusätzliche Erhöhung, aber die Konzentration im verkehrsfernen Bereich sinkt bei austauscharmen Wetterlagen auch nicht.

Im Prinzip können auch „saubere" Fahrzeuge Feinstaub durch Bremsen-, Kupplungs- und Reifenabrieb sowie Aufwirbelung erzeugen, insbesondere wenn sich bereits eine Feinstaubschicht in Bodennähe befindet bzw. die Straße bestreut wurde.

Bei größerer Schadstoffverfrachtung in Gebiete hinein wirken jegliche lokale Maßnahmen innerhalb dieser Gebiete naturgemäß nur sehr begrenzt – es sind regional übergreifende Konzepte nötig.

Ein Umstieg eines größeren Teils der Pendler auf den öffentlichen Verkehr nur an Tagen mit hoher Schadstoffkonzentration ist aus Kapazitätsgründen nicht möglich. Zusätzliche Ressourcen nur auf Verdacht vorzuhalten ist für die Verkehrsbetriebe nicht leistbar.

Instrumente zur Förderung der Bildung von Fahrgemeinschaften wurden bisher nicht entwickelt (z. B. Ausnahmen von der Innenstadtmaut für mehrfach besetzte Fahrzeuge). Die (automatisierte) Kontrolle des Besetzungsgrades ist nicht gewünscht (Videoüberwachung).

Die Feinstaubbelastung durch Holzheizungen nahm in den letzten Jahren in einigen Regionen noch zu (während Belastungen aus anderen Heizquellen dabei ... eher abnahmen).

4. Verbreitung von Feinstaub (Immissionswege)

Jüngere Forschungen haben gezeigt, dass der PM2,5-Anteil am Feinstaub besonders gesundheitsgefährdend ist, da Partikel dieser Größe bis in die Lungenbläschen gelangen können. Durch diese geringe Größe der Partikel und der daraus resultierenden langen Verweilzeit in der Atmosphäre (Tage bis Wochen) und der atmosphärischen Transportdistanz von bis zu 1000 km ist PM2,5 auch von internationaler Relevanz [18].

In einer Stadt stammt häufig nur die Hälfte der Belastung aus innerstädtischen Quellen, der Rest wird durch den Wind aus anderen Regionen oder sogar Ländern herein geweht [56].

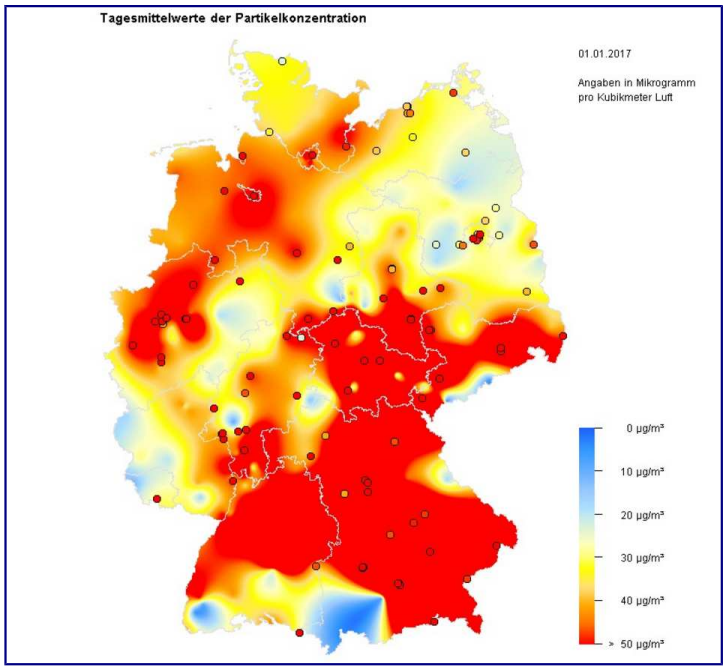
4.1 Deutschland

Bis vor wenigen Jahren galt Feinstaub als größte Gesundheitsgefahr in der Stadtluft. Er dringt bis in die Bronchien und Lungenbläschen vor; ultrafeine Partikel schaffen es sogar in den Blutkreislauf. Die Folgen reichen von Atemwegsentzündungen über Thrombosen bis hin zu Lungenkrebs. In den vergangenen Jahren sind **Stickoxide auf Platz 1** der Gefahrenliste vorgerückt, auch sie greifen die Atemwege an, verursachen Schlaganfälle und machen vor allem Asthmatikern zu schaffen. **Feinstaub steht jetzt auf Platz 2** [17].

Zusammen sorgen die beiden Schadstoffe nach Schätzungen des Umweltbundesamtes allein in Deutschland für weit mehr als 50.000 vorzeitige Todesfälle im Jahr. Autos haben einen großen Anteil daran. An der vom Straßenverkehr verpesteten Luft sterben in Deutschland rund doppelt so viele Menschen wie bei Verkehrsunfällen (wo es ungefähr 3.500 sind). [17]

Wo viele Kraftwerke stehen, da ist auch die Belastung der Luft am höchsten. Kohlekraftwerke schaden in erster Linie der heimischen Bevölkerung. Wir haben in Deutschland eine relativ hohe Belastungssituation. Diese werde aber nicht ausschließlich von deutschen Kraftwerken verursacht – auch die Kohlekraftwerke der Nachbarländer hätten einen deutlichen Anteil an der Schadstoffbelastung in Deutschland, allen voran Polens Kohlekraftwerke. Mit erheblichen Auswirkungen auf die Bevölkerung: 3.600 Todesfälle pro Jahr, 3.500 Krankenhauseinweisungen im Jahr und damit verbunden etwa 2.000 Fälle von chronischer Bronchitis gehen den Studienautoren zufolge auf das Konto der Kohleverstromung [21].

Die gefährlichsten deutschen Kraftwerke sind das von Vattenfall betriebene Jänschwalde in Brandenburg und die RWE-Anlage Niederaußem in Nordrhein-Westfalen. Beide verbrennen Braunkohle zur Stromerzeugung [22].



So stark war die Feinstaubbelastung am 1.1.17 in Deutschland © Umweltbundesamt [53] **Anm**.: d. i. Die Folge von Silvester-Feuerwerk.

Beispiel Stuttgart

Seit Anfang 2016 ruft Stuttgart regelmäßig Feinstaubalarm aus: in diesem Jahr (28.4.2016) bereits an 22 Tagen. Nicht die aktuellen Messwerte sind die Grundlage dafür, sondern die Vorhersage der Wetterlage für den Stuttgarter Kessel. Sobald durch fehlenden Niederschlag und zu wenig Wind eine starke Reduzierung des Luftaustauschs droht, löst der zuständige Experte Alarm aus. Aber Fahrverbote können nur das Land oder der Bund verhängen.

Der Straßenverkehr ist für über 50% der Feinstaubbelastung am Neckartor verantwortlich, das zeigt die Laborauswertung der Filter aus der Messstation. Rund 25% stammt aus Holzkaminen und anderen Feuerungsanlagen, der Rest verteilt sich auf Landwirtschaft, Pollen sowie Staub von Baustellen, aus der Schüttgutverladung und anderen Quellen. Abgas nimmt bei den Verkehrsemissionen nur Platz zwei ein, der meiste Feinstaub entsteht dort durch Abrieb von Kupplungen, Bremsbelägen und Reifen. Zusätzlich wirbeln vor allem schwere Laster den Feinstaub immer wieder hoch, der sich bereits auf und neben der Straße abgelagert hatte.

Die 17 schmutzigsten Städte Deutschlands [33].

In nachfolgenden Städten ist die Belastung und damit auch das Gesundheitsrisiko besonders hoch.

Rang	Stadt	Feinstaub in mg/m³Luft/Jahr
1	Dresden	31
2	Düsseldorf	29
3	Stuttgart	28
4	Dortmund	27
5	Essen	27
6	München	26
7	Bremen	26
8	Berlin	26
9	Aachen	24
10	Bonn	24
11	Nürnberg	23
12	Köln	23
13	Hamburg	23
14	Hannover	22
15	Frankfurt/M.	22
16	Kiel	21
17	Wolfsburg	17

Mit 31 mg/m³ Luft im Jahr liegt Dresden nicht nur an der Spitze der deutschen Städte, sondern ist auch in der Liste der schmutzigsten europäischen Städte vertreten. Dort liegt … sie an Position 10.

Umweltzonen senken die Feinstaubbelastung [34]

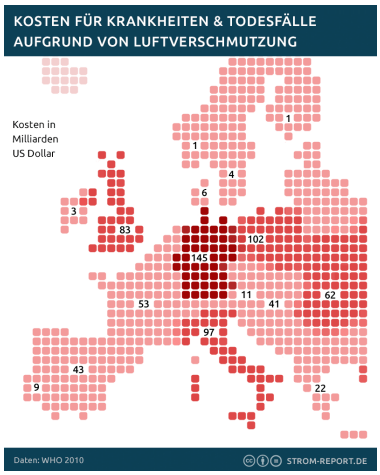
Wichtigster Hebel, um die Belastung zu senken, ist eine bessere Abgasreinigung bei Pkw und Lkw. UBA-Chefin Maria Krautzberger: "Um die Grenzwertüberschreitungen in den Griff zu bekommen, ist es wichtig, dass die neue Abgasnorm Euro 6 auch im realen Verkehr zu weniger Emissionen führt. Bisher können das viele Fahrzeughersteller nur im Labor garantieren."

Beim Feinstaub zählt 2014 zu den Jahren mit den niedrigsten Werten. Hauptgrund dafür war das Wetter. Es gab relativ wenige winterliche Inversionswetterlagen, die zu hohen Feinstaubwerten beitragen, weil sie den Luftaustausch verhindern. Zudem wirken sich die **Umweltzonen** in Großstädten und Ballungsräumen positiv aus, von denen es in Deutschland inzwischen 50 gibt. Sie senken die Feinstaubbelastung laut UBA um 10% bis 12%, wenn dort nur Fahrzeuge mit grüner Plakette einfahren dürfen. Das ist in 48 der Zonen der Fall. Seit dem 1. Januar 2015 gibt es zwei neue Umweltzonen, nämlich in Offenbach und Siegen, Darmstadt will im Laufe des Jahres eine solche einführen.

4.2 Europa

Nach Regionen gesehen lag die Feinstaubbelastung vor allem in Osteuropa und im Alpenraum besorgniserregend hoch [32].

Die Europäische Umweltagentur schlägt wegen der Luftqualität Alarm. Erschreckend sind die Zahlen für die Feinstaubkonzentration. Nach WHO-Grenzen waren 87% der Stadtbewohner betroffen - nach EU-Zahlen nur 8%.

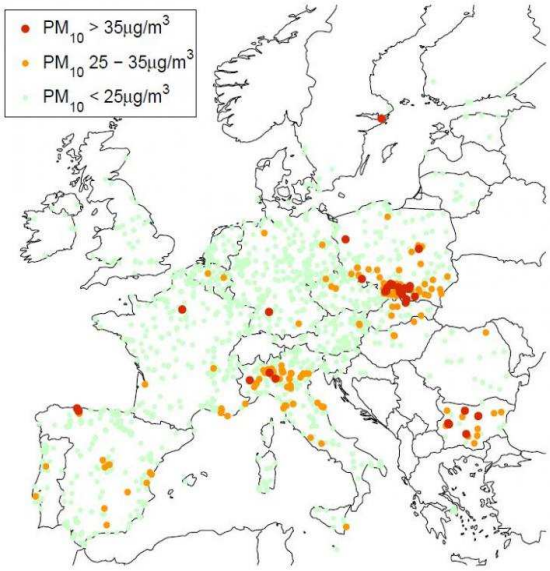


Luftverschmutzung kommt die EU und ihre Bewohner teuer zu stehen. (Bild: Stromreport / flickr / CC BY-ND 2.0)

Die 5 EU-Staaten, die mit schmutzigen Kohlekraftwerken am meisten den Kontinent belasten, sind Polen, dessen Kraftwerke jährlich europaweit 5.830 vorzeitige Todesfälle verursachen, Deutschland mit 4.350 Fällen sowie Großbritannien (2.860), Rumänien (2.170) und Bulgarien (1.570). Die 5 EU-Staaten, die am meisten unter Kohleschadstoffen leiden, sind Deutschland (3.630 vorzeitige Todesfälle durch eigene und fremde Kraftwerke), Großbritannien (2.100), Polen (1.860), Italien (1.610) und Frankreich (1.380) [15].

Eine Studie stellt klar, dass jedes einzelne geschlossene Kohlekraftwerk eine deutliche Verbesserung für die gesundheitliche Situation der Anwohner aber auch für Menschen in der weiteren Umgebung und sogar in Nachbarländern bedeutet: Der in Großbritannien bis 2025 geplante Kohleausstieg könnte jährlich bis zu 2.870 vorzeitige Todesfälle verhindern – davon mehr als 1.300 auf dem europäischen Festland. Ein deutscher Kohleausstieg könnte in der Bundesrepublik jedes Jahr mehr als 1.860 vorzeitige Todesfälle verhindern und im Ausland sogar 2.490 [15].

Zum gleichen Ergebnis kommt eine Studie von Umweltorganisationen. Sie beziffert erstmals die gesundheitlichen Auswirkungen von grenzüberschreitender Luftverschmutzung durch Kohle. Osteuropäische Kohlemeiler sind laut der Analyse besonders schädlich. Feinstaub aus der Kohleverbrennung kann im Umkreis von hunderten Kilometern die Luftqualität beeinflussen, daher sitzen die Leidtragenden der Energiegewinnung häufig im Nachbarland. So hat etwa Frankreich zwar kaum eigene Kohlekraftwerke, dennoch sterben laut den Berechnungen jährlich rund 1.300 Franzosen vorzeitig aufgrund der Kohleverstromung in den Nachbarländern [22].



.

So stellt sich die Luftverschmutzung im Jahr 2030 bei Fortsetzung der momentanen Gesetzgebung dar. Die roten Punkte zeigen die größte Verschmutzung. (Copyright: Kiesewetter et al.) [30].

