



**R**und 1,5 Millionen Einwohner hatte Rom um 300 n. Chr. unter Kaiser Diokletian – vermutlich. Denn so genau weiß man das nicht. Die Schätzungen der Geschichtsschreiber sind wenig präzise, sie reichen von 450.000 bis hin zu dreieinhalb Millionen. Völlig neue Maßstäbe in Sachen Stadtbevölkerung setzte Ende des 19. Jahrhunderts London: Hier wurde erstmals die fünf Millionen-Marke erreicht. Kaum 50 Jahre später zählte New York City mit seinen Vororten und Satellitenstädten bereits erstaunliche zehn Millionen

die größten deutschen Stadtregionen wie das Ruhrgebiet mit „nur“ 5,3 Millionen oder Berlin mit rund 3,4 Millionen Einwohnern. Die aktuell 20 Megacities der Erde sind aber nur die Spitze eines „Verstädterungsseibergs“, so der Stadtforscher Eckhart Ribbeck von der Universität Stuttgart. Denn seit dem Jahr 2007 leben weltweit erstmals mehr Menschen in Städten als auf dem Land. Wissenschaftler sprechen von einer „urbanen Wende“. Sie gehen zudem davon aus, dass der Verstädterungs- und Megacity-Boom

## Herausforderung Megacity – warum Stadtluft nicht wirklich frei macht

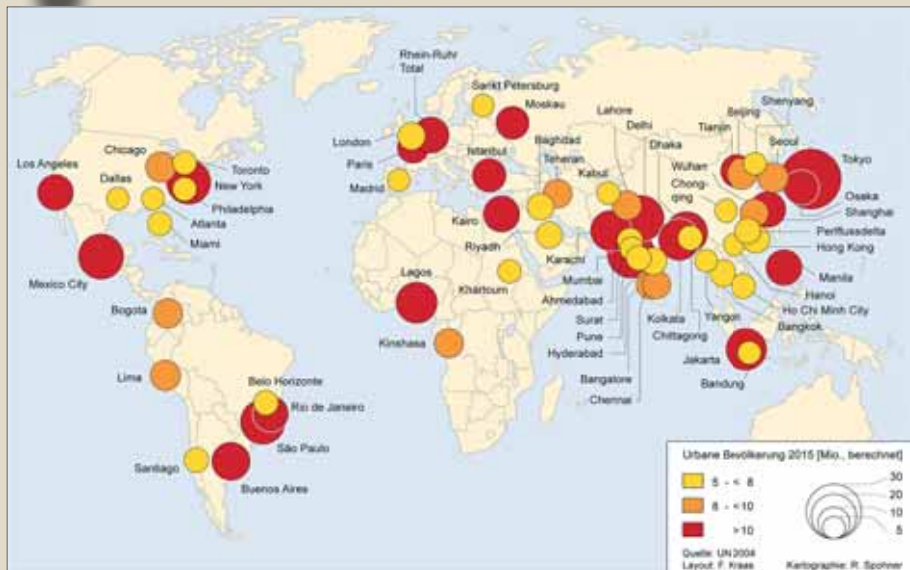
Menschen – eine Grenze, ab der die Vereinten Nationen eine Stadt als **Megacity** bezeichnen.

Seit einiger Zeit führt nun Tokio die Hitliste der größten Städte an: Über 35 Millionen Bürger wohnen und arbeiten in diesem gigantischen Ballungsraum, der Wirtschaftsmotor, aber auch kulturelles und politisches Zentrum Japans ist. Weit abgeschlagen folgen Mexiko-City (19,4 Mio.), New York (18,7 Mio.), São Paulo (18,3 Mio.) und Mumbai, das ehemalige Bombay (18,2 Mio.). Geradezu beschaulich und bescheiden wirken dagegen

noch lange nicht zu Ende ist. Denn während die Bevölkerung in den Metropolen der Industrienationen – wenn überhaupt – oft nur noch langsam ansteigt, sieht dies in den weniger entwickelten Ländern meist ganz anders aus. Auf der Suche nach Arbeit, Wohlstand oder einem Dach über den Kopf strömen dort noch immer unzählige Menschen in die Städte. So ist mit 4,3 Prozent seit dem Jahr 2000 der Zuwachs bei der Anzahl der Stadtbewohner in Afrika fast viermal so hoch wie in Europa (1,2 Prozent).

