

Toxikologische Wirkung und umweltmedizinische Bewertung von Luftinhaltsstoffen

Wolfgang Dott und Sabrina Michael

1.	Zusammensetzung der Luft.....	245
2.	Quellen von Luftverunreinigungen.....	246
3.	Toxikologische Wirkung von Luftinhaltsstoffen	248
4.	Umweltmedizinische Bewertung von Luftinhaltsstoffen	252
5.	Literaturverzeichnis	255

Ein erwachsener Mensch atmet pro Tag bis zu 20 m³ Luft ein. Diese Luft sollte möglichst frei von Stoffen sein, welche die menschliche Gesundheit aber auch die Umwelt schädigen. Aber wann ist ein Luftinhaltsstoff ein Schadstoff und wann ein natürlicher Bestandteil? Rechtlich werden alle Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft als Verunreinigungen bezeichnet. Es handelt sich dabei um Stoffe, die natürlich in der Luft vorkommen, deren Konzentration aber durch menschlichen Einfluss erheblich angestiegen ist. Der Begriff *reine* Luft ist nicht eindeutig definierbar, sondern stark abhängig von der geographischen Lage und der Jahreszeit.

1. Zusammensetzung der Luft

Im Allgemeinen besteht die atmosphärische Luft aus den Hauptgasen Sauerstoff (21 %) und Stickstoff (78 %) sowie Edelgasen, Kohlendioxid, Methan, Wasserstoff, Distickstoffmonoxid und Kohlenmonoxid. Neben diesen gasförmigen Bestandteilen enthält Luft noch Wasser, in wechselnder Konzentration und in allen drei Aggregatzuständen, sowie Staubpartikel, Aerosole, Schwefel- und Stickstoffverbindungen, flüchtige organische Verbindungen (VOC), Ozon und in der Atmosphäre erzeugte Radikale. Luftverunreinigungen können generell natürliche Ursachen haben oder durch menschliche Aktivitäten hervorgerufen werden. Als natürliche Luftbeimengungen findet man in Mitteleuropa im Wesentlichen Stäube (Pollen, Verwitterungsreste, Bodenabrieb), Ozon, flüchtige organische Verbindungen aus der Vegetation sowie Gase aus biologischen Abbauprozessen, die meist in geringen Konzentrationen vorkommen. Darüber hinausgehende Konzentrationen dieser und anderer Stoffe sind vom Menschen verursachte Luftverunreinigungen. Als gesundheitlich- und umweltschutzrelevante Luftverunreinigungen sind insbesondere solche Luftbestandteile zu verstehen, für die aufgrund rechtlicher Vorgaben eine Messverpflichtung besteht und für deren Beurteilung in der BImSchV Grenzwerte existieren (Tabelle 1) [1, 2].

Tabelle 1: Grenzwerte für Luftverunreinigungen nach der 22. BImSchV

Relevante Luftverunreinigungen		
Substanzen	Einheit	Grenzwerte (22. BImSchV)
Benzol	µg/m ³	5 (Jahresmittelwert)
Feinstaub (PM10)	µg/m ³	50 (Tagesmittelwert)
	µg/m ³	40 (Jahresmittelwert)
Kohlenmonoxid	µg/m ³	8 (höchster 8-Stunden-Tagesmittelwert)
Organische Verbindungen		kein Grenzwert*
Ozon	µg/m ³	120 (höchster 8-Stunden-Tagesmittelwert)
	µg/m ³	180 (Stundenmittelwert, Informationsschwelle)
	µg/m ³	240 (Stundenmittelwert, Alarmstelle)
Schwefeldioxid	µg/m ³	350 (Stundenmittelwert)
	µg/m ³	125 (Tagesmittelwert)
Stickstoffoxide	µg/m ³	200 (NO ₂) (Stundenmittelwert)
	µg/m ³	40 (NO _x) (Jahresmittelwert)

*Ursache: Unterschiedliche Wirkpotentiale der Einzelsubstanzen

Quelle: Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetz – Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft (22. BImSchV), Stand 27.02.2007

Die global klimawirksamen Gase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffmonoxid (N₂O) sind in der Außenluft nur in gesundheitlich unbedenklichen Konzentrationen vorhanden und werden deshalb nicht zu den Schadstoffen im engeren Sinn gezählt [4].

2. Quellen von Luftverunreinigungen

Der heutige Lebensstandard der westlichen Industriestaaten ist u.a. mit einem hohen Ausstoß von Emissionen, speziell von Luftschadstoffen verbunden. Der überwiegende Anteil dieser Verunreinigungen stammt aus anthropogenen Quellen wie Energieerzeugung, Industrie und Verkehr, ein kleiner Teil resultiert aus natürlichen Vorgängern wie Waldbränden, Sandstürmen oder Vulkanausbrüchen. Die häufigsten Luftverunreinigungen anthropogenen Ursprungs sind in Tabelle 2 aufgeführt. Dabei stellen die anorganischen Gase, die bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen entstehen, den größten Anteil der städtischen Luftverunreinigung dar.

