

Atmosphärische Aerosole

Daniel Steinbrückner

Johanna-Römer-Str. 5, 09599 Freiberg

Abstract. Aerosole in der Atmosphäre entstammen unterschiedlichen Quellen. Ihre Eigenschaften und ihr Verhalten werden durch Größe, Zusammensetzung und dem Bereich der Atmosphäre, in dem sie sich aufhalten, bestimmt. Dabei sind sie für die Forschung von besonderem Interesse, da sie z.B. einen nicht unerheblichen Einfluss auf den Strahlungshaushalt und damit auf das Erdklima besitzen. An einer Studie über die Folgen nach der Eruption vom Vulkan Laki 1783, wird der Einfluss vulkanischer Aerosole näher betrachtet. Durch eine weitere Studie zur partikulären Luftverschmutzung in Indien wird zudem die gesundheitliche Problematik durch Aerosole erläutert.

Einleitung

Als Aerosol wird eine stabile Suspension fester und/oder flüssiger Partikel in Luft bezeichnet, mit Durchmessern im Bereich von 10^{-9} bis 10^{-4} m (Graedel und Crutzen, 1994; Poschl, 2005). Damit besteht das atmosphärische Aerosol aus der kondensierten Materie der Atmosphäre und der Luft, in der diese sich befindet.

Quellen und Zusammensetzung

Nach ihrer Entstehung unterscheidet man Primärpartikel und Sekundärpartikel. Zudem kann man unterscheiden, ob ihre Quellen natürlichen oder anthropogenen Ursprungs sind. Primärpartikel gelangen direkt, flüssig oder fest, in die Atmosphäre, z.B. durch Biomasseverbrennung, durch unvollständige Verbrennung von fossilen Brennstoffen, durch Vulkanausbrüche, durch windgetragene Straßen- und Boden-Suspensionen, Mineralstäube, Meeressalzpartikel und biologische Materialien wie Pflanzenreste, Mikroorganismen, Pollen etc. (Poschl, 2005). Sekundärpartikel entstehen durch Gas-Partikel-Umwandlung, was durch Kondensation von Gasmolekülen auf bereits existierenden winzigen Partikeln

geschehen, oder auch über die direkte Nukleation aus der Gasphase ablaufen kann (Graedel and Crutzen, 1994).

Der häufigste natürliche Bildungsprozess von Aerosolen ist die ständige Erosion von Bodenpartikeln durch Wind und die unregelmäßig auftretenden, aber starken Sandstürme. In städtischen und industriellen Regionen sind die meisten atmosphärischen Partikel auf menschliches Handeln zurückzuführen, wie Fahrzeugverkehr, Treibstoffverbrennung, industrieller Verarbeitung, Abfallbeseitigung, Bautätigkeit und Landwirtschaft (Graedel and Crutzen, 1994). Durch massive Zunahme von Aerosolen und Gasmolekülen durch Verbrennung von Biomasse und der Verfeuerung von fossilen Brennstoffen seit der vorindustriellen Zeit, haben diese einen großen Anteil an den feinen Partikeln sowohl in verschmutzten urbanen Gebieten als auch in der globalen Atmosphäre (Poschl, 2005). Da es auf der Erde nur sehr selten Perioden ohne vulkanische Aktivität gibt, sind Vulkane einer der größten Emittenten von Aerosolen. Je nach Heftigkeit des Ausbruchs gelangen vulkanische Partikel in die Troposphäre, können aber auch die Stratosphäre erreichen, was weniger als einmal im Jahr geschieht (Graedel and Crutzen, 1994).

Jedes atmosphärische Aerosol ist eine Zusammenballung von Substanzen aus vielen verschiedenen Quellen. Auch wenn dadurch jedes Partikel einzigartig ist, bestehen doch einige Ähnlichkeiten im Aufbau feiner und grober Partikel. Feine Partikel entstehen durch unterschiedliche Verbrennungsprozesse und durch Kondensation auf bereits existierenden kleinen Kernen. Damit sind sie oft aus elementarem Kohlenstoff und einfachen organischen und anorganischen Verbindungen, wie NH_4^+ -, SO_4^{2-} - und NO_3^- -Ionen aufgebaut (Graedel and Crutzen, 1994). Zudem treten häufig Spurenmetalle (vor allem aus der Kohleverfeuerung) auf (siehe Abb. 1).

