

### 3.1.3 Gesundheitliche Auswirkungen von atmosphärisch beeinflussten Luftverunreinigungen

HANS-GUIDO MÜCKE

**Gesundheitliche Auswirkungen von atmosphärisch beeinflussten Luftverunreinigungen:** Veränderungen des Wetters und Klimas haben einen Einfluss auf Luftverunreinigungen, wie Ozon und Feinstaub, welche gesundheitliche Probleme verursachen können, insbesondere während sommerlicher Hitzeepisoden. Modellberechnungen weisen darauf hin, dass Wetterextreme, wie der Hitzesommer 2003, zukünftig häufiger auftreten werden. Neben extrem hohen Lufttemperaturen wurden gleichzeitig erhöhte Konzentrationen von Ozon und Feinstaub in bodennahen Luftschichten gemessen. Dies war und ist die Ursache für akute Gesundheitseffekte wie u.a. Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, die sich in Kombination mit Luftverunreinigungen noch verstärken können. Die Hitzewelle 2003 forderte eine signifikant erhöhte Anzahl zusätzlicher Sterbefälle in Deutschland und Europa. Als Konsequenz wurden zwischenzeitlich bundesweit u.a. Hitzewarnsysteme und Vorhersagen etabliert. Um die gesundheitlichen Belastungen durch Luftschadstoffe wie z.B. Ozon zu verringern, müssen die Emissionen der Ozonvorläufersubstanzen nachhaltig reduziert werden.

**Health impacts of climate related changes in air pollution:** Changes in weather and climate can have direct influences on air pollution and impacts on human health. Climate change scenarios predict that extreme weather events, such as heat waves, will occur more frequent in the future. During the heat wave of summer 2003 high concentrations of ozone and particulate matter were measured in Germany and parts of Europe. Extreme temperatures in combination with high levels of air pollutants are assumed to increase adverse health effects in the population, as it has been shown with numerous excess deaths attributable to the 2003 heat wave in Europe. Studies indicated that air pollution exposure can be a confounder as well as an interactor. As a result policy measures for early warning, alert and prevention have been established so far. Challenging are more emission reduction measures of both air pollution and trace substances causing climate change which have to be implemented to better protect public health.

Die mittlere globale Erwärmung verändert die atmosphärische Zirkulation und damit sowohl das kurzfristige Wetter- und Witterungsgeschehen, als auch langfristig das Klima. Neben positiven Effekten kann sich der Klimawandel in vielfältiger Weise zugleich negativ, in direkter oder indirekter Form, auf die Umwelt und die Gesundheit des Menschen auswirken. Veränderte atmosphärische Durchmischungs- und Transportprozesse beeinflussen den physikalisch-chemischen Zustand der Atmosphäre und können bestehende Umweltprobleme, wie zum Beispiel die Luftverschmutzung, verstärken. So reichern sich beispielsweise gesundheitsschädliche Luftverunreinigungen vornehmlich während austauscharmer, windschwacher Hochdruckwetterlagen in den unteren Luftschichten der Troposphäre an, mit zum Teil extrem hohen Konzentrationen in Städten und Ballungsgebieten, wie auch in Siedlungsbereichen von Tal- und Muldenlagen. Zahlreiche Studien haben nachgewiesen, dass erhöhte Luftschadstoffkonzentrationen die Ursache für nachteilige Gesundheitseffekte in der Bevölkerung sind (WHO 2013).

Klimamodellberechnungen weisen darauf hin, dass die Wahrscheinlichkeit für zukünftig vermehrt und verstärkt während der Sommerhalbjahre auftretende, lufthygienisch problematische Extremwetterereignisse in Europa und Deutschland zunimmt (ROECKNER & JACOB 2008; s. auch Kap. 1.1 in diesem Band). Hierzu gehören insbesondere Hitzeperioden mit gleichzeitig erhöht auftretenden Luftschadstoffkonzentrationen, die

gesundheitsbeeinträchtigende Effekte auslösen können, wie zum Beispiel eine Zunahme von Erkrankungen des Herzkreislaufsystems und der Atemwege (VANDENTORREN & EMPEREUR-BISSONNET 2005, MENNE & EBI 2006, NOYES et al. 2009). Trocken-heiße Witterung mit intensiver Sonneneinstrahlung verstärkt zum einen die Bildung des sekundären Luftschadstoffs Ozon. Zum anderen kann sich die Belastung durch Feinstaubpartikel erhöhen, deren Emissionen aus natürlichen Quellen und anthropogenen Verbrennungsprozessen stammen. Ruß ist ein Verbrennungsprodukt von besonderer Bedeutung, da es neben seiner gesundheitlichen Relevanz auch als sogenanntes kurzlebiges Klimagas zum Klimawandel beiträgt (WHO 2012).