Die 280 Kohlekraftwerke der EU sorgen dafür, dass der Kontinent ständig unter einer Feinstaubglocke liegt. Ändern kann das nur ein zügiger Kohleausstieg. Kohlekraftwerke zählen zu den größten Verursachern von Umweltschäden in Deutschland. Das ist seit Langem bekannt. Doch der immense Schadstoffausstoß durch die Verstromung von Braun- und Steinkohle hat neben dem fatalen Aufheizen der Atmosphäre auch erhebliche Konsequenzen für die Gesundheit der Bevölkerung. Über 20.000 vorzeitige Todesfälle, zehntausende Fälle von Herz- und Lungenkrankheiten sowie Gesundheitskosten in zweistelliger Milliardenhöhe zieht die Luftverschmutzung durch Feinstaub und andere Schadstoffe aus den Kohlekraftwerken in der EU nach sich [21].

Umwelt- und Gesundheitsorganisationen wie die Health and Environment Alliance (Heal), der WWF und das Climate Action Network haben die Emissionswerte von Kohlekraftwerken in der EU aus dem Jahr 2013 mit Wetterdaten und den Ergebnissen von Gesundheitsstudien abgeglichen. "Schwefeldioxid, Stickoxide und weitere Schadstoffe werden von den Kraftwerken emittiert, in der Atmosphäre wandeln sich diese Stoffe zu **sekundärem Feinstaub**, verteilen sich wie eine Dunstglocke über dem europäischen Kontinent und erreichen sehr große Teile der Bevölkerung in Europa", warnt Julia Huscher von der Gesundheitsorganisation Heal. Je nach Wetterlage verändere sich die Ausbreitung der Schadstoffwolken [21].

4.3 Weltweit [16]

Beim Abfackeln von Erdgas (Gas Flaring) auf Öl-Bohrinseln entstehen Ruß-Partikel. Das gibt es vor allem in zwei Weltregionen: vor Westafrika und in Sibirien. Es wird immer dann abgefackelt, wenn die erforderliche Technologie fehlt, um neben dem Öl auch das mitgeförderte Erdgas zu verarbeiten. Kritisch ist es vor allem in den sibirischen Ölfeldern. Der Ruß, der dabei entsteht, wird nämlich im Winter großräumig in der Arktis verteilt und schlägt sich auf Eis- und Schneeflächen nieder. Die werden dadurch dunkler und reflektieren nicht mehr so viel Sonnenlicht. Auf diese Weise verstärken die schwarzen Rußpartikel die Klimaerwärmung in der Arktis. Vermutlich ist das Gas Flaring die wichtigste Quelle für **Ruß in der Arktis**. Schätzungsweise wird beim Abfackeln von Erdgas 3-mal so viel Ruß emittiert als bisher gedacht.

Wie weit Staub verfrachtet werden kann zeigen zwei natürliche Beispiele: Mammutbäume und andere Gewächse der kalifornischen Sierra Nevada profitieren von Staub, der bis aus der Wüste Gobi herantransportiert wird und sich dann an den Berghängen niederschlägt. Staub aus der Sahara ist wichtig für das Gedeihen des Amazonasregenwaldes. Stürme wirbeln gewaltige Mengen an Aerosolen in den Himmel über der Bodélé-Senke im nördlichen Tschad, der größten Staubquelle der Erde. Mit dem Passat und anderen Windströmungen treiben sie über den Atlantik und düngen den Ozean wie den Amazonasregenwald gleichermaßen [62].

5. Schäden durch Feinstaub [31]

Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die **Ökosysteme**: Luftschadstoffe werden über weite Distanzen verfrachtet. Schwefel- und Stickstoffeinträge versauern und überdüngen empfindliche Ökosysteme. Ozon hat akute und chronische Auswirkungen auf die Vegetation. **Anm**.: Mit Stickstoff entsteht Sekundärer Feinstaub.

Auswirkungen der Luftverschmutzung auf das **Klima**: Viele Luftschadstoffe haben neben den negativen Wirkungen auf Mensch und Umwelt auch eine direkte oder indirekte Beeinflussung des Klimas zur Folge. Dazu gehören u.a. Die Bildung von Nebel bis hin zu Smog und verstärkte Wolkenbildung bis hin zu Extremniederschlägen.

Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die **Gesundheit**: Pro Tag verrichtet der Mensch ca. 30.000 Atemzüge und atmet dabei 10 bis 20 m³ Luft ein (je nach Alter und Aktivität). Er nimmt dabei neben dem lebenswichtigen Sauerstoff auch allerlei giftige Stoffe auf. Die Feinstaub- und Ultrafeinstaubbelastung der Luft nimmt ständig zu. Nachgewiesen ist auch, dass die **Feinstaubbelastung in Innenräumen meist über der Belastung in Außenbereichen** liegt. In Mitteleuropa halten sich die Menschen im Durchschnitt 90% ihrer Zeit in Innenräumen auf. Manchmal atmen wir in geschlossenen Räumen mehr Schadstoffe ein als an dicht befahrenen Straßenkreuzungen.

Nicht nur kurzzeitig erhöhte Konzentrationen führen zu negativen gesundheitlichen Auswirkungen - gerade längerfristig vorliegende, geringere Konzentrationen wirken gesundheitsschädigend. Die Feinstaubbelastung sollte also so gering wie möglich sein.

Wahrscheinlich haben nicht alle Bestandteile der Partikel die gleiche gesundheitliche Relevanz. **Die Gefährlichkeit wird nicht durch die Masse, sondern vor allem durch die Oberfläche der Partikel bestimmt**. Partikel, die aus Verbrennungsprozessen stammen, sind erheblicher als beispielsweise Bodenpartikel oder Reifenabrieb. Weitgehend ungeklärt ist noch, welche Bedeutung die verschiedenen Partikelkomponenten (anorganisch, organisch, löslich, unlöslich, flüchtig, nichtflüchtig) haben [18].

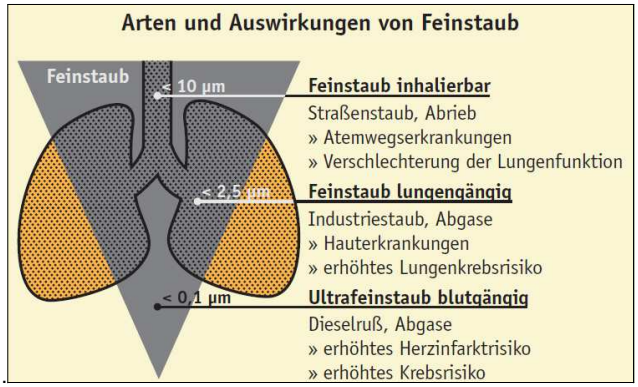
80-90% des Staubs aus Biomasse hat eine Korngröße von unter 1 µm Ruß und ultrafeine Partikel, die kleiner als 0,1µm sind, können nicht nur tief in die Lunge, sondern sogar in den Blutkreislauf vordringen. Ruß aus Holzfeuerungsanlagen wird als genauso gesundheitsschädlich wie Dieselruß angesehen. Dioxine werden größtenteils bei Verbrennungsprozessen gebildet, sind äußerst langlebig und reichern sich daher in der Umwelt und im Körper an. In Dänemark sind beispielsweise rund 80% der emittierten Teerverbindungen und 60% der Dioxine auf die Holzverbrennung zurückzuführen [61]

Spezielle Gesundheitseinflüsse aus dem Wohnbereich siehe Punkt 3.1.2

5.1 Allgemeine Erkrankungen

In Punkt 4.1 bereits genannt: Bis vor wenigen Jahren galt Feinstaub als größte Gesundheitsgefahr in der Stadtluft. Er dringt bis in die Bronchien und Lungenbläschen vor; **ultrafeine Partikel (PM1)** schaffen es **sogar in den Blutkreislauf**. Die Folgen reichen von Atemwegsentzündungen über Thrombosen bis hin zu Lungenkrebs. In den vergangenen Jahren sind Stickoxide auf Platz 1 der Gefahrenliste vorgerückt, auch sie greifen die Atemwege an, verursachen Schlaganfälle und machen vor allem Asthmatikern zu schaffen. Feinstaub steht jetzt auf Platz 2 [17].

Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Herzinfarkte, Herzrhythmusstörungen und Lungenerkrankungen wie Asthma und sogar Krebs können durch Feinstaub verstärkt oder ausgelöst werden - siehe Grafik [61].



Arten und Auswirkungen von Feinstaub | Quelle: Deutsche Umwelthilfe

„Für keine andere Energiequelle zahlen wir einen so hohen Preis an externen Gesundheitskosten wie bei Kohle. Die Kosten für die Reduzierung von Treibhausgasemissionen lassen sich zum Teil durch damit einhergehende sinkende Gesundheitskosten finanzieren“, bemerkt Prof. Paul Wilkinson, London School of Hygiene and Tropical Medicine (LSHTM). „Diese Studie liefert vertiefende Informationen zu den schädlichen Folgen, die Kohleverstromung für unsere Gesundheit hat. Sie zeigt uns, dass dieses Problem jeden angeht. Die schädlichen Abgase und Feinstaubemissionen jedes einzelnen Kraftwerks können krank machen und der Volksgesundheit teuer zu stehen kommen. Daher brauchen wir einen kompletten Kohle-Ausstieg“, fordert Dr. Michal Krzyzanowski, ehemals Experte der WHO zu Luftqualität und derzeit Visiting Professor der Environmental Research Group des King’s College London [15].

Der Report mit dem Titel „Europe’s Dark Cloud“ zeigte erstmals die grenzüberschreitenden Gesundheitsfolgen durch Luftverschmutzung von europäischen Kohlekraftwerken. Das ist das Ergebnis einer neuen Studie, die die Health and Environment Alliance (HEAL), WWF, Climate Action Network (CAN) und Sandbag veröffentlicht haben. „Die Ergebnisse der Studie beruhen auf dem aktuellen Wissensstand zu den Auswirkungen von Feinstaub und den Erkenntnissen großer epidemiologischer Studien. Die Zahlen zeigen somit in korrekter Weise auf, wie groß die Auswirkungen der Kraftwerksemissionen auf die Sterblichkeit sind. Insbesondere Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Schlaganfälle spielen bei den Folgen der Feinstaubbelastung eine gravierende Rolle“, sagt Prof. Dr. Annette Peters, Institut Epidemiologie II, Helmholtz-Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt [15].

Autos haben einen großen Anteil an weit mehr als 50.000 vorzeitigen Todesfällen im Jahr. An der vom Straßenverkehr verpesteten Luft sterben in Deutschland rund doppelt so viele Menschen wie bei Verkehrsunfällen (wo es ungefähr 3.500 sind) [17].

Die „European Study of Cohorts for Air Pollution Effects“ (ESCAPE) kam zu dem Ergebnis, dass der Staub-Cocktail in der Luft das Lungenkrebsrisiko signifikant erhöht. Vor allem aber zeigte die Studie, dass es **keinen Schwellenwert gibt, ab dem seine Konzentration ungefährlich ist**. Die gegenwärtigen Grenzwerte sind ein Kompromiss – aus gesundheitlicher Sicht sind niedrigere Schwellen anzustreben. Die WHO war bei diesem Thema bisher wenig mitteilsam. Sicher kennt sie die großen wirtschaftlichen Interessen, die einer Verbesserung der Situation entgegenstehen. Jetzt aber hat sie die Luftverschmutzung als eine der Ursachen für Krebskrankheiten eingestuft. **Der eigentliche Killer ist der kaum beachtete Ultrafeinstaub PM1** [27].

Zwischen 6% und 15% aller Lungenkrebserkrankungen weltweit werden allerdings auf Radonbelastungen (Alfa-Strahler) in Innenräumen zurückgeführt [31].

Die Entscheidung der WHO aus dem Jahr 2012, Dieselruß als ein Karzinogen der Klasse 1 einzustufen, hat eine seit vielen Jahren bekannte Komponente wieder in den Fokus gerückt. Den Hauptanteil von Ruß im luftgetragenen Feinstaub in der Außenluft bilden Nebenprodukte aus unvollständigen Verbrennungsprozessen. Hierbei ist es unerheblich, ob die Verbrennung fossiler Treibstoffe wie Diesel, die kontrollierte Verbrennung biogener Brennstoffe wie Holz und Kohle oder die unkontrollierte Verbrennung von Biomasse bei Waldbränden die Ursache sind. All diese Verbrennungsprozesse können negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben. Daher forderte der VDI eine Minderung des Ausstoßes von Rußemissionen vor allem aus Kraftfahrzeugverkehr und Kleinfeuerungsanlagen [12].

Für die Wirkung des Staubes auf die menschliche Gesundheit spielen die chemische Zusammensetzung und die Partikelgröße eine entscheidende Rolle. Die WHO weist darauf hin, dass Feinstaub die durchschnittliche Lebenserwartung in Deutschland um 10,2 Monate reduziert. Größere Partikel werden vor allem im Nasen-Rachen-Raum und in den oberen Bronchien abgeschieden. Ultrafeine Partikel (PM1) dringen sogar tief in den menschlichen Atemtrakt und bis in die Blutbahn ein. Sie verbleiben im Mittel über ein Jahr in den Lungenbläschen und verursachen Entzündungen, schädigen die DNA und verursachen Gefäßverengungen. Deshalb unterscheidet die Umweltgesetzgebung nach Partikelgröße: Für die gröbste Fraktion PM10 beträgt der Tagesgrenzwert 50 µg/m³. Dieser darf nicht öfter als 35 Mal im Jahr überschritten werden. Der zulässige Jahresmittelwert beträgt 40 µg/m³. In vielen Großstädten gelingt es derzeit nicht, diese Bestimmungen einzuhalten. Für kleinere Partikel (PM2,5) liegt der Grenzwert bei 25 µg/m³ im Jahresmittel [8].

