

Feinstaub in Städten – Welche Probleme gibt es weltweit?

Fine particulate matter in cities – global problems to face

Lena Wohlgemuth, Arno Graff

Abstract

While air quality in Germany has improved constantly since the 1970ies and is currently on a relatively good level, people in other parts of the world are still subjected to severe particulate matter exposure, that by far exceed any healthy level. Press reports on serious smog events in Beijing at the beginning of this year drew attention to air quality issues there, but worldwide a very high number of people are affected. Rapid urbanisation – the growth of cities on one hand and the changed way of living of people in rural regions on the other – means an increase in the number of vehicles on roads, more burning of coal and greater economic need which is putting a strain on the world's population because of particulate matter pollution.

Zusammenfassung

Während sich die Luftqualität in Deutschland seit den 1970er Jahren stetig verbessert hat und sich derzeit auf relativ gutem Niveau befindet, sind Menschen in vielen Regionen der Welt immer noch massiven Feinstaubbelastungen ausgesetzt, die weit über das gesundheitlich verträgliche Maß hinausgehen. Presseberichte über die gravierenden Smogereignisse Anfang 2013 in Peking haben die dortige Luftqualitätsproblematik ins öffentliche Bewusstsein gerückt. Von ähnlichen Problemen sind weltweit allerdings sehr viel mehr Menschen betroffen. Schnelle Urbanisierung – einerseits Wachstum der Städte, andererseits die sich ändernde Lebensweise von Bewohnerinnen und Bewohnern ländlicher Gebiete –, die damit einhergehende Zunahme von Fahrzeugen im Straßenverkehr, vermehrte Kohleverbrennung und wirtschaftliche Not tragen weltweit zur Belastung der Bevölkerung durch Feinstaub bei.

Einleitung

In diesem Jahrhundert ist ein in der Menschheitsgeschichte einzigartiger Fall aufgetreten: Es gibt heute mehr Menschen, die in Städten leben als auf dem Land. Bis zum Jahr 2030 werden geschätzte 60 Prozent der Weltbevölkerung in Städten leben, bis zum Jahr 2050 schon 70 Prozent. Die Zahl der Städte mit mehr als einer Million Einwohnern ist explosionsartig auf mehr als 450 gestiegen, mehr als 20 davon sind sogenannte „Megacities“, also Metropolen mit mehr als 10 Millionen Einwohnern (World Urban Campaign Secretariat, UN Habitat). Probleme bei der Qualität der Atemluft in diesen urbanen Zentren betreffen daher sehr viele Menschen.

Wie ist es nun um die Luftqualität in den Städten dieser Welt bestellt? Um diese Frage zu beantworten, trug die WHO im Jahr 2011 eine Liste mit den durchschnittlichen Feinstaub-Konzentrationen (PM_{10}) ausgewählter Jahre zusammen (WHO Urban outdoor air pollution database 2011). PM_{10} , vom Englischen „particulate matter“ abgeleitet, bezeichnet Feinstaubpartikel mit einem aerodynamischen

Durchmesser kleiner als 10 Mikrometer (μm). Die von der WHO empfohlenen Richtwerte für PM_{10} liegen bei einem Jahresmittelwert von $20 \mu g/m^3$ und $50 \mu g/m^3$ als Tagesmittelwert.

Laut der von der WHO zusammengestellten Liste werden diese PM_{10} -Richtwerte weltweit in vielen Städten zum Teil um ein Vielfaches überschritten. Vor allem auf dem asiatischen Kontinent sind zahlreiche Städte äußerst hoch belastet. Indien, Pakistan, Iran, die Mongolei und China zählen zu den Ländern mit den größten Problemen in Bezug auf Feinstaub. Aber auch außerhalb des asiatischen Kontinents gibt es Städte, die aus unterschiedlichen Gründen unter Luftverschmutzung durch Feinstaub leiden.

Im Folgenden werden exemplarisch Städte aus verschiedenen Regionen der Welt in Bezug auf ihre Feinstaubbelastung betrachtet. Es darf dabei aber nicht vergessen werden, dass Feinstaubpartikel nur einen Teil der gesamten Luftbelastung ausmachen.

An Orten, an denen hohe Feinstaubkonzentrationen auftreten, sind oft auch die Konzentrationen von Schadgasen, wie Schwefeldioxid oder Stickstoffdioxid, erhöht.

