

FEINSTAUBBELASTUNG IN DEUTSCHLAND

Impressum

Herausgeber: Umweltbundesamt
Pressestelle
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau

E-Mail: pressestelle@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Stand: Mai 2009

Gestaltung: UBA

Titelfoto: © Stefan Redel / Fotolia.de

1. Einleitung

Die Feinstaubbelastung in Deutschland ist stellenweise erhöht: Die seit dem 1. Januar 2005 in der ganzen EU geltenden Grenzwerte werden nicht überall eingehalten. Zwar waren die Jahre 2007 und 2008 gegenüber dem Zeitraum 2000 bis 2006 durch eine geringere Feinstaubbelastung gekennzeichnet, dennoch traten Überschreitungen der Grenzwerte auf. An 19 Messpunkten in Deutschland überschritten im Jahr 2008 die Tagesmittelwerte für Feinstaub öfter als an den 35 erlaubten Tagen die Grenze von 50 Mikrogramm/Kubikmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). 2007 war der Tages-Grenzwert an 38, 2006 sogar an 100 Messpunkten nicht eingehalten. Der auf das Jahresmittel bezogene Feinstaub-Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird selten überschritten: In den letzten beiden Jahren war dies nur an der stark vom Verkehr beeinflussten Messstation Stuttgart-Neckartor der Fall. Aus der geringeren Feinstaubbelastung in den Jahren 2007 und 2008 kann man aber nicht folgern, dass die Feinstaubkonzentration nun linear abnehme und das Feinstaubproblem nahezu gelöst sei. Vielmehr zeigte sich 2007 und 2008 ein für die Verdünnung und Verteilung von Schadstoffemissionen günstiger Jahresverlauf der Witterung. Das wird aber nicht jedes Jahr so sein.

Die Grenzwerte haben, juristisch formuliert, „dritt-schützende“ Wirkung, das heißt, Bürgerinnen und Bürger können die Einhaltung der Grenzwerte vor Gericht einklagen. Betroffene Bürgerinnen und Bürger versuchen dieses Recht auf „saubere Luft“ gerichtlich durchzusetzen. Oft mit Erfolg: Etwa im Falle, dass eine Behörde untätig war und keine Pläne zur Verminderung der Feinstaubbelastung durch verhältnismäßige Maßnahmen aufstellte.

Im Mittelpunkt der öffentlichen Diskussion um Feinstaub steht der Luftqualitätsgrenzwert für die Kurzzeitbelastung für einen Mittelungszeitraum von 24 Stunden. Der Grenzwert bezieht sich auf die so genannte PM_{10} -Fraktion, also Staubteilchen mit einem Durchmesser von weniger als 10 Mikrometer. Als Kurzzeit-Grenzwert gilt jedoch nicht allein die Konzentration von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ selber, sondern auch die Zahl von Tagen, nämlich höchstens 35, an denen diese Konzentration im Kalenderjahr überschritten werden darf. Die „eigentliche“ Grenzwertüberschreitung beginnt demnach mit dem 36. Überschreitungstag. Besonders an Verkehrsmessstationen, die – wie gesetzlich vorgeschrieben – an verkehrsreichen Straßen platziert sind, wird dieser Grenzwert immer wieder überschritten. Dies hat deutliche Wirkungen auf die menschliche Gesundheit: Zwischen Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Atemwegserkrankungen

bis hin zu Lungenkrebs und dem Feinstaub gibt es einen Zusammenhang – das gilt als erwiesen.

Woher kommt der Feinstaub? Vor allem aus dem Verkehr, der Landwirtschaft, Industrieanlagen, privaten und gewerblichen Heizungsanlagen und dem Umschlag staubender Güter. Luftströmungen transportieren diesen Feinstaub über größere Entfernungen. Es reicht daher nicht aus, nur örtlich und zeitlich begrenzt gegen den Feinstaub vorzugehen. Nicht ausreichend sind etwa Fahrverbote an Tagen hoher Luftbelastung. Das Umweltbundesamt (UBA) rät dazu, an der Quelle anzusetzen. Unerlässlich ist zum Beispiel die EU-weite Einführung des Partikelfilters für Dieselfahrzeuge. Das UBA setzt sich auf EU-Ebene dafür ein, die Abgasgrenzwerte neuer Pkw und Lkw wesentlich zu verschärfen. Die Nachrüstung alter Fahrzeuge ist durch finanzielle Anreize zu fördern. Eine weitere effektive Maßnahme ist eine Lkw-Maut, deren Höhe sich auch nach dem Schadstoffausstoß richtet: Mit In-Kraft-Treten des Gesetzes zur Änderung kraftfahrzeugsteuerlicher und autobahnmautrechtlicher Vorschriften gelten bereits ab dem 1. Oktober 2006 solche Mautsätze, deren Höhe und Struktur zuletzt zum 1. Januar 2009 angepasst wurde.

Auch in anderen Sektoren sind die Feinstaubemissionen zu mindern – zum Beispiel bei den privaten Haushalten, die vor allem über ältere Kohle- und Holzheizungen zur Feinstaubbelastung beitragen.

Aktuelle Werte der Feinstaubbelastung (Tagesmittelwerte der Partikelkonzentration) veröffentlicht das Umweltbundesamt als Karte unter <http://www.env-it.de/luftdaten/map.fwd?measComp=PM1>. Wie häufig der Feinstaub-Tagesmittelwert im laufenden Jahr bereits überschritten ist, findet sich unter <http://www.env-it.de/luftdaten/trsyear.fwd>.

2. Was ist Feinstaub und wie entsteht er?

Als Feinstaub, Schwebstaub oder englisch „Particulate Matter“ (PM) bezeichnet man Teilchen in der Luft, die nicht sofort zu Boden sinken, sondern eine gewisse Zeit in der Atmosphäre verweilen. Feinstaub ist mit dem bloßen Auge nicht zu sehen. Nur bei bestimmten Wetterlagen kann man ihn in Form einer „Dunstglocke“ wahrnehmen. Luftgetragene Partikel weisen einen Größenbereich von einigen Milliardstel Meter (Nanometer, nm) bis etwa 100 Millionstel Meter (Mikrometer, μm) auf.

Die Größe der Staubpartikel, modellhaft charakterisiert mit dem aerodynamischen Durch-

messer¹, ist die entscheidende Eigenschaft für ihre Einteilung:

- Der Begriff Gesamtschwebstaub (engl. ‚total suspended particulate matter‘, TSP) umfasst alle Schwebepartikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als ca. 60 Mikrometer (μm).
- Unter PM_{10} versteht man alle Teilchen, deren aerodynamischer Durchmesser weniger als 10 Mikrometer beträgt.
- Als $\text{PM}_{2,5}$ bezeichnet man Teilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 2,5 Mikrometer.
- Die kleinsten von ihnen bezeichnet man als **ultrafeine Partikel**. Sie haben einen aerodynamischen Durchmesser von weniger als 0,1 Mikrometer [$0,1 \mu\text{m} = 100 \text{ Nanometern (nm)}$], also 100 Milliardstel Metern.

Technische Nanopartikel sind solche Partikel, die in wenigstens zwei Dimensionen kleiner als 100 nm sind, herstellungsbedingt monodisperse Größenverteilung² und regelmäßige Formen sowie – aus diesen resultierende – besondere „nano(material-) spezifische“ Eigenschaften³ aufweisen (beispielsweise Nano-Röhrchen, kratzfeste nano-beschichtete Oberflächen, besondere Farbgebung nanobasierter Pigmente). Sie können in die Dimension ultrafeiner Stäube fallen.

Partikel, die direkt aus der Quelle stammen – zum Beispiel aus einem Verbrennungsprozess –, nennt man **primäre Feinstäube**. Partikel können jedoch auch aus gasförmigen Vorläufersubstanzen entstehen, etwa aus Schwefel- und Stickstoffoxiden, aus Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen. Die daraus entstehenden Stäube bezeichnet man als **sekundäre Feinstäube**.

Feinstaub kann entweder aus **natürlichen Quellen** stammen oder im Zuge menschlicher Aktivitäten entstehen. Zu den natürlichen Beiträgen gehören die Emissionen aus Vulkanen, Meeren, aus der Bodenerosion, Wald- und Buschfeuern sowie abgestorbene und erodierte (abgeriebene) organische Reste, Pollen, Sporen, Bakterien und Viren. Organischer Feinstaub entsteht auch sekundär aus flüchtigen Emissionen von Pflanzen (VOC⁴) in Umwandlungsprozessen in der Luft.

Wichtige, vom Menschen geschaffene (**anthropogene**) Quellen sind der Verkehr, Kraft- und Fernheizwerke, Abfallverbrennungsanlagen, private und gewerbliche Heizungsanlagen, darunter auch Millionen technisch veralteter Öfen und Heizungen für die Wohnraumbeheizung, der Schüttgutumschlag sowie bestimmte Industrieprozesse – wie die Metall-, besonders die Stahlerzeugung und die Steine- und

Erdenindustrie.

In Ballungsgebieten ist vor allem der Straßenverkehr, darunter überproportional die schweren Nutzfahrzeuge (Lkw und Busse), für Partikelemissionen bedeutsam. Dabei gelangt Feinstaub erstens aus Motoren – vorrangig aus Dieselmotoren – in die Luft, zweitens als Bremsen- und Reifenabrieb und drittens als aufgewirbelter Staub von Straßenoberflächen.

Eine weitere wichtige Quelle für die Feinstaubbelastung ist die Landwirtschaft: Vor allem die Emissionen gasförmiger Vorläuferstoffe aus der Tierhaltung – wie Ammoniak – tragen zur Sekundärstaubbildung bei. Darüber hinaus gibt es primären Staub erzeugende Tätigkeiten bei der Feldbearbeitung.

3. Gesundheitliche Wirkungen des Feinstaubes

Eingeatmete Partikel können – neben einer Reihe anderer Luftschadstoffe, wie beispielsweise Stickstoffoxide (NO_x), Schwefeldioxid (SO_2) oder Ozon (O_3) – schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben. Das Gesundheitsrisiko inhalierter Staubpartikel hängt vor allem davon ab, wie tief die Teilchen in den Atemtrakt eindringen und wie lange sie am Wirkungsort verbleiben. Die Partikelgröße beeinflusst zusätzlich den Ort der Abscheidung und die Art der Schadwirkung. Grobe Partikel bleiben bereits in den oberen Atemwegen „stecken“. Kleine Partikel dringen tiefer in die Atemwege ein als größere, und können bis in das Alveolargewebe⁵ der Lunge vordringen. Ultrafeine Partikel ($< 100 \text{ nm}$ Durchmesser) dringen von dort in den Blutkreislauf ein. Deshalb bedürfen ultrafeine Partikel unter gesundheitlichen Aspekten besonderer Aufmerksamkeit. Partikel haben aber noch einen anderen gesundheitsgefährdenden Effekt: An ihrer Oberfläche können sich Schwermetalle oder Krebs erzeugende polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) anlagern. Je kleiner die Partikel sind, an denen solche Stoffe haften, desto tiefer gelangen auch die anhaftenden Komponenten in die Atemwege. Da kleinere Partikel eine größere Oberfläche im Verhältnis zu ihrem Volumen haben, sind sie stärker mit den genannten Stoffen belastet als größere Partikel.

Nase, Mund und Rachen halten Teilchen, die größer als 10 Mikrometer sind, zurück. Partikel zwischen 10 und 2,5 Mikrometer ($\text{PM}_{10-2,5}$) erreichen zu einem geringen Prozentsatz die kleineren Bronchien und Lungenbläschen. Für Partikel unter 2,5 Mikrometer Durchmesser ($\text{PM}_{2,5}$) ist die Wahrscheinlichkeit, in die Lungenbläschen zu gelangen und deponiert

zu werden, höher. Abgelagerte Partikel können Entzündungsvorgänge im Lungengewebe auslösen. In den Lungenbläschen sind Atmung und Blutkreislauf funktionell und anatomisch sehr eng miteinander verbunden. Deshalb können Störungen des einen Systems – wie etwa Entzündungen im Atemtrakt – auch das andere System, also Herz oder Kreislauf, zusätzlich beeinträchtigen.

Hinweise über die Wirkung der Feinstäube liefern *epidemiologische Studien*⁶. Sie untersuchen mit Hilfe der Statistik, ob bei erhöhter Konzentration an Schadstoffen in der Atmosphäre bestimmte Krankheiten häufiger auftreten. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) kam bei der Auswertung solcher Studien zu folgenden Ergebnissen:

Eine Konzentrationsschwelle in der Umgebungsluft, unterhalb derer keine schädigende Wirkung zu erwarten ist, gibt es für Feinstaub nicht. Feinstaub unterscheidet sich somit von anderen Schadstoffen – wie Schwefeldioxid oder Stickstoffdioxid – grundlegend. Für letztere lassen sich Werte angeben, unter denen keine nachteiligen Wirkungen auf die menschliche Gesundheit zu erwarten sind. Feinstaub hingegen ist immer schädlich.

Nicht nur kurzzeitig erhöhte Konzentrationen – zum Beispiel einzelne Tage mit Überschreitungen des Wertes von 50 Mikrogramm PM_{10} /Kubikmeter Luft – führen zu gesundheitlich negativen Wirkungen; gerade längerfristige, geringere Konzentrationen leisten einen deutlichen Beitrag zur Gesamtwirkung. Die Fachleute beobachteten eine annähernd lineare Expositions-Wirkungs-Beziehung.

Die Auswertung der Studien ergab weiter: Bei kurzfristig – im Bereich von einigen Stunden bis Tagen – erhöhten PM_{10} -Konzentration steigen die Krankenhausaufnahmen wegen Atemwegserkrankungen; die Gesamtsterblichkeit der Bevölkerung steigt um knapp ein Prozent. Eine dauerhaft – lebenslang – um 10 Mikrogramm PM_{10} /Kubikmeter Luft höhere Staubbelastung geht mit einer durchschnittlichen Verkürzung der Lebenserwartung so exponierter Personen um knapp sechs Monate einher. Bezogen auf eine Erhöhung um 10 Mikrogramm $PM_{2,5}$ pro Kubikmeter Luft beträgt die Abnahme der Lebenserwartung sogar acht Monate.