PM10 kann beim Menschen in die Nasenhöhle, PM2,5 bis in die Bronchien und Lungenbläschen und ultrafeine Partikel PM1 bis in das Lungengewebe und sogar in den Blutkreislauf eindringen. Je nach Größe und Eindringtiefe der Teilchen sind die gesundheitlichen Wirkungen von Feinstaub verschieden. Sie reichen von Schleimhautreizungen und lokalen Entzündungen in der Luftröhre und den Bronchien oder den Lungenalveolen bis zu verstärkter Plaquebildung in den Blutgefäßen, einer erhöhten Thromboseneigung

oder Veränderungen der Regulierungsfunktion des vegetativen Nervensystems (Herzfrequenzvariabilität) [4].

Eine 2016 veröffentlichte Studie untersuchte die Todesursachen von Menschen in Hongkong. Feinstaub erhöhte in dem Ballungsraum das Sterberisiko durch Krebs an Leber, Pankreas oder Gallenblase um 35%. Bei Frauen war das Risiko, an **Brustkrebs** zu sterben, sogar **um 80% erhöht**. Die Forscher schließen daraus, dass Feinstaub in Großstädten weltweit möglichst rasch und möglichst stark reduziert werden muss [8].

Neuere Erkenntnisse gehen dahin, dass bestimmte Nanopartikel in der Luft sogar latente, virale Infektionen aufblühen lassen - z. B. Herpesviren auch Epstein-Barr-Viren reaktivieren – können. Vermutet wird, dass eine wiederholte Partikelexposition mit entsprechender Virus-Reaktivierung zu chronischen Entzündungs- und Umbauprozessen in der Lunge führt [53].

Wie die Forscher kürzlich ermittelten, könnte eine Belastung mit mehr als 10 µg/m³ Feinstaub allein im Jahr 2010 für 2,7 Millionen zusätzliche **Frühgeburten** weltweit verantwortlich sein. Das entspricht immerhin rund 18% aller zu früh geborenen Kinder. Wurden schon Werte von mehr als 4,3 µg/m³ Feinstaub als erhöht betrachtet, dann ließen sich sogar 34 Millionen Frühgeburten darauf zurückführen [56]. Allerdings wurde nicht ausgesagt, wie lange die Exposition jeweils war.

Wirkung auf Bakterien [60]

Feinstaub und vor allem Ruß in der Luft begünstigen krankmachenden Bakterien in unseren Atemwegen. Die Erreger bilden bei Kontakt mit Ruß dickere Biofilme aus und reagieren resistenter gegenüber gängigen Antibiotika. Zudem erleichtert die Luftverschmutzung es Lungenentzündungs-Erregern, von der Nase in die Lunge zu gelangen, wie die Wissenschaftler im Fachmagazin " Environmental Microbiology" berichten.

Die Bakterienarten Staphylococcus aureus und Streptococcus pneumoniae kommen bei vielen Menschen im Nasen-Rachenraum vor, ohne dass sie Symptome verursachen. Doch bei Kranken oder Immungeschwächten können sie schwere Lungenentzündungen und sogar tödliche Blutvergiftungen auslösen. Beide Bakterienarten bilden Biofilme aus, die sie besonders widerstandsfähig gegen Umwelteinflüsse und auch Desinfektionsmittel machen. Statt den Bakterien zu schaden, sorgte der Ruß dafür, dass ihre Biofilme dicker und komplexer wurden. Gleichzeitig wurden sie auch unempfindlicher gegenüber gängigen Antibiotika: Die Streptokokken zeigten eine signifikant erhöhte Resistenz gegenüber Penicillin G – einem der wichtigsten Antibiotika gegen diese Erreger.

Die schädlichen Auswirkungen von Feinstaub gehen demnach nicht nur auf direkte Einflüsse auf unsere Gesundheit zurück, sondern umfassen auch Effekte auf das Verhalten von Krankheitserregern in uns. Das betrifft sogar die öffentliche Gesundheit.

5.2 Neurodegenerative Erkrankungen [14]

Aus Bränden, Auto- oder Industrieabgasen stammender Feinstaub gefährdet die Gesundheit: Er fördert Lungen- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen und möglicherweise auch psychische und neurodegenerative Erkrankungen. Forscher vermuten, dass eingeatmete Feinstaubpartikel auch ins Hirngewebe eindringen – was Barbara Maher von der Lancaster University und ihr Team nun bestätigt sehen: Die Wissenschaftler suchten und fanden im Hirngewebe von 37 Verstorbenen tatsächlich charakteristische magnetische Nanopartikel, die nach ihrer Ansicht eindeutig auf Feinstaubbelastung aus der Umwelt zurückzuführen sind.

Diese Magnetitpartikel sind rundlich und deutlich kleiner als die seit einigen Jahrzehnten bekannten Nanopartikel, die im Gehirn vom Körper selbst gebildet werden. Zudem weisen sie Oberflächenstrukturen auf, die darauf hindeuten, dass sie beim Auskühlen nach großer Hitze – wie etwa der in Verbrennungsmotoren – kristallisierten. Sie ähneln damit stark typischen Feinstaub-Aerosolen, die bei hohem Verkehrsaufkommen in Städten vermehrt in Luftanalysen auffallen. Mit ihrer geringen Größe von teilweise deutlich unter 200 nm Durchmesser bleiben die Magnetitkügelchen zudem nicht in der feinmaschigen Blut-Hirnschranke hängen, die die Kapillaren des Blutgefäßsystems im Kopf vom Hirngewebe abschottet. **Eingeatmete Ultrafeinstaubpartikel könnten deshalb durchaus aus der Lunge über das Blut ins Hirn gelangen.** Tierversuche zeigen zudem, dass solche sehr kleinen Nanopartikel vielleicht auch den direkten Weg aus der Nasenschleimhaut in den Riechkolben (Nervenbahn) des Gehirns nehmen.

Die winzigen Magnetit-Fremdkörper im Gewebe können mit ihrem Eigenschaftenmix aus Magnetismus, wechselnden Oberflächenladungen und einem hohen Redoxpotenzial unvorhersehbare Schäden hervorrufen. Dies besorgt auch Mahers Team: Die Forscher vermuten etwa, dass an den eisenhaltigen Nanopartikeln vermehrt Sauerstoffradikale anfallen, was womöglich neurodegenerativen Krankheiten wie der

Alzheimerdemenz Vorschub leistet. Erste Hinweise deuteten tatsächlich darauf, dass eine größere Menge von Magnetit-Partikeln im Gehirn mit häufigerem Auftreten der Alzheimerkrankheit einhergeht.

5.3 Vorzeitige Todesfälle [10]

Die Europäische Umweltagentur EEA bezifferte kürzlich die Zahl der vorzeitigen Todesfälle durch erhöhte Feinstaubbelastungen auf 430.000 pro Jahr. Die Weltgesundheitsorganisation geht für Europa sogar von 600.000 Fällen aus. Weltweit sterben nach den jüngsten Erhebungen der WHO sogar rund 8 Millionen Menschen vorzeitig an den Folgen von Luftverschmutzung.

Dass die größte Quelle für Feinstaub aber nicht der Verkehr ist, sondern Kamine und Öfen, "ist ein gut gehütetes Geheimnis", sagt Press-Kristensen. "Die Leute denken immer noch, Holz sei ökologisch." Dabei emittieren selbst neue, emissionsarme Öfen und Pelletkessel nach Messungen des Danish Ecological Council mehr Feinstaub als Lkws. Es müsse mehr geschehen, meint der Umweltexperte, um auf die Gefahren für die menschliche Gesundheit und für das Klima aufmerksam zu machen.

Rund 11 bis 13 Millionen Holzfeuerungsanlagen – so der amtlich korrekte Begriff – gibt es (2016) in Deutschland. Das Umweltbundesamt spricht sogar von 15 Millionen. Europaweit sind es 70 Millionen. Nach Angaben der Deutschen Umwelthilfe (DUH) sind sie für 56% der europäischen Rußemissionen verantwortlich, während der Straßenverkehr 22% beiträgt. **Auch beim Feinstaub sorgen Kamine und Co mit 25% für den größten Ausstoß und übertreffen den des Verkehrs (rund 15%).**

Während im Verkehrssektor aufgrund strengerer Grenzwerte künftig die Schadstoffemissionen sinken, wird der Anteil der Öfen an den gesamten Rußemissionen noch weiter steigen. Für das Jahr 2025 beziffert ihn das Internationale Institut für Angewandte Systemanalyse IIASA für Deutschland auf 65%.

Smog fordert mehr Tote als Verkehrsunfälle [29]

Der Straßenverkehr, dem die Forscher weltweit nur 5% der Todesfälle zuschreiben, schlägt in Deutschland mit 20% zu Buche, das sind knapp 7000 Menschen pro Jahr. Demnach sterben hierzulande doppelt so viele an den Folgen der Verkehrs-Emissionen wie an Verkehrs-Unfällen.

5.4 Klimaschädlichkeit [10]

Feinstaub ist nicht nur schädlich für die menschliche Gesundheit. Rußpartikel, die zum Feinstaub zählen, gelten zudem als fast genauso klimaschädlich wie CO2. Sie entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von Dieselkraftstoffen, aber auch in Kraftwerken oder bei offenen Bränden. Die Partikel, die auch *black carbon* genannt werden, setzen sich auf Gletschern ab, was dazu führt, dass das Eis mehr Sonnenstrahlen absorbiert, was wiederum das Schmelzen des Eises beschleunigt. Zudem lässt Luftverschmutzung Pflanzen langsamer wachsen. Der (**Anm**.: angeblich) ökologische Vorteil des nachwachsenden Rohstoffs Holz wird durch Holzöfen kräftig geschmälert.

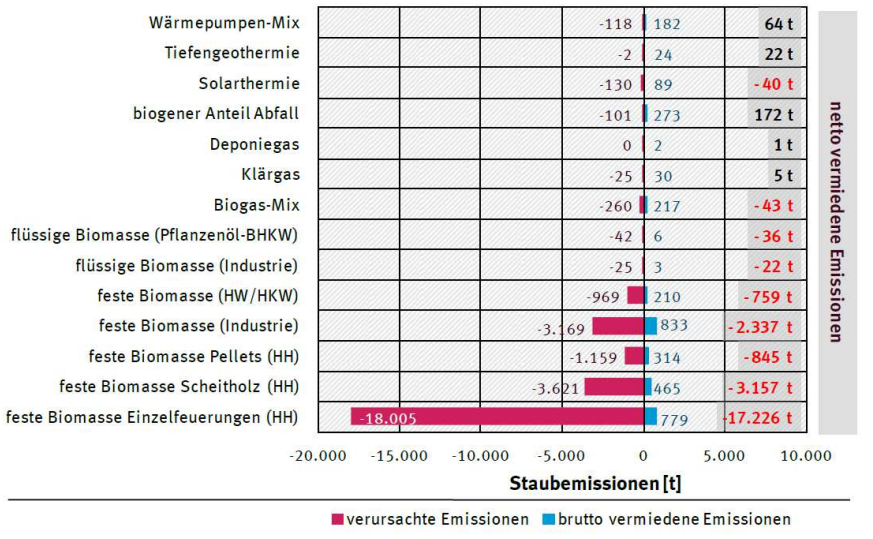
5.5 Schadstoffe von Biomasse in Feuerungsanlagen [4]

Die Auswirkungen einer verstärkten Biomassenutzung in Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV werden qualitativ und quantitativ **durch Modellrechnungen** für verschiedene Modellgebiete **abgeschätzt**. Dazu wird ein Emissionsmodell entwickelt, welches den charakteristischen und praxisnahen Betrieb der Heizanlagen beschreibt. Im Emissionsmodell wird das Emissionsverhalten der Anlagen im Voll- und Teillastbetrieb sowie bei instationären Zuständen, z.B. Start- und Stoppvorgänge, Anfeuerungsvorgänge, berücksichtigt. Die untersuchten Emissionskomponenten sind NOx, Feinstäube (PM10), CO, VOC (flüchtige organische Verbindungen einschließlich Methan - als Gesamt-C berechnet), Benzol, und die (vorwiegend) staubgebundenen polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK/ englisch: PAH - Polycyclic Aromatic Hydrocarbons), wobei Benzo(a)pyren (BaP) extra ausgewiesen wird, sowie polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/PCDF). Für Geruchsemissionen werden orientierende Berechnungen durchgeführt.

6. Vermeiden von Feinstaub

Die „Abbildung 12“ des Bundesumweltamtes [57] gibt einen Überblick über vermiedene und verursachte Staubemissionen:

Abbildung 12: Durch den Verbrauch von Wärme aus erneuerbaren Energien vermiedene und verursachte Staubemissionen im Jahr 2013 nach Energieträgern



Quelle: Eigene Darstellung

HH = Hausheizung HW = Heizwerk HKW = Heizkraftwerk BHKW = Blockheizkraftwerk

6.1 Aktuelle Situation [12]

Ruß in luftgetragenem Feinstaub kann negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben. Angefangen von Atemnot und Husten bis hin zum Anstieg der täglichen Mortalität. Daher fordert der VDI aufgrund der nachgewiesenen Gesundheitsrelevanz die Minderung des Ausstoßes von Rußemissionen und eine flächendeckende Messung von Ruß, sowohl in Form des elementaren und organischen Kohlenstoffs als auch einer weitergehenden Betrachtung des schwarzen Kohlenstoffs (Black Carbon). **Die Messung von Feinstaub als PM2,5 und PM10 alleine wird dem Gefährdungspotenzial nicht gerecht.** Vielmehr sollten anderen Bestandteile des Feinstaubs, wie z.B. Ruß, gemessen werden, um die gesundheitliche Belastung der Bevölkerung zu erfassen und gegebenenfalls zu reduzieren. Die in der EU-Luftqualitätsrichtlinie (2008/50/EG, umgesetzt in deutsches Recht über die 39. BImSchV) vorgeschriebenen Messungen konzentrieren sich auf die Bestimmung der Massenkonzentration luftgetragener Partikel und deren chemischen Zusammensetzung. Dabei sind Rußmessungen nur in Form der Betrachtung des elementaren und organischen Kohlenstoffs und nur an einer kleinen Anzahl ausgewählter Stationen im ländlichen Hintergrund vorgesehen. **(Anm.: es ist nachlässig, das gefährlichste PM1 zu übergehen!)**

Richtiges Heizen mit Holz

Kamin-, Kachel-, Pelletöfen und mit Holz befeuerte Küchenherde – so genannte Einzelraumfeuerstätten – erfreuen sich großer Beliebtheit. Wer beim Heizen ein paar grundlegende Regeln beachtet, spart Brennstoff und schont die Umwelt. Die Broschüre „Heizen mit Holz – so geht’s richtig“ erklärt die wichtigsten Grundlagen und gibt praktische Tipps. Auch für den „Heiz-Profi“ dürfte noch das eine oder andere Wissenswerte dabei sein. Auszug: ... Daher kommt der richtigen Bedienung der Bestandsanlagen eine ganz besondere Bedeutung zu. „Der Einsatz von qualitativ gutem, trockenem Brennholz und das richtige Befüllen und Anzünden von Holz im Ofen sind entscheidend, um den Rauch- und Schadstoffausstoß gering zu halten und Nachbarschaftsbelästigungen und Umweltbelastungen zu vermeiden. … Hätten Sie’s gewusst? Das **Anzünden des Brennholzes von oben** spart Emissionen ein [24].