Peking

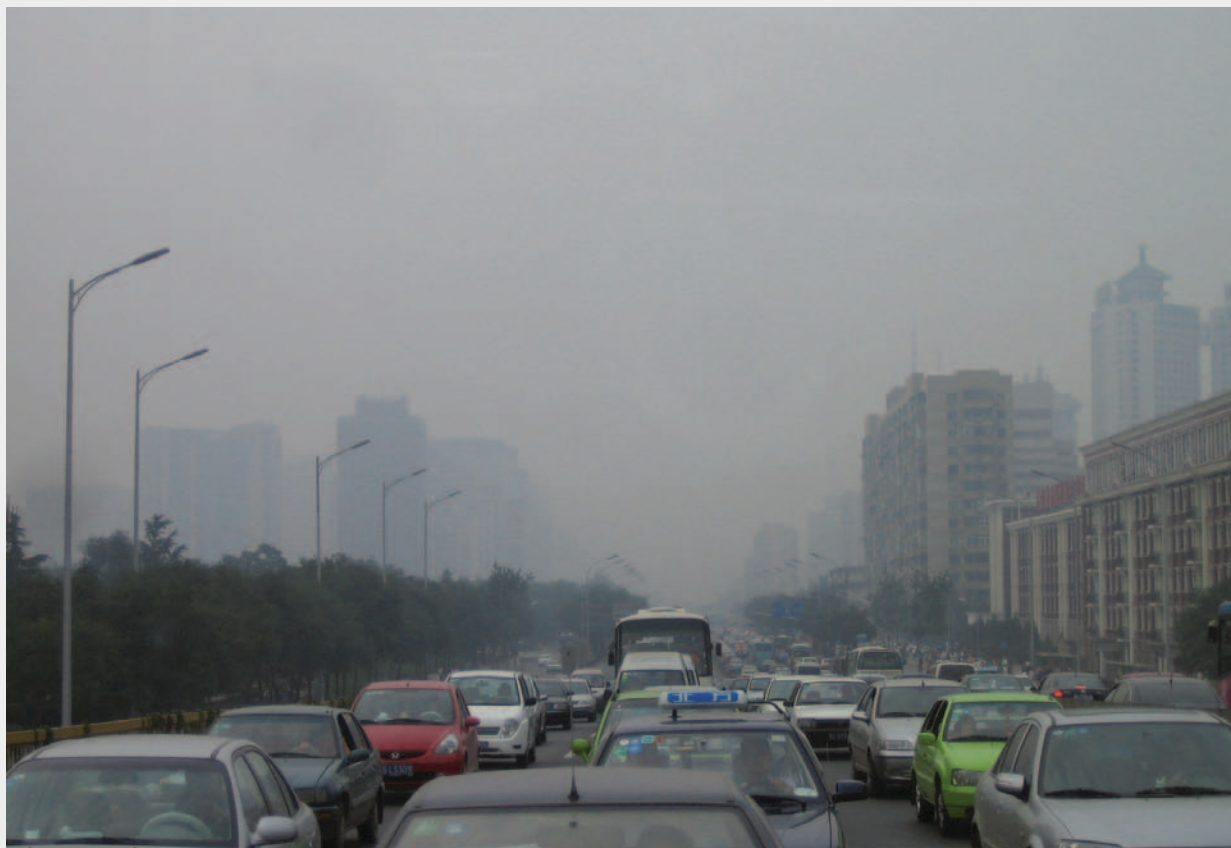
Die Megacity, deren Luftproblematik ins Zentrum der öffentlichen Aufmerksamkeit rückte, ist sicherlich die chinesische Hauptstadt. Spätestens seit den Olympischen Spielen 2008 wird immer wieder von der sehr hohen Luftverschmutzung in Peking berichtet. Tatsächlich geht das Problem aber noch weiter in die Vergangenheit zurück. Bereits in den frühen 1990er Jahren, das heißt ungefähr ein Jahrzehnt nachdem die wirtschaftliche Entwicklung in China an Fahrt gewonnen hatte, wurden in Pekinger Wohngebieten im Winter bereits sehr hohe Partikelkonzentrationen gemessen (Ando et al. 1996).

