

- Büro für Umweltfragen -
Umweltnetzwerk

"Tod vom Allerfeinsten"*
Auswirkungen der
lufthygienisch wichtigsten
Schadstoffe auf die Gesundheit

Autor: Klaus Koch

Hamburg, den 15.9.2005

Umweltnetzwerk – Büro für Umweltfragen
21029 Hamburg, Wetteringe 8
Tel: 040 – 811 511 Mobil: 0173 – 63 222 30
e-Mail: umweltnetzwerk@alice-dsl.de

Die Ihnen zur Literatur vorliegende Studie „Tod vom Allerfeinsten“ ist eine wissenschaftliche Abhandlung der wichtigsten luftgetragenen Schadstoffe und deren Auswirkungen auf die Umwelt. Die Studie wurde in Zusammenarbeit mit einem Lungenfacharzt und einem Toxikologen erarbeitet. Vom Autor wird nicht der Anspruch auf Vollständigkeit der Erfassung und Darstellung aller umweltbedingten luftgetragenen Schadstoffe erhoben. Vielmehr soll Ihnen dieses Papier eine kleine Übersicht bieten, welche relevanten Schadstoffe unseren Alltag mit beeinflussen und welche Auswirkungen diese auf unsere Gesundheit haben.

Da Chemie- und Gentechnik immer weiter miteinander verschmelzen und damit einen breiten Einfluss auf unser tägliches Leben haben, muss die Forderung auch im volkswirtschaftlichen Interesse gestellt werden, die Industrie für den Austrag ihrer Schadstoffe auch haftbar zu machen. Nur so kann ein wirtschaftlicher Druck erzeugt werden, definitiv weniger Schadstoffe, statt immer mehr und neue Schadstoffe in die Umwelt einzutragen. Von einer oft propagierten Entlastung unserer Umwelt kann bei den einseitigen Interessen der Lobbyistenverbände noch nicht gesprochen werden.

Das jeder Mensch laut unserer obersten Verfassung ein gesetzlich garantiertes Anrecht auf körperliche Unversehrtheit hat, scheint von vielen Politikern und den Lobbyisten in unserem Wirtschaftssystem mehr und mehr in Vergessenheit geraten zu sein. Dieses Papier soll eine Mahnung an alle diejenigen sein, die weitere Umweltbelastungen zugunsten neuer Industrie-, Feuerungs- oder anderer Schadstoffemittierender Unternehmen billigend in Kauf nehmen, um unsere sogenannte „Wohlstandsgesellschaft“ allein nach Optimierungsgrundsätzen zu erhalten.

Wenn die Wirtschaftsförderung einseitig überwiegend zu Lasten der Umwelt geht, so ist dieser Argumentation massiv zu widersprechen, denn sie verursacht letztlich höhere Kosten, als der vorsorgende Umweltschutz. Auch Wirtschaftsunternehmen bestehen aus Menschen, die eine gesunde und reinere Atemluft zum alltäglichen Leben benötigen.

Verursacher

Unser Atemwegsorgan, die Lunge, versorgt den menschlichen Organismus Tag für Tag mit bis zu 20.000 Liter Luft. Millionen Lungenbläschen entnehmen der Luft Sauerstoff, den wir für viele Stoffwechselfvorgänge benötigen und führen Kohlendioxid und andere Gase als Endprodukte der unterschiedlichsten, im Körper stattfindenden Reaktionen ab.

Über die feinverästelte Lungenoberfläche, die insgesamt ausgebreitet eine Fläche von ca. 100 m² aufweist, ist die Lunge auch zwangsläufig ein höchsteffizienter Filter für die uns alltäglich umgebenden Umweltgifte. Es leuchtet ein, dass Funktion und Gesundheit einer derart großen, ständig der direkten Umwelt ausgesetzten Oberfläche täglich durch Umwelteinflüsse und verunreinigte Luft beeinflusst werden.

Die Untersuchungen von Umweltmedizinern zeigen mit wachsender Deutlichkeit, dass Gase wie Ozon, Stickoxide oder Schwefeldioxid – Verursacher des sauren Regens – nicht mehr allein die Hauptschuldigen sind, die den Smog so gefährlich machen.

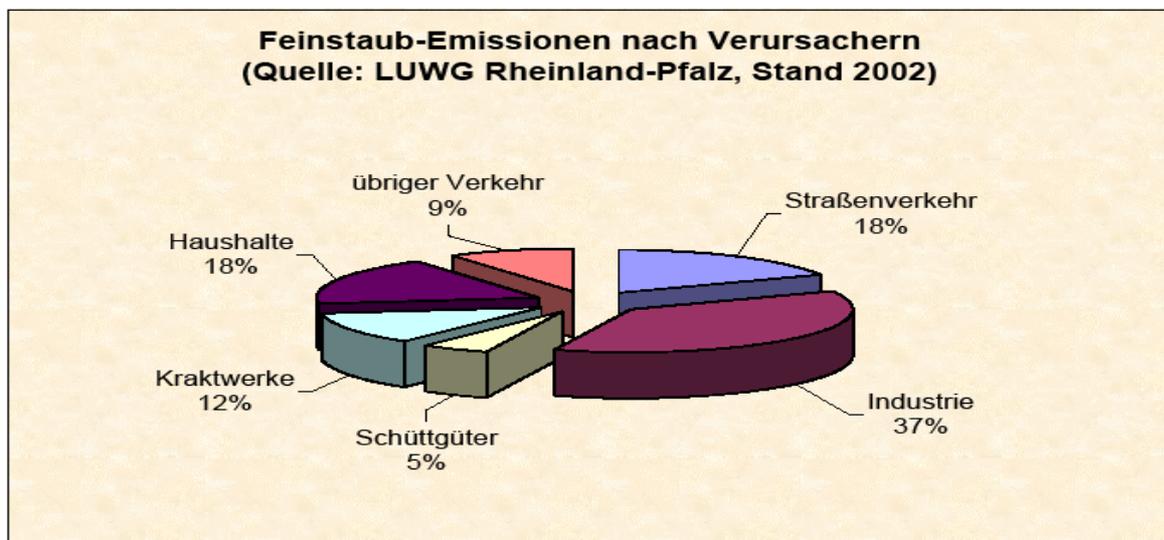
Sie gelten lediglich als risikoverschärfende Mitläufer. Weil sie relativ einfach zu messen sind, stehen ihre Namen stellvertretend für die Gefahr. Bisher noch. Wesentlich schwieriger zu messen sind die wohl gefährlichsten Bestandteile im Smog: die Feinststäube.

Feinstäube und ultrafeine Partikel

Sie wirken nach einem ebenso einfachen wie teuflischen Prinzip: Je kleiner die schwebenden Teilchen in der Atemluft sind, desto tiefer dringen sie in die Lungen vor, sogar bis in die Blutbahn und sorgen dort für großes und schädigendes Unheil. Ca. 60-70.000 Tausend Menschen in der BRD sterben jährlich durch Feinststäube. Neuere Erkenntnisse deuten darauf hin, dass diese, für das Auge kaum sichtbaren Partikel schon in kleinsten Mengen gefährlich und krebserregend sind.

Nachfolgend werden in Tabelle 1 die Quellen der Feinstaubbelastungen in der BRD dargestellt. Addiert man die Feinstäube aus Industrie-, und Kraftwerksanlagen zusammen, so ergibt dies über die Hälfte der Gesamtemissionen. Da der größte Teil der verkehrsbedingten Feinstaubbelastungen ebenfalls aus der Industrie stammen dürfte, kann zu Recht behauptet werden, dass als wesentlichste Quelle der Feinstäube die Industrielle Umweltbelastung zu nennen ist.

Dabei muss erwähnt werden, dass diese Tabelle lediglich die Mengen der Feinstäube darstellt, die als PM 10 μm bekannt sind. Im Gegensatz zu den lungengängigen Feinstäuben sind die Feinstäube mit 10 μm Durchmesser wesentlich gröber und können, sofern vorhanden, von guten Partikelfiltern und Rauchgasreinigungsanlagen erfasst und gefiltert werden. Hingegen können lungengängige Feinstäube, die als Aerosole das Verhalten von Gasen haben, auch von den besten Filtertechniken nicht erfasst werden.



Tab: 1: BRD-Feinstaub-Emissionen nach Verursachern Quelle: Landesumweltamt RP

Bei der zukünftigen Luftreinhalteung müssen deshalb **Feinststäube**, ($< 0,1-2,5 \mu\text{m}$) die bedingt durch ihre Trägereigenschaften auch für andere Schadstoffe von zunehmender Umweltrelevanz sind, wesentlich stärker Beachtung in der Umweltforschung finden.

Nach übereinstimmenden Aussagen von Toxikologen kann deshalb für Feinstäube keine Wirkungsschwelle angegeben werden. Bei geringsten Feinstaubkonzentrationen muss noch mit krebserregender Wirkung gerechnet werden.

Eine unumstößliche Tatsache: Nimmt die Feinstaubkonzentration in der Atemluft zu, steigt die Zahl der Menschen, die wegen Erkrankungen der Atemwege und des Herz-Kreislauf-Systems in Krankenhäuser eingewiesen werden.

Schadstoffquellen

Feinstäube entstehen durch unvollständige Verbrennung: in Haus- und Ofenheizungen, beim Rauchen und Grillen, in der Chemie- Industrie- u. Wirtschaftsproduktion, Landwirtschaft, Abfallverbrennung, Großfeuerungsanlagen sowie im Verkehr, insbesondere durch Dieselmotoren. Aber auch der Abrieb von Reifen, Bremsen und Straßenbelägen produziert Stäube. Die winzigen Teilchen halten sich tagelang in der Luft, kriechen durch alle Tür- und Fensterritzen breiten sich über Hunderte Kilometer aus und sind deshalb in Innenräumen fast so häufig wie in der Außenluft zu finden. Vor allem bei Kindern, alten und durch Krankheit geschwächten Menschen verursachen Schwebestäube Atemwegs- u. Herz-Kreislauf-Beschwerden. Viele der Schadstoffe, so z.B. Ruß, sind stark krebserregend.

Alle diese Schadstoffquellen sind menschlichen Ursprungs; sie repräsentieren unseren heutigen Lebensstil und das ungehemmte Wachstum unserer Zivilisation. Zugleich zeigen sie aber auch unseren Umgang mit der Natur und den endlichen Rohstoffen auf: Als "Abfallprodukte unseres Wohlstandes" produzieren wir Unmengen von Schadstoffen, die über die Abluft abgegeben unsere natürlichen Lebensgrundlagen, Wasser, Boden und Luft immer mehr belasten. Als höchst entwickeltes Lebewesen, das am Ende der Nahrungskette steht, gelangen die über die Nahrung oder Luft aufgenommenen Schadstoffe wieder zum Menschen zurück.