Eine weitere Broschüre erklärt die gängigsten Feuerstätten und wie sie funktionieren. „Als Betreiber einer Feuerstätte sind Sie vor Inbetriebnahme verpflichtet, den (bevollmächtigten) Bezirksschornsteinfeger über die Installation Ihres Ofens zu informieren. Es ist sinnvoll, vor dem Kauf einer Feuerstätte mit dem Schornsteinfeger und dem Fachbetrieb über Ihre Vorstellungen zu sprechen, um unter anderem die optimale Leistung der Feuerstätte festzulegen.“ Ein deutlicher Hinweis besagt, dass kein Schwachlastbetrieb möglich

ist bei Kaminofen und Kachelofen und dass der Rauchabzug passend ausgelegt sein muss. Ausführlich erklärt wird die richtige Bedienung vom Anzünden bis zum Ende des Heizens. Es heißt auch: „Feuer machen kann jeder, effizientes und emissionsarmes Heizen will gelernt sein. Der Betrieb einer Feuerstätte ganz ohne Emissionen ist nicht möglich. Es entstehen Verbrennungsprodukte, wie zum Beispiel Kohlenstoffdioxid, Kohlenstoffmonoxid sowie Kohlenwasserstoffe und Schwefeloxide. Ebenfalls entsteht Feinstaub.“ [25].

Feinstaub ist nicht gleich Feinstaub [54]

Bei einer vollständigen Verbrennung in Feuerstätten mit moderner Feuerungsregelung und unter Verwendung naturbelassenen, trockenen Holzes werden als Staubemissionen hauptsächlich Salze emittiert. Ersten Forschungsergebnissen zufolge ist deren Gefahrenpotential für den Menschen als gering einzuschätzen. Wird aber mit nassem bzw. nur unzureichend getrocknetem Holz geheizt oder die Anlage unsachgemäß bedient, wenn beispielsweise bei voll gefülltem Brennraum die Zuluft abgeriegelt wird, führt das zu einer unvollständigen Verbrennung. Dabei werden sowohl deutlich höhere Feinstaubmengen als auch vermehrt Ruß und PAK emittiert. Letztere sind potentiell krebserregend und in ihrer toxischen Wirkung auf den Menschen mit Dieselruß zu vergleichen. Besonders übel wird es dann, wenn der heimische Ofen als private Müllverbrennungsanlage missbraucht wird. **Anm**.: Die Schadstoffe lagern sich am Feinstaub an.

6.2 Vorschriften und Kontrollen für Heizungen

Für eine ökologisch sinnvolle Nutzung von Brennholz ist die Handhabung entscheidend: Behandeltes, gestrichenes oder frisch geschlagenes Holz hat im Kaminofen, Kachelofen oder Heizkamin nichts zu suchen. Bei frischem Holz würde der hohe Wasseranteil zu einer unvollständigen Verbrennung führen. **Erst nach rund 2 Jahren Lagerung erreicht das Holz die optimale Restfeuchte von unter 20% und kann als Brennmaterial verwendet werden** - und das mit beachtlicher Wirkung: Ein Raummeter trockenes Holz hat die Heizkraft von rund 170 Litern Öl oder rund 190 m³ Gas. Weitere Informationen auch im Internet unter www.richtigheizenmitholz.de oder www.ratgeber-ofen.de [9].

Damit Öfen weniger Schadstoffe produzieren, ***müssten*** sie – was bislang nicht der Fall ist – generell über Filter verfügen, außerdem über Ventilatoren, die die Luftzufuhr permanent regulieren. Damit könnten die Emissionen um 90% sinken. Allerdings sind solche technischen Lösungen teuer. Wenn das nicht vorgeschrieben ist, wird es auch nicht gemacht [10].

Kaminöfen jünger als 60 Jahre dürfen nur mit Staubfiltern betrieben werden, was in der Praxis aber unmöglich ist (**Anm**.: doch! Siehe Kapitel 7) Sie würden den Abgasen so viel Widerstand entgegensetzen, dass diese nicht ins Freie entweichen könnten. Die Bewohner würden an einer Kohlenmonoxid-Vergiftung sterben. Eigentlich müssen diese Kaminöfen gegen andere Modelle ausgetauscht werden, die wenig Feinstaub emittieren [2].

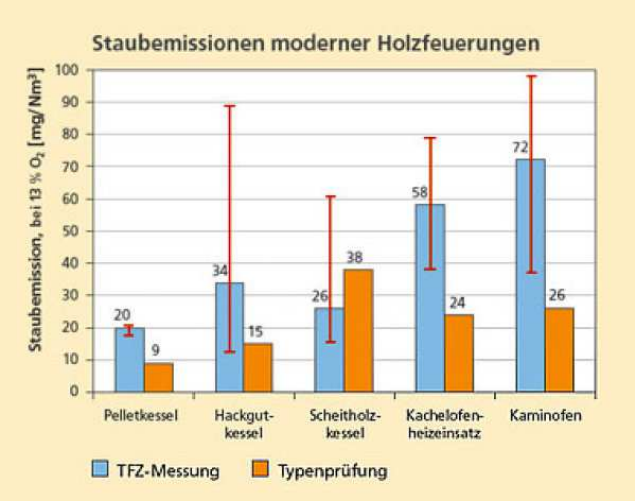
Für Holzheizungen, Kaminöfen und andere kleine Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe gelten ab dem 22. März 2010 neue Umweltauflagen. Durch strengere Grenzwerte soll die Feinstaubemission verringert werden. Langfristig sollen auch für bestehende Heizungen neue Anforderungen gelten (Novelle der 1. Bundesimmissionsschutzverordnung von 2009) [4].

Um das Problem der Feinstaubemissionen durch Holzverbrennung zu reduzieren, hat der Gesetzgeber in Deutschland beschlossen, dass Anlagen, die vor dem 1. Januar 1975 zuletzt einer **Typenprüfung** unterzogen wurden, entweder bis Ende 2017 nachgerüstet oder stillgelegt werden müssen. Auflagen für neuere Anlagen wurden 2010 in der Ersten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (1. BImSchV) beschlossen. In Klein-Holzheizungen (private Kamine oder Öfen bis zu einer Nennleistung von 15 kW) dürfen nur die in §3 der 1. BImSchV, Nr. 1 – 4 sowie 5a genannten Brennstoffe verwendet werden, also naturbelassenes, stückiges oder zu Presslingen verarbeitetes Holz. Die Verbrennung lackierter, gestrichener oder imprägnierter Hölzer ist verboten, weil dabei diverse Schadstoffe entstehen. **Die Verbrennung behandelter Hölzer kann nachträglich durch eine Rußprobe nachgewiesen werden, eine Überprüfung kann im Verdachtsfall stattfinden** [5].

Diese 1. BImSchV enthält Anforderungen an Vorgaben für die Überwachung und an eine Sanierungsregelung für bestehende Anlagen. Sie gilt auch für kleine Heizkessel ab 4 kW (bisher ab 15 kW) und verlangt einen Pufferspeicher mit 55 Liter/kW. Sie enthält außerdem noch eine Liste mit den Brennstoffen, die in einer Kleinfeuerungsanlage zulässig sind. Für die Schadstoffgrenzen gibt es zwei Stufen, die zu unterschiedlichen Zeiten in Kraft traten - die generelle zum 22.3.2010 und eine für Anlagen, die nach dem 31.12.2014 neu installiert wurden. Für die vor dem 22.3.2010 errichteten gelten grundsätzlich die alten Grenzwerte weiter (!), je nach Datum der Typprüfung (siehe Typenschild) läuft die Betriebsgenehmigung zwischen 2015 und 2025 ab [44].

Hinweis zur Typenprüfung [55]

Leider stellt das Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe fest, dass bezüglich Staubemissionen aus modernen häuslichen Holzfeuerungen praxisnahe Verbrennungsversuche Ergebnisse zeigen, welche die Typenprüfung nicht bestätigen!



Vergleich der Typenprüfungsergebnisse mit einer praxisnahen Messung am TFZ

In jeweils zehn bis zwölf Wiederholungsmessungen wurden praxisübliche Brennstoffe mit typischem Wassergehalt eingesetzt. Die drei Kesselanlagen verursachen demnach Staubemissionen zwischen 20 und 34 mg/Nm³ (Milligramm pro Normkubikmeter), bezogen auf einen Sauerstoffgehalt von 13%. Dagegen liegt bei Einzelfeuerstätten bei praxisnahem Versuchsablauf ein deutlich höheres Schadstoffniveau vor. Wie erwartet bestehen größere Unterschiede zu den Typenprüfungsergebnissen. Ihre günstigen Staubemissionen lassen sich bei den Einzelfeuerstätten unter realen, praxisnahen Versuchsbedingungen und bei typischen Bedienungs- und Brennstoffeinflüssen kaum erreichen.

6.2.1 Ungeeignete Messmethoden [10]

Ein weiteres Problem liegt in der Messung der Ofen-Schadstoffe. **Bislang** richtet sich die Messung – anders als beim Verkehr oder bei Baumaschinen – **nach der Masse der Partikel, nicht nach der Anzahl.** Ultrafeine Partikel (PM1) fallen auf diese Weise nicht ins Gewicht. Sie sind aber besonders gesundheitsgefährdend. **Zudem sind die Messgeräte, die Schornsteinfeger benutzen, wenig genau. Sie erlauben eine Abweichung von etwa 50%.** Und selbst wenn die Messung ergeben sollte, dass ein Ofen die Grenzwerte nicht einhält, hätte das praktisch **keine Konsequenz, weil es fast keine Überwachung mehr gibt**. Die Bundesländer haben immer mehr Personal abgebaut, folglich gibt es kaum noch Kontrollen.

Die Deutsche Umwelthilfe will nun das Umweltzeichen "Blauer Engel" für Öfen mit höheren Standards beantragen. Nur wenn es eine Definition gebe, was ein besseres Gerät ist, könne es auch bessere Vorschriften geben. Sollte es aber zu keiner Lösung kommen, "dann sollten Holzöfen verboten werden."

6.2.2 Stilllegungszwang und viele Ausnahmen

Filtersysteme für Kamine sind bislang noch nicht vorgeschrieben. Bei den Öfen selbst hat die Bundesregierung hingegen ein Erneuerungsprogramm beschlossen. Bis Ende 2024 sollen die alten „Dreckschleudern" ausgemustert werden. Der zuständige Schornsteinfeger verlangt bei seinen Hausbesuchen eine Bescheinigung des Herstellers, dass die Grenzwerte für Staub von 150 mg/m³ und für CO von 4 g/m³ auf dem Prüfstand eingehalten werden. Gibt es keine Bescheinigung, dann gilt das Jahr in dem der Ofen seine Typenprüfung erhalten hat [6]:

- Bis Ende 2017 sind die zwischen 1975 bis 1984 geprüften Öfen außer Betrieb zu nehmen.
- Bis 2020 müssen Öfen stillgelegt werden, die zwischen 1985 bis 1994 geprüft wurden.
- Bis 2024 gilt die Nachrüstpflicht für Öfen die zwischen 1995 und 2014 typisiert wurden.

Von der Regelung nicht betroffen sind Öfen die als einzige Heizquelle des Hauses dienen, Herde, Badeöfen, vor Ort handwerklich gesetzte Grundöfen, historische Kamine (solche, die vor 1950 gebaut worden sind) und offene Kaminöfen. Offene Kamine eignen sich wegen ihres geringen Wirkungsgrades nicht zum Heizen und dürfen nur gelegentlich betrieben werden [44].

6.3 Grenzwerte

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit gelten seit dem 1. Januar 2005 europaweit Grenzwerte für die Feinstaubfraktion PM10. Der zulässige Tagesmittelwert beträgt 50 µg/m³ und darf nicht öfter als 35 mal im Jahr überschritten werden. Der zulässige Jahresmittelwert beträgt 40 µg/m³. Für die noch kleineren Partikel PM2,5 gilt seit 2008 europaweit ein ***Zielwert*** von 25 µg/m³ im Jahresmittel, der bereits seit dem 1. Januar 2010 ***eingehalten werden soll***. Ab 1. Januar 2015 ist dieser Wert **verbindlich** einzuhalten und ab dem 1. Januar 2020 dürfen die PM2,5-Jahresmittelwerte den Wert von 20 µg/m³ nicht mehr überschreiten [4].

Mit der am 3. Dezember 2009 beschlossenen Novellierung der 1. BImSchV wurden Grenzwerte für Feinstaub (0,10 g/m³ Staub) und andere Schadstoffe festgelegt. Seit 2015 gilt für Neuanlagen eine Verschärfung (0,02 g/m³ Feinstaub). Grenzwerte gelten für Anlagen ab 4 kW Leistung, ausgenommen Einzelraum-Feuerungsanlagen. **Kommunen können Auflagen bei der Errichtung (bis hin zu Verboten) machen** [5].