Es ist davon auszugehen, dass die Feinstaubbelastung in Peking durch ein Zusammenspiel mehrerer Faktoren entsteht. Im Norden und Nordwesten ist Peking vom Yan-Gebirge umgeben, gegen Osten

und Süden öffnet sich die Nordchinesische Tiefebene. Hier befinden sich die Provinzen Hebei, Shanxi, Henan, Shandong und im Südosten die Millionenstadt Tianjin. Bei diesen Provinzen handelt es sich um hochindustrialisierte Gegenden. Kommt der Wind aus Richtung dieser Industriezentren, werden Schadstoffe bis nach Peking getragen. Modellrechnungen, die anlässlich der Olympischen Spiele durchgeführt wurden, zeigen, dass die Emissionen von außerhalb die Feinstaubwerte in Chinas Hauptstadt konstant hoch halten (Streets et al. 2007).

Laut der US Energy Information Administration (EIA) ist China der größte Kohleproduzent und -verbraucher der Welt (<http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=CH>; Abrufdatum: 14.08.2013). 70 Prozent des gesamten chinesischen Energieverbrauchs werden durch die Verfeuerung von Kohle gedeckt. Das heißt, selbst wenn im Pekinger Stadtgebiet keine Emissionen durch menschliche Aktivitäten entstehen würden, bliebe eine aus den anliegenden Provinzen stammende Luftverschmutzung erhalten. Deshalb müssen diese Provinzen bei Maßnahmen zur Luftreinhaltung mit einbezogen werden.

Abbildung 1: Rush Hour in Beijing. Quelle: Martina Böhner / pixelio.de.



In Peking selber ist außerdem das hohe Verkehrsaufkommen ein Problem (**Abbildung 1**). Durch die rapide Urbanisierung der letzten zwei Jahrzehnte hat sich das Verkehrsaufkommen schlagartig vervielfacht. Während es von 1949 bis 1997 48 Jahre brauchte, bis eine Million Fahrzeuge auf Pekings Straßen fuhren, wuchs die Zahl der Autos zwischen 2007 und 2009 innerhalb von nur zwei Jahren von drei auf vier Millionen. Inzwischen gibt es in Peking nach Auskunft des Beijing Traffic Management Bureau 5.232.000 Autos (Stand: Januar 2013). Je nach Wachstumsrate werden im Jahr 2030 geschätzte 8,9 bis 10,4 Millionen Autos erwartet: ein massives Problem angesichts der jetzt schon verstopften Straßen (Wu et al. 2011).

Es sind also sowohl die Emissionen aus den industrialisierten Gegenden in Pekings Süden und Südwesten als auch die Emissionen des Verkehrs, die die Luftqualität erheblich beeinträchtigen. Besonders kritisch wird es, wenn sich der Feinstaub unter ungünstigen meteorologischen Bedingungen sammeln kann, so wahrscheinlich geschehen an mehreren Tagen im Januar 2013. Ungünstig können zum Beispiel Windstille und/oder Temperaturinversionen sein, bei denen eine kältere Luftschicht unter einer wärmeren Schicht liegt. Dadurch wird die vertikale Durchmischung der Luft unterdrückt und die Luftschadstoffe akkumulieren zu sehr hohen Konzentrationen. Die US-Botschaft stufte die Luftqualität in Peking in diesem Zeitraum als „hazardous“, also gefährlich, für die Gesundheit ein (Hsu, Miao 2013).

Indien und Delhi

Zwar schaut die Öffentlichkeit hauptsächlich nach China und Peking, Smogepisoden mit einer mindestens ebenso hohen Belastungssituation treten aber auch in Indien auf. Laut dem Environmental Performance Index, einer jährlichen Studie, initiiert von der Yale und Columbia Universität sowie verschiedenen Wissenschaftlern, hat Indien aus einer Auswahl aus 132 Ländern in Bezug auf Gesundheitsauswirkungen die schlechteste Luft. In dieser Kategorie bekommt Indien 3,7 von 100 möglichen Punkten und belegt damit den letzten Platz. China erreicht knapp 20 Punkte (Emerson et al. 2012).