Einteilung und Bildung von Luftverunreinigungen

Neben der stoffbezogenen Klassifizierung von Luftschadstoffen entsprechend der Bundes-Immissionsschutzverordnung kann eine übergeordnete Einteilung der Luftbestandteile nach physikalisch-chemischen Kriterien in Dämpfe, Gase und Stäube erfolgen. Hierbei können die Verunreinigungen noch jeweils in ihre primären und sekundären Bildungsformen unterteilt werden.

Primäre Luftschadstoffe gelangen direkt von der Emissionsquelle (anthropogen oder natürlich) in die Atmosphäre. Dagegen entstehen sekundäre Luftverunreinigungen erst durch komplexe chemische Reaktionen in der Atmosphäre.

Toxikologische Wirkung und umweltmedizinische Bewertung von Luftinhaltsstoffen

Tabelle 2: Luftverunreinigungen und ihre anthropogenen Quellen

Luftschadstoffe	Hauptquelle
Anorganische Gase	
Kohlenmonoxid (CO)	unvollständige Verbrennung: Kfz-Verkehr, Industrie, Hausbrand
Kohlendioxid (CO ₂)	Verbrennung: Kraft- und Fernheizwerke
Schwefeldioxid (SO ₂)	Verbrennung schwefelhaltiger Brennstoffe: Kraft- und Fernheizwerke, Hausbrand
Stickoxide (NO, NO ₂)	Verbrennung: Kfz-Verkehr, Kraft- und Fernheizwerke
Ozon (O ₃)	sekundär gebildet aus den Vorläufersubstanzen NO _x und Kohlenwasserstoffe durch Kfz-Verkehr und Industrie bei Sonneneinstrahlung
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	Faulprozesse, Verarbeitung schwefelhaltiger Brennstoffe in der Industrie
Ammoniak (NH ₃)	Massentierhaltung, Industrie
Chlor-/Fluorwasserstoff	Abfallverbrennung, Industrie
Organische Gase	
Leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe	Kfz-Verkehr, Raffinerien
Aromatische Kohlenwasserstoffe	Kfz-Verkehr, Raffinerien
Chlorierte Kohlenwasserstoffe	Industrie (Lösungsmittel), chemische Reinigung
Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)	Treibmittel, Kühlanlagen
Formaldehyd (HCHO)	Kfz-Verkehr, sekundär gebildet aus organischen Verbindungen
Geruchsstoffe	Landwirtschaft, chemische Industrie, Lebensmittelindustrie, Abfallwirtschaft
Stäube	
Asbest	Bremsbeläge, Isolationsmaterial
Blei	Verbrennung bleihaltigen Benzins
Cadmium	Abfallverbrennung, Metallverhüttung
Zink	Abfallverbrennung, Metallverhüttung
Chrom	Abfallverbrennung, Industrie
Quecksilber	Verbrennung von Kohle
Arsen	Metallverhüttung
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Kfz-Verkehr
Polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD) und Dibenzofurane (PCDF)	Abfallverbrennung, Industrie
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	Altöle, Abfallverbrennung

Quelle: Dott, W.; Merck, H. F.; Neuser, J.; Osieka, R.: Lehrbuch der Umweltmedizin, Grundlagen – Untersuchungsmethoden – Krankheitsbilder – Prävention. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, 2002

Dabei bilden gasförmige Stoffe wie z.B. Ammoniak (NH₃), Schwefelsäure (H₂SO₄) und Wasser (H₂O) kleine flüssige oder – bei der Bildung von Salzen – feste Aerosole durch homogene Partikelbildung (Nukleation). Schwefeldioxid (SO₂) reagiert z.B. nach Oxidation zu Sulfat (SO₄²⁻) und bildet mit Wasser Schwefelsäure, während aus Ammoniak Ammonium (NH₄⁺) entsteht. Weitere chemische Reaktionen, z.B. eine gegenseitige Neutralisation unter Bildung von Salzen, können sich anschließen. Eine weitere Reaktionsmöglichkeit ist die heterogene Nukleation,

wobei feste Partikel einer Größe von 1 nm als Kondensationskerne dienen. Auf diesem Partikel kondensieren gasförmige Stoffe in die Flüssigphase und bilden einen Flüssigkeitsfilm aus, auf dessen Oberfläche weitere chemische Reaktionen stattfinden können [4].