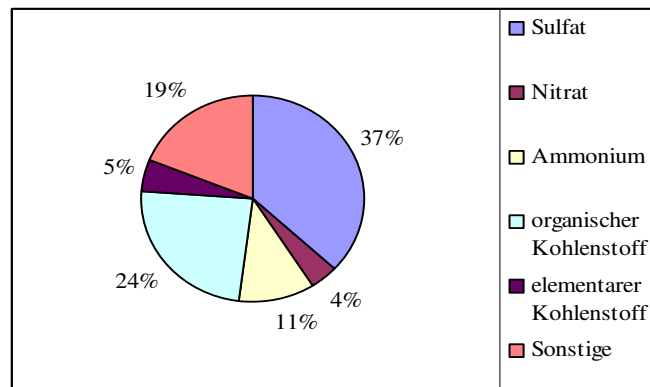


Abb. 1. Typische Zusammensetzung eines feinen, kontinentalen Aerosols (verändert nach (Jacob, 1999))

Grobe Partikel zeigen ihre Herkunft eher als die feine Partikel an, und sie werden aufgrund ihrer geringeren Verweildauer in der Atmosphäre in weit geringerem Maße verändert. Partikel, die aus windgetragenen Staub stammen,

sind überwiegend Oxide aus Fe, Al, Si und Ti. Jene, die aus der Vegetation stammen, enthalten viele Wachse, langkettige Fettsäuren und verwandte Verbindungen (Graedel and Crutzen, 1994). Meeressalzteilchen über den Ozeanen geben die Chemie des Ozeans wieder, aus dem sie stammen.

Größenspektrum und Entwicklung

Das Größenspektrum atmosphärischer Partikel umfasst etwa vier oder mehr Größenordnungen. Primärpartikel, aus natürlichen Entstehungsprozessen wie windgetragener Mineralstaub oder Meeressalzkpartikel, haben häufig Radien zwischen 1 – 10 μm gegenüber feineren Partikeln ($< 1 \mu\text{m}$ oder auch $< 2,5 \mu\text{m}$ als PM1 bzw. PM2.5 bezeichnet) industriellen Ursprungs oder Sekundärpartikeln (Graedel and Crutzen, 1994). Auch in der Biosphäre entstandene Partikel umfassen die gesamte Bandbreite des Größenspektrums. Dabei sind Pollen im oberen Bereich zu finden während organische Aerosole aus Emissionen von schwerflüchtigen Kohlenwasserstoffen eher im unteren Bereich zu finden sind ($\approx 0,1 \mu\text{m}$) (Graedel and Crutzen, 1994).

Abb. 2 zeigt die verschiedenen Prozesse der Entstehung, des Wachstums und auch der Entfernung von Partikel in der Atmosphäre.

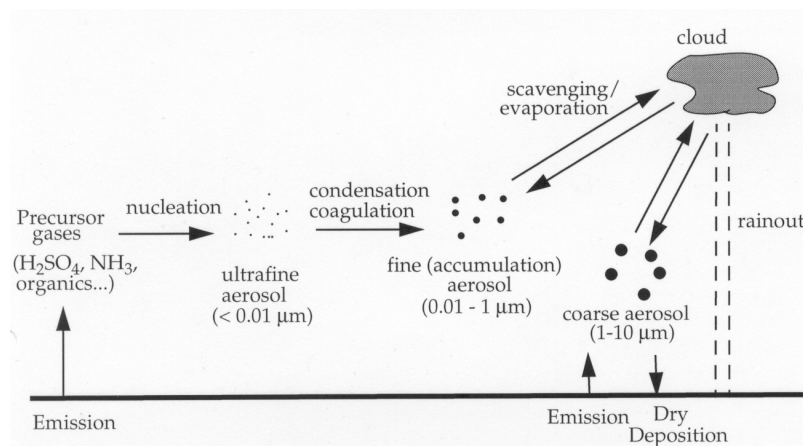


Abb. 2. Von der Emission, über Wachstum bis zur Deposition von Aerosolen (Jacob, 1999). Gasmoleküle haben typischerweise einen Äquivalenzradius von $10^{-4} - 10^{-3} \mu\text{m}$. Durch Nukleation der Gasmoleküle (im Nukleationsmode oder Aitkenmode) entstehen ultrafeine Partikel mit Radien von $10^{-3} - 10^{-2} \mu\text{m}$ (Jacob, 1999). Diese wachsen schnell durch Kondensation von Gasen und Koagulation (Kollision von Partikeln durch ihrer zufällige Bewegung) im Akkumulationsmode zu feinen Aerosolen (0,01 - 1 μm) (Jacob, 1999). Diese feinen Partikel werden durch den Einfang in Wolkentropfen und dem anschließenden Niederschlag oder den direkten Einfang in Regentropfen aus der Atmosphäre wieder entfernt (nasse Deposition). Grobe Partikel, die durch Windaktivitäten eingetragen werden, werden genauso durch Niederschläge ausgewaschen oder sedimentieren aufgrund ihrer Größe direkt ab (trockene Deposition) (Jacob, 1999).