Die Ursachen für schlechte Luft auf dem indischen Subkontinent sind wie überall vielfältig und multi-kausal. In einigen Gegenden Indiens, wie in Chandrapur in Maharashtra, ist es vorrangig der dortige

Kohlebergbau, der zu Belastungen für die Menschen führt (Spohr 2013). Die Hauptquelle in vielen Städten ist neben Industrie, Müllverbrennung und Hausbrand allerdings das hohe Verkehrsaufkommen (**Abbildung 2**). Dabei ist es nicht allein die schiere Masse an Fahrzeugen, sondern auch deren Alter und die Qualität des Treibstoffs, welche die Situation beeinflussen.

Ein Beispiel hierfür ist die indische Hauptstadt Delhi. In Delhi leben über 16 Millionen Einwohner auf einer Fläche von 1.483 km². Das sind ungefähr doppelt so viele Menschen wie in London. Der halb so zahlreichen Bevölkerung Londons stehen allerdings 94 Prozent der Fläche von Delhi zur Verfügung.

Die Ursache für die Feinstaubbelastung in Delhi ist etwa zu zwei Dritteln dem Verkehrsaufkommen geschuldet (Rizwan et al. 2013). Von Indiens Städten ist Delhi die Stadt, in der die meisten Fahrzeuge registriert sind. Dabei handelt es sich in der Mehrheit um motorisierte Zweiradfahrzeuge mit Zweitaktmotoren, die erhöhte Emissionswerte besitzen.

Das Klima in Delhi ist gekennzeichnet durch heiße Sommer und kalte Winter (semiarid). Im Winter kommt es vermehrt zu Temperaturinversionen, die sich ungünstig auf die Feinstaubverteilung auswirken. Im Sommer wird zusätzlich zu den anthropogenen Emissionen Staub mit Westwinden aus der Wüste Thar in die Stadt transportiert. In der Monsunzeit wiederum werden Luftverschmutzungen mit dem Regen oft ausgewaschen. Die durchschnittliche PM₁₀-Konzentration im Jahr 2008 lag laut WHO-Datenbank „outdoor air pollution in cities“ bei 198 µg/m³ (WHO Urban outdoor air pollution database 2011) und ist damit fast zehnmal so hoch wie der von der WHO empfohlene Richtwert von 20 µg/m³.

Ulaanbaatar

Die mongolische Hauptstadt Ulaanbaatar ist mit nur knapp über einer Million Einwohnern keine Megacity. Trotzdem ist sie eine Stadt, die unter massiven Smogproblemen leidet. PM₁₀-Durchschnittskonzentrationen von bis zu 300 µg/m³ sind im Januar keine Seltenheit. Laut WHO-Datenbank lag 2008 der Jahresdurchschnittswert von PM₁₀ bei 279 µg/m³ (WHO Urban outdoor air pollution database 2011) und ist damit siebenmal höher als der in der EU

Abbildung 2: Verkehr in Indien. Quelle: Stihl024 / pixelio.de.



zulässige Jahresmittelwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hauptemissionsquellen sind das Verbrennen von Kohle zu Heizzwecken, der Verkehr, industrielle Aktivitäten und der Straßenstaub vom trockenen Untergrund. In langen und kalten Wintern summieren sich die Luftschadstoffe aus diesen Emissionsquellen zu besorgniserregenden Konzentrationen.

Vor allem das Verbrennen von Braunkohle ist ein großes Problem. Im Jahr 2007 verbrauchten die über eine Million Einwohner von Ulaanbaatar 4,9 Millionen Tonnen Kohle, davon 70 Prozent durch Kohlekraftwerke für industrielle Aktivitäten und 30 Prozent durch Privathaushalte (Nishikawa et al. 2011). Viele Bewohner von Ulaanbaatar leben in traditionellen mongolischen Zeltwohnungen, den sogenannten „Gers“. Sie sind meist abgeschnitten von einer Zentralheizung und auf das Verbrennen von Kohle angewiesen. Bedingt durch eine siebenmonatige Heizperiode ist daher besonders der Wintersmog problematisch. Die Winter im kontinentalen Klima von Ost-Zentralasien sind vor allem lang, kalt und trocken. Eine Jahresdurchschnittstemperatur um 0°C macht Ulaanbaatar zur kältesten Hauptstadt der Welt.