Keine Entwarnung

Zweifelsfrei hat sich die Luftqualität in Deutschland in den vergangenen Jahren durch gesetzliche Maßnahmen zur Abgasreinigung verbessert. Dennoch ist es eine Tatsache, das Asthma und Allergien stetig zunehmen. Dieser Widerspruch an sich ist darin begründet, das verbesserte Filterleistungen zwar den Grobstaub (PM10) minimieren, jedoch der Feinstaubanteil insgesamt zunimmt. Laut Aussagen des Landesamtes für Umwelt Bayern (LfU) sind die Filteranlagen für Abfallverbrennungsanlagen nach Stand der Technik heute lediglich in der Lage, ca. 20 % der lungengängigen Feinststäube (PM2,5 – 0,1) zu filtern. Bedingt durch fehlende gesetzliche Grenzwerte gelangen 80 % dieser gefährlichen Stäube ungefiltert in die Umwelt.

Im Verkehrsbereich besteht für Diesel-LKW oder PKW-Fahrzeuge noch immer keine Filterpflicht. Da auch die Anzahl der Produktions-, Groß- und Kleinfeuerungsanlagen weiterhin zunimmt, die Feinstäube emittieren, kann nicht von einer Abnahme, sondern muss von einer Zunahme der über die Abluft ausgestoßenen Schadstoffe gesprochen werden. Dies ist auch der Hintergrund einer Steigerung der umweltbedingten Erkrankungen: Statistisch kommt heute jedes 2. Neugeborene mit Allergien oder Neurodermitis zur Welt. Krankenkassen müssen ca. 17 Mio. chronisch Erkrankte behandeln. Die steigende Anzahl der Krebserkrankungen hat ihren Ursprung fast ausschließlich in der Zunahme der Umweltbelastungen.

Schädigung der Körperabwehr

Unser Körper ist einer Vielzahl weiterer Giftstoffe über die Nahrung oder auch z.B. über Wohnraumgiften ausgesetzt. Die Summe aller auf den Menschen einwirkenden

Schadstoffe beeinflusst nachhaltig die körpereigene Abwehr. Dies wiederum führt zu einer dauerhaften Schwächung des Immunsystems.

Mit der Atmung nehmen wir Gase und Stäube der Außenluft in unseren Körper auf, die durch ihre Feinheit tief in die Lunge eindringen können. Dabei haben unsere Luftwege eine natürliche Filterfunktion für Fremdstoffen. Je tiefer die Schadstoffe jedoch in die Lunge eindringen können, umso gravierender sind die gesundheitlichen Folgen. Die menschliche Filterwirkung ist deshalb abhängig von den Eigenschaften der Giftstoffe. Je nach Umweltgefährdung der Schadstoffe sind daher unterschiedliche Organe stärker betroffen. (**Weißbuch Lunge 2000**)

Einige Zahlen und Fakten:

Die Vielzahl der über die Luft eingeatmeten Gifte bewirkt je nach Schädigung der Körperabwehr u.a. Pseudo-Krupp, Bronchial-Asthma, Allergien. Ebenfalls können diese Schadstoffe Krebs auslösen und sind leibesfruchtschädigend. Die Behandlungskosten der Atemwegserkrankungen belasten insbesondere im fortgeschrittenen Stadium der Erkrankung die Volkswirtschaft und das Gesundheitssystem erheblich.

Während andere Krankheiten wie zum Beispiel Herz-Kreislaufkrankungen zurückgehen, sind die Atemwegserkrankungen auf dem Vormarsch. Die medizinische Wissenschaft rechnet mit einer weiteren Steigerung von insgesamt 25 Prozent bis zum Jahre 2010.

- ▶ 10 Prozent aller Todesursachen in Deutschland gehen auf Erkrankungen der Atmungsorgane zurück.
- ▶ Damit belegen sie in der Todesursachenstatistik Rang 3 - Tendenz steigend.
- ▶ 40 Prozent aller Todesfälle auf Intensivstationen werden durch Lungenkomplikationen verursacht; die Patienten sterben an Lungenentzündung, der Schocklunge (auch ARDS genannt) oder an akutem Atemversagen.
- ▶ Männer sterben am häufigsten an Bronchialkrebs.
- ▶ Mehr als ein Drittel aller Berufskrankheiten entfällt auf Erkrankungen der Lunge.
- ▶ Der Anteil durch Atemwegs- und Lungenkrankheiten an der Arbeitsunfähigkeit liegt bei 28 Prozent mit steigender Tendenz
- ▶ 7 Prozent aller Krankenhausbetten werden z.Z. von Patienten mit Lungenkrankheiten belegt.

Chronische Bronchitis

Erkrankungen der chronischen Bronchitis sowie von Lungenemphysem kommen oft zusammen vor. Die Pathogenese beginnt mit einer chronischen Bronchitis, nachfolgend entwickelt sich eine chronisch obstruktive (bronchialverengenden) Atemwegserkrankung (=COPD chronic obstructive pulmonary disease). Daraus kann zusätzlich ein Lungenemphysem (=Bläh-Lunge) entstehen.

Die Häufigkeit und ihre Folgen:

- ▶ ca. 10-12% der erwachsenen Bevölkerung leiden an chronischer Bronchitis.
- ▶ Chronische Bronchitis kommt bei Erwachsenen etwa doppelt so häufig wie Asthma vor.

► Mindestens 10.000 Männer und Frauen versterben im Jahr an den Folgen einer chronischen Bronchitis.

► Die Kosten für Asthma liegen bei 2,2 Milliarden und bei der chronischen Bronchitis bei 6,1 Milliarden pro Jahr und sind damit die "teuersten" Krankheiten in Deutschland. (Weißbuch Lunge 2000)

Über die Atemluft sind wir täglich einer Vielzahl von Umweltgiften ausgesetzt:

Die Lunge – ist ein höchst komplexes Organ mit einer feinverzweigten Gesamtoberfläche von bis zu 100m².

Die Lunge versorgt unseren Körper täglich mit bis zu 20.000 Litern Sauerstoff. Ohne unsere Lunge könnten wir nicht leben!

Es ist deshalb zwingend notwendig, weitere Schadstoffe zu vermeiden, statt diese über technische Grenzwerte von Anlagen-/ Verbrennungsmotoren als "gesellschaftsfähig" zu erklären!!

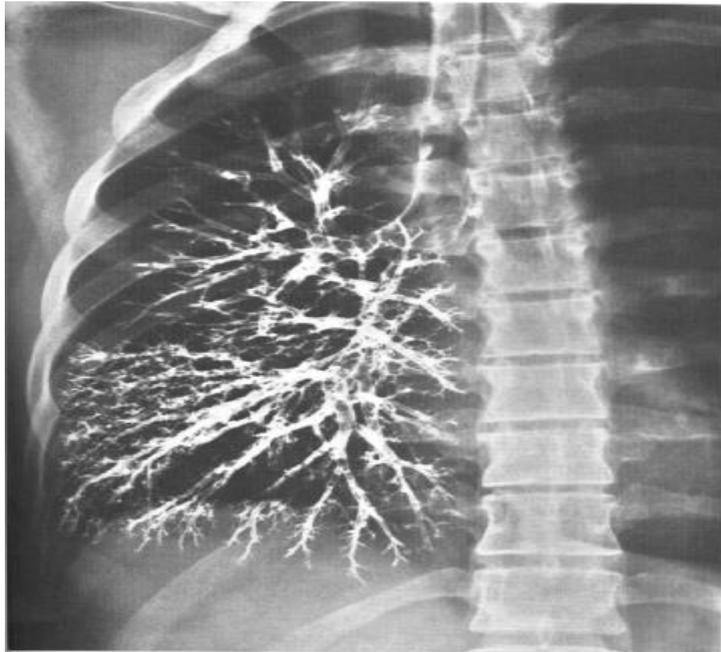


Abb. 1: Feinverästelungen der Bronchien

40.000 Krebstote jährlich

Wie ernst Fachleute die Gefährdung durch zunehmende Feinstäube nehmen, zeigt eine von der Weltgesundheitsorganisation WHO initiierte Studie unter Führung des Schweizer Präventivmediziners Nino Künzli. Nach den Erkenntnissen seines 13-köpfigen internationalen Teams fordert die Luftverschmutzung in den drei Nachbarländern Frankreich, Schweiz und Österreich jährlich rund 40.000 Todesfälle, verursacht mehr als 290.000 Episoden kindlicher Bronchitis. Pro Jahr kommen in diesen 3 Ländern über 500.000 neue Atemwegserkrankungen hinzu. Rund die Hälfte der Todesfälle wird Emissionen aus dem motorisierten Verkehr zugeschrieben. In Deutschland dürften die Schäden ähnlich hoch sein: Die Einwohnerzahl der BRD entspricht in der Summe denen aller Franzosen, Schweizer und Österreicher. Bei gleichem Stand der Technik ist auch die Umweltbelastung in den vier Ländern vergleichbar.

Die von Schweizer Wissenschaftlern über die WHO durchgeführten Langzeitstudien SAPALDIA 1 + 2 über die Zusammenhänge zwischen Luftschadstoffen und Erkrankungen der Atemwege bei Erwachsenen sowie die Paralleluntersuchung SCARPOL bei Kindern sind weltweite Pionierleistungen zur Erforschung der Einflüsse von Luftschadstoffen auf den menschlichen Organismus. Da weitere Schadstoffe, wie z.B. Ozon nicht mit einbezogen wurden, ist die Anzahl der ermittelten Todesfälle eher zu niedrig angesetzt. Weitere Emissionen, die bei der Verbrennung freigesetzt werden, lassen eine höhere Anzahl der Krebstoten eher als realistisch vermuten.

Laut Aussagen von Medizinern in Deutschland werden die umweltbedingten Sterbefälle bisher nicht über ein Monitoring erfasst. Da somit nur die Auswirkungen bewertet, jedoch nicht die Neuerkrankungen einbezogen werden, ist die Anzahl der umweltbedingt Verstorbenen eher zu niedrig als zu hoch angesetzt.

Es liegt deshalb in der Verantwortung von Politik, Wirtschaft und Industrie, Rahmenbedingungen für die Prioritäten einer präventiven Gesundheitsvorsorge zu schaffen, die zukünftig verhindert, dass eine Zunahme von chronisch Erkrankten unsere Volkswirtschaft durch weitere Umweltgifte schädigen. Entscheidend hierfür ist eine Politik, die sich nicht an dem maximalen Zuwachs der Wirtschaft, sondern der Umweltverträglichkeit von Produkten und deren nachweislicher Unbedenklichkeit orientiert.