Partikel mit Durchmessern von etwa $0,1 - 1 \mu\text{m}$ unterliegen kaum der Deposition, dienen aber, abhängig von ihrer chemischen Zusammensetzung, als Nukleationskeime für Wolkentröpfchen (Nukleations-Scavenging) (Graedel and Crutzen, 1994). Da dieser Prozess aber nicht sehr wirksam ist, haben diese Partikel in der Atmosphäre die längste Partikelverweildauer. Bei sehr kleinen Partikeln ($\leq 10^{-2} \mu\text{m}$) beträgt die Verweildauer aufgrund der schnellen Koagulation infolge Brownscher Bewegung nur einige Stunden oder weniger. Eine ähnliche Verweildauer haben größere Partikel ($\geq 10 \mu\text{m}$), da die gravitationsbedingte Sedimentation oder die Einfangrate durch Hydrometeore sehr hoch ist.

Die Verweildauer ist neben der Partikelgröße auch von dem Bereich in der Atmosphäre abhängig, wo sie sich befinden. In der unteren und mittleren Troposphäre beträgt die durchschnittliche Verweildauer von Partikeln etwa eine Woche, in der Stratosphäre Monate bis Jahre (Graedel and Crutzen, 1994). Dies ist darauf zurückzuführen, dass Wolken und Niederschläge mit steigender Höhe sehr stark abnehmen.

Aerosole in Troposphäre und Stratosphäre

In der Troposphäre beträgt die Partikelanzahl zwischen 10^2 und 10^5 cm^{-3} bzw. $1 - 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Massenkonzentration (Poschl, 2005). Die Mehrzahl der atmosphärischen Partikelmasse ist dabei in der unteren Troposphäre konzentriert, was auch in der kurzen Resistenz gegenüber Deposition begründet ist. Die Konzentration in der oberen Troposphäre ist demgegenüber typischerweise 1 - 2 Größenordnungen niedriger (Jacob, 1999).

Neben dem troposphärischen Aerosol treten Partikel auch in der Stratosphäre auf. Dabei gibt es in der Stratosphäre ständig eine Schicht kleiner Partikel, die sich über dem Äquator in einer Höhe von etwa 25 km und in Polnähe bei etwa 17 km befindet. In dieser Schicht sind die Partikelkonzentrationen sehr hoch, ähnlich der Konzentrationen wenige Kilometer über den nördlichen Breiten.

Die durchschnittliche Größe stratosphärischer Aerosole ist viel kleiner als die der troposphärischen Partikel. Im Größenspektrum liegt das Maxima bei einem Radius von etwa $0,06 \mu\text{m}$ (Graedel and Crutzen, 1994). Oberhalb von $0,3 \mu\text{m}$ kommen zudem fast keine Partikel mehr vor (Graedel and Crutzen, 1994). Das Größenspektrum des stratosphärischen Aerosols bleibt recht konstant. Treten allerdings größere vulkanische Ausbrüche auf, so gelangen Partikel in die Stratosphäre, die größer als das normal stratosphärische Aerosol sind, aber auch wiederum zu klein um am Ausbruchsort auszufallen. Vor allem durch SO_2 , das durch gewaltige Vulkanausbrüche bis in die Stratosphäre gelangt, bilden sich durch Oxidation Schwefelsäurepartikel, aus dem diese Schicht zum größten Teil besteht (Jacob, 1999). Ein weiteres bedeutendes Vorläufergas dieser Schicht ist das Carbonylsulfid (COS), das gegenüber den üblichen Schwefelgasen SO_2 , CH_3SCH_3 (DMS) und H_2S in der Troposphäre nicht reagiert und erst in die Stratosphäre gespalten wird (Graedel and Crutzen, 1994).

Effekte in der Atmosphäre

Atmosphärische Aerosole haben bedeutende Einflüsse in der Atmosphäre.

Durch Absorption und Streuung von Sonnenstrahlung haben Aerosole einen direkten Effekt auf das Klima der Erde, zusätzlich einen indirekten Effekt als Nukleationskeime zur Wolkenbildung, die den gleichen Effekt hervorrufen. Dieser indirekte Effekt ist zwar mit einer größeren Unsicherheit behaftet, er kann aber einen vergleichbaren Anteil am Einfluss auf den Strahlungshaushalt haben wie der direkte Effekt (Jacob, 1999). Durch die Streuung der solaren Einstrahlung an Aerosolen wird die Albedo der Erde erhöht, da ein Teil des gestreuten Lichtes in den Weltraum zurückreflektiert wird.