Zu den am schnellsten wachsenden Megacities gehört Lagos. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts ist die Einwohnerzahl von Nigerias „heimlicher Hauptstadt“ auf das 50-fache des Ausgangswerts gestiegen: von 280 Tausend auf heute rund 13,7 Millionen. Schätzungen zufolge wird sich der heutige →





▲ Städte und Großräume weltweit mit mehr als fünf, acht und zehn Millionen Einwohnern (nach UN-Angaben 2004)

→ Ballungsraum von Lagos, wo zehn Prozent der nigerianischen Gesamtbevölkerung auf 0,4 Prozent der Fläche des Landes leben, bis 2020 zu einer Metropolregion mit 25 Millionen Einwohnern ausgedehnt haben. Damit wäre Lagos eine der drei bevölkerungsreichsten Städte der Welt. In anderen Megacities wie Mumbai, Dhaka, Karatschi oder Kalkutta ist die Bevölkerungsentwicklung ähnlich rasant. Zudem setzen längst weitere asiatische, afrikanische und süd-amerikanische Großstädte zum Sprung über die zehn Millionen-Marke an (Abb. B). Kinshasa, Teheran oder Lahore beispielsweise werden laut UN-Prognosen spätestens 2030 ebenfalls zu den Megacities gehören.

and mitigation) wollen Wissenschaftler die Wechselwirkung zwischen Megacities, Luftqualität und dem Klima untersuchen. Welche Bedeutung haben die urbanen Emissionen für die lokale, regionale und schließlich die globale Luftqualität? Wie beeinflussen sich Klimawandel wechselseitig? Und lassen sich Instrumente entwickeln, um die **Luftverschmutzung** von Megacities vorherzusagen? In den Blick nehmen wird das Projekt alle Megacities weltweit und dabei auf schon vorliegende Datensätze zurückgreifen; detailliertere Messungen sollen in Paris, London, dem Rhein-Ruhr-Gebiet sowie der Po-Ebene durchgeführt werden.

## DICKE LUFT ÜBER PARIS

Doch dieses Wachstum in den Ballungsräumen sorgt für viele Probleme. So entstehen knapp 80 Prozent aller **Emissionen** in urbanen Regionen. Alleine 25 Millionen Tonnen pro Jahr umfassen beispielsweise die Verkehrsemissionen in Los Angeles, der Stadt mit dem höchsten Verkehrsaufkommen der Welt. Tag für Tag quälen sich hier Millionen Autos durch die Häuserschluchten und geben Schwermetalle, giftige, klimaschädliche Gase und Ruß in die Atmosphäre ab (Abb. C). Hinzu kommen noch die Schadstoffe aus den unzähligen Industriebetrieben und privaten Haushalten.

Im EU-Forschungsprojekt MEGAPOLI (**M**egacities: **E**missions, urban, regional and **G**lobal **A**tmospheric **P**OLLution and climate effects, and **I**ntegrated tools for assessment

Eigentlich zählt Paris gerade mal gut zwei Millionen Einwohner. Doch mit über zwölf Millionen Menschen in einem Umkreis von circa 20 Kilometern rund um den Stadtkern „qualifiziert sich der Großraum Paris spielend als ‚Megacity‘“, wie Frank Drewnick vom Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz meint. Der Chemiker hat in den vergangenen Jahren zusammen mit Stephan Borrmann und anderen Max-Planck-Kollegen untersucht, wie „dick“ die Luft über Paris wirklich ist. Den Forschern ging es dabei nicht nur um so genannte Spurengase wie CO<sub>2</sub> oder Stickoxide, sondern auch um die winzigen, in der Atmosphäre schwebenden Teilchen oder Tröpfchen, die sogenannten **Aerosole**. Sie entstehen unter anderem bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen und bestimmen zusammen mit den Spurengasen nicht nur die Chemie in der Atmosphäre, sondern haben auch großen Einfluss auf das **Klima** und die menschliche Gesundheit. Daher ist es wichtig, diese Substanzen sowie ihre Bildungs- und Umwandlungsprozesse besser zu verstehen.