Da Ulaanbaatar in einer Kessellage liegt, weht im Winter allgemein eher wenig Wind, was in Kombination mit häufig auftretenden Temperaturinversionen zu einer Aufstauung von Schadstoffen führt. Durch die geringe Niederschlagsmenge in der kalten Zeit sind die Straßen trocken und der Verkehr wirbelt eine große Menge an Staub auf, vor allem auf den unbefestigten Straßen in den „Gers“-Gegenden. Zwar besitzen im Vergleich zu Europa und den USA viel weniger Bewohner ein eigenes Auto, allerdings bewegt sich der Verkehr auf einem eingeschränkten Straßennetz, auf dem es immer wieder zu Staus und damit zu erhöhten Emissionen kommt. Alles zusammen führt zu extrem hohen Feinstaubbelastungen während der Wintermonate.

Pakistan

Ein Land, dessen Luftprobleme in den Medien ebenfalls weniger präsent sind, ist Pakistan. Laut WHO beträgt der PM_{10} -Mittelwert für die Jahre 2003–2004 in Rawalpindi 185, in Islamabad 189, in Karachi 193, in Lahore 200, in Peshawar 219 und in Quetta $251 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Urbane Luftverschmutzung ist

eines der bedeutsamsten Umweltprobleme, mit denen Städte in Pakistan heute konfrontiert sind. Die Hauptemissionsquellen für Feinstaub sind Fahrzeugemissionen, industrielle Emissionen, Müllverbrennung, Ziegelöfen und natürlicher Staub (Pakistan Economic Survey 2011–12).

Die Luftbelastung durch den Straßenverkehr ist ein großes Problem. Laut einer Veröffentlichung der Pakistan Environmental Protection Agency (Pak-EPA) aus dem Jahr 2005 hatte das Land einen rasanten Anstieg an Fahrzeugen zu verzeichnen. Von 1980 bis 2005 stieg die Anzahl an PKW von 0,8 Millionen auf 4 Millionen. Im gleichen Zeitraum hat außerdem der Anteil an Fahrzeugen, die mit Zweitakt-Dieselmotoren betrieben werden, um 1.751 Prozent, der von Motorrädern um 541 Prozent und der von motorisierten Rikschas um 159 Prozent zugenommen (Pak-EPA 2005). Die absoluten Zahlen sind dennoch im Verhältnis zur Einwohnerzahl Pakistans im Vergleich mit westlichen Ländern noch eher gering. Allerdings kommt es auch auf die Menge und Art der Emissionen an, die von einem einzelnen Fahrzeug ausgehen. Im Jahr 2011 führte die Pak-EPA eine Studie zu Fahrzeugen in Islamabad durch. Dabei wurde festgestellt, dass von 576 untersuchten Fahrzeugen 43,5 Prozent nicht konform mit den nationalen Umweltstandards (NEQS) sind, die Grenzwerte für Schadstoffe in Abgasen vorschreiben. Besonders der hohe Anteil an Fahrzeugen mit Zweitakt-Motoren, wie Motorräder und motorisierte Rikschas, die Brennstoff auf besonders ineffiziente Weise verbrauchen, ist problematisch.

In den Städten tragen außerdem die ungenügend ausgestatteten Müllverbrennungsanlagen und natürlicher Staub zur allgemeinen Luftverschmutzung bei. Abhilfe kann hier nur durch technische Aufrüstung geschaffen werden. Gegen die Hintergrundbelastung durch Feinstaubpartikel, die in trockenen Sommern durch den Wind von den Wüsten Thal und Cholistan in die Städte transportiert werden, kann außer der Bekämpfung der Desertifikation allerdings wenig unternommen werden.

Teheran

Laut der WHO-Datenbank ist die iranische Stadt Ahwaz mit einem PM_{10} -Durchschnittswert von $372 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2009 die am höchsten belastete Stadt der Welt. Aber auch andere Städte im Iran, wie Sanandaj, Kermanshah oder Yasouj, verzeich-

nen Werte über $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für PM_{10} . Zehn weitere iranische Städte weisen Werte zwischen 100 und $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf.