Die Effektivität der Streuung von Strahlung hängt dabei von der Partikelgröße ab. Entspricht der Partikelradius der Wellenlänge der einfallenden Strahlung, so ist die Streuung maximal. In der Atmosphäre sind demnach Aerosole im Akkumulationsmode (Radien $0,01 - 1 \mu\text{m}$) effiziente Streuer (Jacob, 1999). Größere Partikel tragen ebenfalls zur Streuung bei, kleinere Partikel, wie Gasmoleküle, sind dagegen ineffiziente Streuer. Einige Aerosole, vor allem Ruß, aber auch grobe Mineralstäube, können zudem terrestrische Strahlung absorbieren (Jacob), was wiederum den Treibhauseffekt unterstützt (Jacob, 1999).

Atmosphärische Partikel können als Kondensationskerne für Regen- und Nebeltröpfchen dienen, ohne sie würde die Gasförmig/flüssig- und Flüssig/fest-Phasenumwandlung viel schwieriger vonstatten gehen. Dadurch erhöhen sie die Effektivität des Wasserrecyclings. In Gebieten mit erhöhter Bildung oder Emission von kleinen Partikeln, welche hauptsächlich durch Aufnahme von Wasserdampf wachsen und dann die Sonnenstrahlung stark streuen, verursacht dieser Effekt geringere Sichtweiten. Ohne den Einfluss von atmosphärischen Partikeln würde die Sichtweite nur durch die Gasmoleküle der Luft begrenzt werden und etwa 300 km betragen (Jacob, 1999).

Weiterhin sind Aerosole für das Entfernen vieler Moleküle aus der Gasphase verantwortlich. Zudem findet eine große Anzahl wichtiger Reaktionen auf Partikeloberflächen statt. Damit beeinflussen sie auch die Konzentration und Verteilung von atmosphärischen Spurengasen, durch heterogene Reaktionen oder Multiphasenprozesse (Poschl, 2005).

Allerdings bieten Aerosole auch gesundheitliche Gefahren für Menschen, indem sie Atemwegs-, Herz- und Kreislauf-Erkrankungen, Infektionskrankheiten und Allergien verursachen oder verstärken können (Poschl, 2005).

Aerosolforschung

Aufgrund der gerade aufgezeigten Einflüsse von Aerosolen in der Atmosphäre wird weltweit in vielfältiger Richtung Forschung über Aerosole betrieben. In Deutschland ist u.a. das Institut für Troposphärenforschung (IFT) in Leipzig bedeutend, welches sich mit Entstehung und Transport von Partikeln, mit dem

Einfluss auf Wolken und Strahlung und mit Mehrphasenprozessen beschäftigt (Homepage des IFT).

Nachfolgend werden zwei internationale Studien vorgestellt, die zum einen Auswirkungen vulkanischer Aerosole und zum anderen gesundheitliche Aspekte von partikulären Stoffen untersuchten.

Einfluss vulkanischer Aerosole am Beispiel des Laki-Ausbruchs

Ein explosiver Vulkanausbruch, der die stratosphärische Aerosolfracht erhöht, kann einen bedeutenden Einfluss auf das Klima haben, was der Ausbruch des Mt. Pinatubo 1991 beweist, der ein globales Abkühlen von etwa 0,6 K über 2 Jahre hinweg verursachte (siehe Abb. 3).

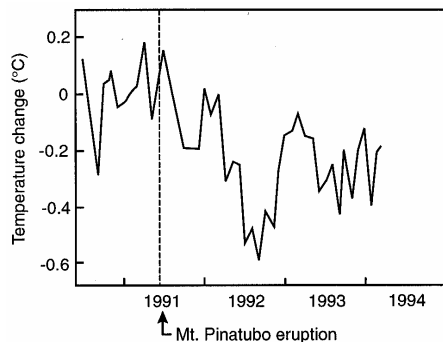


Abb. 3. Einfluss des Ausbruchs des Mt. Pinatubo 1991 auf die globale mittlere Oberflächentemperatur der folgenden Jahre (Jacob, 1999)

Solche lang anhaltenden klimatischen Störungen sind auch auf die sehr langsame Entfernung von stratosphärischen Aerosolen zurückzuführen. Demgegenüber haben weniger starke Vulkanausbrüche, die eine Erhöhung der Aerosolladung in der Troposphäre verursachen, wahrscheinlich einen geringeren klimatischen Einfluss, was wiederum auch von der Ausbeute der vulkanische SO_2 -Quelle abhängt (Highwood and Stevenson, 2003).