Die Folgerungen, die sich aus diesen Wirkungsbetrachtungen ergeben, spiegeln sich in den festgesetzten und beabsichtigten Regelungen wider: Seit 1. Januar 2005 darf in

der Europäischen Union ein Jahresmittelwert von $40 \mu\text{g } PM_{10}/\text{m}^3$ nicht und der Tagesmittelwert von $50 \mu\text{g } PM_{10}/\text{m}^3$ nicht häufiger als 35 mal überschritten werden. Im Zuge der nationalen Umsetzung hat Deutschland diese Werte 2002 in der „Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft“ (22. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, 22. BImSchV) übernommen. Die 2008 abgeschlossene erste Revision der EU-Richtlinien zur Luftqualität⁷ bringt eine stufenweise Verschiebung der Schwerpunktsetzung hin zu den feineren Partikeln kleiner als $2,5 \mu\text{m}$ mit sich. Die bis zum 11. Juni 2010 in nationales Recht umzusetzende Richtlinie schreibt vor, dass für $PM_{2,5}$ -Feinstaub vorerst ein anzustrebender – noch nicht verbindlicher – „Zielwert“⁸ in Höhe von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (als Jahresmittel) einzuhalten ist, der ab 2015 als verbindlicher $PM_{2,5}$ -Grenzwert überall im ganzen Gebiet der EU-Mitgliedstaaten greifen wird.

Darüber hinaus wird ein Zielwert zur Reduktion der städtischen $PM_{2,5}$ -Hintergrundbelastung⁹ um 20 Prozent bis 2020 gelten. (Weitere Erklärungen zur anzustrebenden Reduzierung der Exposition der Menschen gegenüber $PM_{2,5}$ finden Sie in Abschnitt 7.)

4. Feinstaubbelastung in Deutschland

Der Jahresmittelwert der PM_{10} -Konzentration unterliegt zwischenjährlichen Schwankungen, zeigt aber über die Jahre 2000 bis 2008 einen abnehmenden Trend. In den Jahren 2007 und 2008 sind die niedrigsten Jahreswerte seit Beginn der PM_{10} -Messungen im Jahr 2000 zu verzeichnen.

Abbildung 1 zeigt den Verlauf der Jahresmittelwerte zwischen 2000 bis 2008 an drei unterschiedlichen Stationstypen (Durchschnitt aller Stationen dieses Typs). An stark verkehrsgeprägten Stationen sind die Schadstoffkonzentrationen am höchsten – verglichen mit den „städtischen Hintergrundstationen“, die in ruhigen Wohngegenden liegen und mit den „ländlichen Hintergrundstationen“, die fernab starker Feinstaubquellen im ländlichen Raum zu finden sind. Der Vergleich des Verlaufes zeigt, dass PM_{10} -Jahresmittelwerte an städtisch verkehrsnahen Standorten denen an Stationen im ländlichen Hintergrund sehr ähnlich sind. Die Differenz zwischen beiden Kurven bleibt über die Jahre hinweg nahezu konstant. Dies deutet darauf hin, dass – unabhängig davon, wie hoch die Feinstaubbelastung war – der Beitrag des Verkehrs zur Feinstaubbelastung im beobachteten Zeitraum, gemittelt über alle verkehrsnahen Stationen, etwa gleich hoch geblieben ist.

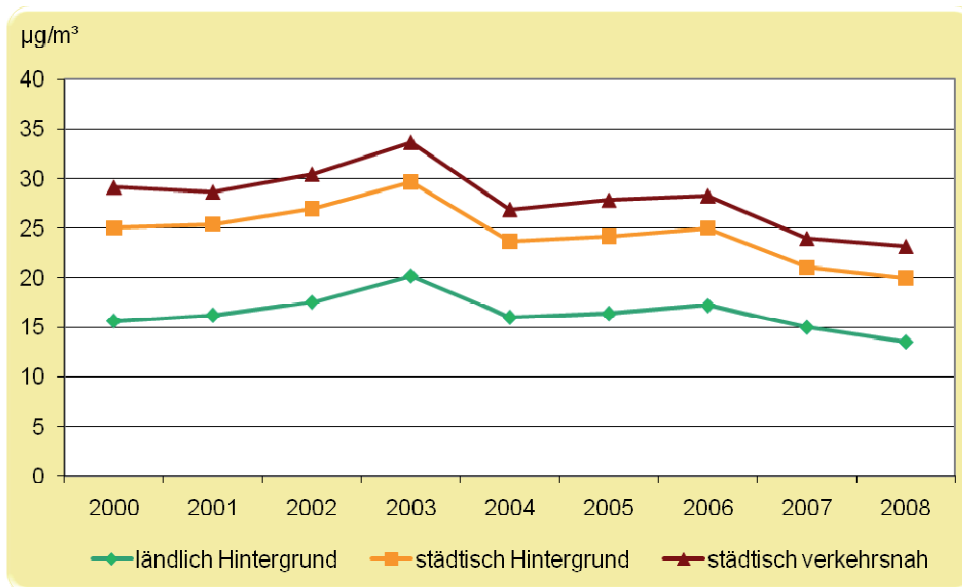


Abbildung 1: PM10-Jahresmittelwerte 2000 bis 2008 im Mittel über die Stationskategorien „ländlicher Hintergrund“, „städtischer Hintergrund“ und „städtisch verkehrsnah“.

Quelle: Umweltbundesamt

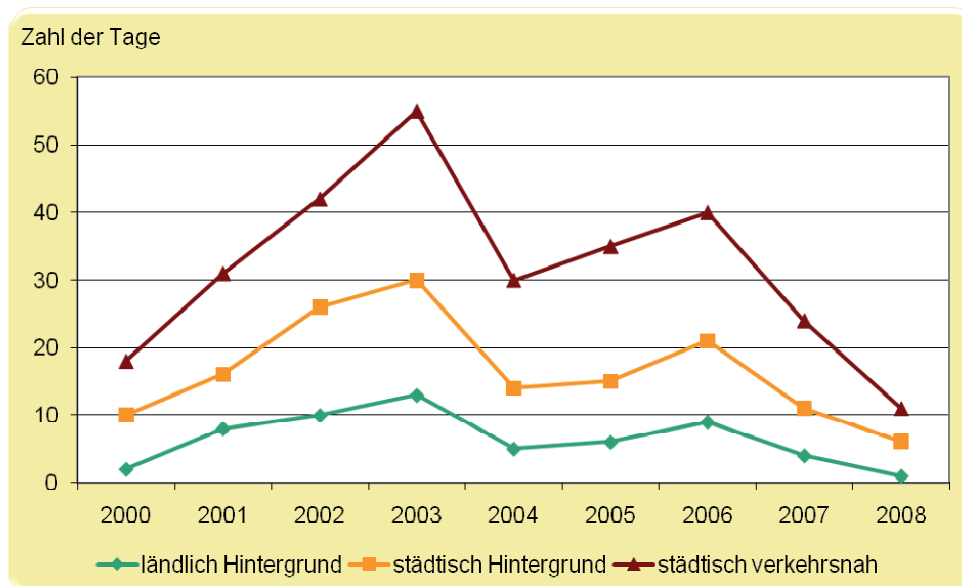


Abbildung 2: Zahl der Überschreitungen des Tagesmittelwerts von 50 µg/m³ in den Jahren 2000 bis 2008 im Mittel über die Stationskategorien „ländlicher Hintergrund“, „städtischer Hintergrund“ und „städtisch verkehrsnah“.

Quelle: Umweltbundesamt

Die Betrachtung der PM₁₀-Belastungssituation in Bezug auf den PM₁₀-Tagesmittelwert von 50 µg/m³, der nicht öfter als an 35 Tagen im Kalenderjahr überschritten sein darf, zeigt: Die zwischenjährliche Schwankung der mittleren Zahl der Tage mit PM₁₀-Konzentrationen über 50 µg/m³ ist stark ausgeprägt. Wie Abbildung 2 zeigt, weisen emittentenferne Gebiete (Stationen im ländlichen Hintergrund) signifikant weniger Überschreitungen des PM₁₀-Tageswertes von 50 µg/m³ auf als Gebiete, in denen lokale Quellen (Verkehr in Städten, Stationskategorie „städtisch verkehrsnah“) in erheblichem Umfang mit zur Feinstaubbelastung beitragen.

Dieses zeigt auch die flächenhafte Darstellung der Zahl der Tage mit PM₁₀-Tagesmittelwerten

über 50 µg/m³ (Abbildung 3): Vor allem in Ballungsgebieten (etwa Rhein/Ruhr oder Stuttgart) und an Orten mit hohem Verkehrsaufkommen oder starker industrieller Prägung treten an mehr als 35 Tagen im Jahr Tagesmittelwerte über 50 µg/m³ auf. Der Grenzwert ist an diesen Orten überschritten.

Vergleicht man die Überschreitung des Jahresmittelwertes mit der Überschreitung des Tagesmittelwertes, fällt auf: Es gibt deutlich mehr Stationen, an denen der Grenzwert für das Tagesmittel überschritten wird. Die Festlegung des Tagesgrenzwertes auf 50 µg/m³ bei 35 möglichen Überschreitungen im Jahr ist die schärfere Begrenzung; dieser Grenzwert entspricht statistisch näherungsweise einem Grenzwert für

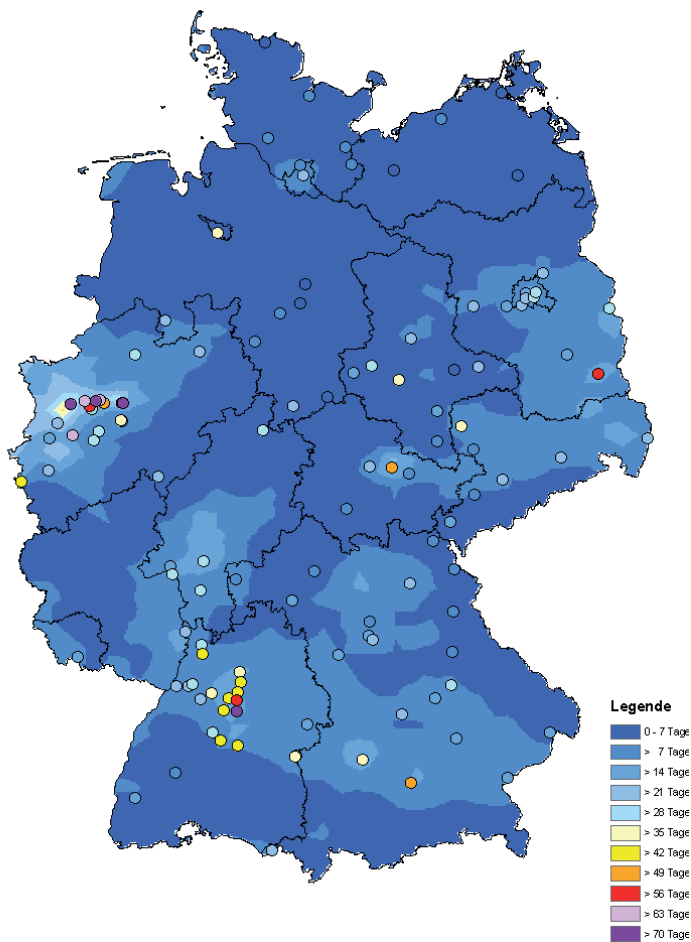


Abbildung 3: Zahl der Überschreitungen des PM_{10} -Tagesmittels von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2007 in Deutschland.
Quelle: Umweltbundesamt

das Jahresmittel von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der gesetzliche Jahresmittelwert muss deutlich unterschritten werden, damit Aussicht darauf besteht, den Kurzzeitwert nahezu ganzjährig (abzüglich der erlaubten Überschreitungszahl: also an 330 Tagen pro Kalenderjahr) einzuhalten.

Wer die Luft rein halten will, muss die verschiedenen Feinstaubquellen und ihre Herkunft – lokal, urban, regional – genau analysieren, um zielge-

recht gegen die Feinstaubbelastung vorgehen zu können. Abbildung 4 illustriert diese räumliche Verteilung mit der Überlagerung der einzelnen Quellbeiträge. Es wird deutlich, aus welchen Teilbeiträgen sich das Konzentrationsniveau in städtischen Ballungsräumen zusammensetzt: Es existiert eine regionale Hintergrundbelastung, die in die Ballungsräume hinein transportiert wird (grüne Fläche). Auf diese setzt der vom Ballungsraum „hausgemachte“ Teil an der PM_{10} -Belastung auf. Emissionen aller Quellen im Ballungsraum (Verkehr, Kraftwerke, Industrie, Wohn-, Büroraumbeheizung) erzeugen den städtischen Hintergrund (blau gekennzeichnet). Zu der städtischen Hintergrundbelastung kommen die lokalen Spitzen (rot eingefärbt), zum Beispiel durch den Verkehr an stark befahrenen Straßen in Stadtzentren.