**Folgende Schadstoffe sind als atemwegs-,
und lungenschädigend bekannt:**

▶ Schwefeldioxid	SO ₂
▶ Schwefelwasserstoff	H ₂ S
▶ Stickstoffdioxid	NO ₂
▶ Stickoxide	NO _x
▶ Kohlenmonoxid	CO
▶ Kohlendioxid	CO ₂
▶ Ammoniak	NH ₃
▶ Ozon	O ₃
▶ Staub / Schwebstaub / Ruß	SST
▶ Blei	Pb
▶ Cadmium	Cd
▶ Quecksilber	Hg
▶ Arsen	As
▶ Kohlenwasserstoff	PAK
▶ Benzol	C ₆ H ₆
▶ Toluol und Xylol	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂
▶ Dioxine und Furane	PCDD/PCDF
▶ Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	PAH
▶ Dioxinähnlich wirkende Substanzen	PCB

Nachfolgend werden die Auswirkungen dieser lufthygienisch wichtigsten Schadstoffe auf die menschliche Gesundheit in einer kurzen Beschreibung näher dargestellt.

Schwefeldioxid (SO₂)

Schwefeldioxid ist geradezu als ein "klassischer" Luftschadstoff zu bezeichnen. Die Probleme des Schadstoffes wurden durch die Industrialisierung im 19. Jahrhundert drastisch verschärft, in den 50er bis 70er Jahren unseres Jahrhunderts durch den Bau hoher Schornsteine nicht nur ein Problem der industriellen Ballungszentren, sondern der Industrieländer überhaupt. Der Luftschadstoff SO₂ macht vor keinen Grenzen halt. SO₂ wird über weite Entfernungen transportiert und entfaltet seine negativen Wirkungen selbst in den industriefernen Regionen und ist als einer von vielen weiteren Luftschadstoffen Hauptverursacher für das Waldsterben.

SO₂ wird in der Luft teilweise zu SO₃ oxidiert, so dass im Regen ein Gemisch aus schwefliger Säure (H₂SO₃) und Schwefelsäure (H₂SO₄) entsteht. Diese Säuren sind Bestandteile des "**Sauren Regens**", der neben anderen Säuren, vor allem Salpetersäure enthält. Der Saure Regen führt zu einer Versauerung von Böden und Gewässern und schädigt langfristig die Waldregionen. SO₂ ist ein wasserlösliches Reizgas. Beim Menschen führen erhöhte SO₂-Konzentrationen zu Reizungen der Haut und der Schleimhäute sowie zu Kopfschmerzen und Erbrechen. Besonders gefährdet sind Personen mit Atemwegserkrankungen. SO₂ schädigt aber auch Pflanzen, die durch seine Einwirkung verkümmern.

Die Wirkung des Reizgases besteht in Rötung, Schwellung und verstärkter Sekretion der feuchten Schleimhäute von Augen und oberen Luftwegen. In extremen Fällen gehen Zellen zugrunde (Zellnekrosen). SO₂ wirkt auf die Schleimhäute des Nasen-Rachen-Raumes, des Bronchialsystems und der Augen (VDI 2310, 1984, Bl. 11). Bevorzugter Angriffsort von SO₂ sind die Bronchien. Die starke Reizwirkung des SO₂ auf die Luftwege ist durch die im feuchten Milieu sich ausbildende schweflige Säure zu erklären. Infolge Kontraktion der Bronchialmuskulatur verengen sich die Atemwege, die Schleimhaut wird gereizt und weist hierdurch eine vermehrte Schleimsekretion und entzündliche Schwellung auf. Dadurch nimmt der Atemwegswiderstand zu, und die Atemfunktion wird nachteilig verändert.

Das an Feinstaub adsorbierte SO₂ und Schwefelsäure-Aerosole gelangen so ungehindert in die Tiefe der Atemwege. Asthmatiker reagieren empfindlich auf ansteigende Konzentrationen. Ähnliches gilt für Kleinkinder. Für sie ist die SO₂ - Belastung der Luft Mitursache für die in den Wintermonaten besonders häufig auftretende Bronchitis. Ein dosisabhängiger Zusammenhang zwischen der SO₂ -dominierenden Luftverschmutzung und akuten Atemwegsinfektionen gilt als sicher und wissenschaftlich nachgewiesen.

Schwefelwasserstoff (H₂S)

Der Wirkungsmechanismus ist unklar, beruht aber wahrscheinlich auf einer Inaktivierung schwermetallhaltiger, sauerstoffübertragender Enzyme. Die geruchliche Warnwirkung (Geruchsschwelle bei 0,025 ml/m³) des intensiv nach faulen Eiern riechenden Gases ist bereits bei relativ geringen H₂S-Konzentrationen vorhanden. Bei höheren Konzentrationen tritt rasch Gewöhnung ein mit Vertäubung der Geruchsrezeptoren. Eine akute Vergiftung über Schwefelwasserstoff ist durch Symptome der drohenden Erstickung gekennzeichnet (Bewusstseinsverlust und zentrale Atemlähmung). Bei chronischer Giftaufnahme finden sich Reizungserscheinungen der Schleimhäute, Augen und Atemwege sowie allgemeine Krankheitssymptome.

Stickstoffdioxid (NO₂)

Stickstoffdioxid hat wegen seiner medizinisch-biologischen Wirksamkeit als Reizgas eine hohe Bedeutung. Auf Grund seiner chemischen Aggressivität (ungesättigtes Radikal) greift es die Schleimhäute der Atemwege an. Durch die lungenspezifische Wirkung kommt es zu Beeinträchtigungen der Lungenfunktion als Folge der unmittelbaren Wirkung in der Lungenperipherie.

Niedrige Konzentrationen bei langfristiger Exposition, wie auch kurzfristige NO₂-Spitzen, bewirken eine Vielzahl biochemischer, funktioneller, zellulärer und subzellulärer Veränderungen. Asthmatiker und Bronchitiker reagieren empfindlich bereits auf NO₂-Konzentrationen, die bei Gesunden noch keine Änderung des Atemwegwiderstands zeigen. Bronchitiker klagen über Beschwerden bereits ab Konzentrationen von 0,84 mg/m³ (0,5 ppm). Eine Zunahme des Strömungswiderstands in den Atemwegen ist bei kurzfristiger Exposition ab etwa 2,85 bis 4,5 mg/m³ (1,5 bis 2,5 ppm) nachgewiesen.

Wie aus tödlichen Unfällen nach NO₂-Inhalation in hohen Konzentrationen bekannt ist, reicht die NO₂-Wirkung bis zur Ausbildung des toxischen Lungenödems. Dieser ist gekennzeichnet über einen Zustand, der durch Zunahme der Flüssigkeit in der Lunge ernste Komplikationen aufweist. Man nimmt an, dass NO₂ die Widerstandsfähigkeit gegen Lungeninfektionen vermindert. Kohlenmonoxid und Schwefeldioxid verstärken offensichtlich die NO₂-Wirkung. Die Langzeitwirkung von NO₂ auf die Bevölkerung ist wegen des gleichzeitigen Einwirkens anderer Schadstoffe noch unzureichend erforscht. Bei Schulkindern zeigte sich in belasteten Gebieten eine höhere Häufigkeit an Atemwegserkrankungen mit Einschränkung der Lungenfunktion als Folge der Luftverunreinigung.

Stickoxide (NO_x)

Stickoxide schädigen beim Menschen Bronchien und Lungen, verursachen Halsschmerzen und Asthma. Durch Sonnenlicht wird NO_x in Ozon umgewandelt, das für den Sommersmog verantwortlich ist. In feuchter Luft bildet sich aus NO_x Salpetersäure, die gemeinsam mit Schwefelsäure aus dem Schwefeldioxid den sauren Regen verursacht. Die Säure schädigt dabei die Blätter und trägt zur Versauerung des Bodens bei, so dass die Bäume an Blättern und Wurzeln angegriffen werden. Saurer Regen und Ozon tragen so gemeinsam zum Waldsterben bei. Bei Beurteilung der Wirkung von NO_x muss beachtet werden, dass durch atmosphärische Zwischenreaktionen neue Reaktionsprodukte wie O₃, PAN, HNO₃ u.a. entstehen können, die z. T. noch toxischer sind als die Primärprodukte. Darüber hinaus können bei gleichzeitiger Einwirkung mehrerer Schadstoffe Wirkungen im Sinne eines Synergismus (Kombinationswirkungen) auftreten.

Kohlenmonoxid (CO)

CO ist ein Atemgift, das den Sauerstofftransport im Blut behindern kann, wodurch die Funktion des Zentralnerven- und Herzkreislaufsystems beeinträchtigt wird. Die konkrete Wirkung ist abhängig vom CO-Gehalt der Atemluft, von der Dauer der Einatmung und der Atemtiefe. CO führt zu Schädigungen von Organen, die gegen Sauerstoffmangel empfindlich sind. Erste Vergiftungserscheinungen von **CO** sind Schwindelanfälle, Kopfschmerzen und Sehstörungen. Wirkungen geringer Konzentrationen können sich in der Beeinträchtigung der Herzfunktion und Verringerung der Konzentrationsleistung äußern.

Kohlendioxid (CO₂)

Die CO₂-Empfindlichkeit des Menschen ist sehr verschieden. Gesundheitsstörungen (Kopfschmerzen, Ohrensausen, Herzklopfen u.a.) treten beim Einatmen von Luft auf, deren CO₂-Gehalt etwas über dem der Ausatemungsluft liegt (4-6 %). Höherer CO₂-Gehalt der Luft (8-10 %) bewirkt rasch Atemnot, Bewußtlosigkeit, Atemstillstand. CO₂-Konzentrationen um 12 % sind sofort tödlich. CO₂ zählt als Stickgas zu den Atemgiften. Die Wirkung beruht auf einer Störung der Sauerstoffversorgung. Eine brennende Kerze erlischt bereits bei 8-10 Vol.-% CO₂ in der Luft.

Ammoniak (NH₃)

Die Inhalation von NH₃ führt durch Reizung der Atemwege zu Husten und Atemstörungen (Kurzatmigkeit, Atemnot). Auf der Haut verursacht Ammoniak in Gasform oder in Lösung entzündliche Rötung. Die Wirkung ist immer rein lokal. Eine resorptive NH₃-Vergiftung kommt praktisch nicht vor, weil selbst große Mengen Ammoniak rasch in Harnstoff übergeführt werden. Bei Unfällen kann es durch Einatmen konzentrierten Ammoniaks zu Erstickung kommen. Die Lungenfunktionen sind nach einem Unfall häufig für Jahre herabgesetzt. Besonders gefährdet ist das Auge (Hornhauttrübung, Erblindung).

Feinstäube sind tief lungengängig.

Sie werden über die allerfeinsten Verästelungen der Bronchien bis hin zu den Lungenbläschen abgelagert.