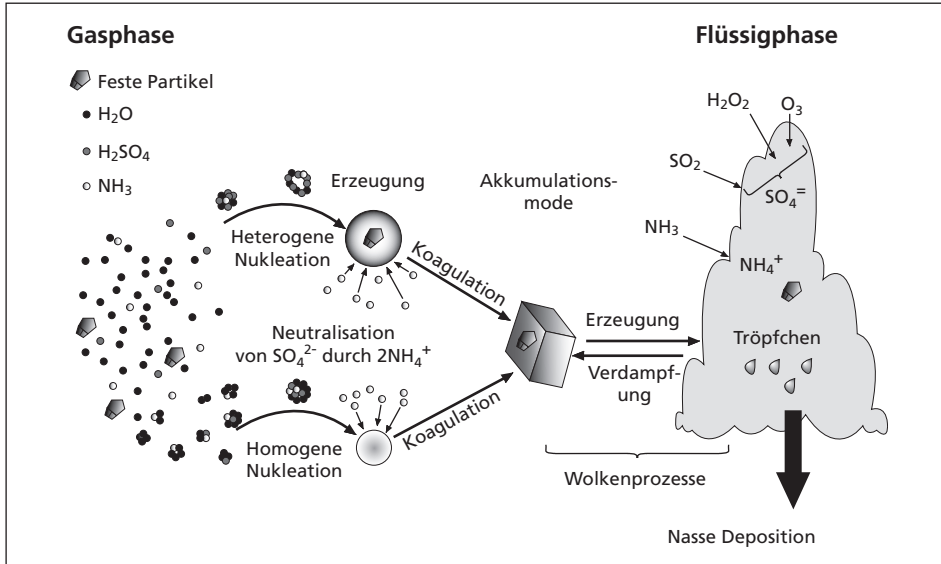


Bild 1: Schematische Darstellung der Entstehung von Ammoniumsulfat in der Atmosphäre

Quellen:

Universität Heidelberg

Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW): Information zur Luftqualität. <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/16131/>

Die Bildung von sekundären anorganischen Aerosolen kann nicht nur über die Gasphase, sondern auch über die Flüssigphase z.B. in Wolkenröpfchen erfolgen. Hierbei bilden sich durch Verdunstung der Flüssigphase und den darin gelösten Substanzen feste Aerosole. Da es sich bei diesem Prozess um eine reversible Reaktion handelt, findet in der Atmosphäre ein ständiger Ab- und Umbau von Substanzen entsprechend ihres Aggregatzustandes und ihrer Eigenschaften statt. In Abhängigkeit ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften verweilen diese Stoffe unterschiedlich lange in der Atmosphäre und können somit auch über große Entfernungen hinweg transportiert werden.

Die Ablagerung (Deposition) der Luftschadstoffe erfolgt schließlich auf belebten und unbelebten Oberflächen, wobei die Deposition stark von der Größe und Struktur der Oberfläche beeinflusst wird [2, 4].

3. Toxikologische Wirkung von Luftinhaltsstoffen

Luftschadstoffe bzw. Verunreinigungen beeinflussen das dynamische Gleichgewicht der Atmosphäre und wirken aufgrund ihrer schädigenden Einflüsse zunehmend negativ auf Menschen, Tiere, Pflanzen sowie Ökosysteme und Sachgüter.

Im Allgemeinen können Umweltschadstoffe zu akuten und chronischen Gesundheitsschäden führen. Dabei können sie allein oder in Kombination mit anderen Stoffen schädigend wirken. Die Umwandlung von ungiftigen zu giftigen Substanzen und umgekehrt kann sich sowohl in der Umwelt als auch im menschlichen Körper, wie z.B. bei polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) vollziehen.

Die Wirkung eines Schadstoffes wird neben der Dosis auch von der Dauer und der Häufigkeit der Exposition bestimmt. So kann eine wiederholte Exposition im Sinne eines Gewöhnungs- bzw. Toleranzeffekts zu einer Verminderung der Empfindlichkeit führen. Ebenso ist aber auch eine Verstärkung der Wirkung möglich, beispielsweise durch sich im Körper akkumulierende Substanzen.

Für Einzelschadstoffe liegen in der Regel toxikologische Untersuchungen und Gefährdungsabschätzungen vor, die als Grenz-, Richt- und Leitwerte in Gesetzen und Richtlinien verankert sind. Im realen Alltag sind Mensch und Umwelt jedoch einem Schadstoffgemisch aus vielen Einzelsubstanzen ausgesetzt, deren Kombinationswirkung noch weitgehend unbekannt ist. Ein mögliches Zusammenwirken einzelner Substanzen kann der Summe der Einzelwirkungen, aber auch synergistischen Effekten entsprechen, also einer Zunahme der Toxizität. Aufgrund der Vielzahl der Luftverunreinigungen und ihrer Kombinationsmöglichkeiten in der Luft ist eine systematische Gefahrenabschätzung ihrer Kombinationswirkung nicht möglich [1, 2].