Die PM_{10} -Belastung in städtischen oder industriellen Ballungsräumen entsteht also nicht nur aus lokalen Quellen. Bedeutende Anteile können von außerhalb in das Ballungsgebiet kommen. Dies gilt vor allem für denjenigen Beitrag, der sich aus in der Atmosphäre gebildeten sekundären Feinstäuben (Aerosolen) zusammensetzt. Sekundäre Feinstäube (siehe Abschnitt 2) bilden sich nämlich erst während des Transports aus den gasförmigen Vorläuferstoffen Ammoniak (NH_3), Schwefeldioxid (SO_2), Stickstoffoxiden (NO_x) sowie flüchtigen Kohlenwasserstoffen und können dann über weite Strecken transportiert werden. Die Anteile des Ferntransports lassen sich nur bedingt aus Messungen ableiten. Hier bietet sich der Einsatz so genannter Ausbreitungsmodelle an. Mit deren Hilfe lässt sich der Zusammenhang zwischen in die Luft ausgestoßenen festen und gasförmigen Schadstoffen (Emissionen) und der vor Ort auftretenden tatsächlichen Luftschadstoffkonzentration (Immissionen) – berechnen. In einer beispielhaften Modellrechnung wurden die Emissionen in den Bundesländern Berlin und Brandenburg,

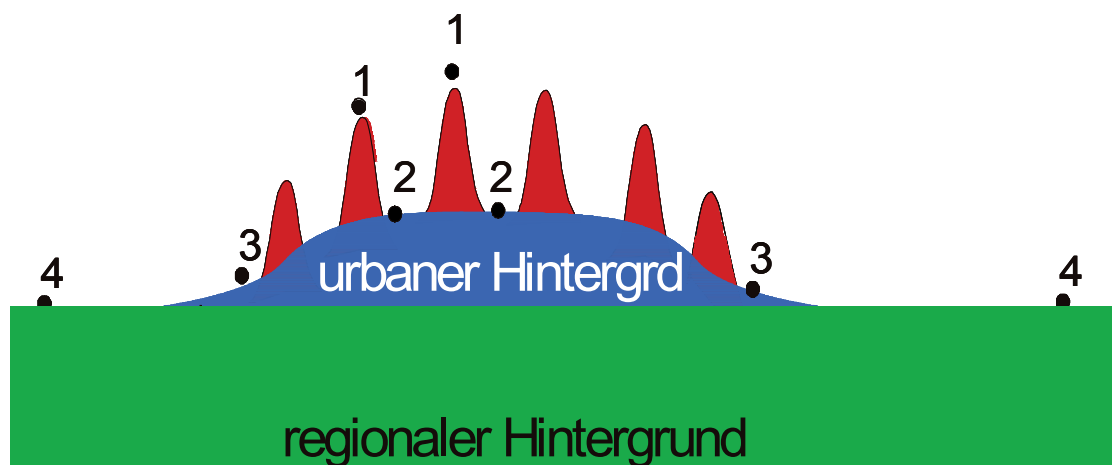


Abbildung 4: Schema der Anteile der Feinstaub (PM_{10})-Belastung in Ballungsräumen.
Quelle: Berliner Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz

Sachsen und Mecklenburg-Vorpommern „herausgerechnet“, ihre Emissionen aus Verkehr, Industrieanlagen und Landwirtschaft wurden im Modell also auf Null gesetzt. Das Ergebnis: Die Emissionen der vier im Modell herausgerechneten Bundesländer tragen nur bis zu 45 Prozent zu den anthropogen verursachten PM_{10} -Immissionen in Berlin bei. Dies bedeutet umgekehrt: Die restlichen 55 Prozent der Feinstaubbelastung in Berlin kommen von weiter her, aus den anderen Gebieten Deutschlands und dem benachbarten Ausland.

Auch meteorologische Bedingungen beeinflussen die Höhe der Feinstaubkonzentration. So findet in den unteren Luftschichten bei niedrigen Windgeschwindigkeiten und so genannten Inversionswetterlagen¹⁰ – bevorzugt im Winter – kein oder nur ein geringer Luftaustausch statt, so dass sich unter dieser Sperrschicht von einigen Hundert Metern Höhe Luftschadstoffe sammeln. In Jahren mit zahlreichen austauscharmen Wetterepisoden (zum Beispiel im Jahr 2003) treten daher vergleichsweise mehr Überschreitungen der Grenzwerte auf, die aber keinesfalls ein zunehmendes natürliches Phänomen sind. Ohne Emissionen wäre die Belastung selbst gar nicht vorhanden: **Ohne Emission keine Immission!** Die immer wieder zu hörende Aussage, dass sich während einer Belastungssituation die Immissionen an verkehrsbezogenen Messstationen nur unwesentlich von denen ländlicher Stationen unterscheiden würden, ist nicht haltbar. Die Spitzenkonzentrationen an den verkehrsgeprägten Stationen sind auch in diesen Fällen deutlich höher.

5. Emissionen: primäre und sekundäre Quellen der Feinstaubbelastung

5.1 Entwicklung der Staubemissionen seit 1990

Von 1990 bis 2003 sank die Gesamtstaubemission, über ganz Deutschland gemittelt, um 86 Prozent (Abbildung 5). Der Rückgang der Emissionen war jedoch gebietsabhängig: Vor allem nach der deutschen Wiedervereinigung trugen maßgeblich technische Umstellungen hierzu bei: Ostdeutsche Kraftwerke mit geringem Wirkungsgrad und ohne entsprechende Schadstoffrückhaltung gingen häufig vom Netz oder erhielten moderne, hochwirksame Entstaubungsanlagen. Auch bei der Wohnraumbeheizung kam ein Modernisierungsschub der Luftqualität zugute: Zahlreiche Hauseigentümer in den neuen Bundesländern ersetzten ihre Kohleöfen durch moderne Gas- und Ölheizungen, die nur sehr wenig Staubemissionen verursachen. Seit 1995 nehmen die Staubemissionen dann nur noch geringfügig ab.

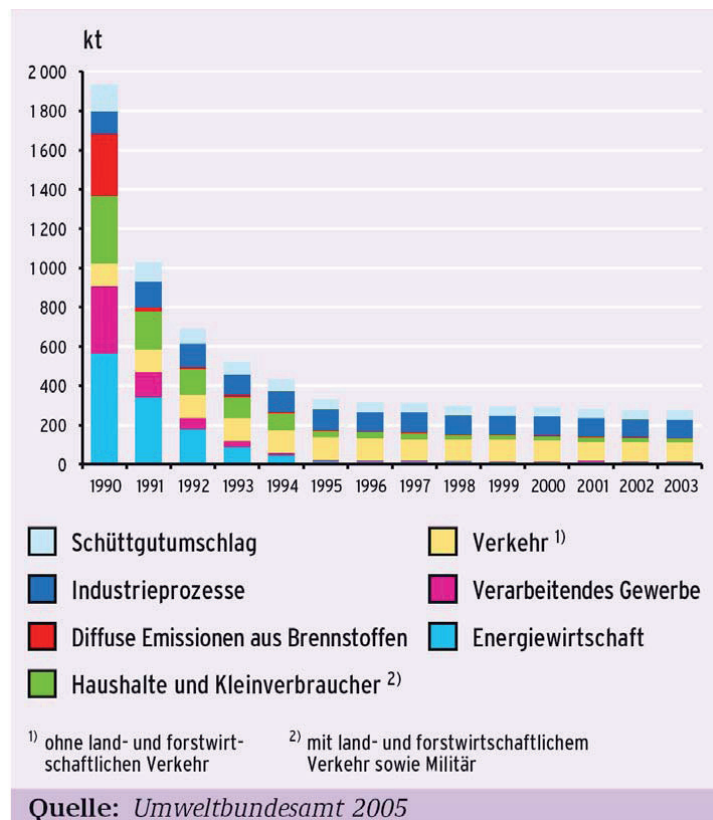


Abbildung 5: Entwicklung primärer Gesamtstaubemissionen nach Quellgruppen 1990 bis 2003 in Kilotonnen (frühere Einheit für Gigagramm, Gg) pro Jahr

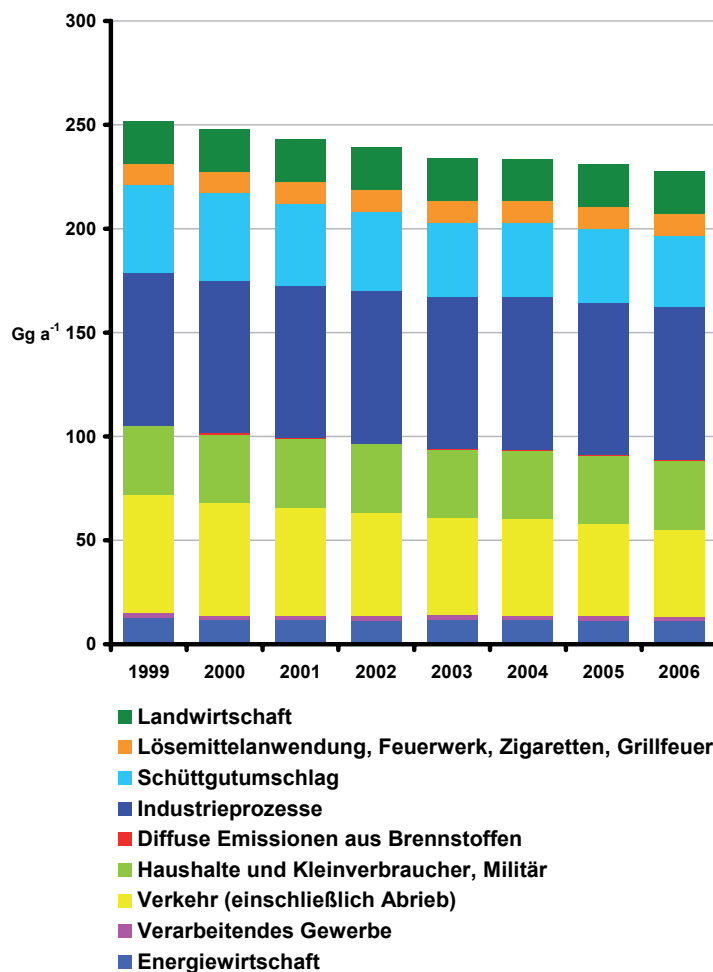


Abbildung 6: Entwicklung der PM_{10} -Feinstaubemissionen nach Quellgruppen 1999 bis 2006 in Gigagramm (1 000 Tonnen) pro Jahr

Abbildung 6 zeigt diese Entwicklung auch für die PM_{10} -Feinstaubemissionen der letzten Jahre, die seit 1995 ermittelt werden.

Der Rückgang der Staubemissionen gilt für ganz Deutschland; an einzelnen Orten sind die Verhältnisse sehr viel differenzierter zu betrachten. Lokal können die Emissionen stagnieren oder gar ansteigen.

Die Untersuchung der einzelnen Emissionsbeiträge an einer stark befahrenen Straße – wie der Frankfurter Allee in Berlin (Abbildung 7) –, an der die Luftqualitätsgrenzwerte in der Vergangenheit mehrfach überschritten wurden, führt zu diesem differenzierteren, örtlich charakteristischen Bild: An einem so stark verkehrsgeprägten Ort dominiert naheliegenderweise der Emissionsbeitrag des Verkehrs – im genannten Fallbeispiel mit 49 Prozent.

Um die Ursachen der Grenzwertüberschreitungen genau zu ermitteln, ist es weiterhin wichtig, die Wetterbedingungen zu kennen und die chemische Zusammensetzung des Staubs zu berücksichtigen. Wiederum für die Messstation Frankfurter Allee in Berlin hat man in der genannten Untersuchung die Beiträge der verschiedenen Feinstaub-Emittentengruppen mit ihren Quellregionen regionaler Hintergrund (siehe „Hintergrund“) – städtischer Hintergrund („Stadt Berlin“) – lokale Einflüsse („lokale Belastung“) ermittelt (siehe Abbildung 8); es zeigt sowohl die

räumliche als auch die Emittentenzuordnung in einem Bild. Demnach trägt die regionale Hintergrundbelastung mit 47 Prozent, die städtische Hintergrundbelastung der Stadt Berlin mit 27 Prozent und die lokale Belastung durch den Verkehr in der Frankfurter Allee mit 26 Prozent zur PM_{10} -Gesamtbelastung bei.

5.2 Übersicht über Minderungsmaßnahmen

Es gibt prinzipiell zwei Möglichkeiten, um die immissionsseitigen Feinstaubbelastungen zu senken: entweder die emittierenden Tätigkeiten als solche einzuschränken (etwa Verkehrsmengenreduzierung wie Fahrverbot, Einschränkung des Betriebes) oder die spezifische Emissionsintensität mit Hilfe technischer Maßnahmen zu reduzieren, ohne die Leistung einzuschränken.

Für die Senkung der Emissionsintensität stehen dem eigentlichen Prozess vor- und nachgelagerte Methoden zur Verfügung, die die Schadstofffreisetzung reduzieren (Techniken der Emissionsminderung, Nutzung wenig umweltbelastender Eingangsstoffe, beispielsweise entschwefeltes Erdgas statt Schweröl als Brennstoff). Nachträgliche Maßnahmen wie Abgasreinigung mit Filtern halten die im Prozess freigesetzten Schadstoffe größtenteils zurück. Leistungsbeschränkungen können indirekt als Verhaltenssteuerung erfolgen oder direkt, als Betriebseinschränkung oder Verbote, verfügt werden.

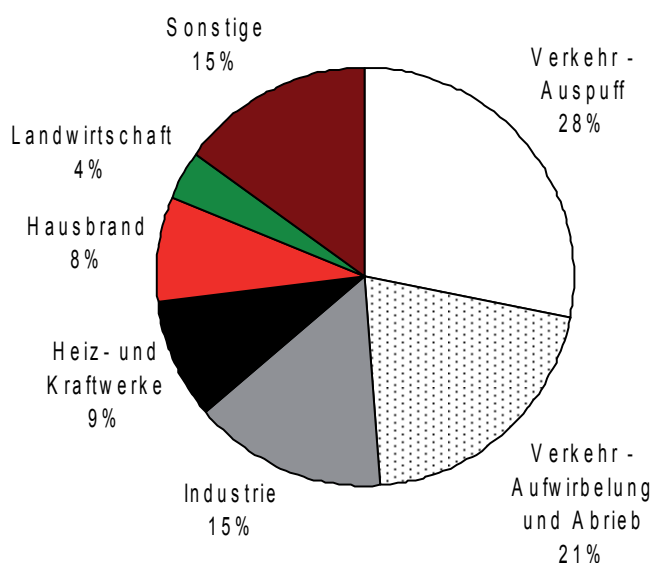


Abbildung 7: Beiträge der verschiedenen Quellgruppen zur PM_{10} -Belastung an einer verkehrsgeprägten Messstelle (Frankfurter Allee, Berlin) 2001/2002; Quelle: nach John/Kuhlbusch/Lutz, Quellenzuordnung anhand aktueller Immissions- und Emissionsdaten in Berlin (Workshopbericht Duisburg, 22.-23.01.2004, S. 111 – 121, Abb. 14)

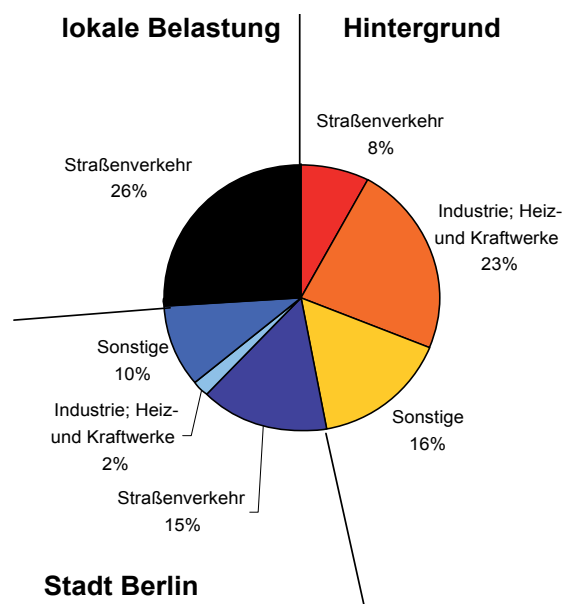


Abbildung 8: Räumliche und verursacherbezogene Quellenzuordnung der PM_{10} -Immissionen an der Messstelle Frankfurter Allee, Berlin 2001/2002 („Hintergrund“ = regionale Hintergrundbelastung; „Stadt Berlin“ = städtischer Hintergrund; „lokale Belastung“ = direkt an der Messstelle). Quelle: nach John/Kuhlbusch/Lutz, Quellenzuordnung anhand aktueller Immissions- und Emissionsdaten in Berlin (Workshopbericht Duisburg, 22.-23.01.2004, S. 111 – 121, Abb. 13).