#### **Herkunft und Wirkungen klimaa- und gesundheitsrelevanter Luftverunreinigungen**

Luftverunreinigungen können einen erheblichen Einfluss sowohl auf die Umwelt, das Klima als auch auf die Gesundheit des Menschen haben. Für die Ausprägung gesundheitlicher Wirkungen sind die Konzentrationen der Luftschadstoffe in der eingeatmeten Luft, sowie die Dauer und Häufigkeit der Expositionsbelastung maßgeblich. Im Zusammenhang mit dem Klimawandel sind aus lufthygienischer Sicht besonders relevante Luftschadstoffe die Feinstaubpartikel und das troposphärische Ozon.

### Feinstaubpartikel

Feinstaub ist ein atmosphärisches Aerosol, das international als Particulate Matter (PM) bezeichnet wird. Feinstaubpartikel ( $PM_{10/2,5}$ ; engl. particulate matter, mit einem aerodynamischen Durchmesser  $<10$  bzw.  $<2,5$   $\mu\text{m}$ ) werden auf natürlichem und anthropogenen Weg als primäre und sekundäre Luftbeimengung emittiert. Natürliche PM-Aerosole sind u.a. biogene (z.B. Pollen), geogene (z.B. Wüsten- und Vulkanstäube) und maritime Aerosole (z.B. Seesalz). Hierzu zählen auch Stäube aus Vegetationsbränden, die auch in Kombination mit anderen Luftschadstoffen, wie zum Beispiel Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ), Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) und flüchtige organische Kohlenwasserstoffe (VOC), von gesundheitlicher Bedeutung sind. Die Hauptquelle der durch den Menschen verursachten PM-Emissionen sind unterschiedlichste Verbrennungsprozesse bei dem Betrieb von Kraft- und Fernheizwerken und Industrieanlagen, bei der Abfallentsorgung, in den Bereichen der privaten Haushalte und des Kraftfahrzeugverkehrs. In Abhängigkeit von seiner chemischen Zusammensetzung wirkt Feinstaub in der Atmosphäre auf die Strahlungsverhältnisse des Sonnenlichts und die Strahlungsbilanz entweder stark absorbierend (kohlenstoffhaltige Aerosole), d.h. erwärmend, oder überwiegend streuend (z.B. Sulfat- und Nitrat-aerosole) und damit abkühlend. Mit ihrem physikalisch-chemischen Veränderungspotenzial in der Atmosphäre kann PM auch die Prozesse der Wolkenbildung beeinflussen. Eine konkrete quantitative Abschätzung des Einflusses von PM auf Wolken ist nach derzeitigem Wissensstand noch nicht möglich.

Entstehen die Partikel aus gasförmigen Vorläufer-substanzen wie Schwefel- und Stickoxiden, die ebenfalls aus Verbrennungsprozessen stammen, so werden sie als sekundärer Feinstaub bezeichnet. Feinstaub besteht somit aus einem komplexen Gemisch fester und flüssiger Partikel und wird in unterschiedliche Fraktionen eingeteilt. Die Staubteilchengröße bestimmt entscheidend die Verweildauer und Transporteigenschaften in der Atmosphäre. So können kleine Teilchen innerhalb weniger Tage über einige tausend Kilometer transportiert werden (z.B. Saharastaub). Partikel der Größenklasse  $PM_{10}$  werden als Feinstaub, solche der Größenklasse  $PM_{2,5}$  als alveolengängiger Feinstaub und die der Größenklasse  $PM_{0,1}$  als Ultrafeinstaub bezeichnet.

$PM_{10}$  kann beim Menschen in die Nasenhöhle eindringen,  $PM_{2,5}$  dringt bis in die Bronchien und Lungenbläschen vor. Je nach Größe und Eindringtiefe der Teilchen sind die gesundheitlichen Wirkungen von Feinstaub verschieden. Die Wirkungen der Feinstäube

reichen von vorübergehenden Beeinträchtigungen der Atemwege (unter Zunahme verschiedener Atemwegserkrankungen) bis zu schweren chronischen Schädigungen. Entsprechend kommt es in durch Feinstäube belasteten Gebieten zu vermehrtem Krankenhausaufenthalt sowie zu einer Zunahme der Mortalität wegen Atemwegserkrankungen und Herz-Kreislaufproblemen. Ultrafeinstaub kann bis in das Lungengewebe und sogar in den Blutkreislauf eindringen und dort zu verstärkter Plaquebildung führen, die das Thromboserisiko erhöht oder Regulierungsfunktion des vegetativen Nervensystems (Herzfrequenzvariabilität) verändert. Krankheiten wie Herzinfarkte oder Schlaganfälle sind signifikant wahrscheinlicher in Phasen hoher Luftverschmutzung.