Für eine Entwarnung reicht das nicht. Denn in den letzten Jahren ist die Belastung nicht mehr gesunken. Und anders als bei Stickoxid ist Feinstaub bereits in geringsten Mengen schädlich: Jedes Mikrogramm mehr erhöht die Gesundheitsgefahr. EU-Regularien zielen vor allem auf PM10 ab. Von diesen Teilchen dürfen an höchstens 35 Tagen im Jahr mehr als 50 µg/m³ in der Luft sein. Die WHO fordert hingegen eine Begrenzung auf maximal 3 Tage. Dieses Ziel wurde 2015 aber nur von knappen 25% aller Messstationen in Deutschland erreicht. Und der bisher weitgehend eingehaltene Grenzwert für die feinen und gefährlichen PM2,5 ist nach Expertenmeinung deutlich zu hoch [17].

Angesichts der häufigen Grenzwert-Überschreitungen in deutschen Städten argumentieren viele Politiker, die EU-Richtlinie 1999/30/EG sei nicht einzuhalten, die Grenzwerte müssten daher erhöht werden **(!!!)** [18].

Weltgesundheitsorganisation (WHO) [18]

Die WHO empfiehlt angesichts der vom Feinstaub ausgehenden Gesundheitsgefahren in ihren WHO-Luftgüte-Richtlinien folgende Grenzwerte für Feinstaub:

Jahresmittel PM10	20 µg/m³
Jahresmittel PM2,5	10 µg/m³
Tagesmittel PM10	50 µg/m³ ohne zulässige Tage, an denen eine Überschreitung möglich ist.
Tagesmittel PM2,5	25 µg/m³ ohne zulässige Tage, an denen eine Überschreitung möglich ist.

Die Richtwerte der WHO liegen damit deutlich unter den rechtswirksamen Grenzwerten der EU. **PM1 ist hier nicht erfasst**.

Nach wie vor gibt es keine Grenzwerte für Innenräume! [31]

6.4 Messung

Geräte zur Messung von Ultrafeinstaub gibt es längst. In der Praxis geschieht noch nichts. Hier nach dem Gesetzgeber zu rufen, heißt nicht, die allgemeine Regulierungswut der Behörden noch anzufeuern. Die Crux ist doch gerade die, dass durch die Gesetzes- und Verordnungsgeber völlig unsinnige Details geregelt werden wie die Form und Größe von Gurken, aber längst erkannte große Gefahren für jeden von uns wie die Verpestung unserer Atemluft werden nur halbherzig bekämpft [27].

Neue und erweiterte Messprogramme – über die einfache Massenkonzentration hinaus – tragen zur gesundheitlichen Bewertung luftgetragener Partikel bei, um die Korrelation mit Gesundheitseffekten genauer zu belegen und um Reduktionsziele effizienter zu gestalten. Die derzeit verwendeten massebasierten Messsysteme PM2.5 und PM10 bieten keine ausreichenden Informationen für eine quellenorientierte Luftreinhaltepolitik. Insbesondere für epidemiologische Forschung zur Exposition der Bevölkerung mit luftgetragenen Partikeln würde die Ergänzung der massebasierten Metriken um weitere Luftqualitätsindikatoren wie Ruß neue Impulse bieten. Dazu ist zukünftig ebenfalls eine bessere Abstimmung zwischen Messnetzbetreibern und epidemiologischen Kohortenstudien von großer Bedeutung. Allgemein lässt sich nach den Diskussionen auf dem VDI-Expertenforum festhalten, dass ein gravimetrisches (massebezogenes) Referenzmessnetz für die Messung des luftgetragenen Feinstaubs (PM2,5 und PM10) und die Kombination mit der Einführung neuer Messverfahren zur gesundheitlichen Bewertung luftgetragener Partikel zielführend ist [12].

Ein generelles Problem der Feinstaub-Bewertung steckt demnach in den verwendeten Messmethoden, die oftmals das Gewicht (Masse) der Partikel bemühen und stark vom Feuchtegehalt der Partikel je nach Wetterlage beeinflusst werden können. Weiterhin finden sich bei den üblichen

Messmethoden oftmals Abweichungen im Bereich bis zu 30% - und manchmal sogar bis zu 50%. Diese Abweichungen lassen sich zunächst dadurch vermeiden, dass nur die Trockenmasse des Feinstaubs ermittelt wird, was wiederum die Wirkung in der Luft je nach Kondensation vernachlässigt. Die Wirkung der Kondensation und Zusammenballung von Teilchen ist umso größer, je kleiner die einzelnen Teilchen sind. Dies ist der Grund für die Erweiterung der Messverfahren von PM10 auf PM2.5. Eine qualitative Analyse – etwa hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung – setzt jedoch eine Mindestmasse an Probensubstanz voraus, die mit den bisherigen Erfassungsmethoden oft nicht vorhanden ist [18].

Einige Probenahmegeräte zur Staubteilchenanalyse scheiden Teilchen aus Luftproben durch Thermophorese ab. Ein derartiges Gerät heißt Thermalpräzipitator [45].

Die Rußzahl [35]

Die Rußzahl ist eine Kennzahl für die Schwärzung, die im Abgas enthaltene staubförmige Emissionen bei der Rußzahlbestimmung nach DIN 51 402 Teil 1 (Ausgabe Oktober 1986) hervorrufen. Sie stellt somit ein Maß für die Rußkonzentrationen in Abgasen dar und wird durch Absaugen eines definierten Teilgasvolumen durch genormtes Filterpapier ermittelt. Unter Berücksichtigung des optischen Reflexionsvermögens des unbelegten Filterpapiers dient der optische Remissionsgrad des belegten Filters als Messwert für die Rußzahl Rz. Eine Rußzahl von Rz = 1 bedeutet eine Rußkonzentration von 60 bis 100 µg/m³.

Nach der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft liegt der Grenzwert für leichtölgefeuerte Anlagen bei einer Rußzahl von 1. **Für Dieselfahrzeuge hingegen gilt ein 1000-fach höherer Wert.** Die Rußzahl von Ölheizungsanlagen wird nach einem in der 1. BImSchV geregelten Messverfahren regelmäßig vom Schornsteinfeger bestimmt.

Anmerkung: Die Rußzahl ist nicht geeignet, die Gesundheitsgefahr von Feinstaub zu bestimmen. Sie ist ja **nur ein Maß der Gesamtmasse** - **nicht der Qualität**. Eine gemessene Masse kann unterschiedliche Qualitäten enthalten! Die Qualitäten PM2,5 und PM1 mit **Partikelzählung** sind zielführend!

6.5 Private Eigenverantwortung [3]

Ein neu eingebauter Kaminofen muss vom zuständigen Schornsteinfeger abgenommen werden.

Beim Kauf eines Kaminofens hinsichtlich der Größe (Wärmeleistung) auf den Wärmebedarf des Aufstellraumes achten (Teillastbetrieb erhöht den Schadstoffausstoß). Hier hilft der Schornsteinfeger weiter.

Beim Kauf eines Kaminofens auf die vom Hersteller angegebenen Schadstoffwerte achten und ein möglichst emissionsarmes Modell auswählen.

Besonders emissionsarm sind Pelletöfen und Pelletheizkessel, die den Blauen Engel tragen: beim Verbrennen von Pellets (Holzpresslingen) entsteht in der Praxis weniger Feinstaub als beim Verbrennen von Scheitholz oder Kohle (aber immer noch ein Vielfaches von Gas oder Heizöl).

Zu einer optimalen Verbrennung gehört auch eine optimale Abgasanlage – beim Ofenkauf bzw. Einbau berücksichtigen.

Nur die Brennstoffe verwenden, für die der Ofen eine Zulassung besitzt (siehe Betriebsanleitung). Andere Brennstoffe können zu höheren Schadstoffemissionen führen. Weder Papierbriketts, noch Paraffinbrennscheite oder gar Verpackungsabfälle dürfen in diesen Anlagen verbrannt werden.

Infomaterial: Weitere Tipps für Besitzer von Kaminöfen enthält der vom Umweltbundesamt herausgegebene Ratgeber Heizen mit Holz. Weitere Informationen auch im Internet unter www.richtigheizenmitholz.de oder www.ratgeber-ofen.de [9]

Staubsauger nur mit Feinfiltern (HEPA) benutzen, sich und vor allem seinen Kindern öfters die Hände waschen und Konsumprodukte meiden, die besonders schädliche Weichmacher, perfluorierte Chemikalien oder Phenole enthalten (Zutatenliste).

Fahrzeuge bzw. deren Ausrüstung sowie Fahrweise mit wenig Feinstauberzeugung wählen (Motoren mit Euro 6c, Abrieb von Reifen und Bremsbelägen).

6.6 Politische Verantwortung [15]

Eine Analyse der grenzüberschreitenden Luftverschmutzung und Klimaauswirkungen zeigt: Kohlekraftwerke kennen keine Grenzen – ihre Emissionen in Form von Feinstaubpartikeln und klimaschädlichen Treibhausgasen verschmutzen Länder und Staaten übergreifend.

Ein EU-weiter Kohleausstieg würde daher allen Bürgern des Kontinents zugutekommen. Das ist das Ergebnis einer neuen Studie, die die Health and Environment Alliance (HEAL), WWF, Climate Action Network (CAN) und Sandbag veröffentlicht haben.

Der Report mit dem Titel „Europe's Dark Cloud" zeigt erstmals die grenzüberschreitenden Gesundheitsfolgen durch Luftverschmutzung von europäischen Kohlekraftwerken. Dabei sind Auswertungen von 257 der 280 Kraftwerke verfügbar. Diese zeigen, dass die Emissionen aller Kraftwerke für 22.900 vorzeitige Todesfälle, Zehntausende von Herz- und Lungenkrankheitsfällen und bis zu 62,3 Milliarden Euro an Gesundheitskosten verantwortlich sind.

„Der Report bestätigt erneut, dass **unsere Abhängigkeit von Kohlestrom auf den Rücken der Menschen ausgetragen wird und alle Europäer einen hohen gesundheitlichen Preis dafür zahlen**. Jedoch wird kein EU-Land das Problem der Luftverschmutzung im Alleingang lösen können. Wir hoffen daher, dass die EU und ihre Mitgliedsstaaten sich die Ergebnisse wirklich zu Herzen nehmen und für saubere Luft kämpfen", sagt Julia Huscher, Referentin für Energie und Gesundheit von der Health and Environment Alliance (HEAL).

„Eines ist klar: Wir brauchen einen europaweiten Kohleausstieg. Das muss sowohl von der EU-Klimapolitik als auch in den Kohleländern selbst vorangetrieben werden. Kohlestromerzeugung hat verheerende Folgen für das Klima und die Gesundheit der Europäer. Es liegt im Interesse aller, gemeinsam einen Kohleausstieg in allen EU-Staaten einzuleiten", sagt Viviane Raddatz, Klimaschutzreferentin beim WWF Deutschland. „Für Deutschland fordern wir, vorauszugehen und in den kommenden Monaten einen sozialverträglichen Fahrplan zum Ausstieg aus der Kohleverstromung zu beschließen, der bis spätestens 2035 komplett umgesetzt wird."

Die europäischen Grenzwerte für Feinstaub sind zu hoch [36]

Das Institut für Epidemiologie II am Helmholtz Zentrum München stellt fest: "**Besonders alarmierend sind die Gesundheitsschädigungen bereits unterhalb der vorgeschriebenen Grenzwerte"**. Eine Studie unterstützt daher die Forderungen, diese Grenzwerte abzusenken, da Feinstaubbelastungen unter dem EU-Grenzwert die Gesundheit beeinträchtigen ….

Der in der EU geltende Grenzwert für die jährliche Feinstaubbelastung mit Partikeln in der Größenordnung von maximal 2,5 µm liegt seit dem Jahr 2008 bei 25 µg/m³. Die Weltgesundheitsorganisation empfiehlt dagegen einen Grenzwert von 10 µg/m³. Die Forscher berechneten Folgendes:

Ein Anstieg der jährlichen Konzentration von Feinstaubpartikeln des Typs PM2,5 um 5 µg/m³ Luft führt zu einem 12% höheren Risiko für Infarkt oder Angina pectoris.

Erhöhte sich die Belastung mit dem Feinstaubtyp PM10 um 10 µg/m³ Luft, stieg das Risiko für Herzprobleme um 13%.

7. Abscheiden von Feinstaub (Filtertechnik)

Insbesondere für größere Anlagen werden bereits Abscheider angeboten. Sie arbeiten nach unterschiedlichen Prinzipien. Eine einfache, kostengünstige Form der Rauchgasentstaubung bietet der Zyklon-Abscheider. Dabei wird das Rauchgas tangential in ein Rohr, den Zyklon, geleitet, wodurch der Gasstrom in Rotation gerät. Der Zyklon verjüngt sich zur Auslassseite hin. Aufgrund der Drehimpulserhaltung erhöht sich mit abnehmendem Rohrquerschnitt die Drehgeschwindigkeit. Die Fliehkräfte drängen die Staubpartikel an das Gehäuse, von wo aus sie abgeschieden werden. Bekannt ist diese Technik von beutellosen Staubsaugern. Zyklone erreichen bei sehr feinen Partikeln aus optimierten Hackschnitzelkesseln jedoch nur geringe Abscheidegrade. Nachteilig für den Energieverbrauch ist zudem der hohe Druckverlust. Mit Gewebefiltern können je nach Filtermaterial Reingaswerte von 2 mg/m³ bis 20 mg/m³ Staub erreicht werden. Klebrige Rußpartikel führen aber zu instabilem Filterbetrieb, der aufwendige verfahrenstechnische Zusatzmaßnahmen erforderlich macht. Notwendige Brandschutzmaßnahmen erhöhen die Investitionen und der prinzipbedingte Druckverlust erhöht die Betriebskosten [8].

7.1 Kleinfeuerungsanlagen mit Holz

Wo Rauch ist, ist auch Feuer. Im Gegensatz zu Gas verbrennt Holz immer mit einem gewissen Rußanteil. Das lässt sich nicht verhindern. Deshalb gibt es diverse Filtersysteme für sogenannte Kleinfeuerungsanlagen. Um den Zug des Schornsteins nicht zu reduzieren, setzten einige Konzepte auf elektrostatische Abscheidung. Dabei wird ein Spannungsfeld erzeugt, das die Partikel im Rauchgas auflädt. Sie "kleben" danach elektrostatisch an der metallischen Wand des Schornsteins und können einfach mit dem Kehrbesen entfernt werden. Das Problem ist der begrenzte Wirkungsgrad solcher Filtersysteme [6].