Allgemein gilt: Technische Emissionsminderungsmaßnahmen richten sich in der Regel nach einheitlichen – bundes- oder europarechtlich festgelegten – Vorgaben nach einem bestimmten Stand der Technik. Lokale Behörden können den restlichen Spielraum – in der Regel für Maßnahmen zur Beschränkung der emittierenden Tätigkeiten – nutzen, also etwa Fahrverbote anordnen oder die Fahrgeschwindigkeit begrenzen.

Die Untersuchung der Emissionssituation und Feinstaubbelastung in Deutschland sowie in der gesamten EU lässt erkennen, dass eine Kombination von Maßnahmen auf europäischer, nationaler und lokaler Ebene erforderlich ist, um das Feinstaubproblem dauerhaft zu lösen. Im Folgenden betrachten wir die einzelnen Emittentengruppen im Hinblick auf die Entwicklung der Emissionen und auf Minderungspotenziale.

5.3 Staubemissionsminderung im Verkehr

Schärfere Abgasgrenzwerte und damit verbundene motortechnische Verbesserungen bei Dieselmotoren senkten die Staubemissionen aus dem Verkehr von 1990 bis 2005 innerorts um 40 Prozent. Die Emissionsminderung hätte jedoch noch größer ausfallen können, wenn nicht das Verkehrsaufkommen insgesamt, das heißt der Fahrzeugbestand und die jährlichen Fahrleistungen, sowie der Anteil der Dieselfahrzeuge bei den Pkw stark gestiegen wären.

Grundsätzlich gibt es zwei Ansätze, um das Feinstaubproblem des Straßenverkehrs zu bekämpfen: technische (siehe Abschnitt a) oder nichttechnische (Abschnitt b) Maßnahmen. Technische Maßnahmen sind etwa der Einbau von Partikelfiltern. Die Hälfte der verkehrsbedingten Staubemissionen stammt jedoch nicht aus dem Motor, sondern aus Abrieb der Reifen und Bremsen. Neben motorentechnischen Verbesserungen können weitere Entwicklungen am Fahrwerk – abriebarme Reifen und Bremsen oder auch die Leichtbauweise – günstige Ergebnisse bei der Staubminderung erbringen. Allerdings gibt es bei der Weiterentwicklung von Reifen eine Vielzahl von verschiedenen, auch sicherheitsrelevanten Anforderungen, so dass in Bezug auf den Abrieb in den nächsten Jahren nur geringe Fortschritte zu erwarten sind. „Technik“ allein reicht daher nicht aus. Deshalb sind auch (b) *nichttechnische (organisatorische und verkehrsplanerische) Maßnahmen* relevant: Etwa eine sinnvolle Stadt- und Regionalplanung, die dem Fahrrad und dem öffentlichen Personennahverkehr Vorrang vor dem Pkw einräumt. So verrin-

gern sich die Verkehrsemissionen insgesamt, also auch die Staubbelastung als Folge des Reifen- und Bremsenabriebs sowie der Aufwirbelung von der Straßenoberfläche.

a) Technische Maßnahmen und deren Umsetzung

Eine wirksame Maßnahme gegen Dieselrußemissionen ist der **Dieselruß- oder -partikelfilter (DPF)**. In der sogenannten geschlossenen Bauweise (siehe unten) kann er die Zahl der Partikel im Abgas um mehr als 99 Prozent reduzieren. Auch die feinen und ultrafeinen Partikel hält er zurück.

Für deutlich weniger Partikelemissionsminderung als ein „geschlossener“ Partikelfilter sorgen die innermotorischen Maßnahmen, also Verbesserungen im Verbrennungsablauf, zum Beispiel mit Hilfe einer elektronisch gesteuerten Kraftstoffdosierung, optimierter Brennraumgeometrie und dergleichen. Mit innenmotorischen Maßnahmen ist allerdings die notwendige Emissionsminderung nicht zu erreichen. Das vom Umweltbundesamt favorisierte Ziel ist die Angleichung der Emissionsnormen für Pkw mit Otto- und Dieselmotor. Die ab 2009 gültigen **EURO-5-Abgasgrenzwerte** für neue Pkw bringen einen erheblichen Fortschritt, denn der Grenzwert 0,005 g/km für die Partikelemission lässt sich nur mit einem Partikelfilter einhalten.

Die zukünftige Stufe EURO VI für Nutzfahrzeugmotoren, die eine weitere Senkung der Emissionen, insbesondere für Stickstoffoxide und Partikeln anstrebt, bereitet die EU-Kommission vor. Die EU-Kommission legte Ende Dezember 2007 den Vorschlag einer Verordnung mit Grenzwerten von 0,400 g NO_x/kWh und 0,010 g PM/kWh vor, die ab 2014 für alle neuen schweren Nutzfahrzeugmotoren gelten sollen¹¹. Am 16.12.2008 hat das Europaparlament eine entsprechende Verordnung verabschiedet, die ab Ende 2012 zwingend anzuwenden sein wird¹². Nach diesem Parlamentsbeschluss ist die Euro-VI-Norm für die Typprüfung und Typgenehmigung an Prototypen künftiger Neufahrzeuge ab dem 31.12.2012 bindend. Ab dem 31.12.2013 dürfen nur noch solche neuen schweren Nutzfahrzeuge in den Verkehr gebracht werden, die die Euro-VI-Norm erfüllen. Das Parlament hielt an den von der Kommission vorgeschlagenen Grenzwerten für CO, Kohlenwasserstoffe, NO_x und NH₃ fest. Der PM-Grenzwert schöpft das Minderungspotential geschlossener Partikelfilter nicht aus. Die Kommission war der – eher industriepolitisch geprägten – Ansicht, dass auch offene Partikelfilter mit einem Abscheidewirkungsgrad von ca. 60 Prozent als technische Option möglich sein sollten. Eine solche Option wird in

der Regel damit begründet, dass Gerätschaften mit hoher Abscheideleistung nur von wenigen Marktteilnehmern mit Quasi-Monopolstellung angeboten würden; eine steuerliche Förderung käme einer – wettbewerbsrechtlich verbotenen – Direktsubventionierung gleich (die zulässige Schwelle liegt bei einem Marktanteil von 25 Prozent für staatliche Beihilfen). Außerdem seien diese Bauteile zu teuer für eine starke, umweltschädlich wünschenswerte Flottendurchdringung.

Das Umweltbundesamt begrüßt die **Förderung** der Nachrüstung mit wirksamen Partikelfiltern **über die Kfz-Steuer** als eine sinnvolle Maßnahme. Bundestag und Bundesrat verabschiedeten im März 2007 das Gesetz zur Förderung der Nachrüstung von Diesel-Pkw mit einem Partikelfilter sowie einen Zuschlag für nicht mit einem Partikelfilter ausgerüstete Diesel-Pkw (Viertes Gesetz zur Änderung des Kraftfahrzeugsteuergesetzes, BGBl. I S. 356). Das Gesetz trat zum 1. April 2007 in Kraft. Der Förderzeitraum beginnt rückwirkend mit dem 1. Januar 2006 und endet mit dem 31. Dezember 2009. Eine Förderung in Höhe von 330 Euro erhält, wer bei seinem Fahrzeug die Nachrüstung mit einem System nachweist, das u. a. eine Partikelminderung von mindestens 30 Prozent erreicht. Diese so genannten „offenen Partikelfilter“, die auch offiziell nicht als Filter, sondern als „Partikelminderungssysteme“ bezeichnet werden, erbringen eine Feinstaubemissionsminderung von 30 bis 50 Prozent. Eine Nachrüstung mit einem wirksameren, „geschlossenen“ System mit einem Abscheidegrad, bezogen auf die Partikelmasse, von über 90 Prozent ist für nahezu alle Pkw, Lkw und Busse zwar technisch möglich, Automobilzulieferer bieten diese jedoch nur sehr eingeschränkt und zu wesentlich höheren Preisen an.

Um auch Lkw-Haltern einen Anreiz zur Nachrüstung mit Partikelfiltern zu geben, hatte das Umweltbundesamt bereits 2005 eine **Berücksichtigung der Schadstoffemission bei der Lkw-Maut** vorgeschlagen¹³. Die bereits seit Einführung der Lkw-Maut Anfang 2005 nach Schadstoffklassen gestuften Mautsätze werden vom Gesetzgeber fortlaufend angepasst. Mit Inkrafttreten des Gesetzes zur Änderung kraftfahrzeugsteuerlicher und autobahnmautrechtlicher Vorschriften gelten ab dem 1. Oktober 2006 „gespreizte“ Mautsätze, deren Höhe und Struktur zuletzt zum 1. Januar 2009 angepasst wurde. Die Mautgebühren richten sich dabei nach der Zahl der Achsen und der Schadstoffklasse des Fahrzeugs: Die Fahrzeuge werden je nach ihrer Schadstoffklasse einer von vier Mautkategorien zugeordnet. Diese Zuordnung verschärft sich nach einem festen Zeitplan – so erhöht sich die Maut

bereits zum 1. Januar 2011 zulasten stark emittierender Fahrzeuge¹⁴.

Eine nach Schadstoffklassen gespreizte Maut ist ein eindeutiges Signal und schafft Anreize für die Fahrzeughalter, sich rechtzeitig um schadstoffärmere Fahrzeuge zu bemühen. Als Kompensation für die mautbedingten Mehrkosten hat die Bundesregierung folgende zusätzliche Entlastungen für das Speditionsgewerbe beschlossen:

Seit dem **1. September 2007** fördert die Bundesregierung die Anschaffung besonders emissionsarmer schwerer Lkw. Dies ist ein Anreiz, möglichst frühzeitig die Fahrzeugflotte auf solche serienmäßigen Neufahrzeuge umzustellen, die die kommenden EG-Abgasgrenzwerte (EURO-V/VI-Norm) einhalten, obwohl sie zum Zeitpunkt der verkehrsrechtlichen Zulassung des Fahrzeuges noch nicht gesetzlich vorgeschrieben sind. Für das Programm standen rund 33 Millionen Euro im Jahr 2007 und 75 Millionen Euro im Jahr 2008 zur Verfügung. Zeitgleich mit dem Start des Förderprogramms trat auch eine Senkung der Kfz-Steuer auf das europarechtlich zulässige Mindestniveau in Kraft.

Um Ausweicheffekte auf das nachgeordnete Straßennetz oder auf die Nutzung kleinerer Lkw zu vermeiden, spricht sich das Umweltbundesamt dafür aus, die Mautpflicht bereits auf kleinere Lkw ab 3,5 Tonnen sowie auch auf Bundesstraßen auszudehnen. Auch befürwortet der Präsident des Umweltbundesamtes¹⁵ eine Verdopplung der durchschnittlichen Mautgebühr auf 30 Cent/km, um die externen Umweltkosten verursachergerecht anzulasten und in Folge das Verkehrsaufkommen des Schwerlastverkehrs insgesamt zu senken¹⁶. Nach geltendem Zeitplan der Mauthöheverordnung wird dagegen die künftige Maut der hier genannten Forderung auch 2011 nicht einmal im Ansatz gerecht, da der Höchstsatz (in der Kategorie D) ab dem 1. Januar 2011 lediglich 28,7 Cent/km betragen soll.

Baumaschinen, Lokomotiven und Binnenschiffe sollten ebenfalls **flächendeckend mit Partikelfiltern** ausgestattet sein. Dazu sind die betreffenden Abgasgrenzwerte der EU zu verschärfen. Dass diese Anforderungen durchsetzbar sind, zeigt das Beispiel der Schweiz, wo Filter für Baumaschinen ab einer bestimmten Größe vorgeschrieben sind. Auch in Österreich sind solche Maßnahmen im Gespräch: Die Stadt Graz will Dieselpartikelfilter für Baumaschinen, die im Luftreinhalteplangebiet eingesetzt werden, zwingend vorschreiben.

Die Umstellung von **Nahverkehrs-Bussen auf Erdgas-Ottomotor** – realisierbar nur bei Neuanschaffungen – ist eine weitere effiziente Maßnahme, um die Feinstaubbelastung zu reduzieren. Ein Erdgasbus stößt noch weniger Partikel aus als ein mit Partikelfilter ausgerüsteter Dieselbus. In der Emissionsklasse EEV¹⁷ liegt die Partikelemission von Erdgasbussen knapp oberhalb der Nachweisgrenze. Zusätzlich ist der Stickstoffoxidausstoß im Vergleich zum Diesel um 85 Prozent geringer.

b) Nichttechnische verkehrliche Maßnahmen

Nichttechnische verkehrliche Maßnahmen zur Minderung der Feinstaubbelastung durch den Verkehr sollen durch planerische und organisatorische Instrumente

1. Verkehr vermindern,
2. ihn auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel verlagern und
3. ihn möglichst umweltschonend abwickeln.