Aus epidemiologischen Studien, vorwiegend aus den USA und Europa, lassen sich eindeutige quantitative Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen mit einer linearen Beziehung zwischen Feinstaub-Exposition und Atemwegserkrankungen ableiten. Das bedeutet, dass nicht nur Spitzenwerte erhöhter Feinstaubbelastungen, sondern auch geringere Hintergrundkonzentrationen zu den Wirkungen beitragen. Die gesundheitlichen Wirkungen von Feinstäuben ( $PM_{10}$  und kleiner) aus unterschiedlichen Quellen können unter toxikologischen Gesichtspunkten wegen unterschiedlicher Korngröße und großer Unterschiede in ihrem Gehalt an gesundheitsrelevanten Inhaltsstoffen auch sehr verschieden sein (PETERS 1998). Auswertungen und Beurteilungen internationaler Studien zu quantitativen Gesundheitsrisikoabschätzungen von Feinstaubpartikeln sind u.a. in der aktuellen Literatur der Weltgesundheitsorganisation zusammengestellt und beschrieben (WHO 2012, WHO 2013).

### Ozon

Ozon ( $\text{O}_3$ ) in der Troposphäre wird nicht direkt emittiert, sondern insbesondere unter Einwirkung intensiver Sonneneinstrahlung (UV-Licht) als sekundärer Luftschadstoff gebildet. Durch komplexe photochemische Reaktionen entsteht Ozon aus Stickstoffoxiden (die in Deutschland derzeit zu etwa der Hälfte aus dem Verkehrsbereich stammen) und flüchtigen organischen Verbindungen (z.B. Kohlenwasserstoffen, die etwa zur Hälfte bei der Verwendung von Lösemitteln freigesetzt werden). Die Ozonkonzentration wird somit einerseits durch die Bildung aus lokal emittierten Vorläufer-substanzen beeinflusst, andererseits kann es aber auch weiträumig und grenzüberschreitend transportiert werden. Ozon ist der bekannteste Sekundärluftschadstoff und gilt als Leitkomponente aller Photooxidantien. Anders als die stratosphärische Ozonschicht, die in 20 bis 30 km Höhe die Erde vor schädlichen ultravioletten Strahlen der Sonne schützt und von der somit eine für

den Menschen positive Wirkung ausgeht, ist das troposphärische (bodennahe) Ozon eine Luftverunreinigung mit dem Potential sowohl Menschen, Tiere und Materialien zu beeinträchtigen und zu schädigen.

Wegen seiner geringen Wasserlöslichkeit kann Ozon bis in die tieferen Atemwege und in die Lunge vordringen. Die gesundheitlichen Wirkungen reichen von Akutreaktionen der Atemwege wie Schleimhautreizungen, Husten und Atembeschwerden, über Einschränkung bzw. Verschlechterung der Lungenfunktion und Beeinträchtigung der physischen Leistungsfähigkeit bis zu respiratorischen Atemwegsinfekten und chronischer Bronchitis. Auch wurden Effekte erhöhter Ozonkonzentrationen auf Personen mit Vorerkrankungen des Herzkreislaufsystems festgestellt, wie z.B. Herzrhythmusstörungen, Herzinfarkte und Herzversagen. Akute Kurzzeiteffekte sind überwiegend reversibel und werden vom menschlichen Körper weitestgehend selbst geheilt. Treten derartige Kurzzeiteffekte gehäuft auf, so dass sich der Körper davon nicht mehr selbstständig erholen kann, oder ist der Mensch dauerhaft gegenüber erhöhten Ozonkonzentrationen exponiert, können u.U. irreversible, chronische Langzeitschäden, wie z.B. chronische obstruktive Lungenerkrankungen und beschleunigte Alterungsprozesse der Lunge, auftreten. Die individuelle Empfindlichkeit gegenüber Ozon ist sehr unterschiedlich ausgeprägt. Es ist davon auszugehen, dass etwa 10–15% der Bevölkerung (quer durch alle Bevölkerungsgruppen) besonders empfindlich auf Ozon reagieren. Unbestritten führen erhöhte Ozonkonzentrationen im Sommer sowohl bei Kindern als auch bei gesunden Erwachsenen unter ausdauernder körperlicher Belastung zu Einschränkungen der Lungenfunktion und der körperlichen Leistungsfähigkeit. Bei besonders gegen Ozon empfindlichen Menschen lässt sich dies bereits bei Konzentrationen von  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nachweisen. Bei den höchsten bisher in Deutschland gemessenen Ozonwerten liegen die reversiblen Einbußen der Lungenfunktion bei 10–15%. Subjektive Befindlichkeitsstörungen wie Tränenreiz (verursacht durch Begleitstoffe des Ozons), Husten oder Kopfschmerzen werden ab  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  beobachtet (HÖPPE & WAGNER 1998). Auswertungen und Beurteilungen internationaler Studien zu quantitativen Gesundheitsrisikoabschätzungen von Ozon sind u.a. in der aktuellen Literatur der Weltgesundheitsorganisation zusammengestellt und beschrieben (WHO 2013).