Gasförmige Luftschadstoffe


Nach ihrer Wirkung auf den Menschen werden die Schadgase und -dämpfe in drei Klassen unterteilt, in

- **Reizgase und -dämpfe:** Schwefeldioxid (SO_2), Stickstoffdioxid (NO_2), Ozon (O_3), Formaldehyd (HCHO), Halogenwasserstoffsäuren (HCl, HF), Ammoniak (NH_3), Schwefelwasserstoff (H_2S),
- **Stickgase:** Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO_2), Stickstoffmonoxid (NO),
- **narkotische Gase und Dämpfe:** Benzol, Toluol, Vinylchlorid, Tetrachlorethen.

Der größte Anteil dieser Schadstoffe wird über den Atemtrakt aufgenommen. Daher stellt die Atemfrequenz einen wichtigen Parameter zur Einschätzung der individuellen Belastung mit Schadstoffen dar. Bei körperlicher Anspannung kommt es durch die Erhöhung der Atemfrequenz zu einer größeren Gefährdung.

Der Wirkort der Reizgase und -dämpfe im Atemtrakt wird hauptsächlich durch deren Wasserlöslichkeit (Hydrophilie) bestimmt. Gase mit hoher Wasserlöslichkeit, wie z.B. HCl, HF, NH_3 , HCHO, wirken bereits an den feuchten Schleimhäuten und führen zu Augen-, Kehlkopf- und Luftröhrenreizungen. Stoffe mit mittlerer Wasserlöslichkeit, wie SO_2 und Halogene, gelangen bis in die Bronchien. Dort lösen sie eine erhöhte Schleimbildung bei gleichzeitiger Verschlechterung des Schleimtransportes durch Verengung der Luftwege aus. Substanzen mit geringer Wasserlöslichkeit, wie O_3 und NO_2 , dringen bis tief in die Lunge ein zu den Bronchiolen, den Alveolen und schließlich zu den Kapillarwänden. Dies kann je

nach Länge und Ausmaß der Einwirkung bis zur Störung der Lungenfunktion und zu einem toxischen Lungenödem führen.



Angriffsorte	Wasserlöslichkeit	Substanz
Auge Kehlkopf Luftröhre	hoch	HCl HF NH ₃ HCHO
Bronchien Bronchiolen	mittel	SO ₂ Cl ₂ Br ₂
Alveolen Kapillarwände	gering	NO ₂ O ₃ O ₇

Bild 2:

Wirkort der Reizgase und -dämpfe im Atemtrakt in Abhängigkeit von ihrer Wasserlöslichkeit

Quelle: Dott, W.; Merck, H. F.; Neuser, J.; Osieka, R: Lehrbuch der Umweltmedizin, Grundlagen – Untersuchungsmethoden – Krankheitsbilder – Prävention. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, 2002

Die Stickgase NO und CO diffundieren aufgrund ihrer hohen Lipophilie durch die Alveolarmembran in das Blut und binden dort schnell anstelle von Sauerstoff an Eisen(II)ionen des Hämoglobins. Viele organische Verbindungen wirken aufgrund ihrer hohen Lipophilie narkotisch auf das Zentralnervensystem. Weitere Effekte organischer Stoffe hängen von den jeweiligen physikalisch-chemischen Eigenschaften und den metabolischen Aktivierungsreaktionen der verschiedenen Stoffe im Körper ab [1].

Partikuläre Luftschadstoffe

Seit vielen Jahren ist die Staubbelastung der Luft ein Ausgangspunkt vieler Forschungsvorhaben weltweit. Menschen, Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser sowie die Atmosphäre werden durch partikuläre Luftbestandteile beeinflusst. Hierbei wird der Straßenverkehr als Hauptemittent für Immissionswertüberschreitungen angesehen, während die durch industrielle Prozesse verursachten Feinstaubemissionen rückläufig sind.

Feinstaub bezeichnet man international auch als Particulate Matter (PM). Er ist ein komplexes, heterogenes Gemisch aus festen bzw. flüssigen Bestandteilen, die einerseits direkt in die Luft emittiert werden oder in der Atmosphäre aus Vorläufersubstanzen entstehen. Somit unterliegt die chemische Zusammensetzung von Stäuben während ihrer Verweilzeit in der Atmosphäre einer ständigen Veränderung. Hierbei vermischen sich Stäube aus anthropogenen Quellen wie dem Verkehr oder Kraft- und Fernheizwerken mit natürlichen Stäuben wie Pflanzenpollen, Sand oder Sporen [4, 5].