Im Juni 1783 brach der isländische Vulkan Laki aus, der über 8 Monate hinweg 15 km^3 Magma und 122 Tg SO_2 ausspuckte, wobei rund 60 % schon in den ersten 6 Wochen emittiert wurden (Highwood and Stevenson, 2003). Aufzeichnungen zeigen, dass eine trockene Staubwolke in der zweiten Jahreshälfte über weite Teile Europas nach Asien zog, und Eiskerne belegen starke Aerosol-Depositionen über Grönland, über dem Nordosten der Kanadischen Arktis und Spitzbergen (Highwood and Stevenson, 2003).

Es gab zahlreiche Debatten über den klimatischen Einfluss dieser Eruption. Viele Studien zeigen eine Abkühlung in den Jahren nach dem Ausbruch, allerdings zeigen sie auch Unterschiede in den Ergebnissen, die vor allem auf die regionale Begrenzung der Studien zurückzuführen ist. Anstatt das dürftige Datenmaterial auszuwerten, versuchten Highwood und Stevenson (2003) über Modelle die klimatische Wirkung von 1783 – 1784 nach dem Ausbruch von Laki zu untersuchen. Dabei wurde zum einen der direkte Effekt von Sulfat-Aerosolen

auf den Strahlungshaushalt simuliert und zum anderen die Verteilung der Sulfat-Aerosole nach der Eruption.

Nach Highwood und Stevenson (2003) wurden für die Verteilung der Sulfat-Aerosole drei Szenarien gewählt, einmal die Verteilung des vorindustriellen Hintergrundes, das Szenario „Lo“, welches den Bereich zwischen Oberfläche und 9 km Höhe abdeckt und das Szenario „Hi“, das den Bereich zwischen Oberfläche und 3 km Höhe sowie einen weiteren Bereich um die Tropospause herum (9 – 13 km), berücksichtigt. Weiterhin wurde die Verweilzeit der emittierten Sulfat-Aerosole in der Atmosphäre in den Szenarien berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Simulationen zeigen, dass erhebliche Mengen von Schwefelsäure-Aerosolen einen negativen Strahlungseinfluss in der nördlichen Hemisphäre zwischen Juni 1783 und Februar 1784 verursachten. Der Höchstwert dieses Strahlungseinflusses beträgt dabei etwa $-5,5 \text{ W/m}^2$ (siehe Abb. 4) (Highwood and Stevenson, 2003). Durch Effekte der Luftfeuchtigkeit, kann dieser Wert etwa 1,6mal höher sein. Im Vergleich dazu betrug der mittlere globale Strahlungseinfluss nach Ausbruch des Mt. Pinatubo etwa -4 W/m^2 , der Einfluss hielt aber auch über 2 Jahre an (Highwood and Stevenson, 2003). Zudem zeigen die Ergebnisse der Simulation Übereinstimmung mit Daten von Untersuchungen, die von einem reinen Phänomen der Nordhemisphäre sprechen, d.h. man hat keine Signale in Eiskernen auf der Südhemisphäre gefunden.

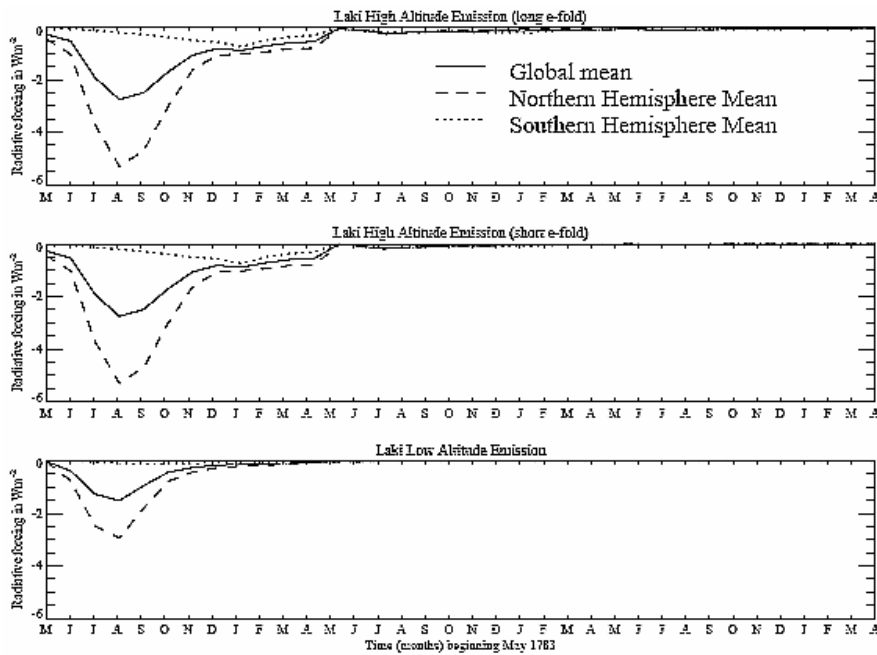


Abb. 4. Zeitverlauf des Strahlungseinflusses von Sulfat-Aerosolen nach dem Ausbruch von Laki im Juni 1783, simuliert über drei Szenarien (oben: „Hi“-Verteilung mit langer Verweilzeit; Mitte: „Hi“-Verteilung mit kurzer Verweilzeit; unten: „Lo“-Verteilung) (nach Highwood and Stevenson, 2003)