Der Übergang zwischen Verkehrsplanung und Verkehrsmanagement ist fließend. Von diesen erhoffen sich die Kommunen häufig die Lösung oder zumindest die Entschärfung ihrer verkehrsbedingten Luftqualitätsprobleme. Solche Maßnahmen können dann einen Beitrag zur Lösung bieten, wenn sie weiträumig wesentliche Emissionsminderungen erbringen und nicht lediglich eine räumliche oder zeitliche Verlagerung der Emissionen bewirken.

Eine wesentliche Ursache für das Verkehrswachstum ist die Zersiedlung. Die Wege zwischen Wohnungen und Arbeitsplätzen, Einkaufsmöglichkeiten und Freizeiteinrichtungen werden immer länger. Kommunen können über die Raumplanung Verkehrsvermeidung fördern, indem sie bevorzugt innerstädtische Brachflächen bebauen und die städtische Nahversorgung unterstützen, anstatt neue Wohnungs- und Gewerbeflächen am Stadtrand auszuweisen¹⁸. Eine fußgänger- und fahrradfreundliche „Stadt der kurzen Wege“ führt zu weniger Autoverkehr.

Jeder und jede Einzelne kann einen Beitrag leisten: Sie können kurze Wege zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurücklegen, Fahrgemeinschaften bilden oder „Teilauto“- (engl.: ‚car sharing‘-) Angebote nutzen. Verbraucher, die **regionale Produkte bevorzugen**, können einen Beitrag zu sauberer Luft leisten, da zum Beispiel Milch, Obst und Gemüse eben nicht erst per Lkw über viele hundert Kilometer unterwegs sind. Bei kürzeren Transportwegen entstehen weniger Abgase, Bremsen- und Reifenabrieb. Wer regional einkauft und auf das Auto verzichtet, hat einen Mehrfachnutzen davon: Neben unmittelbaren Umweltvorteilen für

die Region und für das Klima hat man ein gutes Umweltgewissen „eingekauft“.

In Deutschland hat man mit der „Plakettenverordnung“ (35. BImSchV) und ihren begleitenden Vorschriften¹⁹ die rechtlichen Grundlagen für die Einrichtung kommunaler Umweltzonen geschaffen. Die Verordnung regelt die Kennzeichnung von Fahrzeugen nach Schadstoffgruppen mit Plaketten sowie Ausnahmen von Fahrverboten. Sie definiert vier Schadstoffgruppen, die sowohl für Pkw als auch für Lkw gelten. Kennzeichnungsplaketten gibt es in drei Farben: Rot für die Schadstoffgruppe 2, gelb für die Schadstoffgruppe 3 und grün für die Schadstoffgruppe 4. Die Zuordnung der Plaketten zu einem in Deutschland zugelassenen Fahrzeug ergibt sich aus der Emissions-Schlüsselnummer, die in den Fahrzeugpapieren eingetragen ist.

Umweltzonen sind räumlich begrenzte Gebiete, in denen Fahrverbote für Kraftfahrzeuge mit hohen Emissionen gelten, um eine verbesserte Luftqualität zu erreichen. Fahrzeuge, die in der Umweltzone fahren dürfen, müssen mindestens die Anforderungen der Schadstoffgruppe 2 erfüllen. In den Jahren 2005 bis 2008 nahmen zahlreiche Kommunen, die Luftreinhalte- und Aktionspläne (siehe unten) aufstellten, auch die Einrichtung von Umweltzonen in ihre Pläne auf. Ab 1. Januar 2008 wurden in Berlin, Hannover und Köln Umweltzonen eingerichtet und viele Städte folgten im Laufe des Jahres. Zum 1.1.2009 gab es 30 Umweltzonen in Deutschland. Die zeitliche Stufung und die Schärfe dieser – bereits eingeführten oder beabsichtigten – Regelungen sind sehr unterschiedlich. Die zurzeit beschlossenen Umweltzonen finden sich unter <http://gis.uba.de/website/umweltzonen/lrp.php> (tabellarisch) sowie <http://gis.uba.de/website/umweltzonen/start.htm> (kartenbasiert).

Geschwindigkeitsbegrenzungen können die Feinstaubbelastung senken²⁰. Die Europäische Kommission ließ die bis November 2006 veröffentlichten Luftreinhaltepläne der Mitgliedstaaten auswerten; in dieser Übersicht finden sich Angaben über Feinstaub-Emissionsminderungen bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen auf Autobahnen (Tempolimit 80 km/h) zwischen 30 und 70 Prozent²¹. In Berlin wurde mit der Geschwindigkeitsbegrenzung auf Tempo 30 einer Hauptverkehrsstraße ein Rückgang der Immissionen von 6% erreicht; dies entspricht etwa 10 Überschreitungstagen. Gleichzeitig sanken durch diese Maßnahme die NO₂-Konzentrationen um 10%.

Zur Senkung der Umweltbelastung durch den städ-

tischen Güterverkehr können auch Stadtlogistik-Konzepte beitragen. Durch Schaffung von individuellen Transportlösungen und die Einbindung aller Akteure des städtischen Wirtschaftsverkehrs kann ein solches Konzept die Ver- und Entsorgung städtischer Gebiete zum Nutzen der Umwelt und des Einzelhandels optimieren. In Regensburg sparte das Projekt „RegLog“ von 1998 bis August 2005 über 20 000 Lkw-Kilometer ein.

Eine verstärkte Nutzung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) ist sinnvoll, soweit dort Fahrzeuge mit anspruchsvollen Umweltstandards zum Einsatz kommen. Empfehlenswert sind sowohl Erdgas- als auch Dieselfahrzeuge, die bereits heute den anspruchsvollen europäischen EEV-Abgasstandard²² erfüllen. Die Verkehrsministerkonferenz verabschiedete deshalb bereits im Frühjahr 2004 eine Empfehlung, nach der der EEV-Abgasstandard für städtische und im Stadtgebiet verkehrende Busse in die Ausschreibungen als Leistungsvorgabe aufgenommen werden sollte. Notwendige Voraussetzung für die Erhöhung des ÖPNV-Anteils am städtischen Verkehr ist neben dem Einsatz moderner und effizienter Fahrzeuge ein gut ausgebautes Streckennetz sowie ein kundenorientiertes Angebot an Verkehrsdienstleistungen. Ebenso wichtig sind Restriktionen für den städtischen Autoverkehr, vor allem ein gezieltes Parkraummanagement mit Verknappung und Bewirtschaftung von Parkflächen.

Die meisten europäischen Städte haben systematische Parkraumbewirtschaftungsgebiete.

Wer sein Kraftfahrzeug dort abstellt, muss Parkgebühren zahlen. Hierbei unterscheidet man zwischen Kurz- und Langzeitparken sowie verschiedenen Berechtigungsformen (zum Beispiel Anwohnerparken). Die Maßnahme hat den Zweck, den knappen Binnenparkraum für Anwohner und Gewerbe bereit zu halten. Parkgebühren und Bußgelder sollen so bemessen werden, dass ÖPNV-Fahrscheine lukrativ sind. Dadurch ließen sich die in der Innenstadt Beschäftigten zur verstärkten Nutzung der Busse und Bahnen bewegen. Das Reduktionspotenzial für die Feinstaubbelastung liegt bei einem bis fünf Prozent²³.

Ein weiteres zentrales Handlungsfeld im Bereich nichttechnischer Maßnahmen ist die Förderung des Radverkehrs in den Kommunen. Dabei spielt die Umsetzung der im „Nationalen Radverkehrsplan 2002 – 2012“ (NRVP) beschriebenen Empfehlungen eine wichtige Rolle. Ziel des Programms ist es, den Radverkehr in Deutschland sicherer und attraktiver zu machen und so den Anteil des Radverkehrs am Gesamtverkehr von damals 9 Prozent deutlich zu steigern; Vorbild sind

die Niederlande mit einem Radverkehrsanteil von 27 Prozent. Der NRVP beinhaltet eine Fülle von Empfehlungen für Bund, Länder und Kommunen. Sie umfassen ordnungspolitische, organisatorische, kommunikative, siedlungspolitische und verkehrsplanerische Maßnahmenvorschläge. Bei bestimmten Maßnahmen gewährt der Bund Fördermittel in Form einer Zuwendung, um die Ziele des NRVP zu erreichen. Die Bundesregierung veröffentlicht in regelmäßigen Abständen Fortschrittsberichte über die Entwicklung des Radverkehrs (http://www.bmvbs.de/Anlage/original_1018367/Zweiter-Fahrradbericht-der-Bundesregierung-barrierefrei.pdf).

Nicht zielführend sind Maßnahmen, die zwar lokal die Feinstaubbelastung verringern, aber den Verkehr lediglich verlagern oder den Gesamtverkehr erhöhen. Dazu gehört zum Beispiel der **Bau von Umgehungsstraßen**.

Ein häufig diskutiertes, aber in Deutschland bislang nicht praktiziertes fiskalisches Instrument ist die Innenstadtmaut, die sich auf eine kleine Kernfläche beschränken würde. Mit einer solchen Maut wird allgemein das Befahren der Innenstadt mit einer Benutzungsgebühr belegt. Einige europäische Städte erheben – auf verschiedenen rechtlichen Grundlagen und mit unterschiedlichen Zielsetzungen – eine Benutzungsgebühr zur Befahrung bestimmter Gebiete (Stockholm, London, Oslo, Trondheim, Turin, Rom). Die so genannte Staugebühr in London ließ seit ihrer Einführung im Februar 2003 als Nebeneffekt die Feinstaubbelastung um sieben Prozent sinken. Das Verkehrsaufkommen nicht ausnahmberechtigter Fahrzeuge nahm in den ersten Jahren um 30 Prozent ab, neuerdings nimmt sie trotz Mauterhöhung wieder zu, verstärkt in den mautfreien Zeiten. Das bewirkt eine gewisse Vergleichmäßigung und Verstetigung der Feinstaubbelastung auf mittlerem Niveau.

Der Umweltentlastungseffekt einer Innenstadtmaut beschränkt sich auf einen reinen Verkehrsmengeneffekt, solange die Mauterhebung – wie üblich – nicht nach Umweltaspekten differenziert wird und das Mautaufkommen nicht in umweltentlastende Transportsysteme reinvestiert wird. Ein bedeutender Nachteil dieses Instruments ist dessen fehlende Selektivität. Das bedeutet es trifft alle Fahrzeuge, auch die mit den technisch erreichbar niedrigsten Emissionen. In dieser Ausgestaltung bieten Benutzungsgebühren keine Anreize für die Anschaffung emissionsarmer Fahrzeuge. Eine selektierende Maut ist zwar technisch möglich, würde allerdings einen höheren technischen Aufwand verursachen. Bei der in Deutschland vor-

herrschenden polyzentrischen Siedlungsstruktur mit vielen attraktiven Mittelzentren sind unkalkulierbare Ausweichreaktionen mit entsprechenden Verkehrsverlagerungen zu befürchten. Folglich ist eine positive Wirkung der Maut auf die Luftqualität nicht zu erwarten. Umwelt- und verkehrspolitische Untersuchungen deuten außerdem darauf hin, dass unter den derzeitigen technischen Möglichkeiten in den meisten Städten der Aufwand zur Erhebung, Erfassung und Kontrolle einer Pkw-Maut in keinem angemessenen Verhältnis zu den damit erreichbaren Verkehrsverbesserungen und Umweltentlastungen steht. Andere umwelt- und verkehrspolitische Maßnahmen (beispielsweise Geschwindigkeitsbeschränkungen, Zufahrtsbeschränkungen, Ausweisung von Umweltzonen, Parkraumbewirtschaftung) dürften gegenwärtig in den meisten Fällen effizienter sein. Die EU hält den Weg einer selektiven Innenstadtmaut derzeit für die zukünftige Entwicklung offen und verlangt nur eine EU-weite Systemkompatibilität der Erhebung.

5.4 Staubemissionsminderung in industriellen Anlagen

a) Entwicklung der Emissionen in den vergangenen Jahren

Die Gesamtstaubemissionen aus Industrieprozessen sanken von 1990 bis 2003 um circa 19 Prozent. Dafür waren sowohl eine **verbesserte Abgasreinigung** als auch **Produktionsrückgänge** verantwortlich. Die so genannten diffusen (nicht-punktförmigen und nicht gefassten) Quellen nahmen wegen des Fortschritts in der Abgasreinigungstechnik bei stationären Emittenten (Anlagen) anteilmäßig immer mehr an Bedeutung zu. Die Feinstaubemissionen der Metallindustrie stammen mittlerweile zu circa 80 Prozent aus Dachöffnungen, Hallentoren oder Fenstern – und nicht etwa aus den Schornsteinen.

Die PM₁₀-Feinstaubemissionen als Folge des Schüttgutumschlags schwankten von 1997 bis 2005 zwischen rund 9,6 Gigagramm²⁴ (1998) und 31 Gigagramm (1999, 2000) recht stark. Seit 2003 stabilisiert sich diese Jahresemission bei 24 Gigagramm.

In den westdeutschen Kraftwerken schrieb die Großfeuerungsanlagen-Verordnung schon seit 1983 die **Anwendung moderner Entstaubungstechnik** vor. Infolgedessen sanken dort bereits zwischen 1983 und 1994 die Staubemissionen in diesem Sektor um etwa 80 Prozent. Selbst von 1995 bis 2003 war in Gesamtdeutschland noch eine Minderung um 33 Prozent, bezogen auf die niedrigeren Emissionen von 1995, zu verzeichnen.

b) Anforderungen aus geltenden Regelungen

Für Industrieprozesse, kleinere Kraft- und Heizkraftwerke (bis 50 MW Feuerungswärmeleistung) und den Schüttgutumschlag gilt in Deutschland die **Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)**.

Die novellierte TA Luft aus dem Jahr 2002 legt niedrigere Emissionsgrenzwerte und konkretere Anforderungen an den Umschlag staubender Güter fest, die Maßnahmen zur Reduzierung der Staubemissionen erfordern. Nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen sind auf ein Mindestmaß zu beschränken. So ist der allgemeine Emissionsgrenzwert, den neu errichtete Anlagen einhalten müssen, um 60 Prozent niedriger als zuvor. **Spezielle Grenzwerte für besonders staubintensive Branchen** (Eisen und Stahl, Steine und Erden, Glas) verschärft die neue Vorschrift ebenfalls deutlich.