Diese Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung von anthropogenen und natürlichen Partikelquellen werden in Bild 3 sichtbar. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung von Feinstaubfiltern (PM10) einer straßennahen Messstation (Bild A, AC-Wilhelmstraße) ergaben als Hauptbestandteile Ruß (elementarer Kohlenstoff) und weitere anorganische Verbindungen aus dem

Kfz-Verkehr. Demgegenüber steht die Zusammensetzung eines ländlichen Messpunktes (Bild B, Simmerath) mit einem höheren Anteil natürlicher Feinstaubquellen wie Pflanzenpollen. Feinstaub ist also nicht gleich Feinstaub, sondern stets ein Spiegelbild der geographischen Lage (Standort) und natürlichen Faktoren wie jahreszeitlichen Schwankungen.

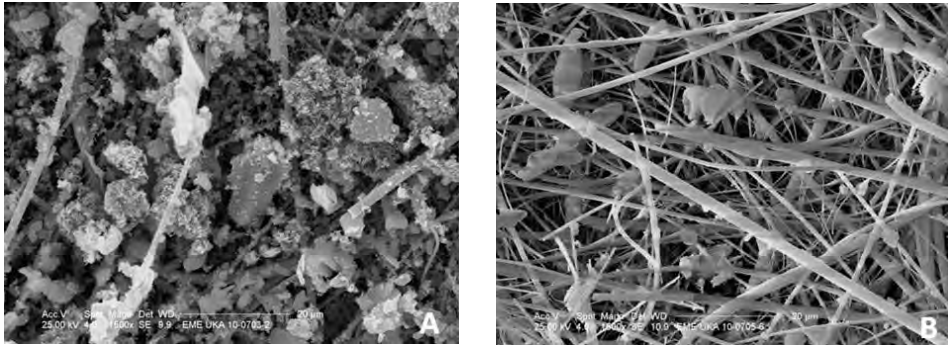


Bild 3: Rasterelektronenmikroskop Aufnahmen von beladenen Glaserfiltern (PM10) nach 72 Stunden Probenahme; A) Städtische Belastung, B) Ländliche Belastung, 1.500-fache Vergrößerung

Quelle: IHU

Für die gesundheitliche Bewertung von Partikeln ist neben der chemischen Zusammensetzung vor allem die Partikelgröße von Bedeutung. Die Klassifizierung von luftgetragenen Stäuben erfolgt anhand ihres Durchmessers in folgende Kategorien [4]:

- **inhalierbarer Feinstaub (PM10):** Teilchen kleiner als 10 µm
PM10 Partikel sind solche, die einen gröbenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm einen Abscheidegrad von fünfzig Prozent aufweist.
- **lungengängiger Feinstaub (PM2.5):** Teilchen kleiner als 2,5 µm
PM2.5 Partikel sind solche, die einen gröbenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 2,5 µm einen Abscheidegrad von fünfzig Prozent aufweist.
- **lungengängiger Feinstaub (PM1):** Teilchen kleiner als 1 µm
PM1 Partikel sind solche, die einen gröbenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 1 µm einen Abscheidegrad von 50 Prozent aufweist.
- **ultrafeine Partikel (UP):** Teilchen kleiner 0,1 µm

Die Eindringtiefe in den menschlichen Respirationstrakt ist abhängig von der Partikelgröße des eingeatmeten Staubteilchens. Bild 4 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen Abscheidegrad (%) von Feinstäuben im Atemtrakt und Partikelgröße.

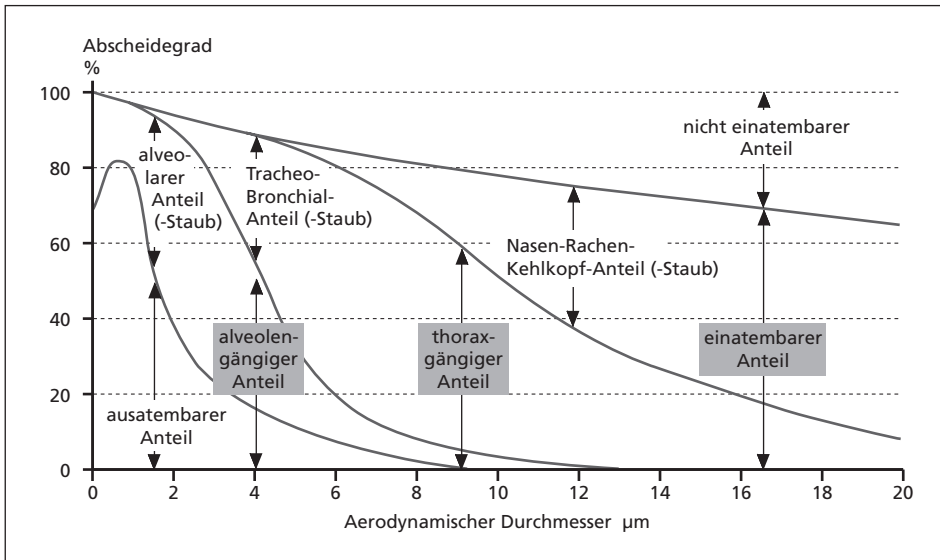


Bild 4: Abscheidung von Feinstäuben im menschlichen Atemtrakt in Abhängigkeit von ihrem aerodynamischen Durchmesser