Der schädigende Effekt der Feinstäube wirkt sich bis auf die ultrafeinsten strukturellen Ebenen der **Lungenbläschen** aus.

Menschen reagieren auf dieselbe Ozonkonzentration in der Atemluft sehr unterschiedlich. Hierfür gibt es keine Erklärung. Jüngere sind z.B. Ozon-empfindlicher als Ältere.

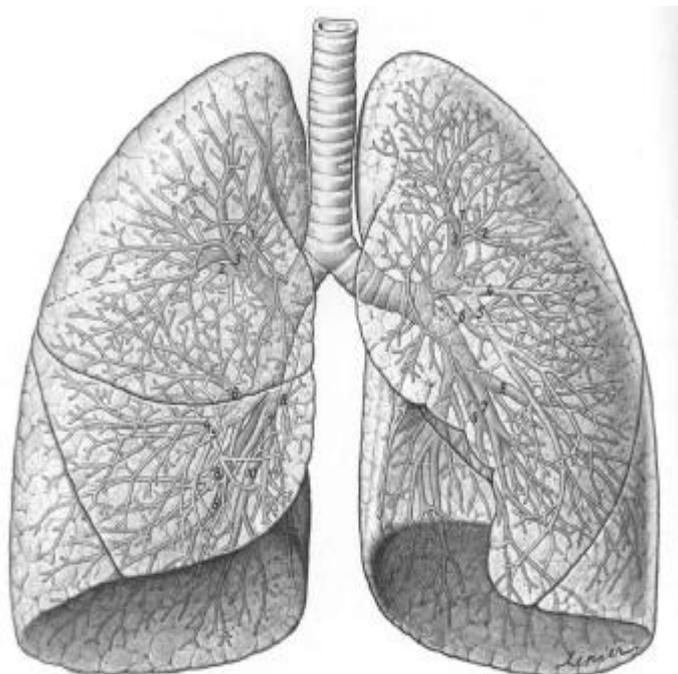


Abb. 2: Darstellung der beiden Lungenflügel

Ozon / Smog (O₃)

Ozon ist ein Reizgas und wirkt schon in relativ niedrigen Konzentrationen in der Lungenperipherie. Der Hauptschädigungsort liegt in den peripheren Lungenverzweigungen. Lungenfunktionsstörungen, funktionell- biochemische Wirkungen, Schleimhautreizeffekte und Geruchsbelästigung sind nachgewiesen. Lungenfunktionsstörungen sind bis in Konzentrationsbereiche von 200 Mikrogramm/m³ (0,1 ppm) beschrieben. Bei Ozonbelastungen besteht offensichtlich kein Unterschied zwischen Normalpersonen und Bronchitikern. Allergiker, besonders Kinder, gelten als ozonsensibel (Rink / Hüttemann / Eckel, 1994).

O₃ ist eine der Hauptkomponenten des photochemischen Smogs, dessen charakteristisches Schadbild durch Irritation der oberen Atemwege bestimmt ist. Neben Ozon haben NO₂, PAN, Formaldehyd und weitere Substanzen Bedeutung. Ozon selbst ist zwar hochtoxisch, aber nicht die am stärksten wirkende Komponente in dem komplexen Schadstoffgemisch des photochemischen Smogs. Interferenzen mit anderen Substanzen spielen für die biologisch-medizinische Wirkung eine Rolle, wobei Sekundärprodukte eine höhere toxische Potenz haben können als die Ausgangsprodukte. Belastungen durch Ozon treten auch am Arbeitsplatz und im Wohnbereich auf. Im Zusammenwirken mit Ozon wird der feine Staub nicht nur über weite Strecken verfrachtet, sondern bildet sich neu – aus gasförmigen Stoffen: **Der häufig an warmen Sommertagen zu beobachtende Dunstschleier besteht zu einem großen Teil aus den sekundär gebildeten Staubteilchen wie Schwefeldioxid, Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen.**

So wurde der Informationsschwellenwert für Ozon von 180 µg/m³ (1-Stunden-Mittel) zwischen Mai und August 2002 an 151 der bestehenden 362 deutschen Messstellen überschritten. (2001 waren es nur 205) Der von der WHO vorgeschlagene Wert zum Schutz der menschlichen Gesundheit von 120 µg/m³ Ozon als Achtstundenmittel sollte langfristig nicht mehr überschritten werden, da ansonsten mit einer Verschärfung der gesundheitlichen Belastung gerechnet werden muss.

Staub

Staub als Gesamtheit der partikelförmigen Luftverunreinigungen wird zum größten Teil abgelagert. Toxische Staubinhaltsstoffe belasten über den Boden, Wasser und Nahrungsmittel den Menschen. Für eine Schadstoffbeurteilung reicht es jedoch nicht aus, lediglich den Gesamtschwebstaub (zumeist lediglich PM₁₀) zu berücksichtigen. Eine selektive Bewertung der Feinstaub aerosole ist notwendig. Hierbei haben Herkunft (Zusammensetzung) und Größe der Teilchen eine entscheidende Bedeutung. Grobstaub und Feinstaub werden nach unspezifischen u. spezifischen Wirkungseigenschaften als inerte und toxische Stäube unterschieden (VDI 2310, 1992, Bl. 19).

Grenzwerte der Europäischen Union:

Bereits seit Jahren gibt es auf europäischer Ebene große Anstrengungen, harmonisierte Grenzwertregelungen innerhalb der Europäischen Union zu erreichen, die in den meisten Fällen gleichzeitig mit einer deutlichen Verschärfung der Grenzwerte für luftgetragene Stoffe verbunden ist. Von der Öffentlichkeit bisher wenig beachtet ist bereits Ende 1999 die aktuelle **Luftqualitätsrichtlinie 1999/30/ EG** in Kraft getreten. Mit ihr wurden in allen Mitgliedsstaaten neue Immissionsgrenzwerte für Schwefeldioxid, Stickoxide, Partikel (PM) und Blei verbindlich festgesetzt. Die neue Richtlinie hätte bis Mitte 2001 in nationales Recht umgesetzt sein müssen. **Die Luftqualitätsrichtlinie 1999/30/ EG wurde nach 3 Jahren von der Rot-Grünen Bundesregierung noch nicht vollständig in deutsches Recht umgesetzt.** In den meisten Bundesländern sind Luftreinhaltepläne immer noch nicht erstellt, bzw umgesetzt worden.

Immissionsgrenzwerte

Die Luftqualitätsrichtlinie 1999/30/ EG erfordert in der Umsetzung in Deutschland insbesondere eine Änderung der 22. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (22. BImSchV), in der sich die bisher gültigen Immissionsgrenzwerte der EU wiederfinden. Die in der Richtlinie beschriebenen neuen Schutzwerte sind im Vergleich zum geltenden Recht relativ anspruchsvoll.

Luftqualitätsrichtlinie 1999/30/ EG

Konzeptionell findet man über die Richtlinie erstmals keine vollständig starren Grenzwerte, sondern ein differenzierteres Vorgehen. Es werden für verschiedene Stoffe zwingende Höchstwerte festgelegt, die aber leider erst ab Januar 2005 bzw. Januar 2010 in Deutschland eingehalten werden müssen. Positiv anzumerken ist, dass die Grenzwerte erstmals zwischen verschiedenen Schutzgütern unterscheiden.

Während das bisherige Immissionsschutzrecht praktisch nur Wirkungen am Menschen (**Humantoxikologie**) berücksichtigen, treten nun spezielle Werte zum Schutz des Ökosystems (**Ökotoxikologie**) hinzu. In der Übergangszeit sind für die neuen EU-Grenzwerte Toleranzmargen festgelegt, die jedes Jahr geringer werden und das Einhalten der Grenzwerte zu den verbindlichen Zeitpunkten sicherstellen sollen (2005 bis 2010). Werden in der Übergangszeit die Toleranzbereiche überschritten, müssen wirksame Maßnahmen über **Luftreinhaltepläne** der einzelnen Bundesländer zur Schadstoffminderung aufgestellt werden. Für die gefährlichen und lungengängigen Feinstäube kleiner als PM10 (ab PM2,5 – 0,1) gibt es derzeit keinen Grenzwert. Ein Grenzwert von PM2,5 befindet sich z.Z. in der EU-Diskussion.

Tabelle 3-1: Grenzwerte für PM10

	Mittelungszeitraum	Grenzwert	Toleranzmenge	Zeitpunkt bis zu dem der Grenzwert zu erreichen ist
Stufe 1				
1. 24-Stunden-Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	24 Stunden	50µg/m ³ PM ₁₀ dürfen nicht öfter als 35 mal im Jahr überschritten werden	50 % bei Inkrafttreten dieser Richtlinie, lineare Reduzierung am 1. Januar 2001 und alle 12 Monate danach um einen gleichen jährlichen Prozentsatz bis auf 0 % am 1. Januar 2005	1. Januar 2005
2. Jahresgrenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Kalenderjahr	40µg/m ³ PM ₁₀	20% bei Inkrafttreten dieser Richtlinie, lineare Reduzierung am 1. Januar 2001 und alle 12 Monate danach um einen gleichen jährlichen Prozentsatz bis auf 0% am 1. Januar 2005	1. Januar 2005
Stufe 2				
1. 24-Stunden-Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	24 Stunden	50µg/m ³ PM ₁₀ dürfen nicht öfter als 7 mal im Jahr überschritten werden	Aus den Daten abzuleiten, gleichwertig mit dem Grenzwert der Stufe 1	1. Januar 2010
2. Jahresgrenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Kalenderjahr	20µg/m ³ PM ₁₀	50 % am 1. Januar 2005, lineare Reduzierung alle 12 Monate danach um einen gleichen jährlichen Prozentsatz bis auf 0 % am 1. Januar 2010	

nach: Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 L 163/41

Schwebstaubbelastung

Bei der Beurteilung der Schwebstaubbelastung wurde nach der neuen EU-Richtlinie die Konzentration der gesundheitlich besonders bedenklichen Feinstaubpartikel kleiner als 10 Mikrometer (PM10) erstmals stärker betrachtet. Dies ist auch zwingend notwendig, denn bereits die Jahresmittelwerte von PM10-Staub überschreiten in vielen Ballungsgebieten Deutschland den heute geforderten neuen EU-Grenzwert.