#### **Kombinationseffekte**

Projektionen von Klimaänderungen lassen die Zunahme von stationären sommerlichen Hochdruckwetterlagen, verbunden mit hoher Lufttemperatur, intensiver Sonnenstrahlung und einem Anstieg der Ozon- und

Feinstaubkonzentrationen erwarten. Zudem ist auch die zunehmende Emission von Luftschadstoffen aus natürlichen Prozessen zu berücksichtigen. So kann zum Beispiel einerseits der Anteil primärer Staubpartikel ansteigen, der aus Vegetationsbränden als Folge zunehmend heiß-trockener Witterung freigesetzt wird. Andererseits wird schon heute in Deutschland eine Zunahme von Pollen bei einem gleichzeitig früheren Pollenflugbeginn und einer verlängerten Vegetationsperiode festgestellt (MENZEL & BEHRENDT 2008).

Auswertungen internationaler epidemiologischer Studien stützen die Erkenntnisse, dass Ozon-Feinstaubexposition im Zusammenwirken mit der globalen Klimaerwärmung das Auftreten und die Häufigkeit von Morbidität und Mortalität kardiovaskulärer und respiratorischer Erkrankungen erhöht (WHO 2013). Als besonders vulnerable Gruppen werden ältere Menschen, Kleinkinder und chronisch kranke Personen identifiziert. Eine eindeutige Zuordnung resp. Trennung kausaler Effekte ist nach derzeitigem Kenntnisstand problematisch und mit Unsicherheiten verbunden, da die Ausprägung gesundheitlicher Wirkungen (monokausal vs. synergistisch-additiv) derzeit nicht endgültig beurteilt werden kann. Daher besteht national und international Bedarf an vertiefender toxikologischer und epidemiologischer Forschung zur Inzidenz und Prävalenz akuter und chronischer Krankheiten, die durch den Klimawandel beeinflussende bzw. beeinflusste Luftschadstoffe ausgelöst werden (NOYES et al. 2009).

#### **Fallbeispiel: Der Hitzesommer 2003 als lufthygienisches Extremereignis**

Natürlich hat es auch in der Vergangenheit schon heiße Sommer gegeben. In seiner Intensität, Dauer und Auswirkung war der Hitzesommer 2003 jedoch ein außergewöhnliches Extremereignis. Wie ausgeprägt diese Hitzewelle war, lässt sich mit Hilfe sogenannter ‚Kenntage‘ (nach DWD) quantifizieren. Danach zeigt sich, dass im Süden Deutschlands die Zunahme u.a. der Anzahl Hitzetage 2003 (mit einem Maximum der Lufttemperatur  $>30 \text{ }^\circ\text{C}$ ) größer war als in anderen Regionen. Für Stuttgart ergab sich eine 2 bis 4-fach höhere, extreme Hitzebelastung im Vergleich zu Köln, Berlin und Hamburg. Ein derartig ausgeprägter Temperaturunterschied ließ sich zwischen diesen vier Städten für die ebenfalls sehr heißen Sommer der Jahre 1976, 1983 und 1992 nicht feststellen (*Abb. 3.1.3-1*).

Die sommerliche Hitzewelle 2003 führte in Deutschland zu Überschreitungen von Luftgüteschwellenwerten, die zum Schutze der Gesundheit des Menschen etabliert wurden. Dabei wurde der gesundheitsbezogene Alarmschwellenwert für Ozon von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$

(1-Stunden-Mittelwert) – vornehmlich in West- und Südwestdeutschland – in einem Maße und mit einer Häufigkeit überschritten wurde, wie seit Mitte der 1990er Jahre nicht mehr. Mit  $334 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , gemessen an der Station Hürth in Nordrhein-Westfalen, lag auch die maximale Ozonkonzentration (1-Stunden-Mittelwert) ebenfalls deutlich über den Maximalkonzentrationen der vergangenen Jahre (MÜCKE 2008). Den Zusammenhang von hoher Lufttemperatur und erhöhten Ozonkonzentrationen verdeutlicht *Abb. 3.1.3-2* am Beispiel von Stuttgart.

Das Extremereignis des Hitzesommers 2003 in Deutschland sticht ebenfalls bei einer vergleichenden Langzeitbetrachtung von lufthygienischen Beurteilungswerten bezüglich der Dauer und Höhe von Schwellen- und Zielwertüberschreitungen heraus, wie *Tab. 3.1.3-1* zeigt. Die tabellarische Gegenüberstellung für die Jahre 2000 bis 2010 basiert auf den Schwellenwerten (Alarmschwellenwert  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als 1-Stunden-Mittelwert; Informationsschwellenwert  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als 1-Stunden-Mittelwert) und dem Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als höchst-