Quellen:

LFU/UMEG

Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW): Information zur Luftqualität. <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/16131/>

Partikel mit einer Größe von 10 µm werden zu etwa fünfzig Prozent im Tracheobronchialbereich (Lufröhre und Bronchien) abgelagert. Mit abnehmender Partikelgröße steigt der Anteil, der bis in die Alveolen gelangt. Ultrafeine Partikel mit Teilchengrößen unter 0,1 µm können sogar die Kapillarwände der Alveolen (Lungenbläschen) passieren und so in die Blutbahn gelangen, wo sie sich über den Blutkreislauf im Körper verteilen. Im Bereich der Alveolen sind Atmung und Blutkreislauf funktionell und anatomisch sehr eng miteinander verbunden. Aus diesem Grund können Störungen des einen Systems, wie entzündliche Veränderungen im Respirationstrakt, auch das andere System (Herz/Kreislauf) mit beeinträchtigen. Das bedeutet, die Wirkungen von Feinstäuben reichen von vorübergehenden Beeinträchtigungen der Atemwege (z.B. Husten) über einen erhöhten Medikamentenbedarf bei Asthmatikern bis zu vermehrten Krankenhausaufnahme sowie einer Zunahme der Mortalität aufgrund von Atemwegserkrankungen und Herz-Kreislauf-Problemen [1, 4].

4. Umweltmedizinische Bewertung von Luftinhaltsstoffen

Das Gebiet der Umweltmedizin umfasst die Erkennung, Erfassung, Bewertung sowie Vermeidung schädlicher exogener Faktoren, welche die Gesundheit des Einzelnen oder der Bevölkerung beeinflussen. Dabei liegt ein besonderer Schwerpunkt auf der humanmedizinischen Wirkungsforschung von natürlichen und

anthropogenen Umweltfaktoren, die allein oder in Kombination das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen beeinträchtigen. Als Grundlage dieser methodischen Ansätze dienen im Wesentlichen drei Pfeiler, die Epidemiologie, das Monitoring (Umwelt-, Biologisches- und Effektmonitoring) und die Toxikologie, auf deren Basis die Ableitung von Grenzwerten sowie die Gefahrenabschätzung verschiedener Schadstoffgruppen unter anderem auch der Luftverunreinigungen beruht.

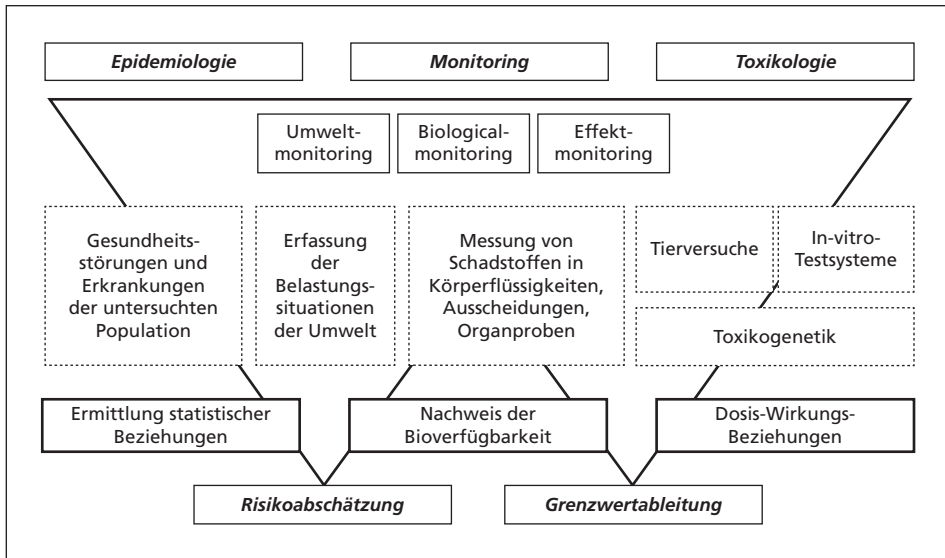


Bild 5: Methodische Ansätze in der Hygiene und Umweltmedizin

Quelle: Dott, 1995

Um die Frage nach der Gefahr und den gesundheitlichen Auswirkungen von Luftverunreinigungen beantworten zu können, müssen verschiedene Faktoren mit berücksichtigt werden. Neben ihrer Konzentration in der Luft und der chemischen Zusammensetzung spielen insbesondere für die partikulären Bestandteile die Beladung der Oberfläche der Partikel mit wirksamen chemischen Substanzen, wie Schwermetallen oder polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, sowie die Größe der Partikel eine Rolle.