Aufgrund des direkten Effekts wurde eine mittlere Temperaturanomale für 1783 und für die nördliche Hemisphäre bestimmt von $-0,21$ K, wobei der Temperatureffekt räumliche sehr komplex ist (Highwood and Stevenson, 2003). Zudem zeigt die Simulation, dass die kalte Temperaturanomale wenigstens zwei Jahre angehalten haben kann.

Indirekte Effekte durch die Mikrophysik der Wolken sind wahrscheinlich groß, aber im Moment und mit dieser Simulation unmöglich zuverlässig zu quantifizieren. Es wird aus den Daten heraus geschätzt, dass der indirekte Strahlungseffekt durch Wolken im Mittel für die Nordhemisphäre im „Lo“-Szenario -8 W/m² und im „Hi“-Szenario -14 W/m² beträgt, und damit größer ist als der direkte Effekt, der durch die Simulation ermittelt wurde (Highwood and Stevenson, 2003).

Nach Highwood und Stevenson (2003) besteht eine Unsicherheit der Simulation darin, dass es noch andere Effekte gibt, die die Abkühlung begrenzen, wie Änderungen der Ozongehalte als Folge der Eruption oder der Wirkung von SO₂ als Treibhausgas, was in der Simulation nicht näher betrachtet wird.

Trotz der Unsicherheiten zeigt die Studie von Highwood und Stevenson (2003) aber, dass große und vor allem lang anhaltende Ausbrüche wie der von Laki in Island 1783 einen signifikanten Einfluss auf das Klima haben können, durch die Produktion von Aerosolen hauptsächlich in der Troposphäre. Insbesondere haben die großflächigen troposphärischen Aerosol-Wolken einen deutlichen negativen Einfluss auf die solare Einstrahlung.

Gesundheitliche Wirkung am Beispiel Indien

Luftgetragene Partikel sind besonders im öffentlichen Fokus, weil sie über die Atmungsorgane in den Körper gelangen und viele Krankheiten auslösen können. Dabei sind Größe, Anzahl sowie Zusammensetzung von atmosphärischer partikulärer Masse (PM) entscheidend für die gesundheitliche Wirkung (Mohanraj and Azeez, 2004). Weltweite Studien haben gezeigt, dass durch erhöhte Emissionen von Aerosolen, vor allem in die Atmosphäre über urbanen Gebieten, die Gefahr für die menschliche Gesundheit hoch ist. Dabei sind Kinder, alte Menschen und Asthmatiker besonders durch Luftverschmutzung gefährdet.

Partikel mit einem Durchmesser von ≤ 10 μm werden als PM₁₀ bzw. lungengängige partikuläre Masse bezeichnet, da sie die Atemwege passieren können. PM₁₀ wird weiter in ultrafeine Partikel ($< 0,1$ μm), feine Partikel ($0,7 - 1$ μm) und grobe Partikel ($1 - 10$ μm) unterteilt (Mohanraj and Azeez, 2004).

Wenn atmosphärische Partikel die Atemwege erreichen, werden die mit Durchmessern von $4,6$ bis 9 μm im Bereich des Rachens und Luftröhre abgelagert, von $1,1 - 4,6$ μm in den Bronchien und von $0 - 1,1$ μm in den Alveolen (Mohanraj and Azeez, 2004). Partikel $< 0,5$ μm werden in winzigen Atemwegen abgelagert. Partikel in der Lunge werden einerseits, im Schleim gefangenen, schnell wieder durch Husten bzw. durch Schlucken entfernt. Partikel, die sich tiefer ablagerten, werden andererseits von Makrophagen umschlossen und

über einen längeren Zeitraum entfernt. Bei Menschen kann chronisch eingeatmete partikuläre Masse (PM) zu 57 – 91 % im Inneren der Lunge zurückgehalten werden, was letztlich von der Dosis abhängt (Mohanraj and Azeez, 2004). Unlösliche Partikel, die in der Lunge abgelagert werden, haben Halbwertszeiten von Wochen bis Monaten oder sogar Jahren (Mohanraj and Azeez, 2004). Die Mechanismen zur Entfernung werden nachteilig beeinflusst durch mit eingeatmete, toxische Schadstoffe wie z.B. Ozon.