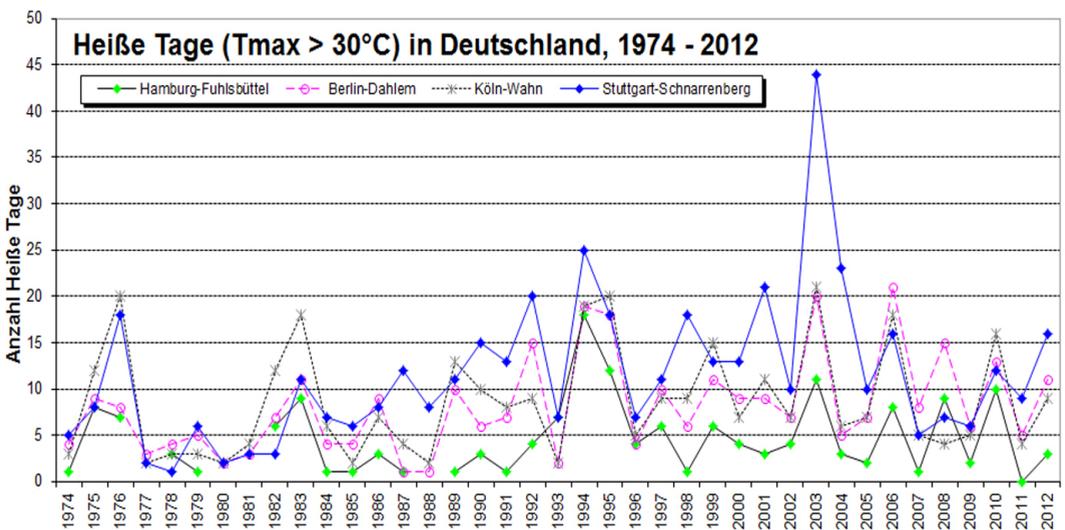
ter 8-Stunden-Mittelwert), die in der EG-Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa festgelegt und in Deutschland seit 2010 im Rahmen der 39.BImSchV (Bundes-Immissions-Schutzverordnung) umgesetzt worden sind.

Eine aktuelle Auswertung des Umweltbundesamtes zur Bildung potentiell erhöhter Ozonkonzentrationen in Deutschland weist darauf hin, dass, trotz der seit des Hitzesommers 2003 gezielt durchgeführten Emissionsreduktionen von Ozonvorläufersubstanzen, ein Vielfaches der im Sommer des Jahres 2013 beobachteten Ozonkonzentrationsspitzen unter extremen meteorologischen Sommerbedingungen auch zukünftig wahrscheinlich sind. Danach könnte beispielsweise der Informationsschwellenwert von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  während zukünftiger Hitzesommer bis zu 12-mal häufiger überschritten werden, als im Sommer 2013 (UBA 2014).

Auch die Feinstaub-Konzentrationen ( $\text{PM}_{10}$ ) des Jahres 2003 waren durch den heißen Sommer und die zu dieser Zeit lokal gegebenen Bedingungen beeinflusst und ergaben für zahlreiche städtische Mess-Stationen während der Hitzewelle die vergleichsweise höchsten

**Tab. 3.1.3-1:** Anzahl der Tage, an denen in Deutschland der a) Ozon-Alarmwert ( $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als 1-Stunden-Mittelwert), b) Ozon-Informationswert ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als 1-Stunden-Mittelwert) und c) der Ozon-Zielwert ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als 8-Stunden-Mittelwert) überschritten wurde (für den Zeitraum 2000 bis 2010, für das jeweilige Jahr über alle Ozon-Messstationen gemittelt) (Quelle: UBA-Auswertungsberichte der Jahre 2000 bis 2010: Ozonsituation in Deutschland).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
a) ( $240 \mu\text{g O}_3/\text{m}^3$ )	4	7	1	13	1	3	5	1	0	0	2
b) ( $180 \mu\text{g O}_3/\text{m}^3$ )	24	33	27	69	21	26	31	12	13	8	26
c) ( $120 \mu\text{g O}_3/\text{m}^3$ )	19	21	19	51	19	19	31	19	18	11	21



**Abb. 3.1.3-1:** Hitzetage ( $T_{\text{max}} > 30^\circ\text{C}$ ) in vier Städten Deutschlands von 1974 bis 2012 (Quelle: Jährliche Witterungsberichte des DWD).

PM<sub>10</sub>-Belastungen mit deutlichen Überschreitungen des für den Gesundheitsschutz festgesetzten und seit 2005 gültigen 24-Stunden-Grenzwertes von 50 µg/m<sup>3</sup>, bei 35 zugelassenen Überschreitungen im Kalenderjahr (Tab. 3.1.3-2).