7.1.1 Kaminöfen

Modell „Pellwood“

Der Kaminofen Modell „Pellwood“ ist eine Kombination aus Sturzbrandofen und neu entwickeltem, zweistufigen Pelletbrenner. Im dreistufigen "Pellwood"-Ofen werden Holzpellets in der 1. Stufe pyrolytisch zersetzt und in Brenngas überführt. In der 2. Stufe erfolgt die Verbrennung/vollständige Oxidation der brennbaren Gase. Der komplette Ausbrand sowie die Wärmeübertragung an die Umgebung vollzieht sich in der 3. Stufe im Sturzbrandofen mit integrierten und von ETE hergestellten Metalloxidkatalysatoren, welche eine vollständige Oxidation von Kohlenstoffmonoxid, flüchtige organische Verbindungen und Ruß ermöglichen. Die Feinstaubwerte fallen mit deutlich < 10 mg/m³ für Kohlenmonoxid deutlich < 20 mg/m³ äußerst gering aus und wurden von den Mitarbeitern des Brookhaven National Laboratory in dieser niedrigen Konzentration bisher noch nicht im Abgas einer Feuerungsanlage gemessen. Zudem kann der Pellwood auch mit Scheitholz betrieben werden und erreicht dabei ähnlich niedrige Emissionswerte (Deutsches Biomasseforschungszentrum Forschungsschwerpunkt Katalytische Emissionsminderung) [1].

Die erste Stufe erzeugt das Brenngas durch Pyrolyse. In der zweiten Stufe wird dieses Brenngas mit Luftsauerstoff vermischt und verbrannt - möglichst vollständig - und in der dritten Stufe erfolgt eine Feinreinigung durch den Katalysator. Das ergibt die sehr, sehr niedrigen Emissionswerte. Mit dieser Technik hält Pellwood die aktuellen Schadstoffgrenzwerte für Kaminöfen locker ein. In der Abluft sind nur noch 0,01 g/m³ Staub und 0,02 g/m³ Kohlenmonoxid. Derartig geringe Werte seien zuvor noch bei keinem Ofen gemessen worden [2].

Modell „Wodtke“ [65]

© Wodtke

Die Wodtke HiClean-Filter reduzieren effektiv Emissionen und Brennstoffverbrauch. Ein wichtiger Schritt zur Vermeidung von Feinstaub. Und die Besitzer dürfen **auch bei Feinstaubalarm mit Holz heizen**. **Anm**.: wie lange noch?

Die Wodtke HiClean-Filter Technik erhöht die Verbrennungsstabilität über alle Phasen des Verbrennungsprozesses und sorgt so für einen besonders emissionsarmen Abbrand bei gleichzeitig hohem Wirkungsgrad. **Anm.: Technische Daten zu Feinstaubemission fehlen leider.**

In Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik hat Wodtke einen HiClean-Filter entwickelt, der wartungsfrei und äußerst langlebig ist und keine zusätzliche Elektronik benötigt. Die HiClean-Filter- Technik ist optimal auf das jeweilige Ofen-Modell angepasst, so dass die Brennraumgeometrie bzw. die gesamte Konstruktion im Zusammenspiel mit der Filtertechnik eine effiziente Einheit bildet.

Das Ergebnis ist eine verbesserte Verbrennung sowie Emissionen, die die gesetzlichen Anforderungen weit unterschreiten. Bereits sechs Modellreihen Wodtke Kaminöfen (Stage F9, Stage FS14, New Look F9, New Look FS14, Holiday und Tio air+) sind mit integrierter wodtke HiClean-Filter-Technik auf dem Markt erhältlich.

© Wodtke Komfortable Handhabung: Der Filter ist für eine Revision leicht zugänglich.

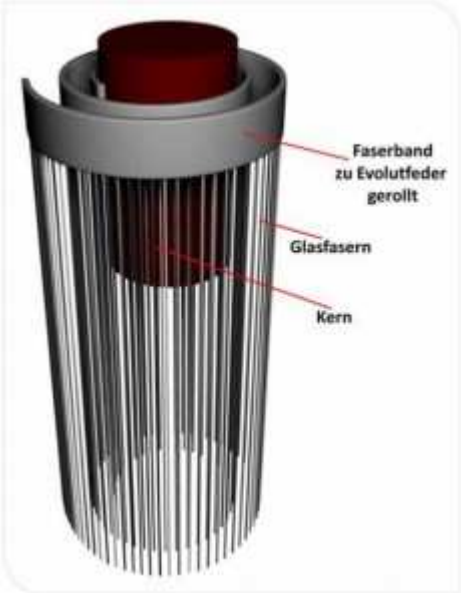
7.1.2 Feinstaubfilter mit Glasfasern [2]

Das Institut für Technische Chemie des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) hat einen Feinstaubfilter mit Glasfasern im Labormaßstab entwickelt, der nahezu jedes Staubteilchen einfängt, dem Rauchgas aber kaum Widerstand entgegensetzt.

Der Staubfänger besteht aus tausenden haarfeinen Glasfasern, jeweils 50 cm lang. Diese hängen einfach im Rauchgasstrom. Feine Ruß- und Staubpartikel bleiben auf Grund von Diffusion an der Oberfläche der Fasern hängen. Ein Teilchen gesellt sich zum anderen, sodass die Anlagerungen immer größer werden. Wenn sie ein bestimmtes Gewicht erreicht haben lösen sie sich von den Fasern, die vom Abgasstrom sanft bewegt werden. Sie fallen nach unten in einen Auffangbehälter, der hin und wieder geleert werden muss.

Im Gegensatz zu anderen Abscheidern ist der am KIT entwickelte **wartungsfrei**, da er sich ständig selbst reinigt. Weil das Abgas durch die senkrecht hängenden Fasern strömt ist der Widerstand so gering, dass keine Gefahr besteht, das Abgas könne nicht ins Freie gelangen. “Existierende Kleinfeuerungsanlagen können mit dem Filter kostengünstig nachgerüstet werden”, sagen die Entwickler.

Dazu müsste der Faserfilter mit einem Industriepartner, der noch gesucht wird, aber zur Serienreife entwickelt werden. Dann aber gäbe es endlich eine Aussicht darauf, einen Kaminofen auch ohne schlechtes Gewissen wieder anzufeuern.



So sieht der Filter für Feinstaub aus. (Bild: KIT)

7.1.3 Feinstaubfilter mit Glaswolle [6]

Ingenieure der RWTH Aachen haben einen Filter aus Glaswolle entwickelt. Er sitzt in einem Blechkasten auf dem Schornstein. Über ein Gebläse wird der Rauch durch die Filtermatten gesaugt. Der Wirkungsgrad liegt bei über 90%. Allerdings müssen die Filtermatten regelmäßig erneuert werden und das Gebläse verbraucht Strom. Noch ist dieser Filter aber nicht auf dem Markt.

Filter auf einem Schornstein.

7.1.4 Feinstaubfilter mit „Pall-Ringen“ (Forschung Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP) [7]

IBP stellt ein innovatives System vor, das der Effizienzsteigerung und der Schadstoffminderung im Praxisbetrieb von Einzelraumfeuerstätten und Heizkesseln für feste Biobrennstoffe dient. Die neuartige Einbautentechnik ermöglicht sowohl eine Abscheidung von Feinstaub als auch eine Oxidation von brennbaren Rauchgasbestandteilen.

Das Wirkungsprinzip des Moduls basiert auf günstigen Oxidationsbedingungen während der Verbrennung. Es speichert Wärme, die für eine thermische Oxidation von Schadstoffen genutzt werden kann, auch wenn die Rauchgastemperaturen sinken. Das Einbautenmodul sorgt für eine intensive Durchmischung der Rauchgase und verlängert deren aktive Verweilzeit.

In den für Emissionen ungünstigen Betriebsphasen von Öfen und Kesseln, wie z. B. beim Nachlegen von Holz, sorgt das heiße Modul für die kontinuierliche Oxidation nicht verbrannter Abgasbestandteile und

stabilisiert so den Verbrennungsvorgang. Geringere Verluste im Abgas steigern gleichzeitig die Effizienz der Holzverbrennung. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass die Verbrennung bei Einsatz der Einbautentechnik mit deutlich geringerem Luftüberschuss betrieben werden kann und damit die Wirkungsgrade der Verbrennung merklich ansteigen.

Dank der flexiblen Modulbauweise kann diese Technik in allen Einzelraumfeuerungsanlagen ohne großen technischen Aufwand sowie ohne Bedarf an speziellen Fachkompetenzen integriert werden. Vorteilhaft ist auch die natürliche und nachhaltige Funktion der Oxidation ohne jegliche katalytische Beschichtung. Die Technik ist sehr langlebig. Strömungswiderstand bzw. Druckverlust sind bauartbedingt sehr gering, die Technik ist so **ideal für im Naturzug betriebene Einzelraumfeuerungsanlagen** geeignet. Feinstäube ließen sich problemlos um bis zu 86% mindern.“

Pall-Ringe; © Fraunhofer IBP

Dank der technischen, ökonomischen und ökologischen Vorteile hat die Einbautentechnik bereits großes Interesse und Akzeptanz in der Branche Kleinfeuerungsanlagenhersteller erlangt und wird bereits mehrfach, u.a. von Ambio GmbH, Camina Schmid Feuerungstechnik GmbH & Co. KG, Wodtke GmbH und CTM Deutschland verwendet. Diese innovative, zukunftsträchtige Technik ist aber nicht nur für Einzelraumfeuerungen, sondern auch für den Einsatz in automatisch sowie in handbeschickten Heizkesseln geeignet. Das IBP strebt daher an, effiziente Einbautensysteme für weitere Anwendungen im Bereich der Kleinfeuerungsanlagen gemäß 1. BImSchV zu entwickeln.

7.1.5 Feinstaubfilter elektrostatisch „Carola Clean Air“ (CCA) [8]

Trotz großer Fortschritte der Verbrennungstechnik entstehen bei der Holzverbrennung gesundheitsschädliche Feinstäube. Elektrostatische Feinstaubabscheider filtern bis zu 90% der Partikel-Emissionen von Biomassekesseln. Holzfeuerungen können dadurch ein breiteres Brennstoffsortiment nutzen und dennoch die „verschärften“ Anforderungen der 1. Bundesimmissions-Schutzverordnung erfüllen. Der große Vorteil: Sowohl neue Heizungen als auch Altanlagen können vom neuen System profitieren.

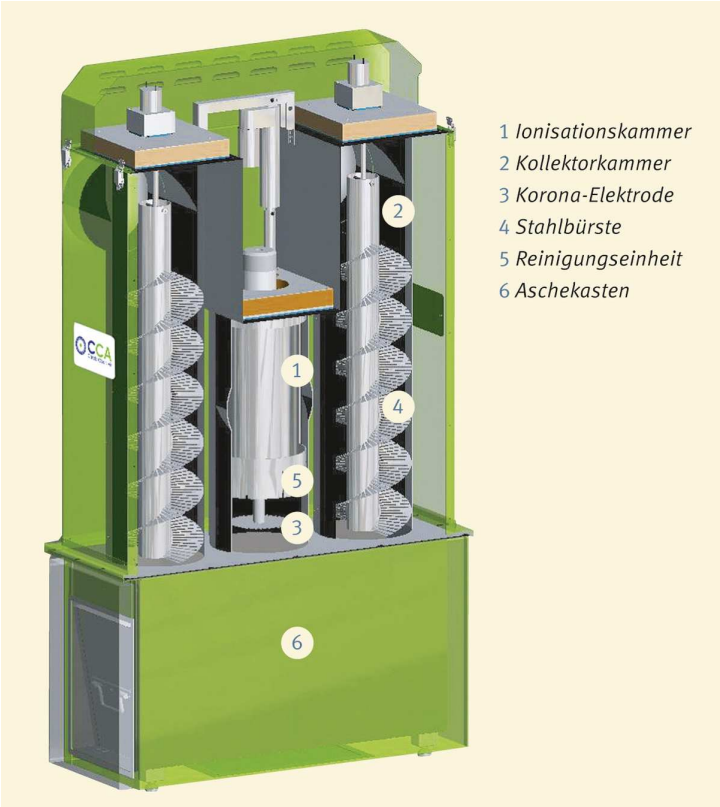
Partikel elektrisch laden und abscheiden

Der Abscheider wird direkt zwischen Heizkessel und Schornstein in den Rauchgasweg installiert. Er besteht aus einer Ionisationskammer und einer Abscheidekammer, die das Rauchgas nacheinander durchströmt. In der Ionisationskammer sorgt eine Korona-Entladung an einer Hochspannungselektrode dafür, dass die Partikel im Rauchgas elektrisch aufgeladen werden. Anschließend gelangt das Rauchgas in die rohrförmige Abscheidekammer und strömt entlang einer spiralförmigen, geerdeten Stahlbürste. Die Teilchen entladen sich an den Borsten und scheiden darauf ab. Das derart gereinigte Rauchgas strömt weiter in den Kamin.

Die Stahlbürste rotiert in periodischen Abständen über eine Abstreifkante und reinigt dabei die Wände der Kollektorkammer sowie ihre Borsten. Der Staub fällt in einen Aschekasten. **Die Leerung des Aschekastens ist nahezu die einzige Wartungsarbeit.** Die trockene Reinigung verspricht besondere Vorteile: Geringeren Installationsaufwand und es fallen nur trockene Stäube an. Man benötigt keine behördliche Genehmigung, um rußhaltiges Reinigungswasser zu entsorgen. Dank der regelmäßigen Reinigung der Elektroden bleibt die Effizienz auch unter schwierigen Verbrennungsbedingungen erhalten.