Die Symptome, die sich durch die abgelagerten Partikel ergeben, werden durch die chemischen Eigenschaften, dem Ort der Ablagerung in der Lunge und die physiologische Reaktion des Körpers auf die Partikel bestimmt (Mohanraj and Azeez, 2004). Organischer und elementarer Kohlenstoff (OC bzw. EC), die Haupt-Kohlenstofffraktionen in partikulärer Masse, sind verantwortlich für viele Effekte auf die Gesundheit. So steht OC im Verdacht mutagen und cancerogen zu wirken, während EC mit vielen nachteiligen Effekten verbunden ist, u.a. der Beeinträchtigung der Partikelentfernung aus der Lunge (Mohanraj and Azeez, 2004). Innerhalb der organischen Kohlenstoffverbindungen sind besonders die PAK (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe) von besonderem Interesse, da sie wahrscheinlich cancerogen sind, den Hormonhaushalt, Fortpflanzung und Immunfunktionen beeinträchtigen (Mohanraj and Azeez, 2004). Zudem wurde in Studien auf reaktive Sauerstoffradikale hingewiesen, die durch die Partikel produziert werden und als wichtiger Faktor für akute und chronische Erkrankungen des Atemtraktes gelten. Studien bzw. Tierversuche zu einzelnen bestimmten Verbindungen liegen nicht vor, da die Krankheitseffekte durch PM auch eher von synergetischen Effekten eines Cocktails an Verbindungen ausgehen (Mohanraj and Azeez, 2004).

Neben bekannten Episoden akuter Luftverschmutzung durch kurzzeitig erhöhte PM- und SO₂-Konzentrationen wie z.B. die London Smog Episoden 1952 und 1962, die mit vielen auch tödlichen endenden Lungenfehlfunktionen verbunden waren, gibt es auch Studien über langzeitliche Expositionen von normalen bis leicht erhöhten Aerosol-Konzentrationen (Mohanraj and Azeez, 2004). Dabei wurden Verbindungen zu Todesfällen durch Herz-Kreislauf-Versagen, Herzinfarkte und Herzflimmern und mit Herzrhythmusstörungen gefunden. Lungenkrebs, zu Beginn des 20. Jahrhunderts noch ziemlich selten, wurde zu einer der häufigsten Todesarten für Männer in industrialisierten Ländern. Heutzutage liegt die Todesursache durch Lungenkrebs für über 45-Jährige weltweit bei 13 % und steigt pro Jahr um 0,5 % an (Mohanraj and Azeez, 2004).

Drei Organe werden hauptsächlich durch Luftverschmutzung angegriffen, die Atemwege, die Blutgefäße und die Atemmembrane (Mohanraj and Azeez, 2004). Die häufigste Lungenfehlfunktion ist Asthma, wobei die Zielgewebe die Wände der Bronchien und Bronchialen sind. Die Welt-Gesundheits-Organisation (WHO) geht davon aus, dass in den USA jährlich 460.000 Menschen durch atmosphärische Partikel sterben, 135.000 davon sind Opfer chronischen Asthmas und der Rest stirbt an Herz-Kreislauf- oder Herzerkrankungen (Mohanraj and Azeez, 2004). Seit den späten 1950ern wurde von akuten Infektionen berichtet, die die Erkrankung der oberen Atemwege einschließt, was die meisten Krankheitsfälle von Atemkrankheiten wie Influenza, Bronchitis (akut und chronisch),

Lungenentzündung, alle Typen von Asthma, Nebenhöhlenentzündungen und andere Atemfehlfunktionen, beinhaltet (Mohanraj and Azeez, 2004).

Obwohl Studien zeigen, dass alle Altersgruppen diesen Krankheiten ausgesetzt sind, sind Kinder und ältere Menschen am meisten anfällig gegenüber chronischen gefährdenden Lungenerkrankungen und Asthma (Mohanraj and Azeez, 2004).

Letztendlich also weisen nach Mohanraj und Azeez (2004) viele epidemiologische Studien darauf hin, dass lang anhaltende Expositionen, auch von niedrigen Partikel-Zahlen mit schädlichen Gesundheitsproblemen verbunden sind wie Asthma, Bronchitis, chronische Bronchitis, Lungenentzündung sowie Erkrankungen der oberen und unteren Atemwege. Zudem zeigen neuste Studien, dass von feinen Partikeln ein Risikofaktor für vorzeitige Sterblichkeit durch Erkrankung des Herz-Lungen-Bereichs und Lungenkrebs ausgeht.