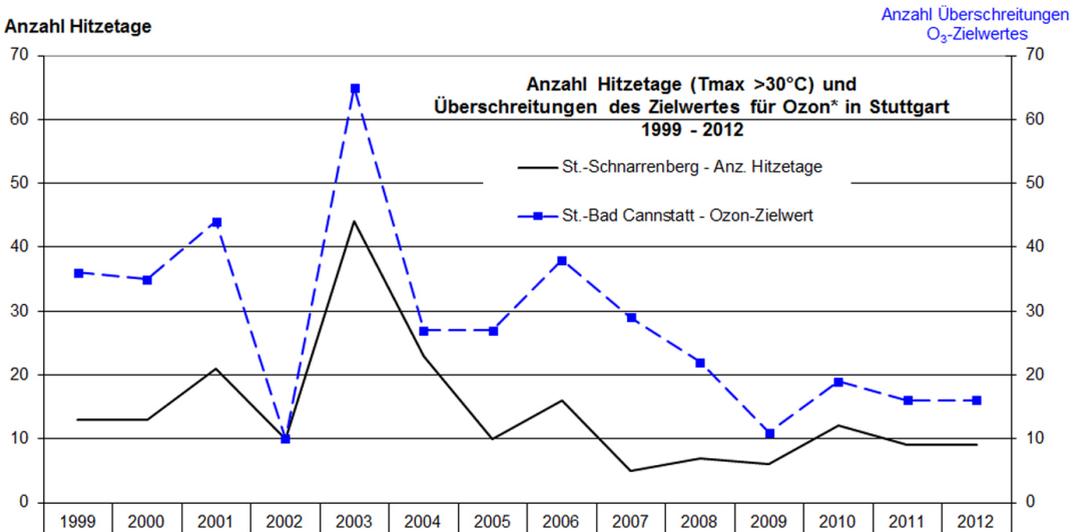
Gesundheitliche Belastungen und Beeinträchtigungen können sowohl bei besonderen Wetterereignissen, wie z.B. bei einer andauernden Hitzeperiode, als auch durch erhöhte Konzentrationen von Luftverunreinigungen entstehen – unabhängig voneinander oder in Kombination miteinander. Studien zu den Hitzewellen des Sommers 2003 in Europa und ihren Begleiterscheinungen haben gezeigt, dass bei Hitze (>30 °C) erhöhte Ozon- (mehr als 200 µg/m<sup>3</sup>) und ebenfalls erhöhte Feinstaubkonzentrationen (PM<sub>10</sub>) gemessen wurden. Der Einfluss thermischer Belastung auf die Morbidität scheint danach geringer ausgeprägt zu sein, als dessen Effekt auf die Mortalität. So forderte der Hitzesommer 2003 zwischen Juni und September europaweit eine sehr hohe Anzahl zusätzlicher Sterbefälle (MENNE & EBI 2006). In Deutschland konzentrierte sich das Ereignis im August vor allem auf Südwestdeutschland,

wo eine ebenfalls deutlich erhöhte hitzeassoziierte Übersterblichkeit zu beklagen war (JENDRITZKY 2007). Ursachen für die Todesfälle im Sommer 2003 waren u.a. Hitzschlag, Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie Atemwegserkrankungen infolge der extremen Hitzebelastung. Dabei hat sich gezeigt, dass die Gefahr bei Hitze zu sterben, bei Menschen im Alter von über 65 Jahren, chronisch Kranken und isoliert lebenden Personen am größten ist (WHO 2007).

In einer weiteren Studie hat das Regionalbüro Europa der Weltgesundheitsorganisation den Effekt von Luftverunreinigungen auf die Gesundheit während Hitzeperioden zwischen 2005 und 2008 innerhalb der Studie »Improving public health responses to extreme weather/heat-waves – EuroHeat« untersucht. Danach gibt es abgesicherte Hinweise darauf, dass der Effekt von Hitzetagen auf die tägliche Mortalität noch durch Tage mit erhöhten Konzentrationen von Ozon bzw. Feinstaub (PM<sub>10</sub>) verstärkt wird. Dieser Kombinationseffekt trifft insbesondere auf die Risikogruppe der älteren Menschen im Alter über 84 Jahre zu (WHO 2009).

**Tab. 3.1.3-2:** Zahl der Tage mit Überschreitungen des 24-Std.-Mittelwertes von Feinstaubpartikeln PM<sub>10</sub> von 50 µg/m<sup>3</sup> in Deutschland, 2001 bis 2004 (UBA 2007).

	2001	2002	2003	2004
An der Verkehrsmessstation, mit der höchsten Belastung	117	103	132	73
Über verkehrsbezogene Stadt-Stationen gemittelt	65	75	82	55
Über städtische Hintergrundstationen gemittelt	22	30	38	16
Über ländliche Hintergrundstationen gemittelt	7	12	17	5



**Abb. 3.1.3-2:** Anzahl Hitzetage (Tmax > 30 °C) und Überschreitungen des Zielwertes für Ozon (120 µg/m<sup>3</sup>) in Stuttgart (1999 bis 2012) (Quelle: Deutscher Wetterdienst; Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg). \*1999-2009: 120 µg/m<sup>3</sup> (8-Std.-MW) an maximal 25 Tagen im Jahr; ab 2010: berechnet als 3-Jahresmittelwert (für 2010 aus 2008-2010)