Zur rechtlichen, aber auch zur umweltmedizinischen Bewertung der Konzentration von einzelnen Luftschadstoffen existieren Beurteilungswerte verschiedener Güte (Grenzwerte, Leitwerte, Richtwerte, Schwellenwerte). Sie werden durch wirkungsbezogene Luftqualitätsindizes ergänzt, die sich auf mehrere Luftschadstoffe beziehen und somit die realen Umgebungsbedingungen für Menschen umfassender beschreiben, als es für einen einzelnen Luftschadstoff möglich ist.

Unter Berücksichtigung der in amtlichen Luftmessnetzen in Deutschland kontinuierlich erhobenen Luftschadstoffkonzentrationen stellen Ozon im Sommer sowie Feinstaub und Stickstoffdioxid im Winter ein immer noch aktuelles Problem dar [2, 4].

Ozon und Stickstoffdioxid gehören zu den *klassischen* gasförmigen Luftschadstoffen. Beide Gase zeichnen sich durch eine relativ geringe Wasserlöslichkeit aus, wodurch die Schadstoffe nicht in den oberen Atemwegen gebunden werden, sondern bis in die tieferen Bereiche des Atemtraktes (Bronchiolen, Alveolen) vordringen können. Die im Rahmen des Sommersmogs auftretenden akuten Befindlichkeitsstörungen wie Reizungen der Atemwege, Husten, Kopfschmerz und Atembeschwerden sowie Tränenreiz werden durch Ozon und dessen Begleitstoffe verursacht. Veränderungen der Lungenfunktion, Erhöhung der bronchialen Reaktionsbereitschaft, Reduzierung der körperlichen Leistungsfähigkeit sowie entzündliche Reaktionen der oberen und unteren Atemwege zählen ebenfalls zu den Kurzzeiteffekten nach Ozonbelastung. Auch eine Zunahme der Häufigkeit von Asthmaanfällen sowie eine Steigerung der allergischen Reaktionsbereitschaft werden im Zusammenhang mit Ozonexpositionen genannt. Zu den chronischen Wirkungen beim Menschen ist nur wenig bekannt.

Auch für die Auswirkungen einer Langzeitexposition von Stickstoffdioxid liegen nur wenige epidemiologische Untersuchungen vor. In einigen Studien konnte bei Zunahme der langjährigen NO_2 -Belastung eine Zunahme der Sterblichkeit (alle Todesursachen, Herz- und Atemwegserkrankungen, Lungenkrebs) sowie eine Zunahme der Häufigkeit von Lungenkrebs-Erkrankungen, chronischen Atemwegsbeschwerden bei Erwachsenen, Hustenepisoden und Bronchitis bei Schulkindern, chronischer Bronchitis bei Kindern mit diagnostiziertem Asthma und Lungenfunktionsverschlechterungen bei Schulkindern festgestellt werden. Nach aktuellem Kenntnisstand kann kein Schwellenwert benannt werden, bei dessen Unterschreiten langfristige Schädigungen von NO_2 auf den Menschen ausgeschlossen werden können [2].

Neben den klassischen gasförmigen Luftverunreinigungen sind in den letzten Jahren vor allem die partikulären Luftbestandteile Fokus umweltmedizinischer Untersuchungen. Aufgrund ihrer komplexen Zusammensetzung und geringen Größe stellen sie ein nicht zu unterschätzendes Gesundheitsrisiko dar. Feinstaub ist nicht erst ein Problem der heutigen Zeit, doch sind erst in den letzten Jahren die notwendigen analytischen Messverfahren entwickelt wurden, um die kleineren Fraktionen des Feinstaubes zu messen und zu charakterisieren.

Feinstaub ist ein komplexes Gemisch aus den verschiedensten anorganischen und organischen Substanzen. Zu den toxikologisch relevanten anorganischen Komponenten des Schwebstaubes gehören als Schwermetalle u.a. Arsen, Cadmium, Chrom in der Oxidationsstufe VI, Quecksilber, Mangan, Nickel und Blei. Die systemische Wirkung der meisten dieser Metalle beruht auf ihrer Anreicherung im Körper und reicht von Reizungen der Atemwege über Störungen des Zentralnervensystems bis hin zu Mutagenität und Kanzerogenität. Neben diesen metallischen Bestandteilen des Staubes, gehören auch Ruß und daran gebundene Substanzen wie PAK zu den gesundheitlich relevanten Komponenten. Die gesundheitliche Relevanz dieser Verbindungen wurde bereits sehr früh bei beruflich bedingter PAK-Exposition (z.B. Hautkrebs bei Schornsteinfegern oder Lungenkrebs bei Arbeitern in der Teerindustrie) erkannt. Der epidemiologische Zusammenhang zwischen PAK-Exposition und Krebsentstehung wurde allerdings