Um **Emissionen aus diffusen Quellen** nach dem Stand der Technik auf ein Mindestmaß zu reduzieren, schreibt die TA Luft vorbeugende Maßnahmen – wie das Befeuchten des staubenden Materials, das Einhausen von Anlagen und die Reinigung der Hallen, Wege und Straßen – vor. Bei eingehausten Anlagen können Tätigkeiten, die Staub sonst im Freien freisetzen würden, in geschlossenen Räumen unter kontrollierten Bedingungen stattfinden. Dazu verlangt die Vorschrift, die Gerätschaften in vollständig oder weitgehend geschlossener Ausführung aufzustellen. Wo dies nicht möglich ist, sind diffuse Emissionen gezielt zu fassen (etwa durch Absauganlagen) und einer Abgasreinigung zuzuführen. Dazu führt die TA Luft konkrete Vorschriften für bestimmte Anlagentypen auf.

Für Kraft- und Fernheizwerke ab einer Feuerungswärmeleistung von 50 MW gilt die **Großfeuerungsanlagen-Verordnung (13. BImSchV)**. Ihre Neufassung vom 24. Juli 2004 schreibt – im Vergleich zu ihrer Erstfassung aus dem Jahr 1983 – für die Staubemissionen je nach Brennstoff um mindestens 60 Prozent schärfere Grenzwerte vor.

Diese **strenge Abgasgesetzgebung** führt dazu, dass in neueren Kraftwerken nur moderne Abgasreinigungstechnik zum Einsatz kommt. Wirksame Entstaubungstechniken halten Staub zu 99,9 Prozent zurück. Für Altanlagen gelten abgestufte Übergangsregelungen (§ 20 der 13. BImSchV) zwischen dem 1. November 2007 und dem 1. Oktober 2015. Für die wesentlichen Staubemittenten gelten die neuen Regelungen entweder bereits jetzt, oder die Anlagen müssen

spätestens bis zum 31. Dezember 2010 nachgerüstet werden, wenn sie über den 31. Dezember 2012 hinaus weiter betrieben werden sollen. Nicht nachgerüstete Altanlagen verlieren mit dem 31. Dezember 2012 ihre Betriebsgenehmigung.

Die neue Großfeuerungsanlagen-Verordnung enthält darüber hinaus erstmals die Bestimmung, neue Kraftwerke möglichst als **Kraft-Wärme-Kopplungs-(KWK)-Anlagen** zu errichten. Das führt zu einem verringerten Brennstoffverbrauch, da die Brennstoffausnutzung viel höher – nahe am physikalisch Möglichen – liegt. Die Anlagen können die „Abwärme“ besser verwerten, die sonst, bei reiner Stromproduktion, unvermeidlich ist und weitgehend ungenutzt blieb. Genau genommen entsteht im KWK-Prozess nicht Abwärme, sondern Nutzwärme als Kuppelprodukt. Indirekt sinkt so auch die Luftbelastung mit anderen Schadstoffen.

Die TA Luft enthält nicht nur Emissionsgrenzwerte, sondern auch **Immissionsgrenzwerte für PM₁₀**, die die EU-Vorgaben erfüllen. Vor der Genehmigung einer Anlage muss der Betreiber nachweisen, dass der Betrieb nicht dazu beiträgt, dass die Grenzwerte in der Umgebung der Anlage überschritten werden.

Wegen der Umstellungen auf die neuen Vorschriften ist bei Industrieprozessen bis 2010 eine Minderung der Feinstaubemissionen – je nach Branche – um weitere 5 bis 20 Prozent zu erwarten. In einzelnen Industriezweigen (etwa Kokereien, Glas- und Düngemittelindustrie) ist jedoch wegen Produktionssteigerungen mit einer Erhöhung der Emissionen zu rechnen. Die Emission an Vorläufersubstanzen zur Bildung sekundärer Feinstaubpartikel wird im selben Zeitraum noch stärker abnehmen, je nach Schadstoff um 20 bis 50 Prozent. Für Kraft- und Fernheizwerke rechnet das UBA nach der Anwendung der neuen Großfeuerungsanlagen-Verordnung mit einem Rückgang der Feinstaubemissionen um etwa 20 Prozent bis 2010.

Auch der Schüttgutumschlag wird in den nächsten Jahren weiter nach den Anforderungen der TA Luft optimiert. Dadurch dürften die Feinstaubemissionen in diesem Sektor bis 2010 voraussichtlich um weitere 20 Prozent sinken.

5.5 Staubemissionen in der Landwirtschaft

Die landwirtschaftliche Produktion trägt mit ihren staubförmigen Emissionen direkt und mit den gasförmigen Emissionen der Vorläuferstoffe indirekt zur Feinstaubbelastung bei. Primärstaubemissionen entstehen vorwiegend in ländlichen Regionen bei der Feldbearbeitung sowie in der Tierhaltung. Die von Stallanlagen

freigesetzten Stäube werden aufgrund ihrer biologischen Bestandteile (Mikroorganismen und deren Stoffwechselprodukten) auch als Bioaerosole bezeichnet.

Wegen der Größe der Staubpartikel zählen sie nur teilweise zu den Feinstäuben. Grobstäube legen nur kürzere Strecken zurück und sind vor allem örtlich relevant; sie sind hier nicht weiter Gegenstand der Betrachtung.

a) Primärstaub-Emissionen in der Landwirtschaft

Die primären Feinstaubemissionen der landwirtschaftlichen Produktion stammen zum Teil aus Produktionsanlagen, besonders der Tierhaltung, zum Teil aus der Feldbewirtschaftung in der Pflanzenerzeugung sowie dem Transportwesen. Sie betragen 2004 nach Erhebung des UBA insgesamt 36,38 Gigagramm (siehe Endnote ²⁴).

Staubquellen sind Düngewirtschaft²⁵, die Dieselmotoren der Ackerschlepper und Erntemaschinen (Mähdrescher, Kartoffel-, Rübenroder). Partikel entstehen auch beim Mähdreschen und beim Transport und dem Umfüllen der Schüttgüter sowie als Folge der Aufwirbelung der Partikel bei der Bodenbearbeitung. Mit steigender Energieintensität der Bodenbearbeitung (wie bei zapfwellenangetriebenen²⁶ Geräten) sowie bei Trockenheit kann vermehrt Feinstaub entstehen und vom Wind fortgetragen werden.

Untersuchungen im Bereich der Tierhaltung haben folgende Faktoren als entscheidend ermittelt:

- Tierart (Rind, Schwein, Geflügel, Schaf, Ziege, Pferd);
- Haltungs-/Zuchtziel (Milcherzeugung, Bullenfleisch-, Masthähnchen-, Trut- hahnfleisch-, Eierzeugung, Reitpferdehaltung);
- Bau- und Haltungsform einschließlich der Aufstallungsform (Art der Lauf- freiheit, Fütterung, Einstreu- und Entmistungsverfahren);
- Art der Entlüftung (frei gelüftete/zwangsbelü- tete Ställe);
- Beachtung moderner Tierschutzaufgaben.

Diese Faktoren beeinflussen Art und Umfang des erforderlichen Umsatzes an Betriebsstoffen (einschließlich von Luft) in der Anlage und somit die Staubbefreiung wesentlich. Geflügelhaltung verursacht etwa spezifisch mehr Emissionen als Schweinezucht und die Schweinehaltung mehr als die Haltung von Rindern.

b) Gasförmige Emissionen: Vorläuferstoffe Ammoniak und Stickstoffoxide für Sekundärstaub

Für die Entstehung des Sekundärstaubs in der Atmosphäre sind die gasförmigen Ammoniakemissionen (NH_3 , aus der Tierhaltung sowie der Lagerung und Ausbringung der Gülle und des Festmists) relevant. Darüber hinaus entstehen in bodenchemischen Prozessen durch Mikroorganismen verschiedene Stickstoffoxide überwiegend auf gedüngten Böden, wobei für die Sekundärstaub-Entstehung das Stickstoffmonoxid (NO) wichtig ist. Das gasförmige NO reagiert in der Atmosphäre zu Stickstoffdioxid (NO_2), Ammoniak verbindet sich mit den dort vorhandenen sauren Luftschadstoffen SO_2/SO_3 und NO_x zu Ammoniumsulfat und Ammoniumnitrat. Die Verbindungen machen in den Feinstaubproben bis zu 40 Prozent der Masse aus.

c) Maßnahmen gegen Belastung und Belästigung; Emissionsminderungsmaßnahmen

Die TA Luft enthält Regelungen für die Ausstattung der Anlagen, die genehmigungsbedürftig sind, also Anlagen, die besonders stark auf die Umwelt einwirken oder in anderer Weise die Allgemeinheit oder Nachbarschaft belästigen. Derzeit fallen jedoch nur Anlagen zur Haltung von Geflügel, Schweinen und Pelztieren in den Regelungsbereich der TA Luft; Pferde und Schafe werden von ihr nicht erfasst. Welche konkreten Regelungen anzuwenden sind, ergibt sich aus der geplanten Größe, also der Anzahl der Mast- oder Stallplätze. Hierbei sind einige Grundsätze zu beachten:

(1) Für Intensivtierhaltungen bei Schweinen und Geflügel mit großen Tierbestandszahlen finden die EU-Richtlinie über die Integrierte Vermeidung von Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie) und das Merkblatt für Beste Verfügbare Techniken (BVT) der EU Anwendung (veröffentlicht im Juli 2003). Anstelle verbindlicher Grenzwerte werden in den BVT-Merkblättern die BVT und die damit verbundenen erreichbaren Emissions- und Verbrauchswerte beschrieben. Es obliegt dann den Mitgliedstaaten und ihren Genehmigungsbehörden, daraus geeignete Emissionsgrenzwerte und sonstige Genehmigungsanforderungen abzuleiten. Die BVT-Merkblätter haben den rechtlichen Charakter von Empfehlungen. Das BVT-Merkblatt „Intensivtierhaltungsanlagen“ wird 2009/2010 einer Revision unterzogen.

(2) Um eventuell notwendige **Emissionsminderungsmaßnahmen** nach dem Stand der Technik bei der Tierhaltung allgemein und möglichst bundeseinheitlich fordern zu können, förderte das Umweltbundesamt – gemein-

sam mit dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) – ein Forschungsprojekt. Das Projekt „Nationaler Bewertungsrahmen Tierhaltungsverfahren“ endete 2006 [Abschlussbericht siehe Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), KTBL-Schrift-Nr. 446, Dez. 2006]. Es bewertet eine Vielzahl von Bauformen und Techniken sowie Emissionsminderungsmaßnahmen. Dabei werden auch Aspekte der Tiergerechtigkeit berücksichtigt.

(3) Mit Hilfe des **ökologischen Landbaus** lassen sich vor allem die gasförmigen Feinstaub-Vorläuferstoffe – wie Ammoniak und Stickstoffoxide – verringern. Dagegen führen die im Ökolandbau bevorzugten tiergerechten Haltungsformen regelmäßig zu erhöhten Staubkonzentrationen im Stallbetrieb. Ob diese freigesetzten Stäube auch zu relevanten Staubemissionen in die Außenluft führen, hängt von der Bauform und der Lüftung ab.

(4) **Technische Emissionsminderungsmaßnahmen** sind in Ställen ohne Zwangsbelüftung schwierig zu realisieren. Zwangsbelüftete Anlagen mit Zu- und Abluftregelung eignen sich zur nachträglichen Emissionsminderung am besten. Da in der Regel nicht nur staubförmige Luftschadstoffe abzuscheiden sind, ist es zweckmäßig, eine komplexe Abluftreinigungsanlage für alle Schadstoffe zu errichten (oft Kombinationen aus Wasser- und Säurewäschern und Biofiltern). Innerhalb der Ställe gilt das Versprühen von Rapsöl als effektive Maßnahme gegen Stäube.

5.6 Staubemissionsminderung in Haushalt und Kleingewerbe

Staubemissionen aus privaten Haushalten und aus dem Kleingewerbe treten überwiegend bei der Verbrennung fester Brennstoffe auf. Bis zum Jahr 2000 zeigten diese Emissionen eine rückläufige Tendenz, weil viele Hausbesitzer von der Einzelraumbeheizung mit Feststofffeuerungen zu modernen Öl- oder Erdgas-Zentralheizungen übergegangen waren. Die zunehmende Zahl an Holzfeuerungen führte aber in den letzten Jahren dazu, dass die Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen nicht weiter abnehmen, obwohl auch weiterhin neue Anlagen die älteren ersetzen.

Die Höhe der Staubemissionen aus privaten Haushalten und aus dem Kleingewerbe hängt generell stark von der Heiztechnik und den verwendeten Brennstoffen ab. Die „sauberste“ Lösung ist das Passivhaus, dessen Heizenergiebedarf für Raumwärme sehr niedrig ist und teilweise über Solarwärme und Wärmepumpen²⁷ gedeckt werden kann. Bezogen auf Feuerungsanlagen ist der

mit Erdgas befeuerte **Gasbrennwertkessel am „saubersten“**. Er setzt zudem besonders viel der im Brennstoff enthaltenen Energie in Wärme um, da er aus dem Abgas den Wasserdampf kondensieren lässt und die auf diese Art erzeugte Wärme zusätzlich nutzt.