Noch ungünstiger stellt sich die Situation bei der Beurteilung des zweiten Grenzwertes dar, der bis 2005 nicht mehr als 35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Feinstaub zulässt. Bereits heute liegt die Belastung an fast allen Straßenmessstellen in der BRD knapp unter diesen Grenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. **Um diese Werte einzuhalten, müssen laut Anforderungen der EU diese Grenzüberschreitungen bis 2005 halbiert werden, was die Entwicklung zusätzlicher Maßnahmenkonzepte zur Staubminderung in den Bundesländern zwingend einfordert.**

Abb. 4: Schwebstaubbelastungen in der BRD 2002

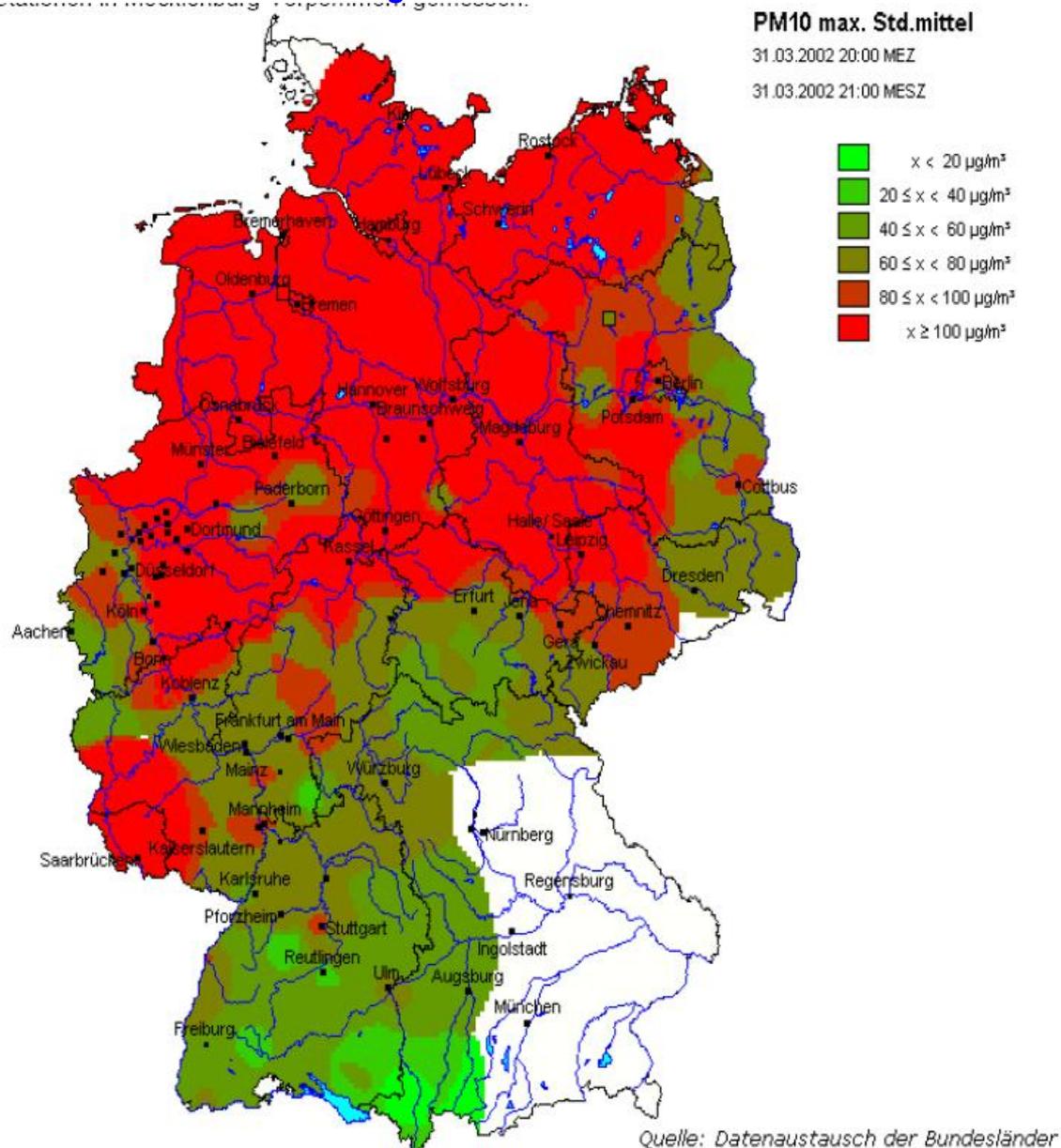


Abb. 3: Maximale Schwebstaubkonzentrationen (PM10) am 31.3.2002 in Deutschland

Schwebstaub (SST)

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) der Bundesregierung hatte in seinem Gutachten 2000 auf das Thema Schwebstaub, insbesondere auf die Fein- und Feinststäube bis hin zu Partikelgrößen von kleiner $\text{PM}_{0,1}$ hingewiesen. Die Aussage des SRU: „Diese luftgetragenen Partikel entstehen vorwiegend bei Verbrennungsprozessen und sind daher überwiegend anthropogenen Ursprungs.“

„Zwar wurde bei den größeren Staubpartikeln ein deutlicher Rückgang erreicht. Erst in den letzten Jahren wurde erkannt, dass hingegen beim Feinstaub (kleiner als PM10) die Minderung sehr viel geringer ausfiel. Bei den ultrafeinen Partikeln ist sogar eher eine Zunahme der Massenkonzentration zu verzeichnen“. (SRU 2000)

Zunahme der Atemwegserkrankungen

Eingeatmeter Staub, im wesentlichen Schwebstaub, enthält nicht-lungengängige Anteile (Grobstaub) und lungengängige Anteile (Feinstaub). Feinstaub ist der lungengängige Staubpartikelanteil mit einem Durchmesser kleiner 10 Mikrometer. Die Ablagerung (Deposition) der eingeatmeten Partikeln in den Atemwegen hängt vom aerodynamischen Partikeldurchmesser (PM) ab.

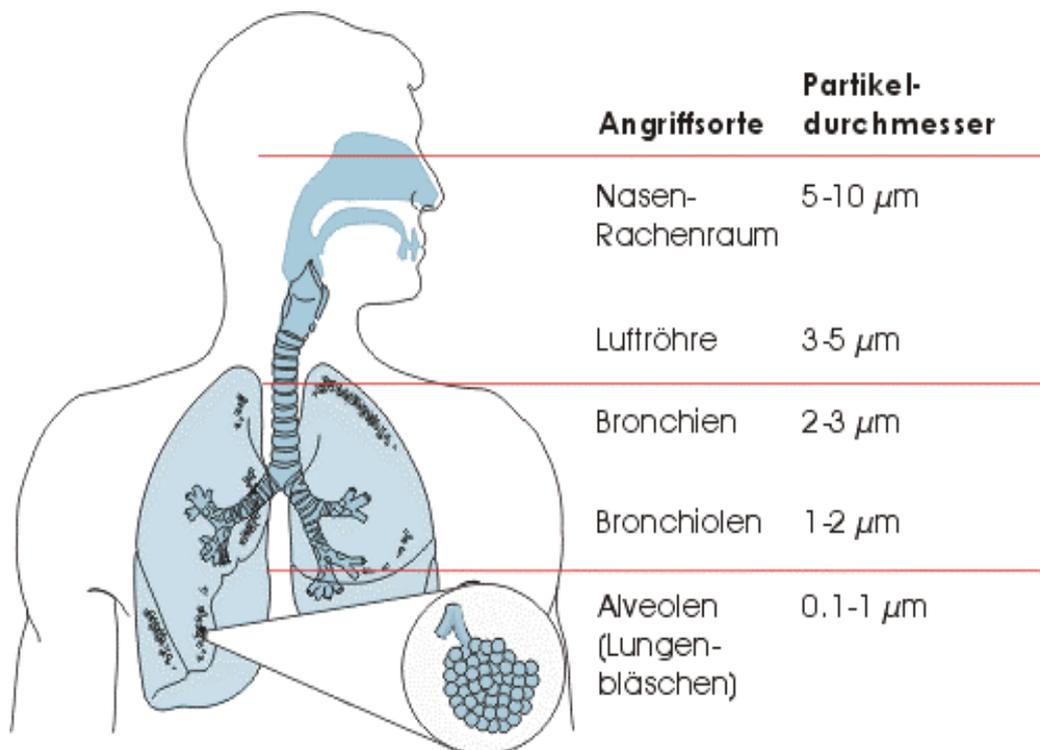


Abb. 5: Lungengängige Feinstäube erzeugen Krebs

Wirkungen des Feinstaubs

Je nach der Größe der Partikel spricht man von Schwebstaub, Feinstaub und ultrafeinem Staub. (1 Mikrometer = 1 Millionstel Meter, 100 Mikrometer entspricht zum Vergleich der Dicke eines Haares)

- ▶ Feinstaub, bis zu 10 Mikrometer gelangt bis in den oberen Bereich der Lunge
- ▶ Feinstaub, kleiner als 2,5 Mikrometer, gelangt bis in den Zentralbereich der Lunge
- ▶ Ultrafeinstaub kleiner als 0,1 Mikrometer - dringt tief in die Lungenbläschen ein

Studien der internationalen Literatur belegen, dass die Gesundheitsgefährdung durch **lungengängige Feinstäube** zunimmt. Danach nehmen bei einem Anstieg dieser Partikel in der Außenluft auch die Sterblichkeit und die Zahl der Krankenhausaufnahmen bedingt durch Herz-Kreislauf-erkrankungen und Atemwegserkrankungen zu. Langzeitstudien zeigen ferner, dass höhere Konzentrationen dieser feinen Partikel zu einer Verkürzung der Lebenserwartung von durchschnittlich ca. 1 - 2 Jahren führen.

Gelangen Feinstäube (kleiner als PM10) in den Bereich der Lungenbläschen, nimmt die Reinigungsfähigkeit des körpereigenen Immunsystems immer mehr ab. Lösliche Partikel durchdringen die Zellenwände der kleinsten Bronchien sowie der Lungenbläschen und treten schließlich in das Blut über.

Bronchialschleimhaut

Mittelgroße und gut wasserlösliche Schadstoffe werden in den oberen Luftwegen auf der schützenden Schleimhaut abgelagert. Partikel werden durch eine gesunde Schleimhaut wieder abtransportiert. Die permanente Reizung einer noch nicht voll ausgebildeten, alten oder kranken Schleimhaut durch Reizgase (Ozon, Stickoxide/Salpetersäure, Aldehyde) kann chronische Entzündungsprozesse (Bronchitis, Asthma bronchiale) hervorrufen, die als unheilbares Asthma gelten.

Lungenbläschen

Feinstäube (Teilchengröße kleiner als 10 Tausendstel Millimeter = PM10) und flüchtige organische Lösungsmittel (VOC) können bis in die Lungenbläschen vordringen und sind von ihrer gesundheitlichen Wirkung her besonders bedeutsam:

- Feinstaub führt häufig zu chronischen Entzündungsprozessen der Lunge mit Behinderung für den Gasaustausch (Lungenfibrose, Lungenemphysem).
- Bestandteile des Feinstaubes (z.B. Dieselruß) können Lungenkrebs hervorrufen.
- Feinstäube können reizende + toxische Substanzen anlagern / mittransportieren.