Das Indien Szenario

Nach Mohanraj und Azeez (2004) verschlechterte sich in den meisten indischen Städten die Luftqualität in schnellen Schritten durch die steigende Flut an Fahrzeugen. Zur Überwachung der Luftqualität wurde deshalb 1984 ein nationales Programm gestartet. In etwa 290 Stationen werden dabei die Schadstoffe SO₂, NO₂ und atmosphärische Partikel, neben den meteorologischen Parametern wie Windgeschwindigkeit und -richtung, Temperatur und Luftfeuchtigkeit überwacht, zudem in einigen Städten auch PAKs.

Nach einem UNEP-Report bewegt sich in den meisten indischen Städten die mittlere Konzentration von partikulärer Masse (gemessen von 1990 - 1998) zwischen 99 und 390 µg/m³ in Wohngebieten und 123 und 457 µg/m³ in Industriegebieten, wobei der Grenzwert des jährlichen Durchschnitts von 140 µg/m³ für Wohngebiete und 360 µg/m³ in Industriegebieten überschritten wird (Mohanraj and Azeez, 2004). Zum Vergleich in Deutschland ist nach 22. BImSchV ein Grenzwert für PM10 als Jahresmittel von 40 µg/m³ und 50 µg/m³ als Tagesmittel festgesetzt (Beck-Texte Umweltrecht, 2005).

Wenige epidemiologische Studien berichten, dass 1995 in 31 Städten knapp 52.000 Menschen vorzeitig den Tod fanden, einem Anstieg von 28 % zu 1991 und 1992, wahrscheinlich aufgrund erhöhter Konzentrationen von atmosphärischen Partikeln (Mohanraj and Azeez, 2004). Außerdem erhöhten sich medizinische Hilfen und Krankenhausaufenthalte wegen Atemproblemen von 19 Millionen Menschen 1991 auf 25 Millionen 1995. In Kalkutta, aber auch anderen indischen Metropolen wie Neu-Delhi oder Bombay, verdoppelte sich teilweise diese Anzahl innerhalb von drei Jahren, aber auch die verfrühten Todesfällen.

In Bangalore sind über die letzten 20 Jahre bei Kindern Atmungsprobleme dreifach angestiegen (siehe Tabelle 1). Global sterben über 180.000 Menschen pro Jahr an Asthma, in Indien sind allein 20 – 25 Millionen Asthmakrank.

Tabelle 1. Häufigkeit von Asthma bei Kindern in Bangalore zwischen 1979 und 1999 und im Vergleich dazu die Anstiege in Industrie und an Fahrzeugen (verändert nach Mohanraj und Azeez (2004)).

Jahr	Asthmafälle bei Kindern (in %)	Industrieanzahl	Anzahl an Automobilen (in Mio)
1979	9	4700	0,146
1984	10,5	7887	0,236
1989	18,5	14384	0,460
1994	24,5	25758	0,715
1999	29,5	40146	1,223

Trotz der hochgradigen Luftverschmutzung und den damit verbundenen Gesundheitsrisiken, gibt es in Indien allerdings einen Mangel im Verständnis der Natur dieser Problematik (Mohanraj and Azeez, 2004). Das zeigt sich auch darin, dass es sehr wenig Fachartikel in renommierten wissenschaftlichen Fachjournalen gibt, die durch medizinische Hochschulen in Indien veröffentlicht wurden, was wiederum die Qualität und (Graedel and Crutzen, 1994)Quantität der Forschung und Entwicklung der medizinischen Wissenschaft in Indien widerspiegelt (Mohanraj and Azeez, 2004).

Quellen

- Beck-Texte (2005) Umweltrecht. Deutscher Taschenbuch Verlag
- Graedel T E & Crutzen P J (1994) Chemie der Atmosphäre: Bedeutung für Klima und Umwelt. Spektrum Akademischer Verlag
- Highwood E J & Stevenson D S (2003) Atmospheric impact of the 1783-1784 Laki Eruption: Part II - Climatic effect of sulphate aerosol. Atmospheric Chemistry and Physics. 3 : 1177-1189
- Jacob D J (1999) Introduction to atmospheric chemistry. Princeton University Press
- Mohanraj R & Azeez P A (2004) Health effects of airborne particulate matter and the Indian scenario. Current Science 87 : 741-748
- Poschl U (2005) Atmospheric aerosols: Composition, transformation, climate and health effects. Angewandte Chemie-International Edition 44 : 7520-7540
- http://www.tropos.de/ift_institut.html