Auch in der Hauptstadt Teheran war 2009 die Luft mit $96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} im Jahresmittel stark verschmutzt. Teheran ist mit über zehn Millionen Einwohnern die größte Stadt im Iran und im besonderen Maße von der schnellen Urbanisierung der letzten drei Jahrzehnte betroffen. Die Hauptemissionen von Feinstaub gehen von den vielen Fahrzeugen in der Stadt aus (Halek et al. 2004). 2,5 Millionen der 7,5 Millionen Fahrzeuge, die es im Iran gibt, werden in Teheran gefahren, dabei wohnen nur 10 Prozent der Bevölkerung des Iran in der Stadt (Atash 2007). Das Durchschnittsalter der Fahrzeuge beträgt 17 Jahre. Geschätzte 1,5 Millionen ältere Fahrzeuge (20 Jahre und älter) sind auf Irans Straßen unterwegs, davon ungefähr 600.000 in Teheran.

Ungünstig auf den Abtransport von Feinstaubpartikeln wirken sich auch die geographische Lage der Stadt sowie die meteorologischen Gegebenheiten aus. Im Norden und Osten wird Teheran von Bergen abgeschirmt, im Süden und Westen liegt flaches Terrain. Die Hauptwindrichtung kommt aus dem Südwesten, wo viel Industrie angesiedelt ist. Dies trägt ebenfalls zur hohen Luftbelastung bei. Lokale Winde sind meist nicht stark genug, um einen ausreichenden Luftmassenaustausch zu ermöglichen. Die Topographie bedingt ein häufiges Auftreten von Temperaturinversionen an ungefähr 250 Tagen im Jahr (Atash 2007).

Luftprobleme sind den Teheranern nichts Neues. Bereits 1995 wurde in einem Projekt der Global Environmental Facility (GEF) der Verkehr als Hauptursache für schon damals massive Verschmutzungen identifiziert (Walsh 1999). Trotz dieses Wissens hat sich seitdem nicht viel geändert. Die aktuelle Luftbelastung ist so hoch, dass sowohl im Dezember 2012 als auch im Januar 2013 in Teheran ein zusätzlicher Feiertag ausgerufen werden musste, an dem alle öffentlichen Einrichtungen aufgrund zu schlechter Luft geschlossen wurden (<http://www.spiegel.de/panorama/gesellschaft/extra-feiertag-in-teheran-wegen-starker-luftverschmutzung-angeordnet-a-875679.html>; Abrufdatum: 14.08.2013). Es sind demnach tiefgreifende Maßnahmen erforderlich, um die Luftbelastung zu verringern.

Gaborone

Eine Stadt außerhalb des asiatischen Kontinents, die von massiver Feinstaubbelastung betroffen ist, ist Gaborone, die Hauptstadt Botswanas im Süden Afrikas. Im Gegensatz zu vielen anderen Städten, die durch hohe Konzentrationen an Luftschadstoffen auffallen, ist Gaborone keine sehr große Stadt. Auch wenn die Stadtbevölkerung schnell und anhaltend wächst, liegt sie bisher nicht über 250.000 Einwohnern. Ebenso verfügt Gaborone nicht über eine große Industrielandschaft. Die Emissionen sind zu einem geringen Teil auf Autos zurückzuführen, zu einem großen Teil werden sie durch das Verbrennen von Biomasse in den Haushalten der Stadt verursacht. Vor allem in den trockenen Wintermonaten ist das ein großes Problem, da in den Häusern zum großen Teil noch mit Holzöfen geheizt wird (Jayaratne, Verma 2001). Dadurch ergibt sich ein weiteres Dilemma: Durch Heizen und Kochen ist auch die Innenraumluft stark verschmutzt. Außer Holz wird zum Kochen zudem oft noch Kuhdung verwendet, was eine noch höhere Partikelbelastung zur Folge hat (Verma et al. 2010). Es existiert hier also ein direkter Zusammenhang zwischen der Luftverschmutzung und der Armut in der Bevölkerung. Wer es sich leisten kann, mit Gas oder Elektrizität zu heizen, der spürt laut der Studie von 2010 viel weniger gesundheitliche Folgen aufgrund von Feinstaubbelastung. In die Betrachtung der Luftbelastung in Gaborone müssen daher auch Fragen der Umweltgerechtigkeit einbezogen werden.