Blutbahn

Bis in die Lungenbläschen vorgedrungene Stoffe können auch in die Blutbahn aufgenommen werden und sich im Organismus verteilen:

- Lösungsmittel führen zu Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit, Herzklopfen etc.
- Einige Schadstoffe (z.B. Benzol, Cadmium) sind krebserregend.
- Bestimmte Stoffe beeinträchtigen das Nervensystem (Toluol und Xylol, Blei).

Auswirkungen:

Bei üblicher kombinierter Nasen- und Mundatmung passieren etwa 50% aller 10-Mikrometer-Partikel (PM10) und noch etwa 30% aller 15-Mikrometer-Partikel den Rachen und dringen in die tieferen Atemwege ein. Staubpartikel mit einem größeren Durchmesser als 7 Mikrometer erreichen selten die kleinen Bronchien. Partikel mit einem Durchmesser von 1 bis 7 Mikrometer gelangen bis in die kleinen und kleinsten Bronchien und somit in die Lungenbläschen.

Generell führt die Einwirkung von Schwebstaub akut zu einer Überbeanspruchung des Reinigungsmechanismus der Atemwege und zur Irritation der Bronchialschleimhaut. Eine ständige Staubbelastung begünstigt die Entwicklung der chronischen Bronchitis sowie von Lungenfunktionsveränderungen. Der größere Teil der in den Atemwegen deponierten Staubpartikel wird in den Nasen-Rachen-Raum (zurück) transportiert, abgehustet oder verschluckt. Im letzteren Falle kann dies bei toxischen Stäuben zu systemischen Wirkungen führen (Schwächung des Immunsystems).

Feinstäube als Träger von Schadstoffen

Bei toxischen Stäuben kann dies nach Wochen zu systemischen Wirkungen führen. Feinstäube, auch ohne spezifische Wirkungseigenschaften, sind Träger (Vehikel) von weiteren Schadstoffen (z.B. Rußpartikeln für PAH oder SO₂) die so toxische Eigenschaften weiter vermitteln. Außerdem sind Feinstäube Trägersubstanzen für eine Schar von Pollen und können somit vielfältige Allergien verursachen. Dagegen besitzen Partikeln, die selbst toxische Eigenschaften aufweisen, spezifische Wirkungseigenschaften (z. B. Metalle wie Blei oder Cadmium). Zwischen Schwebstaub und anderen Luftschadstoffen finden Kombinationswirkungen statt. Die wichtigste Begleitsubstanz ist SO₂. Die gesundheitlichen Auswirkungen von SO₂ und Schwebstaub sind wegen ihrer oft engen Korrelation besonders schwer zu trennen. Zusätzlich spielen Stickstoffoxide, Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Sekundärprodukte aus photochemischen Reaktionen eine zunehmend stärkere Rolle.

Rußstaub

Als Ruß werden Kohlenstoffpartikel mit einer Größe von ca. 0,1 µm und kleiner bezeichnet. Hierbei handelt es sich nicht um einzelne Kohlenstoffteilchen, sondern um regelmäßig geformte Agglomerate, die sich auf Grund molekularer Anziehung bilden. Die Agglomerate erreichen eine Größe von etwa 1 µm. Ruß ist ein unerwünschtes Produkt der unvollständigen Verbrennung von Kohlenwasserstoffen.

Verursacht wird die Rußbildung durch Sauerstoffmangel bei der Verbrennung oder durch das vorzeitige Abkühlen der Verbrennungsgase. Im Bundesdurchschnitt ist etwa **ein Drittel** des aus Verbrennungsprozessen emittierten Ruß dem Kfz-Verkehr zuzurechnen, woran der Nutzfahrzeugverkehr den weitaus größten Anteil hat. Große Bedeutung haben Rußemissionen aus LKW-, und PKW-Dieselmotoren, da sie ebenfalls als krebserregend klassifiziert wurden. Industrieverbrennungsanlagen, aber auch Hausfeuerungsanlagen, insbesondere Kohle-, und Einzelraumheizungen, stellen die stärkste Emissionsgruppe dar.

Dieseluß

Dieseluß entsteht bei der Verbrennung von Kraftstoff in dem Dieselmotor. Weitere Rußpartikel entstehen bei Kraftfahrzeugen durch den Reifenabrieb, da Autoreifen zu 20 bis 30% aus Kohlenstoff hergestellt werden. Bei **Ruß** handelt es sich hauptsächlich um Kohlenstoffpartikel mit angelagerten Kohlenwasserstoffen. Die Rußpartikel sind im Durchmesser kleiner als 1 Mikrometer (zehntausendstel Meter). Aufgrund ihrer geringen Größe können sie beim Einatmen in die feinsten Verästelungen der Lunge eindringen. Je kleiner die Partikel sind, desto tiefer dringen sie in die Verästelungen der Lunge vor, wo sie bis zu 1.000 Tage und mehr den bronchialen Selbstreinigungsprozess behindern.

Rußkonzentrationen in der Luft sind abhängig vom Verkehrsaufkommen und werden dabei von den Bedingungen des Luftaustausches beeinflusst.

Verursacher

Dieselußbelastungen in der Luft nehmen eher zu als ab. Etwa 50 % der Rußemissionen des Kraftverkehrs stammt aus dem Reifenabrieb. Insbesondere bei schweren LKWs ist der Reifenabrieb aufgrund der starken Reifenbelastungen sehr hoch. Darüber hinaus sind so gut wie alle Nutzfahrzeuge mit Dieselmotoren ausgestattet, die überwiegend nicht mit bereits heute möglichen Partikelfiltern ausgerüstet sind.

Die ca. eine Million LKWs in der Bundesrepublik verursachen jedes Jahr rund doppelt soviel Rußemissionen wie die ca. 42 Millionen in Deutschland zugelassenen PKWs. In den Städten werden rund 65% der Dieselrußemissionen durch LKW- und Busverkehr erzeugt. Nach wie vor ist der Anteil an privaten Dieselfahrzeugen ansteigend: weil Dieselkraftstoff noch steuerlich begünstigt wird, gelten diese Fahrzeuge aufgrund ihres niedrigen Verbrauchs noch als vermeintlich umweltfreundlich.

Zunehmende Verkehrsbelastung

Bei höherem Energieinhalt verursacht die Verbrennung von 1 Liter Dieselkraftstoff mehr CO₂ als die Verbrennung von 1 Liter Benzin. Besonders in der Innenstadt tragen dieselgetriebene PKWs zur hohen Rußbelastung bei. Nach Aussagen des Bundesverkehrsministeriums sollen durch Anschluss der neuen EU-Ostblockstaaten der Straßenverkehr bis 2010 allein im LKW-Bereich um mindestens 50 Prozent zunehmen. Statt einer dringend erforderlichen Minimierung der Feinstäube ist deshalb eher mit einer weiteren Zunahme der Dieselruß-, u. Schadstoffbelastung zu rechnen. Ausgereifte technische Verfahren zur Minderung der Dieselrußbelastung, wie z.B. Partikelfilter, existieren bereits. Sie finden aber keine Anwendung, da ihr Einsatz nicht gesetzlich vorgeschrieben ist. Mittels Rußfiltern könnten bis zu 90% der Rußpartikel (PM₁₀) aus der Abgasluft herausgefiltert werden. Durch Verwendung von Gasmotoren oder auch Biodiesel ließe sich die Partikelemission deutlich senken.

Gesundheitliche Schäden durch Dieselruß

Die Gefahren, die von Dieselrußpartikeln ausgehen, wurden lange Zeit unterschätzt. Inzwischen gibt es mehrere wissenschaftliche Studien, die belegen, dass Ruß Lungenkrebs erzeugt. Je kleiner die Partikel sind, desto tiefer dringen sie in die Verästelungen der Lunge vor, wo sie bis zu 1.000 Tage und mehr den bronchialen Selbstreinigungsprozess behindern. Eine vom Umweltbundesamt in Auftrag gegebene Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die kanzerogene (=krebserzeugende) Wirkung von Abgasen aus Dieselfahrzeugen zehnmal größer ist als die der Abgase aus Ottomotoren. (Quelle: Fraunhofer Institut für Toxikologie und Aerosolforschung Hannover, u.a.: Durchführung eines Risikovergleichs zwischen Dieselmotoremissionen und Ottomotoremissionen hinsichtlich ihrer kanzerogenen und nicht-kanzerogenen Wirkung, in: Umweltbundsamt-Berichte 02/99, Berlin 1999)

Tote durch verkehrsbedingte Luftschadstoffe

Für Deutschland liegen weitere alarmierende Aussagen vor: Laut Berechnungen des Umwelt-Prognose-Institutes in Heidelberg (UPI) sterben in Deutschland jährlich über 25.000 Menschen infolge verkehrsbedingter Luftschadstoffe. Jedes Jahr verursachen Dieselruß und Benzol aus Autoabgasen in Deutschland rund 8.000 Lungenkrebsfälle. Das entspricht der Gesamtzahl der bei Verkehrsunfällen pro Jahr in der Bundesrepublik Deutschland getöteten Personen.

In Ballungsräumen erkrankt etwa jeder 90. Bewohner, an Hauptverkehrsstraßen sogar jeder 39. Anwohner an Lungenkrebs, der neben Rauchen/Tabakgenuss hauptsächlich durch Dieselruß- und Benzol-Emissionen des Straßenverkehrs verursacht wird. Hinzu kommen 530.000 Fälle von chronischer Bronchitis und 14 Mio. Effekte bei Asthmatikern. Insgesamt resultieren daraus jährlich 24,6 Millionen Tage Arbeitsunfähigkeit. (Weißbuch Lunge 2000)

(Quelle: Umwelt- und Prognose- Institut e.V.: Krebsrisiko durch Benzol und Dieselrußpartikel, UPI-Bericht Nr.44, 4. Aufl., Heidelberg 1999)

	Lungenkrebsfälle pro Jahr durch <i>Dieselruß</i>	Jeder x. erleidet Krebs durch <i>Dieselruß</i>
Ländliche Gebiete	282	611.
Kleinstädtische Gebiete	854	367.
Ballungsräume	6.840	89.
Hauptstraßen		39.
Gesamt	7.977	137.

Quelle: UPI-Bericht 44

Abb. 6: Umwelt- u. Prognos-Institut e.V.: Krebsrisiko durch Benzol und Dieselruß

Eine vergleichende schwedische Studie kommt zum Ergebnis, dass jeder zehnte Lungenkrebsfall durch Dieselrußabgase verursacht wird. Neben Lungenkrebs verursachen die Rußschadstoffe auch Atemwegserkrankungen, wie Bronchitis u. Asthma.