Der **Ersatz fossiler Brennstoffe – wie Erdöl oder Erdgas durch Holz** – hilft, klimaschädliche Kohlendioxidemissionen zu sparen. Doch sollte – wegen des hohen Staubausstößes – nur moderne, emissionsarme Anlagentechnik zum Einsatz kommen. Die Vergabestelle für das Umweltzeichen „Blauer Engel“ – die „Jury Umweltzeichen“ – hat im Produktbereich der Kleinf Feuerungsanlagen sowohl für besonders emissionsarme Gasbrennwertkessel als auch für besonders staubarm arbeitende **Holzpellettheizungen** Kriterien für ein Umweltzeichen entwickelt (RAL-UZ 61 [Gasbrennwertkessel] sowie RAL-UZ 111 [Holzpelletöfen] und RAL-UZ 112 [Holzpellet-Heizkessel]). Dabei gilt es zu beachten, dass das Umweltzeichen (in Verbindung mit der jeweiligen Vergabenummer) lediglich die Erfüllung bestimmter produktspezifischer Anforderungen innerhalb einer Warengruppe attestiert. Ein Vergleich zwischen verschiedenen Betriebssystemen des gleichen Nutzungszwecks – wie hier bei der Wärmeerzeugung – findet nicht statt. Somit erfolgt die Wertung des Umweltzeichens nicht absolut in Bezug auf alle Wärmeerzeuger, sondern relativ, bezogen auf die eigene Warengruppe – in diesem Fall die Gruppe der Holzpelletfeuerungsanlagen. Auch diese Holzpellettheizungen mit dem „Blauen Engel“ stoßen deutlich mehr Feinstaub aus als eine moderne Gasheizung. Zur Jury Umweltzeichen und zu den Produkten führt der Link http://www.blauer-engel.de/deutsch/navigation/body_blauer_engel.htm.

Ergänzend zum Einbau eines neuen Kessels sollten Hausbesitzende **Wärmedämmungsmaßnahmen** vorsehen, um Brennstoffe zu sparen und damit indirekt die Luftverschmutzung zu senken. Die **Nutzung erneuerbarer Energien** – vor allem Sonnen-, Wasser- oder Windenergie – zur Warmwasser- oder Stromerzeugung vermeidet weitere Staubemissionen.

Für Heizungen in Haushalten und Kleingewerbe gilt in Deutschland die Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. Bundes-Immissionsschutz-Verordnung, 1. BImSchV). Derzeit plant das Bundesumweltministerium (BMU) eine Überarbeitung dieser Vorschrift, weil auch in den nächsten Jahren mit einer Zunahme kleiner Holzfeuerungsanlagen zu rechnen ist und die gültigen Emissionsgrenzwerte für diese Anlagen nicht mehr dem Stand der Technik ent-

sprechen. Hauptziel der Novelle ist eine deutliche Reduzierung der Feinstaubemissionen mit einer neuen Generation von Feuerungsanlagen. Neue Feuerungsanlagen müssen dann anspruchsvolle Staubgrenzwerte einhalten. Die Einhaltung ist nachzuweisen bei Heizkesseln im laufenden Betrieb, bei Einzelraumfeuerungsanlagen, wie zum Beispiel Kamin- oder Kachelöfen, als Baumuster auf dem Prüfstand. Auf diese Weise werden die Feinstaubemissionen deutlich vermindert, da der Gesamtstaubausswurf zu über 90 Prozent aus Feinstaubpartikeln besteht.

Emissionsarme Feuerungsanlagen führen auch zu weniger Geruchsbelästigungen.

Besonders wichtig für die Wirksamkeit der neuen Anforderungen ist es, auch die Emissionen bestehender Anlagen zu reduzieren. Dies ist im Entwurf zur novellierten 1. BImSchV vorgesehen: Bestehende Anlagen („Altanlagen“) müssen nach langen Übergangsfristen, die frühestens 2015, spätestens 2025 auslaufen, bestimmte Staubgrenzwerte einhalten.

Bei bestehenden Heizkesseln stellt der Schornsteinfeger bei einer Einstufungsmessung einige Jahre vor Ablauf der Übergangsfrist fest, ob die Anlage die neuen Grenzwerte einhält. Bei bestehenden Einzelraumfeuerungsanlagen gibt es zwei Möglichkeiten:

- Der Hersteller stellt nachträglich eine Bescheinigung darüber aus, dass der Anlagentyp die Grenzwerte auf dem Prüfstand einhält oder
- der Schornsteinfeger nimmt vor Ort eine Messung der Staubemissionen vor.

Bestehende Feuerungsanlagen, die die Grenzwerte einhalten, können zeitlich unbegrenzt weiter ihren Dienst verrichten. Anlagen, bei denen dies nicht der Fall ist, muss der Betreiber nachrüsten oder austauschen.

Eine vorgezogene oder gar verschärfte Altanlagenregelung, wie es zur Einhaltung der Feinstaub-Immissionsgrenzwerte unbedingt erforderlich wäre, scheint derzeit aber nicht realistisch: In der politischen Diskussion um die Novellierung der 1. BImSchV zeichnet vielmehr eine Abschwächung der Sanierungsregelung für bestehende Holzfeuerungsanlagen ab. Die Zahl der Anlagen, die auch künftig von Grenzwerten verschont bleiben, kann sich damit deutlich erhöhen. Es ist deshalb zu befürchten, dass alte Holzfeuerungsanlagen auch auf lange Sicht die Luftqualität noch deutlich beeinträchtigen werden.

6. Luftreinhalte- und Aktionspläne

Die rechtlichen Grundlagen zu den heutigen EU-weit aufgestellten Luftreinhalte- und Aktionsplänen hat das europäische Gemeinschaftsrecht vorgegeben. Es handelt sich um eine Reihe von Richtlinien zur Luftqualität, die die EG zwischen 1996 und 2004 erlassen hat. Deutschland hat diese ab 2001/2002 schrittweise in nationales Recht – in das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und seine 22. und 33. Verordnungen (BImSchV) – übernommen. Das Gesetz regelt die Grundpflichten und verweist auf die nachgeordneten Regelungen, in denen die Luftqualitätsgrenzwerte sowie weitere Durchführungsbestimmungen festgelegt sind.

Nach § 47 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes löst die Überschreitung der Luftqualitätsgrenzwerte die Pflicht zur Aufstellung von Luftreinhalteplänen (Absatz 1) sowie Aktionsplänen (Absatz 2) aus. Die 22. Bundes-Immissionsschutz-Verordnung gibt nicht nur die Struktur der Pläne, sondern die materiellen Grundlagen zur Feststellung und Beurteilung der Luftqualität vor. Welche Stellen in den einzelnen EU-Mitgliedstaaten dafür zuständig sind, lässt die betreffende EU-Richtlinie offen; in Deutschland legt dies das jeweilige Bundesland per Zuständigkeitsverordnung fest. Landes- und kommunale Behörden arbeiten bei der Aufstellung der Pläne eng zusammen.

Städte und Gemeinden können in Luftreinhalteplänen auch Maßnahmen der Stadt- und Regionalplanung einsetzen. Wie in Abschnitt 5.2 dargestellt, werden die spezifischen Emissionen aus Anlagen und Kraftfahrzeugen nach Bundes- und Gemeinschaftsrecht geregelt. So bleibt den Kommunen nur Spielraum für die Festlegung nichttechnischer Maßnahmen, vor allem im Verkehr. Es handelt sich um Appelle, Sammelbeförderungsangebote zur Vermeidung individueller Fahrten, Lenkungs-, Mengensteuerungs- sowie selektive Verbotsmaßnahmen, die in der Regel als Benutzervorteile ausgestaltet sind. Viele Kommunen beschlossen die Ausweisung von „Umweltzonen“ (siehe detailliert in Abschnitt 5.3 b), den Bau von Umgehungsstraßen oder die Einrichtung von Stadtlogistik-Zentren. Zahlreiche Städte und Gemeinden haben Anforderungen an einen umweltgerechten öffentlichen Nahverkehr – etwa die verpflichtende Beschaffung von Bussen mit Partikelfiltern – in ihren Ausschreibungen für ÖPNV-Verkehrsleistungen festgelegt. Aktionspläne enthalten als „kurzfristige“ Maßnahme oft die Sperrung stark belasteter Straßen für den Lkw-Verkehr, was häufig lediglich den Transitverkehr betrifft (Lkw-

Durchfahrtsverbot). „Kurzfristige“ Maßnahmen bedeutet hier, dass sie binnen kurzer Zeit in Kraft gesetzt werden, jedoch in aller Regel dauerhaft eingerichtet und wirksam bleiben.

Die Wirksamkeit der von den Kommunen und Ländern ergriffenen Maßnahmen wird sich in den kommenden Jahren im „Praxistest“ zeigen. Die laufenden Messungen vor allem an den Orten der höchsten Belastung werden Aufschluss darüber geben, wie sich die lokalen Maßnahmen im Zusammenspiel mit den großräumigen Emissionsminderungen auf die Luftqualität auswirken. In etwa einem Drittel der Luftreinhalte- und Aktionspläne ist die Maßnahme „Umweltzone“ verankert.

Es bleibt zu hoffen, dass die Anfang 2009 beschlossenen staatlichen Stützmaßnahmen für die Autoindustrie – zum Beispiel eine Verschrottungsprämie für Altfahrzeuge – dazu benutzt werden, die damit angestoßene Flottenerneuerung umweltentlastend zu gestalten. Die Maßnahme ist bis Ende 2009 befristet. Zur Erlangung der „Umweltprämie“ genannten Wirtschaftsförderung muss der Neuwagen derzeit mindestens die Euro-IV-Norm erfüllen²⁸. Der Präsident des Umweltbundesamtes, Prof. Dr. Andreas Troge, betonte, dass eine Abwrackprämie nur unter sehr eng definierten Bedingungen zur Umweltprämie werde. Er forderte ferner, den staatlichen Zuschuss nur zu zahlen, wenn die Neuwagen die strengeren Euro-5-Kriterien einhielten, die im Herbst 2009 für alle neuen Fahrzeugtypen Pflicht werden.

Derzeit liegen in Deutschland über 130 Luftreinhalte- und Aktionspläne vor. Das Umweltbundesamt veröffentlicht unter <http://gis.uba.de/website/umweltzonen/lrp.php> eine Sammlung von Links zu Internetseiten, welche die Pläne enthalten. Diese Pläne beziehen sich überwiegend auf Überschreitungsfälle der Feinstaubgrenzwerte (118 Pläne) und zu einem Drittel auf Stickstoffdioxid-Grenzwertüberschreitung (56 Pläne). 10 Pläne benennen beide Hauptschadstoffe.

In einem Forschungsprojekt wertete das UBA alle vorliegenden Luftreinhalte- und Aktionspläne bis 2008 aus Deutschland aus. Das Ziel des Projektes war, die Wirksamkeit der enthaltenen Maßnahmen zu bewerten und – in zweiter Linie – den Kommunen Entscheidungshilfen an die Hand zu geben, um die Luftreinhalteplanung in Zukunft zu optimieren. Die Auswertung ergab hinsichtlich der emissions- und immissionsseitigen Minderungspotenziale, dass restriktiv gestaltete Umweltzonen, Lkw-Durchfahrtsverbote

und die Dieselpartikelfilter-Nachrüstung die immissionswirksamsten Maßnahmen sind, sofern man diese Wirksamkeit auf die Verkehrsbelastungsschwerpunkte bezieht. Maßnahmen, die auf Verkehrsverlagerung zielen (Umleitungen oder Durchfahrtsverbote), verhindern die Emissionen nicht, sie ändern lediglich ihre räumliche Verteilung. Eine signifikante Minderung der PM_{10} -Belastung durch Verminderung der Verkehrsströme tritt erst bei erheblichen Reduktionen des Verkehrsaufkommens um 20 bis 30 Prozent auf, was weit über die üblichen Lkw-Flottenanteile auf Stadtstraßen (4 bis 8 Prozent) hinausgeht.

Über die Modalitäten im Umgang mit Luftreinhalte- und Aktionsplänen sowie den erforderlichen Maßnahmen gibt es unterschiedliche Auffassungen und rechtliche Spielräume, die die Beteiligten nutzen. Früh war klar, dass viele dieser Fragen einer gerichtlichen Klärung bedürfen. Diese Rechtsstreitigkeiten wurden in den Jahren 2005 bis 2008 über alle Instanzen ausgefochten. Betroffene Bürger haben den Staat über alle Instanzen verklagt, um ihr „Recht auf saubere Luft“ durchzusetzen.

Nach zwei Entscheidungen des Bundesverwaltungsgerichtes (BVerwG) vom März und September 2007²⁹ können Betroffene nach deutschem Recht nicht die Aufstellung eines Aktionsplanes, sondern den Erlass verhältnismäßiger – notfalls auch planunabhängiger – Maßnahmen erwirken. Wegen europarechtlicher Bedenken legte das Bundesverwaltungsgericht den Fall dem Europäischen Gerichtshof (EuGH) vor. Der EuGH bestätigte in seinem Urteil vom 25. Juli 2008³⁰ schließlich, dass unmittelbar betroffene Einzelne bei den zuständigen Behörden die Erstellung eines Aktionsplans erwirken können. Dies gilt im Fall der Gefahr einer Überschreitung der Grenzwerte, beispielsweise für Feinstaubpartikel. Bürger können allerdings nicht verlangen, dass durch die Maßnahmen eines solchen Planes die Grenzwerte sofort und strikt eingehalten werden. Es genügt, dass die Maßnahmen eine Senkung der Belastungswerte im Sinne eines Stufenkonzeptes bewirken.

7. Was ist der letzte Stand, wie geht es weiter?

Das Sechste Umweltaktionsprogramm der Europäischen Gemeinschaften³¹ verkündete, zur Lösung verschiedener Umweltprobleme so genannte thematische Strategien zu erarbeiten. Zur Verbesserung der Luftqualität legte die Europäische Kommission am 21. September 2005 ihre „Thematische Strategie zur Luftreinhaltung“ vor³². Sie ist als „Weg zu einer Luftqualität, die kei-

ne erheblichen negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt hat und keine entsprechenden Gefahren verursacht“ zu verstehen. Sie setzt das Programm „Saubere Luft für Europa“³³ fort. Ziel dieses Prozesses war unter anderem die Überarbeitung der Richtlinien zur Luftqualität.

Die weitere Verringerung der Feinstaubbelastung spielt in der „Thematischen Strategie zur Luftreinhaltung“ eine wichtige Rolle. Maßnahmen sind für den Verkehr, die Industrie und die Landwirtschaft geplant. Als eine wichtige Maßnahme nennt das Programm schärfere Abgasgrenzwerte für Lkw, Pkw und leichte Nutzfahrzeuge. Sie empfiehlt den Mitgliedstaaten Programme zur finanziellen Förderung der Nachrüstung von Fahrzeugen mit Partikelfiltern.