Der Filter kann bei entsprechender Kaminauslegung ohne Gebläse betrieben werden. Das Konstruktionsprinzip erlaubt es, den Abscheider dem Kessel nachzuschalten oder direkt in den Kessel zu integrieren. Da keine zusätzlichen Öffnungen im Abscheider erforderlich sind, ist der Austritt von giftigen Abgasen in das Gebäude konstruktiv bedingt unmöglich.

Der Stromverbrauch für die Korona-Entladung und den Antrieb der automatischen Bürstenreinigung beträgt abhängig von der Baugröße zwischen 40 und 100 Watt.



Aufbau der Rauchgasreinigung. © CCA – Carola Clean Air GmbH

Der Technischen Überwachungsverein (TÜV) bestätigte unter anderem den hohen Abscheidegrad, die elektrische Sicherheit und die Rußbrandbeständigkeit. Der Abscheider ist damit der erste trockene Partikelabscheider mit vollautomatischer Reinigung, der für holzgefeuerte Kesselanlagen im Leistungsbereich von 50 bis 200 kW am deutschen Markt zugelassen ist. Mittlerweile produziert die neugegründete CCA – Carola Clean Air GmbH elektrostatische Partikelabscheider für private und industrielle Anlagen mit einer Leistung zwischen 25 und 1.000 kW.

7.2 Großfeuerungsanlagen mit Holz [50]

Großfeuerungsanlagen kommen im privaten Bereich nicht vor, haben meist eine wesentlich andere Verbrennungstechnik als Kleinfeuerungsanlagen und unterliegen schärferen Vorschriften. Hier werden diese nicht aufgeführt. Es folgt nur eine kurze Beschreibung.

Biomasseheizkraftwerk

Biomasseheizkraftwerke arbeiten mit festen Bioenergieträgern, beispielsweise Holzhackschnitzeln aus der Landschafts- oder Waldpflege, geschreddertem Gebraucht- und Altholz, Halmgut, Bioabfall und getrocknetem Klärschlamm. Sie liefern Strom und Wärme und liegen in ihrem Leistungsbereich über den Anlagen zur reinen Wärmeerzeugung. Der Brennstoff bestimmt mit seinen Eigenschaften die Konstruktionsmerkmale des Kessels, der Feuerung und der Abgasreinigung. So müssen beispielsweise bei der Verbrennung von Altholz besondere Anforderungen an die Abgasreinigung erfüllt sein. In der Erprobung befindet sich auch der Einsatz von Stirling Motoren und von Biomassevergasungstechniken mit anschließender Umsetzung in Gasturbinen und Brennstoffzellen zur Stromerzeugung mit Abwärmenutzen.

Scheitholzvergaser Der so genannte Scheitholzvergaserkessel kann bei Einsatz von trockenem Holz Brauch- und Heizungswasser bereitstellen. Die Leistung solcher Kessel reicht von 14 kW bis zu 100 kW und

reicht somit für kleinere und sogar größere Wohngebäude aus. Besonders emissionsarme Scheitholzvergaserkessel werden staatlich durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) gefördert. Für die holzverarbeitende Industrie stehen auch Anlagen in größerer Leistungsklasse zur Verfügung.

Holzhackschnitzel

Holzhackschnitzel kommen meist in größeren Anlagen und Heizwerken bis 1 MW Feuerungswärmeleistung zum Einsatz, so z.B. in Landwirtschaftsbetrieben, Kommunen und Gewerbe. Während im privaten Bereich meist Waldholzhackschnitzel verfeuert werden, wird in den größeren Biomasseanlagen überwiegend Altholz und Industrierestholz verwendet. In Ermangelung entsprechender DIN-Normen werden sie hierzulande meist unter Zuhilfenahme der österreichischen Norm M7133 gehandelt. Das Leistungsspektrum der Hackschnitzelfeuerungen reicht von 15 kW bis in den zweistelligen Megawattbereich, etwa für Heizkraftwerke.

8. Diskussion

Die Aufzählungen von vorzeitigen Todesfällen durch Feinstaub ist zwar sehr beeindruckend. Es fehlt dazu aber immer noch der juristisch unanfechtbare Nachweis nach Menge und Qualität bezogen auf die Feinstauberzeuger und Belastungsgebiete. Gesetzgeber und Verwaltung sehen sich daher nicht zum Handeln veranlasst. Grund ist der Mangel an Messprogrammen mit geeigneten Verfahren. Bei der Feinststaubmessung (PM2,5 und kleiner) ist die Partikelzählung an Stelle der Massemessung wichtig.

Solange es keine Gesetze, Verordnungen und Gebote auf dem Stand der Technik gibt, ist kein Fortschritt in der Feinstaubsituation zu erwarten.

Eine grobe Schätzung mit Einbezug der stärksten Feinstauberzeuger und der bekannten Gebiete mit starker Belastung führt zu folgenden Erkenntnissen bzw. Erfordernissen:

Ein Feinstaub-Monitoring mit effektiven Messgeräten ist notwendig zwecks politisch tragfähiger Beweissicherung.

Holzfeuerungen ohne Feinstaubfilter in dicht besiedelten Gebieten und etwa 10 km Umkreis davon gehören verboten. In ländlichen Gebieten mit verbreiteter Holzfeuerung sind Filter sehr zu empfehlen.

Kfz ohne Feinstaubfilter gehören wegen der Verkehrsdichte nicht in Wohngebiete und auch nicht in den Fernverkehr (damit verbleiben ländliche Gebiete).

Agrar- und Viehwirtschaft müssen weiträumig die Stickstoff-Freisetzung minimieren. Massentierhaltung – nicht nur im Einzugsgebiet von belastetem Grundwasser - gehören verboten.

Zulassungen von Schiffsantrieben müssen dem Stand der Technik entsprechen. Je nach Hoheitsgebiet soll das Benutzen von Seewegen oder Häfen entsprechend beschränkt werden.

Die Elektrifizierung aller Verkehrsmittel ist ohne Verzug umzusetzen - allen voran der ÖPNV. Außerdem gehört auch die Verkehrsdichte gesenkt (wegen Feinstaub aus Abrieb).

„Alternative Fakten“:

Beim Verbrennen von Holz werde nur so viel des klimaschädlichen Treibhausgases Kohlendioxid freigesetzt, wie vorher beim Pflanzenwachstum gebunden wurde. So lautet das Argument der „Klimaneutralität“. Fest steht: Eine Fichte wächst etwa 100 Jahre für 3,4 m³ Nutzholz entsprechend 700 kg C bzw. 2600 kg CO2. Das CO2 ist aber in ggf. einer Heizperiode wieder frei gesetzt. Also müsste das 100-fache nachgepflanzt werden, um echt zu kompensieren, wenn das Jahr für Jahr so weiter gehen sollte – der Waldbestand wäre so entsprechend zu vergrößern **- das wäre mehr als die doppelte Fläche Deutschlands**. Außerdem bedeutet zunehmender Feinstaub seitens der Holzheizungen konkret ebenfalls zunehmend freies CO2 – das beweist, dass mehr verbraucht wird als nachwächst [59].

Außerdem verbraucht die Holzwirtschaft zusätzliche Energie (mit Freisetzung von CO2 und Feinstaub) für die Gewinnung, Verarbeitung und Verteilung von Holz.

Zusätzlich soll die Holzfeuerung fossile Energieträger „schonen“. Egal, ob mit Holz oder fossil gefeuert wird – eine bestimmte Heizleistung wird von einem Ofen verlangt. Die ist bestimmt durch die Kohlenstoffmasse – egal ob von Holz oder Kohle oder Öl – nur die Masse machts. Dementsprechend ist dann der CO2-Ausstoß kaum verschieden – die Feinstaubemission aber schon. Fossile Energiequellen gehen ohne Dekarbonisierung so oder so zur Neige.

Der Verband der Automobilindustrie hält eine regelmäßige Straßenreinigung in den Hauptverkehrsstraßen für effizienter als die Lösung des Feinstaubproblems durch die Einführung von Dieselrußfiltern. Laut einer älteren vom Berliner Senat beauftragten Studie sollen 13% bis 16% der Feinstaub-Belastung von Ablagerungen auf den Straßen stammen [18]. **Anm**.: das dürfte nur mit einem enormen Wasserverbrauch zu schaffen sein.

Angesichts der häufigen Grenzwert-Überschreitungen in deutschen Städten argumentieren viele Politiker, die EU-Richtlinie 1999/30/EG sei nicht einzuhalten, die Grenzwerte müssten daher erhöht werden [18]. **Anm**.: Da ist fraglich, für wen oder was diese Politiker Verantwortung tragen – für die Gesundheit ihrer Wähler wahrscheinlich nicht!!!

9. Quellenverzeichnis

Diese gesamte Abhandlung ist eine Stoffsammlung unter Verwendung der folgend angegebenen Quellen. Es handelt sich dabei um Literaturstellen (z. T. wörtlich zitiert) der Jahre 2015 bis Anfang 2017 und um einige ältere, noch aktuelle Informationen des Bundesumweltministeriums.

[1] Int. Wirtschaftsforum Regenerativer Energien/ IWR Online/ http://www.iwr.de/ vom 13.4.2016 „Sauberer Kaminofen aus Deutschland gewinnt US-Feuerungs-Wettbewerb“

[2] Wirtschaftswoche Green Economy/ Wolfgang Kempkens/ http://green.wiwo.de/feinstaub-neuer-filter-soll-kamin-abgase-endlich-in-den-griff-bekommen/ vom 30.3.2016 „Neuer Filter soll Kamin-Abgase endlich in den Griff bekommen"

[3] BMU/ http://www.bmub.bund.de/themen/gesundheit-chemikalien/gesundheit-und-umwelt/luftreinhaltung/feinstaub/ vom 7.1.2016 „Feinstaub“ --- darin der Untertitel: „Kaminöfen und andere Holzfeuerungsanlagen im Haus“

[4] BMU/ https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/feinstaub/ „Feinstaub“ vom 27.7.2015

[5] Wikipedia/ https://de.wikipedia.org/wiki/ „Holzheizung“ vom 29.10.2016

[6] ARD Das Erste/ W wie Wissen/ http://www.daserste.de/information/wissen-kultur/w-wie-wissen/kaminofen-102.html /“Kaminöfen: Nebenwirkungen der Behaglichkeit“ vom 20.10.2016/ Autor: Björn Platz (NDR)

[7] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe/ Dr. Hermann Hansen// Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Fachgebiet Verbrennungssysteme, Dr.-Ing. Mohammad Aleysa, PM 2016-41/ http://www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/?tx_ttnews%5Byear%5D=2016&tx_ttnews%5Bmonth%5D=09&tx_ttnews%5Bday%5D=22&tx_ttnews%5Btt_news%5D=9328&cHash=b0676e9d9d400af871ec549c6c92770a / „Höhere Effizienz und weniger Schadstoffe bei Holzöfen. Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP entwickelt zukunftsträchtige Einbautechnik für Kaminöfen und Heizkamine“ vom 22.9.2016

[8] BMU BINE Projektinfo 06/2016/ http://www.bine.info/themen/erneuerbare-energien/publikation/sauber-heizen-mit-holz/ „Sauber heizen mit Holz“ vom 24.5.2016

[9] Ökonews Österreich/ Holler/ http://www.oekonews.at/index.php?mdoc_id=1106356/ „Heizen mit Holz … Scheitholz macht heute rund die Hälfte der erneuerbaren Energieträger aus, die in Deutschland zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden“ vom 15.4.2016.

[10] Klimaretter /Verena Kern/ http://www.klimaretter.info/wohnen/hintergrund/20869-die-luege-vom-oekologischen-holzofen /“Die Lüge vom ökologischen Holzofen“ vom 17.3.2016

[11] Süddeutsche Zeitung/ Joachim Becker/ http://www.sueddeutsche.de/auto/feinstaub-autohersteller-wehren-sich-gegen-neue-feinstaubwerte-1.3218309/ „Feinstaub - Autohersteller wehren sich gegen neue Feinstaubwerte“ vom 23.10.2016

[12] Sonnenseite .F. Alt/ VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. | 2016 / http://www.sonnenseite.com/de/umwelt/feinstaub-kann-negative-auswirkungen-auf-die-menschliche-gesundheit-haben.html/ „Feinstaub kann negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben. VDI fordert flächendeckende Messung von Ruß im Feinstaub“ vom 9.10.2016

[13] Umweltbundesamt/ www.umweltbundesamt.de/ www.fuer-mensch-und-umwelt.de/ „STICKSTOFF – ZUVIEL DES GUTEN?/ Überlastung des Stickstoffkreislaufs zum Nutzen von Umwelt und Mensch wirksam reduzieren“ ohne Datum

[14] Die Zeit/ Spektrum/ von Jan Osterkamp/ http://www.spektrum.de/news/feinstaubbelastung-koennte-gehirn-schaedigen/1421941?utm_source=zon&utm_medium=teaser&utm_content=news&utm_campaign=ZON_KOOP/„FEINSTAUBBELASTUNG KÖNNTE GEHIRN SCHÄDIGEN. Besonders winzige Feinstaubpartikel gelten auch als besonders gefährlich: Sie könnten direkt ins Hirn gelangen und schwere Langzeitfolgen haben….“ vom 5.9.2016

[15] Sonnenseite/ F. Alt/ WWF | Health and Environment Alliance (HEAL) | Climate Action Network (CAN) |Sandbag 2016
http://www.sonnenseite.com/de/umwelt/wie-eu-kohlestaaten-den-ganzen-kontinent-schaedigen.html/ „Wie EU-Kohlestaaten den ganzen Kontinent schädigen“ vom 13.7.2016

[16] Deutschlandfunk/ Volker Mrasek/ http://www.deutschlandfunk.de/messungen-luftverschmutzung-ueber-oel-plattformen.676.de.html?dram:article_id=353878 / „Messungen - Luftverschmutzung über Öl-Plattformen“ vom 11.5.2016

[17] Die Zeit/ Von Dirk Asendorpf/ http://www.zeit.de/2016/17/feinstaub-autos-stuttgart-fahrverbot-reduzierung / „Feinstaub - Klein, aber tödlich. Ständig wird in Stuttgart Feinstaubalarm ausgelöst. Sind nur die Autofahrer daran schuld?“ vom 28.4.2016