Die noch nach dem Gewicht der Schadstoffe vorgenommene Grenzwertbeurteilung weist mögliche bisher unberücksichtigte Fehlerquellen auf: für die Gesundheitsbeeinträchtigung entscheidend ist weniger das Schadstoffgewicht, sondern die Anzahl der lungengängigen Partikel. Dennoch beziehen sich die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte der Schadstoffbelastung und ihrer Reduzierung auf das Gewicht und nicht auf die Anzahl der (Schadstoff)-Partikel.

Grenzwerte und tatsächliche Belastung

In Deutschland gelten zur Zeit noch die in der 23. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes festgelegten Konzentrationswerte für:

- Stickstoffdioxid (160 µg/m³)
- Ruß (8 µg/m³)
- Benzol (10µg/m³).

Da diese Grenzwerte bereits heute in vielen Städten und Kreisen überschritten werden, (siehe oben UPI Bericht Nr. 44 aus 1999: "Krebsrisiko durch Benzol und Dieselrußpartikel") sind die Kommunen ab 1.1.2005 verpflichtet, über Luftreinhaltepläne wirkungsvolle Maßnahmen zur Verminderung und Vermeidung dieser vorrangig vom Kfz-Verkehr verursachten Schadstoffe durchzuführen. (siehe Region Regensburg – geplante Maßnahmen der Stadt Regensburg. Bei überschreiten der PM10 Höchstbelastungen ergehen Fahrverbote für PKW und LKW im Innenstadtbereich)

Auf dem Markt verfügbare Dieselrußpartikel-Filtertechniken könnten bereits heute den Schadstoffausstoß und damit die Luftbelastung mit gefährlichen Feinstäuben von ungefilterten Dieselfahrzeugen wesentlich reduzieren. Als Stand der Filtertechnik in Dieselmotoren können Grenzwerte mit 2,5 Milligramm Partikel pro Kilometer gesichert eingehalten werden. Doch leider hat die Rot-Grüne Bundesregierung sich bisher nicht gegenüber der Lobby der Fahrzeughersteller (VW, BMW usw.) mit wirkungsvollen gesetzlichen Auflagen zur Schadstoffminimierung durchsetzen können.

Tabelle 5/1: Grenzwerte nach der 1. Tochterrichtlinie zur EU-Rahmenrichtlinie Luftqualität

Komponente	Kenngröße	Konzentration [µg/m ³]	Zulässige Überschreitungen pro Jahr	Anzuwenden ab ^{*)}	Schutzziel/ Besonderheiten
SO ₂	1-h-Wert	350	24	01.01.2005	Mensch
	24-h-Wert	125	3	01.01.2005	Mensch
	Jahresmittel	20	-	19.07.2001	Ökosystem/Messung wie Wintermittel
	Wintermittel (01.10. - 31.03.)	20	-	19.07.2001	Ökosystem/Messung 20 km entfernt von Ballungsraum, 5 km entfernt von Bebauung, Industrie oder Straßen, repräsentativ für 1000 km ² , Abweichungen möglich
NO ₂	1-h-Wert	200	18	01.01.2010	Mensch
	Jahresmittel	40	-	01.01.2010	Mensch
NO + NO ₂ (als NO ₂)	Jahresmittel	30	-	19.07.2001	Vegetation/Messung 20 km entfernt von Ballungsraum, 5 km entfernt von Bebauung, Industrie oder Straßen, repräsentativ für 1000 km ² , Abweichungen möglich
PM10 ^{**)}	24-h-Wert	50	35	01.01.2005	Mensch
	24-h-Wert	50	7	01.01.2010	Mensch
	Jahresmittel	40	-	01.01.2005	Mensch
	Jahresmittel	20	-	01.01.2010	Mensch
Blei	Jahresmittel	0,5	-	01.01.2005	Mensch

^{*)} Während der Übergangszeit gelten die Grenzwerte plus einer Toleranzmarge

^{**)} Particulate Matter ≤ 10 µm (Feinstaub ≤ 10µm)

Luftreinhaltepläne

Spätestens 2005 sind die Bundesländer gesetzlich verpflichtet, eigene Luftreinhaltepläne für Feinstäube aufzustellen. Da die technischen Möglichkeiten fast ausgeschöpft sind, kann eine weitere Minimierung der Schadstoffe nur durch Reduzierungen der Verkehrsmengen sowie durch Geschwindigkeitsbegrenzungen erreicht werden. So kann bei langsamer fahrenden Fahrzeugen eine Aufwirbelung der Stäube deutlich vermindert werden. Überlegungen, sauberen (Gas-betriebenen Motoren) und leisen PKWs+LKWs Benutzervorteilen einzuräumen, kann deshalb nur zugestimmt werden. Die herkömmlich bestückten LKWs ohne eine Minimierungstechnik des Schadstoffausstoßes müssten dann zu bestimmten Zeiten, bzw. bei Überschreitung der EU-Grenzwerte über Luftreinhaltepläne der Kommunen mit weiteren Gegenmaßnahmen rechnen.

Um zukünftigen Fahrverboten bei Smogalarm zu entgehen, (siehe Schweden und Italien), ist eine Umstellung sowohl der Autoindustrie als auch für die Fuhrparkunternehmen auf umweltfreundlichere, schadstoffärmere Antriebe dringend geboten.

Blei (Pb) und anorganische Bleiverbindungen

Blei kann über die Lunge in den Blutkreislauf gelangen und so das Nervensystem und das Gehirn schädigen. Bei Kindern kann so Epilepsie und Gedächtnisschwund ausgelöst werden. Blei kann bereits in der geringsten Konzentration Pflanzenzellen abtöten und wird biologisch nicht abgebaut.

So ist heute **Blei** in unserer Nahrungskette vom Spinat bis zum Elbaal zu finden. Bei Aufnahme von Blei leidet das „Umweltgedächtnis“ des Bodensystems noch nach Jahrzehnten. Bleipartikel finden sich neben Cadmium und Asbest auch im Feinstaub wieder. Die mengenmäßig bedeutsamste Bleiaufnahme ergibt sich aus der Nahrung (pflanzliche und tierische Lebensmittel). Blei ist ein toxisches Schwermetall mit stark neurotoxischer Potenz. Diskutiert werden neuropsychologische Wirkungen (Wahrnehmungsorganisation, Reaktionsverhalten) bereits bei geringer Schadstoffkonzentration. Beginnende Anämie und Tendenz zu peripheren neurologischen Störungen können auf eine chronische Vergiftung hindeuten.

Das im Blut zirkulierende Blei wird im Knochen gebunden (Bleidepot) und unter bestimmten Bedingungen (u.a. Schwangerschaft/Diäten/Immunschwäche) wieder remobilisiert. Die eigentliche Giftwirkung des Blutbleis besteht in einer Blockade der Sulfhydrylgruppen von Enzymen, was zu Funktionsausfällen mit Stoffwechselstörungen führt (Blut, Muskulatur, Nervensystem). Zahnbleigehalt und aktueller Blutbleispiegel geben Hinweise auf Belastungen. Kinder gelten als besondere Risikogruppe.

Cadmium (Cd)

Cadmium wird in der Leber an einen Eiweißkomplex gebunden, in die Nieren transportiert und in der Nierenrinde abgelagert. Wegen seiner Nierentoxizität gilt die Niere bei Cadmiumbelastung als das kritischste Organ.

Da Cadmium, dessen Wirkungsmechanismus dem des Bleis ähnlich ist, schneller als Blei resorbiert, aber langsamer gespeichert wird, sind unter extremen Bedingungen akute Vergiftungen häufiger. Cadmiumvergiftung sind chronische Entzündungen der Atemwege, Nierenschäden, Knochenschwund und Leberschäden. Cadmium zählt zu den Metallen mit Verdacht auf ein krebserzeugendes Potential bei inhalativer Aufnahme. Eine solche Gefährdung ist besonders durch die Lungenkrebs induzierende Wirkung Cadmiumhaltiger Aerosole u.a. beim (Passiv) Rauchen gegeben.

Quecksilber (Hg) und Quecksilberverbindungen

Eingeatmeter Quecksilberdampf wird zu etwa 80 % über die Lunge aufgenommen. Im Verdauungstrakt wird metallisches Hg nur langsam ionisiert und deshalb kaum resorbiert. Anorganische Hg- Verbindungen werden nur zu etwa 15 % aus dem Magen-Darm-Trakt resorbiert (organische Verbindungen nahezu vollständig). Auch über die Haut kann feinverteiltes Hg resorbiert werden. Die akute Hg-Vergiftung ist durch Gastroenteritis und Nierenschäden gekennzeichnet. Bei der chronischen Vergiftung stehen Schädigungen des Nervensystems im Vordergrund. Besonders gefährlich sind die gut lipidlöslichen Alkyl-Hg-Verbindungen (z.b. Dimethylquecksilber) und die Aryl-Hg-Verbindungen (z.b. Phenylquecksilberacetat). Quecksilber verursacht Irreversible Schäden im Nervensystem.

Arsen (As) und anorganische Arsenverbindungen

Die Belastung erfolgt vor allem über Nahrungsmittel, besonders Fisch und andere Meerestiere. Pflanzen bilden keine höheren Arsenkonzentrationen, da Arsen phytotoxisch wirkt. Arsen, im Rauchgas überwiegend an Partikeln als AsO_2 gebunden, kann bei nicht wirkungsvoller Entstaubung aus Emittenten als Flugasche auf dem Boden deponiert werden. Ein Arsen-Einfluss auf die Nahrungsketten ist hierdurch denkbar. Die toxische Wirkung beruht auf einer Blockade der Sulfhydrylgruppen. Die akute Vergiftung besteht lokal in einer starken Gewebereizung durch Kapillarschädigung und bei oraler Aufnahme in gastroenteritischen cholera-ähnlichen Erscheinungen. Bei chronischer Vergiftung sind Haut und Nervensystem betroffen. Arsen und seine anorganischen Verbindungen gelten als krebserzeugende Stoffe. Die wesentlichen Manifestationen sind Haut- und Lungenkrebs.

Flüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe

Aromatische Kohlenwasserstoffe besitzen in Abhängigkeit von ihrer chemischen Struktur ausgeprägte narkotische und z. T. erhebliche haut- und schleimhautreizende Wirkungen. Als Luftverunreinigungen haben die sog. BTX-Stoffe Bedeutung, im besonderen das Benzol als wichtiges Umweltgift.