Doch warum haben sich die Forscher gerade Paris für ihre Schadstoffmessungen ausgesucht? Drewnick erklärt das wie folgt: „Der große Vorteil von Paris als Modellregion ist, dass sie sich in einem topographisch einfachen Terrain befindet, das weitgehend flach ist. Hinzu kommt, dass die Umgebung von Paris sehr dünn besiedelt ist, so dass lokale Einflüsse auf die Messungen im Umland der Stadt relativ gering sind.“ Im

## ▼ Verkehrsstau in Bangkok

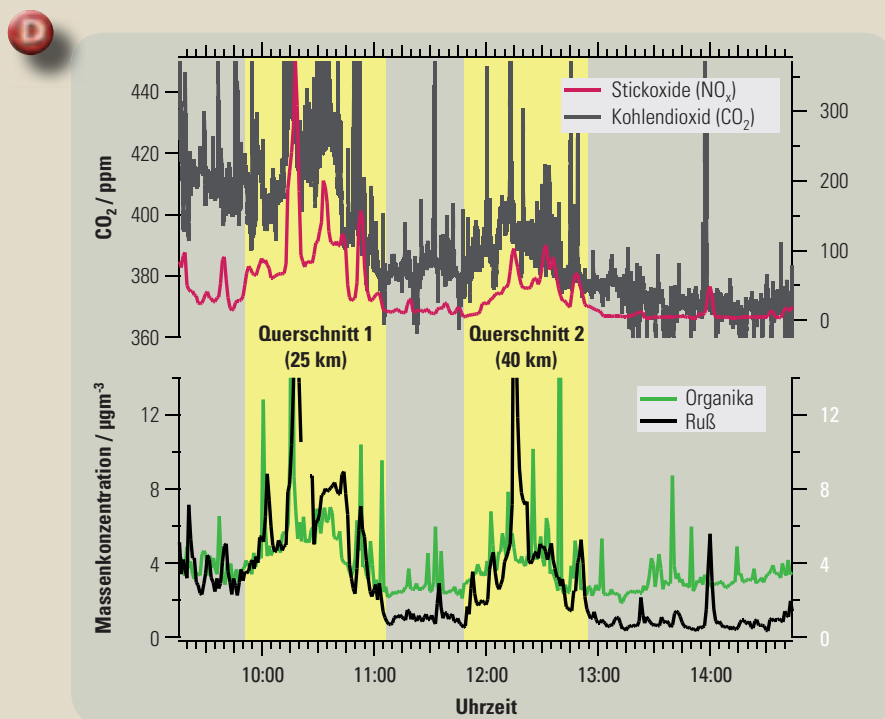


Rahmen zweier Messkampagnen im Sommer 2009 und im Winter 2010 begaben sich die Max-Planck-Forscher auf Spurensuche. Ihre mit modernsten Messinstrumenten bestückte Bodenstation (LoLa) in einem Vorort im Nordosten von Paris lag aufgrund der vorherrschenden Südwestwinde genau in der Abluffahne von Paris und bot perfekte Bedingungen für die Untersuchungen der Schadstoffwolke. Darüber hinaus gab es ein mobiles Forschungslabor auf einem Kleintransporter (MoLa), das für Messfahrten durch die Stadt und über die Dörfer genutzt wurde. Und an Bord des Spezialflugzeugs ATR-42, das die Forscher bei Zick-Zack-Flügen direkt durch die Emissionswolke schickten, befand sich ein eigens für die Messkampagnen entwickeltes Instrument: Das *Aircraft-based Laser Ablation Aerosol Mass Spectrometer*, kurz ALABAMA, liefert detaillierte Einblicke in die chemische Struktur der verschiedenen Aerosole.