Als erste Umsetzung der Thematischen Strategie trat die „Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa“ am 11. Juni 2008 in Kraft. Die Mitgliedstaaten müssen sie bis zum 11. Juni 2010 in nationales Recht umsetzen. Bezüglich des Feinstaubes sind folgende Punkte von Bedeutung:

- Die bisherigen PM_{10} -Werte (Jahresgrenzwert- und Tagesgrenzwert im Sinne des § 1 Ziff. 3 der 22. BImSchV) aus der Richtlinie 1999/30/EG aus dem Jahre 1999 bleiben zwar unverändert. Die PM_{10} -Grenzwerte müssen unter bestimmten Voraussetzungen erst 2011 eingehalten werden (siehe Kasten „Fristverlängerung“).
- Für $PM_{2,5}$ werden erstmalig Begrenzungen eingeführt: Ein Jahreszielwert (Erklärung siehe unter Fußnote 8) von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ soll, wenn möglich, 2010 eingehalten werden. Verbindlich wird dieser Wert als Grenzwert ab 2015 (siehe Erklärung in Abschnitt 3).

Darüber hinaus soll die Exposition der Bevölkerung gegenüber $PM_{2,5}$ reduziert werden. Dazu definiert die Richtlinie Nationale Reduktionsziele mit Hilfe eines Indikators „AEI“³⁴, der als gleitender Dreijahres-Durchschnittswert gebildet wird. Diese durchschnittliche Belastung eines Mitgliedstaates, gemessen an städtischen Hintergrundstationen, soll im Zeitraum von 2010 bis 2020 um einen landesspezifischen Prozentsatz reduziert werden. Der Prozentsatz bestimmt sich nach der Ausgangsbelastung im Mitgliedstaat und beträgt – je nach dem ermittelten Ausgangsbelastungswert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – bis zu 20 Prozent gegenüber dem Dreijahres-Mittel im Zeitraum von 2008 bis 2010. Je höher diese Ausgangskonzentration, desto höher ist das Reduktionsziel in Prozent, desto wirksamere Maßnahmen muss der Mitgliedstaat ergreifen.

Zur „Fristverlängerung“ gemäß Artikel 22 und 23 der Richtlinie 2008/50/EG

Eine Besonderheit der neuen Richtlinie 2008/50/EG ist die Möglichkeit, die für die Einhaltung der Luftqualitätsgrenzwerte gesetzten Fristen per Mitteilung an die Kommission zu verlängern. Diese eingeräumte Flexibilität geht mit strengen Maßnahmen zur Durchsetzung der Richtlinie einher: Die Flexibilisierung ist ein gewollt starres Instrument. Zur Verlängerung müssen bestimmte Bedingungen erfüllt sein, für die der Mitgliedstaat Belege vorlegt. Für PM_{10} ist ein Aufschub von drei Jahren ab Erscheinen der Richtlinie, also bis zum 11. Juni 2011, möglich. Für NO_2 endet die maximal mögliche Fristverlängerung 2015.

Der Mitteilung der Fristverlängerung sind umfangreiche Unterlagen beizufügen, warum die Grenzwerte trotz Maßnahmen der Luftreinhalte- und Aktionspläne nicht eingehalten werden konnten und wie und mit welchen zusätzlichen Maßnahmen der Mitgliedstaat die Grenzwerte bis zum neuen Stichtag einhalten will. Dazu ist die Vorlage eines neuen Luftreinhalteplanes erforderlich. Das korrekte Ausfüllen der Anlagen zum Plan (Formblätter) ist zeitaufwändig: Es erfordert in Deutschland bei den einzelnen Bundesländern zwar unterschiedlichen, in der Regel jedoch einen erheblichen Aufwand.

Die Kommission hat nach Eingang der Mitteilung neun Monate Zeit zur Prüfung der Unterlagen. Hat sie in dieser Frist keine Einwände erhoben, gilt die Fristverlängerung als akzeptiert. Die Kommission kann aber Nachforderungen stellen, zum Beispiel neue Luftreinhaltepläne verlangen. Sie ist auch befugt, die Nichteinhaltung der vertraglichen Pflichten zu ahnden, indem sie den Europäischen Gerichtshof anrufen und diesen ersuchen kann, gegen den Mitgliedstaat eine Geldstrafe zu verhängen. Dies kann auch dann der Fall sein, wenn ein Mitgliedstaat trotz Nichteinhaltung keine Mitteilung der Fristverlängerung vorgelegt hat.

Ausblick auf das Jahr 2009

Bei zehn Mitgliedstaaten hat die Europäische Kommission erste Mahnschreiben wegen Nichteinhaltung der Luftqualitätsstandards verschickt und somit förmlich die Vertragsverletzungsverfahren gegen diese Mitgliedstaaten eingeleitet³⁸. Es handelt sich um Zypern, Estland, Deutschland, Italien, Polen, Portugal, Slowenien, Spanien, Schweden und Großbritannien. Die genannten Mitgliedstaaten haben für die Luftqualitätsgebiete, in denen eine Überschreitung der PM_{10} -Grenzwerte festgestellt wurde, bisher keine oder keine vollständigen Mitteilungen der Fristverlängerung gestellt, elf Mitgliedstaaten haben für alle ihre Gebiete Fristverlängerung gemeldet. Deutschland, Polen, Italien und Spanien haben Mitteilungen nicht für alle Gebiete gestellt (Stichtag: 14.1.2009).

Derzeit arbeiten die Bundesregierung und das Umweltbundesamt am Entwurf einer Artikelverordnung, die die Anpassung der 22. und 33. Bundes-Immissionsschutz-Verordnungen an die neue Richtlinie 2008/50/EG vornimmt.

Im Jahr 2010 sollen die neuen Regelungen in deutsches Recht umgesetzt sein.

¹ Die Partikelgröße ist ein Merkmal, das nicht mit einem einzigen Wert eindeutig beschreibbar ist. Zur Kennzeichnung der Größe unregelmäßig geformter Staubpartikel, wie sie in der Außenluft vorkommen, gibt es deshalb verschiedene Hilfsgrößen – sogenannte Äquivalentdurchmesser –, die sich auf modellhaft definierte Messverfahren und Bedingungen – also auf Konventionen – beziehen. Am häufigsten wird der „aerodynamische“ Durchmesser benutzt. Der aerodynamische Durchmesser ist der Durchmesser einer Modellkugel mit einer Dichte von 1 g/cm³, die sich mit derselben Sinkgeschwindigkeit in ruhender oder laminar strömender Luft bewegt wie das betrachtete Partikel. Die laminare oder Schicht-Strömung ist die Bewegung von Flüssigkeiten und Gasen, bei der keine Turbulenzen (Verwirbelungen und/oder Querströmungen) auftreten. Für PM₁₀ gilt vor diesem Hintergrund folgende Definition: PM₁₀ ist die Partikelfraktion, die einen gröbenselektiven Lufteinlass passiert, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 Mikrometer eine Abscheidungswirksamkeit von 50 Prozent hat.

² bestehend aus nahezu gleich großen Partikeln

³ Nanomaterialien: Mit der Nanoskaligkeit der Partikelgröße kommen neue Eigenschaften und Funktionalitäten, oft neue Qualitäten der bestehenden Eigenschaften hinzu. Hierzu gehören auch selbstorganisierende Systeme aus nanoskaligen, monodispersen Einzelbausteinen. Diese neuen Eigenschaften, Effekte und Möglichkeiten sind jedoch nicht nur an eine allgemein festlegbare Partikelgröße gebunden. Sie sind überwiegend im Verhältnis Oberfläche zu Volumen der Nanopartikel und im quantenmechanischen Verhalten der Materie begründet.

⁴ Engl. ‚Volatile Organic Compounds‘ (flüchtige organische Verbindungen)

⁵ Das Gewebe der Alveolen (Lungenbläschen).

⁶ Ihrem Selbstverständnis gemäß fragt die wissenschaftliche Disziplin Epidemiologie vor allem nach der Häufigkeitsverteilung von Krankheiten (deskriptive Epidemiologie), ihren Entstehungsursachen (analytische Epidemiologie) und nach wissenschaftlich begründeten Handlungsmöglichkeiten (interventionelle Epidemiologie), um Krankheiten erfolgreich zu bekämpfen und zu überwinden. (<http://www.gesundheitsforschung-bmbf.de/de/153.php>)

⁷ Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über die Luftqualität und saubere Luft für Europa (Amtsblatt der Europäischen Union L 152 v.

11.6.2008).

URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:DE:PDF>

⁸ „Zielwert‘ ist ein Wert, der mit dem Ziel festgelegt wird, schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt insgesamt zu vermeiden, zu verhindern oder zu verringern, und der soweit wie möglich in einem bestimmten Zeitraum eingehalten werden muss“ (Art. 2 Ziff. 9 der o. g. Richtlinie).

⁹ Konzentration eines Schadstoffes in der Außenluft; im städtischen Hintergrund: Belastungsniveau in Verstädterungsgebieten (Großstädten, Ballungsräumen) abseits lokaler Belastungsschwerpunkte.

¹⁰ „Inversion“ ist in der Wetterkunde die Bezeichnung für eine (Temperatur-) Umkehr. Eine Inversionswetterlage ist eine Wetterlage, die durch eine Umkehr (Inversion) des atmosphärischen Temperaturgradienten geprägt ist. Der Lufthöhenbereich, in dem diese Inversion auftritt, wird als Inversionsschicht bezeichnet; darunter liegt kältere, darüber wärmere Luft. Die Inversionswetterlage ist meist durch Windstille oder schwache Winde gekennzeichnet. Inversionen wirken wie Sperrschichten, weil in ihnen eine große vertikale Stabilität der Temperaturschichtung herrscht.

¹¹ http://ec.europa.eu/enterprise/automotive/mveg_meetings/meeting98/index.htm

¹² http://ec.europa.eu/enterprise/automotive/pages/background/pollutant_emission/eurovi_16122008.pdf und Pressemitteilung des EP Nr. IPR44606 sowie des BMU Nr. 307/2008 v. 16.12.2008 (die Verordnung ist bis zum Redaktionsschluss – 15.3.2009 – im Amtsblatt der EG noch nicht veröffentlicht).

¹³ <http://www.umweltdaten.de/verkehr/downloads/Foerderung-Partikelfilter-durch-Lkw-Maut.pdf>

¹⁴ siehe Mauthöheverordnung MautHV: <http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/mauthv/gesamt.pdf> (zuletzt geändert am 20.11.2008)

¹⁵ <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/reden/spritverbrauch.htm>

¹⁶ Vgl. <http://www.umweltdaten.de/uba-info-presse/hintergrund/UGR-Hintergrundpapier.pdf> sowie <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/externekosten.pdf>

¹⁷ Enhanced Environmental friendly Vehicle (besonders umweltfreundliches Fahrzeug). EEV steht für Enhanced Environmentally Friendly Vehicle. Fahrzeuge mit EEV-Standard übertreffen die ab Oktober 2008 gültige EURO-V-Norm für neu zugelassene Busse und Lkw.

¹⁸ <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/2967.htm>

¹⁹ 35. Bundes-Immissionsschutz-Verordnung vom 10. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2218; http://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_35/index.html) sowie Viertes Gesetz zur Änderung des Kraftfahrzeugsteuergesetzes (BGBl. I S. 356, 2007).

²⁰ Luftreinhalte- und Aktionsplan Berlin 2005-2010, August 2005: <http://www.berlin.de/sen/umwelt/luftqualitaet/de/luftreinhalteplan/index.shtml>

²¹ 2. Vortrag Dr. Christian Nagl (Umweltbundesamt Wien), KAPA-GS-Kongress „Feinstaubfrei“, Klagenfurt, 29.03.2007

²² <http://www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do;jsessionid=A7E2B95E9BE6FDDDB4A98C857E36FB77?ident=13858>

²³ EU-LIFE-Projekt „KAPA-GS“ (beteiligte Städte: Klagenfurt, Graz, Bozen; <http://www.feinstaubfrei.at/hm/kapags.htm>)

²⁴ 1 Gigagramm = 10⁹ Gramm = 1 Kilotonne = 1 000 Tonnen. 24 Gigagramm sind 24 000 Tonnen.

²⁵ Handhabung und Ausbringung wirtschaftseigener Dünger (Mist, Jauche, Gülle, Gründünger) sowie fremder (überwiegend mineralischer) Düngstoffe

²⁶ Die Zapfwelle oder Nebenantrieb ist ein (Neben-)Ausgang des Fahrzeuggetriebes (in diesem Fall des Ackerschleppers), um Kraft für den Antrieb der erforderlichen Hilfsgeräte auszukoppeln. Die Schlepperleistung teilt sich zwischen Haupt- und Nebenantrieb auf. Das macht eine höhere Schlepperleistung erforderlich, um die Arbeitsleistung nicht sinken zu lassen, was zu Gewichtszunahme führt und sich über die Porenverengung sehr negativ auf die Bodenbeschaffenheit auswirkt.

²⁷ Zu den indirekten Emissionen der stromgetriebenen Wärmepumpen s. Hintergrundpapier des Umweltbundesamtes: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3192.pdf>

²⁸ <http://www.bafa.de/bafa/de/wirtschaftsfoerderung/umweltpraemie/index.html>

²⁹ BVerwG 7 C 9.06, Beschluss v. 29.03.2007; BVerwG 7 C 36.07, Urteil v. 27.09.2007

³⁰ Urteil des Gerichtshofes in der Rechtssache C-237/07 v.25.07.2008 (s. auch: Pressemitteilung Nr. 58/08)

³¹ KOM(2001)245 endg. v. 24.1.2001

³² KOM(2005)466 endg.

³³ engl. ‚Clean Air for Europe‘, abgekürzt ‚CAFE‘, KOM(2001)245 endg.

³⁴ Indikator für die durchschnittliche Exposition (engl. ‚AEI – Average Exposure Indicator‘)

³⁵ http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/time_extensions.htm

³⁶ Mitteilung der Kommission KOM(2008)403 endgültig v. 26.6.2008

³⁷ Staff working paper SEC(2008)2132 [http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/sec_2008_2132_en.pdf]

³⁸ Pressemitteilung IP/09/174 vom 29. Januar 2009