Benzol (C_6H_6)

Benzol gilt als genotoxische Substanz. Es ist kanzerogen und damit krebserregend. Die chronische Vergiftung von Benzol ist durch schwere Blutbildungsstörungen mit der Ausbildung von Leukämien sowie toxischen Schädigungen des Knochenmarks (Blutbildung) gekennzeichnet (chronisch). Die akute inhalative Vergiftung beginnt mit einem Erregungszustand (Benzolrausch), Gesichtsrötung und Verlust der Selbstkontrolle mit nachfolgender Narkose.

Benzol wird vorwiegend von Pkws mit Ottomotoren ausgestoßen und verflüchtigt sich u.a. auch aus abgestellten Fahrzeugen. Eine Studie belegte, dass Kinder in Ballungsgebieten weitaus stärkere Benzolbelastungen ausgesetzt waren als im ländlichen Kreisen. Die krebserregende Gefahr von Benzol wurde jahrelang unterschätzt. Durch den Einsatz von Abgasreinigungsanlagen wie den geregelten Katalysator und verbesserte Motortechnik konnte die Emission dieses Schadstoffes in den letzten Jahren deutlich verringert werden. Entsprechend hat auch die Immissionsbelastung durch Benzol in den vergangenen Jahren in der Bundesrepublik abgenommen. Da Benzol jedoch auch in kleinsten Konzentrationen schädlich ist, muss eine weitere Reduktion angestrebt werden. (siehe Tankstellen)

Toluol und Xylole ($\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$)

Toluol (Methylbenzol) und Xylole (Dimethylbenzole, allgemeine Formel: $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$) besitzen deutlichere narkotische Eigenschaften.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)

PAH haben als organische Staubinhaltsstoffe Bedeutung. Kanzerogene (Krebsauslösend) und mutagene Eigenschaften verschiedener PAH sind eindeutig nachgewiesen. Unter den mehr als 20 umweltrelevanten PAH gelten die folgenden Verbindungen als wichtige Kanzerogene: Benzo(a)pyren (BaP), 3-Methylcholanthren, Benz(a)anthracen, 7,12-Dimethylbenz(a)anthracen (DMBA), Dibenz(a,h)anthracen. Die höher siedenden **PAH** sind meist an Partikeln adsorbiert, die infolge ihrer geringen Größe bis in die Lungenbläschen gelangen. In der Lunge werden die PAH abgelöst und verstoffwechselt, wodurch erst die eigentliche Krebsgefahr entsteht.

Häufig wird wegen der relativen Einheitlichkeit der PAH-Profile das am besten untersuchte **BaP als Leitsubstanz zur toxikologischen Bewertung** herangezogen. Allerdings kann dieser Maßstab nicht generell für die verschiedenen Typen von PAH-Gemischen in der Atmosphäre oder in Abgasen benutzt werden. Es ist noch wenig bekannt über den Einfluss eines oder mehrerer PAH auf die Wirkung des Gesamtgemischs. Offensichtlich spielen bei PAHs noch zusätzliche, die Geschwulstbildung fördernde Faktoren eine wesentliche Rolle. Toxikologen nehmen an, dass die allgemeine Luftverunreinigung und das Zusammenwirken der PAHs eine Lungenkrebshäufigkeit verursacht.

PCDD/PCDF (Dioxine und Furane)

Ohne den entscheidenden Druck der Bevölkerung und der Umweltbewegung Ende der 80er Jahre für wesentliche Maßnahmen zur Reduzierung des Seveso-Giftes wären die Belastungen der Menschen seit Anfang der 90er Jahre nicht vermindert worden. Als Fazit kann angeführt werden, dass die Umweltschutzmaßnahmen zur Minimierung der Einträge an Dioxinen in die Umwelt erfolgreich waren.

Die aktuellen Dioxingehalte in den verschiedenen Kompartimenten weisen jedoch auf eine Verlangsamung bzw. Stagnation des Dioxin-Rückgangs hin. Es sind deshalb weiterhin Anstrengungen erforderlich, um Mensch, Natur und Umwelt vor Dioxinen und dioxinähnlichen Substanzen hinreichend zu schützen. Die Bund-/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE hat deshalb vorgeschlagen, die Messprogramme in den Ländern punktuell und zielgerichtet an Anlagenemittenten fortzuführen. Gleichzeitig wurde aber auch festgestellt, dass eine sachgerechte Beurteilung der Wirkung von Chemikalien häufig schwierig möglich ist, weil grundlegende Informationen zum Umweltzustand sowie zur Auswirkung der Chemikalien fehlen.

Hier macht sich bemerkbar, dass der Stand der ökotoxikologischen Forschung in Deutschland von führenden Wissenschaftlern als unzureichend bezeichnet wird. (siehe auch die Presseerklärung des Umweltbundesamtes / UBA vom 04.11.2002) Von den kritischen Wissenschaftlern wurde angemerkt, dass dieser Mangel an Daten bereits heute dazu führt, dass es immer schwieriger wird, Entscheidungen über Einsatz, Verbote und Beschränkungen von Chemikalien und Bewertungsfragen im Umweltschutz mit der erforderlichen Kompetenz und Sorgfalt vorzubereiten, bzw. zu treffen.

Dioxinähnlich wirkende PCBs

Der wissenschaftliche Lebensmittelausschuss der EU (SCF) setzte im Mai 2001 eine duldbare wöchentliche Aufnahme für die PCDD/PCDF (Dioxine) und dioxinähnlich wirkenden nicht- und mono-ortho-substituierten PCB von insgesamt 14 pg Toxizitätsäquivalenten (TEQ)/ kg Körpergewicht fest. Obwohl in Deutschland und anderen EU-Ländern die tägliche Dioxinaufnahme der Bevölkerung in den letzten Jahren deutlich verringert werden konnte, liegt bei Berücksichtigung der dioxinähnlichen PCB die durchschnittliche ernährungsbedingte Aufnahme in der EU im Bereich von 1,2 - 3 pg TEQ/kg KG pro Tag.

Es ist damit eine Tatsache, dass der größte Teil der europäischen Bevölkerung die duldbare tägliche Aufnahme von dioxinähnlichen PCB-Schadstoffen überschreitet.

Da diese Schadstoffe auch in kleinsten Dosen relevante Wirkungen auf den Organismus des Menschen haben, sowie eine Immunschädigende Wirkung ausüben, kann keineswegs eine Entwarnung gegeben werden. Hinsichtlich ihrer Quellen und Umweltverhalten ist der aktuelle Kenntnisstand zu dioxinähnlichen Schadstoffen sowie den klassischen PCB und der Dioxine insgesamt als unzureichend festgestellt worden. Von der kritischen Wissenschaft wurden weiterer Klärungsbedarf sowie mögliche Maßnahmen zur Expositionsminde rung angemahnt.

Wettlauf der Toxikologen

Diesen grundlegenden Aussagen kann nur hinzugefügt werden, dass Toxikologen, (Giftforscher), um die Auswirkungen eines einzigen Schadstoffes auf die menschliche Gesundheit festzustellen, ca. 3 Jahre benötigen. Angesichts der Tatsache, dass Jährlich weltweit über 2000 neue chemische Substanzen auf den Markt gelangen, davon allein ca. 800 in Europa und somit unzählige neue Giftstoffe zu den bestehenden Umweltschadstoffen hinzukommen, ist dies ein ständiger Wettlauf von Toxikologen gegen die Chemieindustrie.

Deshalb gilt es, zugunsten einer unbelasteten Umwelt, wirtschaftlichen Interessen gegenüber zukünftig wesentlich entschiedener entgegen zu treten, um eine weitere Belastung für die Bevölkerung, der Natur und für unsere nächste Generation langfristig zu vermeiden.

V.i.s.d.P.: Autor Klaus Koch

Umweltnetzwerk – Büro für Umweltfragen

21029 Hamburg, Wetteringe 8

Tel: 040 – 811 511, Mobil: 0173 – 63 222 30

e-Mail: umweltnetzwerk@alice-dsl.de

Ein Abdruck dieser Ausarbeitung ist ausdrücklich von den Autoren gewünscht. Bei einer Verwendung bitte ich um ein Belegexemplar an obige Adresse.

Abbildungen, Quellen und weiterführende Literatur / Daten :

Abbildungen:

Tabelle 1: BRD-Feinstaub-Emissionen nach Verursachern Quelle: Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz 2002

Abbildung: 1 Verästelungen der Lunge (Quelle: Weißbuch Lunge 2003)

Abbildung: 2 Die Lungenflügel (Quelle: Weißbuch Lunge 2003)

Abbildung: 3 Maximale Schwebstaubkonzentration (PM10) am 31.3.2002 der BRD. Quelle: Umweltbundesamt 2002

Abbildung 4: Lungengängige Feinstäube erzeugen Krebs (Quelle: BUWAL / 2002)

Literatur / Quellen

Weißbuch Lunge 2000 und 2003

SAPALDIA 1 + 2, Schweizer Langzeitstudien im Auftrage der WHO (Luftschadstoffe und Erkrankungen der Atemwege bei Erwachsenen sowie die Paralleluntersuchung

SCARPOL / Kinder) siehe auch BUWAL / Schweizer Umweltbundesamt 2002

Bundes-Immissionsschutzgesetz / Technische Anleitung Luft

Luftqualitätsrichtlinie 1999/30/ EG – in Deutschland rechtskräftig seit 2001

VDI 2310, 1984, Blatt 11 Rink / Hüttemann / Eckel, 1994

Ozon: VDI 2310, 1992, Blatt 19

Umweltbundsamt-Presse 4/11/2002, Humanbelastung von dioxinähnlichen PCB

Fraunhofer Institut für Toxikologie und Aerosolforschung Hannover, u.a.: Durchführung eines Risikovergleichs zwischen Dieselmotoremissionen und Ottomotoremissionen hinsichtlich ihrer kanzerogenen und nicht-kanzerogenen Wirkung, in: Umweltbundsamt-Berichte 02/99, Berlin 1999

SRU-Gutachten 2000, Sachverständigenrat für Umweltfragen (www.sru.de)

Eine weitere Übersicht der Wirkung von einzelnen Schadstoffen gibt es unter folgenden Linkliste:

<http://www.mu.sachsen-anhalt.de/lau/luesa/Schadstoffe.html>

http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/luftreinhaltung/luftqualitaet_2000/

http://idwonline.de/public/pmid-28611/zeige_pm.html

<http://w3g.gkss.de/G/Mitarbeiter/storch/blei.presse.htm>

http://www.umweltfibel.de/lexikon/r/lex_r_russfilter.htm

http://www.berlinonline.de/wissen/berliner_zeitung/archiv/1998/1222/wirtschaft/0011/

<http://www.stadtklima.de/stuttgart/s-luft/russ/was-tun.htm>

<http://www.spiegel.de/auto/werkstatt/0,1518,199551,00.html>

(keine Haftung für externe Links - siehe Hamburger Urteil aus 1999)