erst 1972 durch toxikologische Untersuchungen bestätigt. Die Kanzerogenität der PAK beruht auf der Bildung reaktiver Metabolite, bevorzugt Diolepoxide, die mit der DNS reagieren können. Dabei ist Benzo[*a*]pyren eines der am längsten bekannten und untersuchten Kanzerogene dieser Substanzklasse und dient als Leitsubstanz der PAK Belastung in der Luft [1, 2].

Zahlreiche epidemiologische Studien weisen auf einen Zusammenhang zwischen kurzen Episoden mit hoher PM₁₀-Exposition und der Sterblichkeit (Mortalität) und Erkrankungsrate (Morbidität) hin. Eine PM₁₀-Langzeit-Exposition über Jahrzehnte kann ebenso einer erhöhten Rate von Atemwegserkrankungen und Störungen des Lungenwachstums bei Kindern verbunden sein. Auch ist eine Erhöhung der PM₁₀-Konzentration mit einem Anstieg der Gesamtsterblichkeit und der Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Sterblichkeit verbunden. Bei einem Anstieg von jeweils 10 µg/m³ PM₁₀ ist mit einer durchschnittlichen Verkürzung der Lebenserwartung der gesamten Bevölkerung um knapp sechs Monate zu rechnen, pro 10 µg/m³ PM_{2.5} um etwa acht Monate. Darüber hinaus gibt es Hinweise für eine erhöhte Lungenkrebssterblichkeit [2, 5, 6].

Toxikologische Untersuchungen konnten bislang noch nicht abschließend die Frage beantworten, welche Partikeleigenschaften und welche toxikologischen Mechanismen die Ursache für die beobachtete Assoziation zwischen Partikelbelastungen und gesundheitlichen Effekten sind. Insgesamt ist davon auszugehen, dass PM₁₀ (oder PM₁₀-Komponenten) einen deutlichen Beitrag zu den schädlichen Gesundheitseffekten beim Menschen leisten. Ein Schwellenwert, unterhalb dessen nicht mehr mit gesundheitsschädlichen Wirkungen zu rechnen ist, kann für PM₁₀ nach aktuellem Kenntnisstand nicht angegeben werden.

Der Mensch ist als Teil seiner Umwelt täglich vielen verschiedenen Umwelteinflüssen ausgesetzt, die direkt und indirekt seine Gesundheit sowie sein Wohlbefinden beeinflussen können. In den letzten Jahrzehnten wurden enorme Verbesserungen im Bereich der Lufthygiene erreicht. So konnten durch umfangreiche Maßnahmen auf dem Gebiet der Luftreinhaltung deutliche Verbesserungen der Luftqualität insbesondere in den Ballungsgebieten erzielt werden. Dennoch können auch heute noch Schadstoffe, die mit der Luft eingeatmet werden, gesundheitliche Auswirkungen haben [2]. Daher besteht auch zukünftig ein enormer Forschungsbedarf im Bereich der Luftreinhaltung, um die Zusammenhänge und Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die menschliche Gesundheit zu erfassen und Maßnahmenprogramme zum Schutz der Bevölkerung zu entwickeln.

5. Literaturverzeichnis

- [1] Dott, W.; Merck, H. F.; Neuser, J.; Osieka, R: Lehrbuch der Umweltmedizin, Grundlagen – Untersuchungsmethoden – Krankheitsbilder – Prävention. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, 2002
- [2] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), Teilgebiet Luft, <http://www.lanuv.nrw.de/luft/luft.htm>
- [3] Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetz – Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft (22. BImSchV), Stand 27.02.2007

- [4] Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW): Information zur Luftqualität. <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/16131/>
- [5] Umweltbundesamt: Hintergrundpapier zum Thema Staub/Feinstaub (PM), 2005
- [6] WHO: Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution, 2006

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Immissionsschutz, Band 1

– **Planung, Genehmigung und Betrieb von Anlagen** –

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Hoppenberg

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010

ISBN 978-3-935317-59-7

ISBN 978-3-935317-59-7 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2010

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dipl.-Ing. Ernst Thomé, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc. und Dr.-Ing. Stephanie Thiel

Erfassung und Layout: Nicole Bäker, Janin Burbott, Petra Dittmann, GINETTE Teske

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Foto auf dem Buchdeckel: Nicole Bäker, Molchow

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.