### **Schlussfolgerungen und Ausblick**

Nach Auswertungen der Weltgesundheitsorganisation/WHO sind in der Region Europa neben Erdbeben die Hitzewellen für die meisten Todesfälle verantwortlich, mehr noch als durch die Begleiterscheinungen von Überschwemmungskatastrophen. Klimamodelle weisen darauf hin, dass sich Hitzesommer wie 2003 zukünftig in kürzeren Abständen wiederholen können und dass sich damit auch die gesundheitlichen Auswirkungen und Risiken von erhöhten Luftverunreinigungen, wie z.B. durch Ozon und Feinstaubpartikel, im Zusammentreffen mit Hitzewellen noch verstärken können. Als jüngstes Beispiel einer verheerenden Kombination von Hitzeperiode und Vegetationsbränden seien hier die Auswirkungen des Hitzesommers 2010 in Russland erwähnt. Während einer 44 Tage anhaltenden Hitzewelle mit Temperaturen zum Teil über 40 °C kam es gleichzeitig zu extensiven Wald- und Torfbränden in der Zentral- und Wolgaregion. Dies hatte auch eine erhebliche Auswirkung auf die Metropolregion Moskau und führte zu geschätzten 11.000 zusätzlichen Todesfällen, von denen etwa 20% der Luftverschmutzung, vornehmlich Feinstaub, zugewiesen werden (SHAPOSHNIKOV et al. 2014).

Als Reaktion auf die Ereignisse des Hitzesommers 2003 sind in Westeuropa auf nationaler und/oder lokaler Ebene Frühwarnsysteme eingerichtet worden, um durch gezielte Aufklärung, Vorhersage und Beratung für alle Bürger sowie gezielte Maßnahmen für anfällige Bevölkerungsgruppen vermeidbaren Erkrankungen und möglichen Todesfällen präventiv entgegenzuwirken. In Deutschland hat der Deutsche Wetterdienst (DWD; [www.dwd.de](http://www.dwd.de)) 2005 ein Hitzewarnsystem etabliert, das unmittelbar u.a. die entscheidenden Stellen in den Bundesländern über bevorstehende Hitzeperioden informiert, um zeitnah Präventions- resp. Interventionsmaßnahmen einzuleiten. Die aktuellen Feinstaub ( $PM_{10}$ ) und Ozonkonzentrationen veröffentlicht das Umweltbundesamt (UBA; <http://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/aktuelle-luftdaten>).

Wichtige Ergänzungen zur Evidenzgrundlage von Gesundheitsfolgen durch Ozon gehen aus den Ergebnissen epidemiologischer Zeitreihenstudien hervor. Auf dieser Basis hat die WHO für Ozon einen weltweiten gültigen Luftgüterichtwert von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tagesmaximum des 8-Stunden-Mittelwertes) festgelegt (WHO 2006), der damit um  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  niedriger liegt, als der seit 2010 gültige EU-Zielwert. Eine Auswertung der Entwicklung des WHO-Ozonrichtwertes in Europa für die Jahre 2003 bis 2008 hat gezeigt, dass dieser nur in Ausnahmefällen erreicht bzw. eingehalten wird (MÜCKE 2011). Aktuelle Analysen der Europäischen Umwelt-

agentur belegen, dass im Zeitraum 2009 bis 2011 etwa 98% der städtischen Bevölkerung in Europa gegenüber einer Ozonkonzentration exponiert waren, die über dem WHO-Ozonrichtwert liegt (EEA 2013).

Für Deutschland ist zu erwarten, dass sich die gesundheitlichen Belastungen in Phasen erhöhter sommerlicher Luftverschmutzung im Zusammenwirken von Wetter und Umweltfaktoren gegenseitig verstärken können. Um durch erhöhte Luftschadstoffkonzentrationen hervorgerufene gesundheitliche Beeinträchtigungen zu vermeiden, sollte beachtet werden, dass vernünftiges und angepasstes Individualverhalten im Hinblick auf hohe Temperaturen auch vernünftig im Hinblick auf Ozon und Feinstaubpartikel ist. Längere körperliche Anstrengungen sollten möglichst nicht in die Mittags- und Nachmittagsstunden gelegt werden, falls sie auch zu anderen Tageszeiten möglich sind. Aus umwelt- und gesundheitspolitischer Sicht sollten die EU-Grenz- bzw. Zielwerte für Feinstaub ( $PM_{10,2,5}$ ) und Schwellen- und Zielwerte für Ozon erreicht und dauerhaft eingehalten werden. Deswegen kommt der Reduzierung von Emissionen anthropogener Ozonvorläufersubstanzen, wie Stickstoffoxiden und flüchtigen organischen Kohlenwasserstoffen, auch weiterhin besondere Bedeutung zu.