[18] Wikipedia/ https://de.wikipedia.org/wiki/Feinstaub / „Feinstaub“ 5.1.2016

[19] BI Bahnlärm/ http://www.bi-bahnlaerm.de/iframeseite/staub.html / „Staub“ vom 26.8.2016

[20] Der Tagesspiegel/ VON DAGMAR DEHMER/ http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/klimawandel-ganz-ohne-geht-es-nicht-aber-/14866480.html / „Ganz ohne geht es nicht, aber ...“ vom 23.11.2016

[21] Klimaretter/ Sandra Kirchner/ http://www.klimaretter.info/forschung/hintergrund/21523-kohlekraftwerke-schaden-der-bevoelkerung / „Kohlekraftwerke schaden der Bevölkerung“ vom 5.7.2016

[22] Süddeutsche Zeitung/ Von Christoph Behrens/ http://www.sueddeutsche.de/wissen/luftverschmutzung-toedliche-kohle-glocke-ueber-europa-1.3063507 / „Luftverschmutzung - Tödliche Kohle-Glocke über Europa“ vom 5.7.2016

[23] Deutschlandfunk/ Annegret Faber/ http://www.deutschlandfunk.de/emissionsarmer-kaminofen-heizen-ohne-russ.676.de.html?dram:article_id=354370 / „Emissionsarmer Kaminofen - Heizen ohne Ruß“/ vom 17.5.2016

[24] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe/ Dr. Hermann Hansen / Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik/ Désirée Kalkowski / http://www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/?tx_ttnews%5Byear%5D=2015&tx_ttnews%5Bmonth%5D=10&tx_ttnews%5Bday%5D=06&tx_ttnews%5Btt_news%5D=8463&cHash=3b559731fb551b445708babc236d116d / „Richtig Heizen mit Holz/ Broschüre von FNR und HKI zeigt, worauf es ankommt“ vom 6.10.2015

[25] BML/ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe/ HKI - Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e. V. / http://richtigheizenmitholz.de// Broschüre „HEIZEN MIT HOLZ - SO GEHT´S RICHTIG !“ von 2014

[26] Bild der Wissenschaft/ Nadja Podbregar Robert Allen (University of California-Riverside) et al., Nature Climate Change, doi: 10.1038/nclimate2827 / http://www.wissenschaft.de/erde-weltall/klima-wetter/-/journal_content/56/12054/8706048/Die-Welt-wird-dunstiger / „Die Welt wird dunstiger“ vom 10.11.2015.

[27] Ges. f. r. Essen und Lebensgestaltung/ R.Ehlers / http://www.essenspausen.com/vw-betrug-grobstaub-feinstaub-und-ultrafeinstaub / "VW-Betrug: Grobstaub, Feinstaub und Ultrafeinstaub" vom 25.10.2015

[28] Bündnis Südost / Bürgerinitiative gegen Fluglärm Raunheim www.bi-fluglaerm-raunheim.de Pressemitteilung BIFR/ Hausmann/ http://www.xn--bndnissdost-thbg.de/2015/10/hohe-belastung-mit-ultrafeinstaub-aus-flugzeug-abgasen/ „Hohe Belastung mit Ultrafeinstaub aus Flugzeug-Abgasen“ vom 18.10.2015.

[29] Wirtschaftswoche Green Economy/ Wolfgang Kempkens / http://green.wiwo.de/todesursache-smog-warum-schlechte-luft-so-gefaehrlich-ist / „Todesursache Smog: Warum schlechte Luft so gefährlich ist“ vom 18.9.2015

[30] Wirtschaftswoche Green Economy/ Tobias Finger in Umwelt/ http://green.wiwo.de/staedte-europa-bekommt-luftverschmutzung-nicht-in-den-griff / "Dicke Luft: Europa bekommt Feinstaubbelastung nicht in den Griff" vom 24.2.2015

[31] Nanoenergy Österreich/ © by nanoenergy ® 2015 / http://www.nanoenergy.at/infothek/ueber-fein-ultrafeinstaeube / „Staub, Fein- und Ultrafeinstaub“ vom 26.8.2016

[32] Wirtschaftswoche Green Economy/ Wolfgang Kempkens/ http://green.wiwo.de/luftverschmutzung-dramatische-werte-in-ganz-europa/ "Luftverschmutzung: Dramatische Werte in ganz Europa" vom 22.12.2015

[33] Ingenieur.de / Klara Papp/ http://www.ingenieur.de/Themen/Klima-Umwelt/Die-17-schmutzigsten-Staedte-Deutschlands / „RANKING - Die 17 schmutzigsten Städte Deutschlands“ vom 2.10.2015

[34] Klimaretter/ Joachim Wille/ http://www.klimaretter.info/umwelt/hintergrund/18164-dicke-luft-in-der-stadt / „Dicke Luft in der Stadt“ vom 11.2.2015

[35] Wikipedia / https://de.wikipedia.org/wiki/Ru%DFzahl / „Rußzahl“ vom 10.9.2014

[36] Der Spiegel/ wbr/AFP/ http://www.spiegel.de/gesundheit/diagnose/eu-studie-feinstaubbelastung-unterm-grenzwert-erhoeht-infarktrisiko-a-945000.html / „EU-Studie: Feinstaub erhöht Infarktrisiko schon unterm Grenzwert“ vom 22.1.2014

[37] Deutschlandfunk/ Volker Mrasek/ http://www.deutschlandfunk.de/abgase-im-flugverkehr-feinstaub-kommt-auch-von-oben.676.de.html?dram:article_id=355766 / „Abgase im Flugverkehr - Feinstaub kommt auch von oben“ vom 31.5.2016

[38] Klimaretter/ klimaretter.info/jst/ http://www.klimaretter.info/umwelt/nachricht/21826-kreuzfahrer-weiter-mit-schweroel-unterwegs / „Kreuzfahrer weiter mit Schweröl unterwegs“ vom 29.8.2016

[39] Bild der Wissenschaft/ Huan Liu (Tsunghua University, Beijing) et al., Nature Climate Change, doi: 10.1038/nclimate3083 Nadja Podbregar / http://www.wissenschaft.de/leben-umwelt/umwelt/-/journal_content/56/12054/12604216/Schwimmende-Dreckschleudern / „Schwimmende Dreckschleudern“ vom 19.7.2016

[40] Klimaretter/ Friederike Meier/ http://www.klimaretter.info/mobilitaet/nachricht/19531-kreuzfahrt-urlaub-mit-nebenwirkungen / „Kreuzfahrt: Urlaub mit Nebenwirkungen“ vom 4.9.2015

[41] Telepolis/ Susanne Aigner/ http://www.heise.de/tp/artikel/42/42991/1.html / „Dreckschleudern auf den Ozeanen. Warum dürfen Kreuzfahrt- und Handelsschiffe eigentlich immer noch soviel Gift absondern?“ vom 11.10.2014

[42] Ingenieur.de/ Gudrun von Schoenebeck/ http://www.ingenieur.de/Themen/Klima-Umwelt/Schiffsabgase-drohen-Nordsee-zu-verpesten / „ANSTIEG UM 25% - Schiffsabgase drohen Nordsee zu verpesten“ vom 13.3.2014

[43] Bild der Wissenschaft Scinexx/ George Washington University Milken Institute School of Public Health, 15.09.2016 – NPO/ http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-20619-2016-09-15.html / „Unser Hausstaub ist voller Schadstoffe. Forscher finden große Mengen von Weichmachern, Phenolen und fluorierten Kohlenwasserstoffen“ vom 15.9.2016

[44] Energiekompetenz Ostalb/ Albert Jung, Schornsteinfeger und Energieberater/ http://www.schornsteinfeger-network.de/Novellierung_der_1.BImSchV_neue_Regeln_fut_Kaminofen_und_Holzkessel.pdf / „Novellierung der 1. BImSchV – neue Reglungen für Kaminöfen und Holzheizkessel“ von **vor 2010 (!).**

[45] Wikipedia/ https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzstaub / „Schwarzstaub“ (Fogging) vom 24.11.2016

[46] Landesanstalt für Umwelt … Baden-Württemberg/ http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/18793/ „Emissionsquellen“ vom 16.12.2016

[47] Hessenfernsehen - Alles Wissen/ Nina Chmielewski/ http://www.hr-online.de/website/fernsehen/sendungen/index.jsp?rubrik=96280&key=standard_document_62371422 „Reifenabrieb: Unterschätztes Umweltproblem“ vom 26.10.2016

[48] emissionslos.com/ Alexander Falk / http://www.emissionslos.com/auto/4954-feinstaubbelastung-durch-reifenabrieb.html / „Feinstaubbelastung durch Reifenabrieb“ vom 10.12.2013

[49] Die Zeit/ Christoph M. Schwarzer / http://www.zeit.de/mobilitaet/2016-06/abgas-diesel-benzin-partikel / Abgas - Gefährliche Partikel aus dem Benziner vom 29.6.2016

[50] EnergieAgentur.NRW GmbH/ http://www.energieagentur.nrw/bioenergie/bioenergie-abc vom 20.1.2117

[51] Ingenieur.de (VDI)/ Axel Mörer-Funk/ http://www.ingenieur.de/Themen/Klima-Umwelt/Unglaublich-Saubere-Euro-6-Dieselautos-schmutziger-Lkw /Doppelt so viel NOx. Unglaublich: „Saubere“ Euro-6-Dieselautos schmutziger als Lkw vom 6.1.2017

[52] Energiezukunft (Naturstrom)/ bm/ http://www.energiezukunft.u/umwelt/politik/deutsche-automobilbranche-haelt-diesel-fuer-unverzichtbar-gn104533/ /Deutsche Automobilbranche hält Diesel für unverzichtbar vom 24.1.2017

[53] DocCheckNews/ Artikel von Sonja Schmitzer / Quelle: Nanoparticle exposure reactivates latent herpesvirus and restores a signature of acute infection / http://news.doccheck.com/de/newsletter/3830/24123/?utm_source=DC-Newsletter&utm_medium=E-Mail&utm_campaign=Newsletter-DE-DocCheck+News+17.05+%28Montag%29-2017-01-30&user=fcb8573a415ab6762cefec203905a9c3&n=3830&d=28&chk=a4cd744f400e281cb0b9db64368a699c30.01.17 / Herpes, der Feinstaub-Bote vom 30.1.2017

[54] Bay. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (LWF)/ Sabine Hiendlmeier, Christian Leuchtweis, Jürgen Hahn / als PDF: lwfaktuell_61-07feinstaub_aus_holzfeuerungen_im_fokus_des_gesetzgebers / Feinstaub aus Holzfeuerungen im Fokus des Gestzgebers von 2007

[55] Bay. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (LWF)/ Hans Hartmann und Peter Turowski/ http://www.lwf.bayern.de/forsttechnik-holz/biomassenutzung/011371/index.php / Feinstaub-Emissionen aus Holzheizungen - LWF-aktuell 74 vom 17.2.2017

[56] Bild der Wissenschaft Scinexx/ Environment International, 2017/ http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-21173-2017-02-20.html

[57] Bundesumweltamt / „Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger - Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2013“ vom 10.11.2014

[58] Int. Wirtschaftsforum Regenerativer Energien / http://www.iwr.de/ / „Forscher heizen mit Pellets aus Laub und Gras“ vom 28.2.2017

[59] Stern/ Jens Lubbadeh/ http://www.stern.de/panorama/wissen/natur/wiederaufforstung-gegen-co2-ablasshandel-mit-baeumen-3269320.html /„Wiederaufforstung gegen CO2 - Ablasshandel mit Bäumen“ vom 21.6.2007

[60] Bild der Wissenschaft Scinexx / Environmental Microbiology, 2017; doi: 10.1111/1462-2920.13686), University of Leicester, 06.03.2017 – NPO) / http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-21222-2017-03-06.html / „Luftverschmutzung hemmt Antibiotika-Wirkung, Ruß macht Erreger resistenter und fördert ihr Eindringen in die Lunge“ vom 6.3.2017

[61] Deutsche Umwelthilfe/ Patrick Huth (cleanheat_Background_paper_D_final)/ http://www.duh.de/uploads/tx_duhdownloads/cleanheat_Background_paper_D_final.pdf / „Heizen mit Holz - Umweltfolgen und Lösungsansätze“ vom 21.12.2016

[62] Spektrum / Daniel Lingenhöhl / http://www.spektrum.de/news/staub-aus-asien-duengt-us-waelder/1443933?utm_medium=newsletter&utm_source=sdw-nl&utm_campaign=sdw-nl-daily&utm_content=heute / „Aerosole: Asienimport macht US-Bäume groß“ vom 28.3.2017

[63] Ingenieur.de (VDI)/ Lisa Schneider/ http://www.ingenieur.de/Themen/Klima-Umwelt/Giga-Gewebe-winzige-Staubpartikel-Luft-filtern / „Weniger Emissionen. Giga-Gewebe soll winzige Staubpartikel aus der Luft filtern“ vom 17.5.2017

[64] VDI Nachrichten/ Stephan W. Eder/ http://www.vdi-nachrichten.com/Gesellschaft/Gesetzgeber-befeuert-Technik / „Gesetzgeber befeuert Technik“ vom 1.6.2017

[65] haustec/ https://www.haustec.de/heizung/waermeerzeugung/wodtke-kaminoefen-mit-hiclean-filtertechnik / „Wodtke Kaminöfen mit HiClean-Filtertechnik“ vom 30.5.2017

[66] Deutschlandfunk/ Volker Mrasek/ http://www.deutschlandfunk.de/dreckige-benziner-direkteinspritzer-stossen-immer-mehr.676.de.html?dram:article_id=386764 / „Dreckige Benziner - Direkteinspritzer stoßen immer mehr Feinstaub und Krebsgifte aus“ vom 22.5.2017

[67] Süddeutsche Zeitung/ Von Markus Balser / http://www.sueddeutsche.de/auto/adac-ecotest-moderne-benziner-haben-ein-abgasproblem-1.3427838 / „ADAC Ecotest - Moderne Benziner haben ein Abgasproblem“ vom 20.3.2017