London

Im Zusammenhang mit der Feinstaubbelastung in Städten ist es interessant, eine Metropole aus der EU als Vergleich heranzuziehen. London ist in Bezug auf seine Luftqualität eine Stadt mit einer bewegten Geschichte. Aus dem Englischen kommt auch der Begriff „Smog“, der sich aus „smoke“ und „fog“ zusammensetzt. Schon im Mittelalter litten die Bewohner Londons unter der allgemeinen Verschmutzung von Luft und Trinkwasser. Mit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert verschärften sich die Probleme zunehmend. Immer wieder wurden die Londoner von einem gelben Nebel heimgesucht, umgangssprachlich „pea-souper“ genannt, da er an Erbsensuppe erinnert. Dieser Smog wurde durch die Verbrennung von minderwertiger Kohle ausgelöst. Das Problem setzte sich bis weit in die 1950er Jahre fort. Im Dezember 1952 verpestete ein solcher Nebel die Luft für vier

Tage. Schätzungen aus dem Jahr 2004 gehen davon aus, dass dieser Smog direkt oder indirekt 12.000 Menschen das Leben gekostet hat, davon viele mit Herz-Lungenkrankheiten (BéruBé et al. 2005).

Auch in den folgenden Jahrzehnten waren die Londoner einer konstant hohen Feinstaubbelastung ausgesetzt (Petkewich 2004). Als Konsequenz daraus wurde im Februar 2003 eine gebietsabhängige Staugebühr in der Innenstadt eingeführt, die sogenannte „congestion charge“. Wer in diese Innenstadt-Zone mit seinem PKW einfährt, muss einen Tagessatz von £10 bezahlen. Das System zeigt Wirkung: Schon 2003, im Jahr der Einführung, gingen die PM_{10} -Emissionen um fast 12 Prozent zurück. Zugleich stieg der Anteil von Fahrten mit den öffentlichen Bussen, welche wiederum mit besseren Motoren ausgestattet sind, die den Partikelaustritt verringern (Beevers, Carslaw 2005). Das Geld, das durch die Gebühr eingenommen wird, kommt dem Ausbau von Bussen und U-Bahnen zugute. Auch zehn Jahre nach der Einführung zeigt sich, dass diese gebührenpflichtige Umweltzone in Kombination mit einer Modernisierung des öffentlichen Nahverkehrs eine positive Wirkung erzielt. Der PM_{10} -Jahresdurchschnitt lag 2008 in London laut WHO-Datenbank bei $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO Urban outdoor air pollution database 2011).

Fazit

Wie die Betrachtung einiger ausgewählter Megacities und anderer Städte mit hoher Luftbelastung zeigt, ist das Thema Luftverschmutzung kein vergangenes Umweltproblem aus den 1980er Jahren, sondern betrifft auch heute eine sehr große Zahl von Menschen. Die Gründe, warum viele Weltstädte mit hoher Feinstaubbelastung zu kämpfen haben, sind zwar unterschiedlicher Natur. In vielen Fällen wird allerdings die wirtschaftliche Entwicklung vor den Umwelt- und damit letztlich auch vor den Gesundheitsschutz gestellt. Oft geht verschmutzte Luft einher mit der wirtschaftlichen Not der Bevölkerung, die es sich beispielsweise nicht leisten kann, mit einem Elektroherd zu kochen oder Fahrzeuge mit Partikelfilter zu benutzen. Die Frage nach der Luftqualität wird damit auch zu einer Frage von Umweltgerechtigkeit.

Es bleibt daher noch viel zu tun auf dem Weg zu lebenswerten Städten, in denen alle durchatmen können. Um Luftreinhaltemaßnahmen zu erarbeiten und umzusetzen, muss grundsätzlich zunächst

ein Verständnis für Ursachen und Quellen vorhanden sein. In den 1970er Jahren war die Belastung in europäischen Ballungsräumen teilweise ähnlich hoch wie jetzt in Asien und das Wissen über Luftreinhaltepläne wurde über viele Jahre erarbeitet. Einige Länder auf der Welt stehen bei Luftreinhaltemaßnahmen noch am Anfang. Bilaterale Zusammenarbeit, Wissens- und Technologietransfer sind unter anderem Möglichkeiten, um auch aufstrebende Schwellenländer bei der Erarbeitung von Umweltschutzstrategien zu unterstützen.