### **Literatur**

- EEA (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY) (2013): Air Quality in Europe – 2013 report. EEA report No.9, ISSN 1725-9177, Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- HÖPPE P. & H.-M. WAGNER (1998): Anorganische Gase / Ozon. Kapitel VI-1, 42 S. 13. Erg.Lfg. 5/98. Handbuch der Umweltmedizin. Ecomed Medizin Verlag. Landsberg.
- JENDRITZKY G. (2007): Folgen des Klimawandels für die Gesundheit. In: Endlicher W, Gerstengarbe F-W (Hrsg.): Der Klimawandel. Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Berlin, Potsdam. 108-118.
- MENNE B. & K. L. EBI (Hrsg.) (2006): Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health. Published on behalf of the World Health Organization, Regional Office for Europe by Steinkopff Verlag, Darmstadt. 449 S.
- MENZEL A. & H. BEHRENDT (2008): Zunahme des Pollenflugs und die Gefahr von Allergien. In: Lozán J. L. et al. (Hrsg.). Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken; Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. GEO Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg. 132-135.
- MÜCKE H.-G. (2008): Gesundheitliche Auswirkungen von klimabeeinflussten Luftverunreinigungen. In: Lozán J. L. et al. (Hrsg.). Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken; Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen, GEO Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg. 121-125.

- MÜCKE H.-G. (2011): Beurteilung von troposphärischen Ozonkonzentrationen in Europa auf der Grundlage der Luftgüteleitlinien der Weltgesundheitsorganisation (WHO). In: Immissionsschutz 16, Heft 3. 108-112.
- NOYES P. D., MCELWEE M. E., MILLER H. D., CLARK B. W., VAN TIEM L. A., WALCOTT K. C., ERWIN K. N. & E. D. LEVIN (2009): The toxicology of climate change: Environmental contaminants in a warming world. *Environmental International* Vol 35, Issue 6, Aug.2009. 971-986.
- PETERS A., SCHULZ H., KREYLING W. G. & H.-E. WICHMANN (1998): Staub und Staubinhaltsstoffe / Feine und ultrafeine Partikel. Kapitel VI-2, 20 S. 14. Erg.Lfg. 10/98. Handbuch der Umweltmedizin. Ecomed Medizin Verlag. Landsberg.
- ROECKNER E. & D. JACOB (2008): Der Klimawandel ist voll im Gange: Ein Überblick. In: Lozán J. L. et al. (Hrsg.). Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken; Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen, GEO Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg. 19-34.
- SHAPOSHNIKOV D., REVICH B., BELLANDER T., BEDADA G. B., BOTTAI M., KHARKOVA, T. et al. (2014): Mortality Related to Air Pollution with the Moscow Heat Wave and Wildfire of 2010. *Epidemiology* (Cambridge, Mass.), 25(3), 359.
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2007): Entwicklung der PM<sub>10</sub>-Belastung in Deutschland von 2001 bis 2006. ([http://www.env-it.de/luftdaten/download/public/docs/pollutants/PM<sub>10</sub>/Jahr/PM<sub>10</sub>\\_gesamt\\_2001-2006.pdf](http://www.env-it.de/luftdaten/download/public/docs/pollutants/PM10/Jahr/PM10_gesamt_2001-2006.pdf)). 7 S.
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2014): Luftqualität 2013. Vorläufige Auswertung. Reihe: Hintergrundpapier. Eigenverlag, Dessau-Roßlau. 22 S.
- VANDENTORREN S. & P. EMPEREUR-BISSONET (2005): Health Impact of the 2003 Heat Wave in France. 81-87. In: Kirch W., Menne B. & R. Bertollini (eds.): *Extreme Weather Events and Public Health Responses*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen. Springer Berlin-Heidelberg-New York, ISBN 3-540-24417-4. 303. pp.
- WHO (WELTGESUNDHEITSORGANISATION) (2006): *Air Quality Guidelines*. Global Update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen. 484 pp.
- WHO (WELTGESUNDHEITSORGANISATION) (2007): *Bedrohungen und Herausforderungen im Bereich Gesundheit in der Europäischen Region der WHO*. Wachsende Zahl von Naturkatastrophen und Krisensituationen. Faktenblatt EURO/03/07 vom 2. April 2007. WHO-Regionalbüro Europa, Kopenhagen. 3 S.
- WHO (WELTGESUNDHEITSORGANISATION) (2009): *Improving public health responses to extreme weather/heat waves - EuroHEAT*. Technical Summary; 60 pages. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
- WHO (WELTGESUNDHEITSORGANISATION) (2012): *Health Effects of Black Carbon*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen. ISBN 978 92 890 0265 3. 86 pp.
- WHO (WELTGESUNDHEITSORGANISATION) (2013): *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP project*. Technical Report. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen. 302 pp.

**Kontakt:**

Dr. Hans-Guido Mücke  
WHO-Kooperationszentrum zur Überwachung der  
Luftqualität und Bekämpfung der Luftverschmutzung am  
Umweltbundesamt (UBA)  
[hans-guido.muecke@uba.de](mailto:hans-guido.muecke@uba.de)

Mücke, H.-G. (2014): *Gesundheitliche Auswirkungen von atmosphärisch beeinflussten Luftverunreinigungen*. In: Lozán, J. L., Grassl, H., Karbe, L. & G. Jendritzky (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*. 2. Auflage. Elektron. Veröffent. (Kap. 3.1.3) - [www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de](http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de).