Literatur

- Ando M, Katagiri K, Tamura S et al. (1996): Indoor and outdoor air pollution in Tokyo and Beijing supercities. In: *Atmospheric Environment* 30 (5): 695–702.
- Atash F (2007): The deterioration of urban environments in developing countries: Mitigating the air pollution crisis in Tehran, Iran. In: *Cities* 24 (6): 399–409.
- BéruBé K, Whittaker A, Jones T et al. (2005): London smogs: why did they kill? In: *Proceedings of the Royal Microscopical Society* 40 (3): 171–183.
- Beevers SD, Carslaw DC (2005): The impact of congestion charging on vehicle emissions in London. In: *Atmospheric Environment* 39 (1): 1–5.
- Emerson JW, Hsu A, Levy MA et al. (2012): 2012 Environmental Performance Index and Pilot Trend Environmental Performance Index. New Haven. Yale Center for Environmental Law and Policy. <http://epi.yale.edu/dataexplorer/indicatorprofiles?ind=eh.air> (Abrufdatum: 14.08.2013).
- Halek F, Kavouci A, Montehaie H (2004): Role of motor-vehicles and trend of air borne particulate in the Great Teheran area, Iran. In: *International Journal of Environmental Health Research* 14 (4): 307–313.
- Hsu A, Miao W (2013): Beyond ‚crazy bad‘: Explaining Beijing’s extreme air pollution. Yale Center for Environmental Law and Policy. <http://environment.yale.edu/envirocenter/post/beyond-crazy-bad-explaining-beijings-extreme-air-pollution/> (Abrufdatum: 14.08.2013).
- Jayarathne ER, Verma TS (2001): The impact of biomass burning on the environmental aerosol concentration in Gaborone, Botswana. In: *Atmospheric Environment* 35 (10): 1821–1828.
- Nishikawa M, Matsui I, Batdorj D et al. (2011): Chemical composition of urban airborne particulate matter in Ulaanbaatar. In: *Atmospheric Environment* 45 (32): 5710–5715.
- Pak-EPA (2005): State of Environment Report 2005. Part 3: Key issues of concern. Chapter 2: Air quality – as we inhale: 63–73. <http://www.environment.gov.pk/publicpdf/StateER2005/Part3-Chp%202.pdf> (Abrufdatum: 14.08.2013).
- Pakistan Economic Survey 2011–12: Government of Pakistan. Ministry of Finance (Ed.). Chapter 16: Environment: 235–246. http://www.finance.gov.pk/survey/chapter_12/16-Environment.pdf (Abrufdatum: 14.08.2013).
- Petkewich R (2004): Easing traffic and air pollution in London. In: *Environmental Science and Technology* 38 (21): 408A.
- Rizwan SA, Nongkynrih B, Gupta SK (2013): Air pollution in Delhi: Its Magnitude and Effects on Health. In: *Indian Journal of Community Medicine* 38 (1): 4–8.
- Spohr F (2013): Indiens schwarze Luft. In: *Zeit ONLINE* vom 06.02.2013. <http://www.zeit.de/wirtschaft/2013-02/luftverschmutzung-indien-chandrapur> (Abrufdatum: 14.08.2013).
- Streets DG, Fu JS, Jang CJ et al. (2007): Air Quality during the 2008 Beijing Olympic Games. In: *Atmospheric Environment* 41 (3): 480–492.
- Verma TS, Chimidza S, Molefhi T (2010): Study of indoor air pollution from household fuels in Gaborone, Botswana. In: *Journal of African Earth Sciences* 58 (4): 648–651.
- Walsh M (1999): The Tehran Transport Emissions Reduction Project. In: *Journal of Urban Technology* 6 (1): 47–61.
- World Urban Campaign Secretariat, UN Habitat, Morena AB, Auclair Ch: World Urban Campaign – Better city, better life. <http://www.unhabitat.org/pmss/listItemDetails.aspx?publicationID=3305> (Abrufdatum: 14.08.2013).
- WHO Urban outdoor air pollution database (2011): http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/ (Abrufdatum: 14.08.2013)
- WHO/UNEP (1992): Urban air pollution in megacities of the world. Blackwell. Oxford.
- Wu Y, Wang R, Zhou Y et al. (2011): On-Road Vehicle Emission Control in Beijing: Past, Present, and Future. In: *Environmental Science and Technology* 45 (1): 147–153.

Kontakt

Arno Graff
Fachgebiet II 4.2 „Beurteilung der Luftqualität“
Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail: arno.graff[at]uba.de

[UBA]