### WENN SMOG KRANK MACHT

Auf diese Weise haben die Chemiker eine Fülle an Daten gewonnen, eine Art chemischen Fingerabdruck der Luftverschmutzung in Paris, der zurzeit in mühevoller Kleinarbeit ausgewertet wird. Erste Ergebnisse liegen aber bereits vor. So konnten sowohl die Größe als auch die unterschiedlichen Zugbahnen der Emissionswolke – in Abhängigkeit von der Windrichtung – präzise bestimmt werden. Die Forscher identifizierten zudem verschiedene Typen von Aerosolpartikeln. Zumeist handelte es sich dabei um organisches Material, Ruß und Teilchen aus der Biomasseverbrennung. Mit steigender Entfernung vom Stadtkern ergab sich dabei, wie erwartet, eine deutliche „Verdünnung“ der Schadstoffe in der Luft (**Abb. D**).

Mit einer anderen Beobachtung hatten die Forscher dagegen nicht gerechnet: „Ein überraschendes Ergebnis ist, dass der Einfluss einer Metropole wie Paris auf die lokale Luftqualität im Umland offenbar recht gering ist. Vor allem bei den Aerosolpartikeln dominieren dort andere Einflüsse wie der Ferntransport oder lokale Quellen wie etwa die Holzverbrennung. Dies ermöglicht neue Ansätze, um die Luftqualität vor Ort zu verbessern“, erklärt Drewnick. In den kommenden Monaten hat das Team noch reichlich zu tun. Es wird sich weiter mit den Messdaten beschäftigen, sie analysieren und interpretieren. Dabei gilt es unter anderem herauszufinden, wie Aerosolpartikel „altern“, welche



Querschnitts-Messungen durch die Abluffwolke (gelbe Bereiche) von Paris in 25 und 40 Kilometern Entfernungen von der Stadt (oben: Messungen zweier Spurengaskomponenten; unten: Messungen verschiedener Partikelkomponenten)

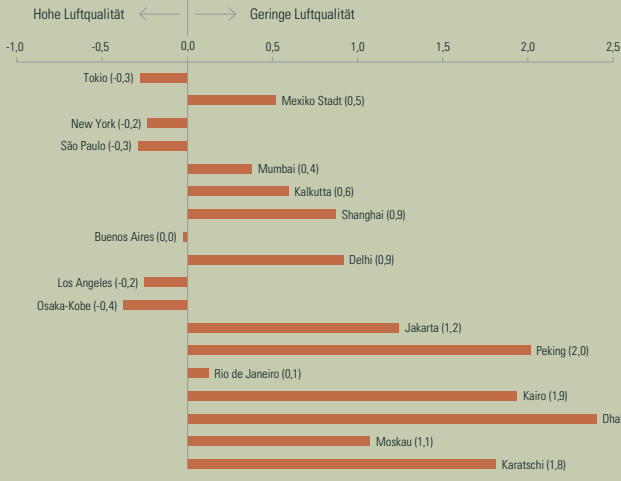
Schlussfolgerungen sich aus dem Vergleich der Sommer- und Wintermessungen ergeben und wie sich der Schadstoff-Cocktail aus Ruß, Staub und Spurengasen auf das lokale Klima auswirkt.

Mit dem Thema Luftverschmutzung in Megacities beschäftigt sich auch Bhola Ram Gurjar, Professor am Indian Institute of Technology in Roorkee. Er leitet dort eine indische Partnergruppe des Max-Planck-Instituts für Chemie. Ihm und seinen Kollegen geht es weniger um die Zugbahnen von Emissionswolken oder die Veränderung der Schadstoffe darin, sondern um die Folgen von schlechter Luftqualität auf die **Gesundheit** der Menschen. Um diese bestimmen zu können, haben die Wissenschaftler zunächst die Emissionen der 18 wichtigsten Megacities weltweit untersucht. Je nach Verkehrsaufkommen, Anzahl und Art der Industriebetriebe sowie den Lebensgewohnheiten der Menschen ergab sich für jede Megacity eine charakteristische Form der Luftverschmutzung. Peking, Shanghai oder Los Angeles emittierten danach am meisten CO<sub>2</sub>. In Dhaka, der Hauptstadt Bangladeschs, fanden die Forscher dagegen die höchsten Schwefeldioxidkonzentrationen. Karatschi in Pakistan, die indischen und ägyptischen Metropolen Delhi und Kairo sowie erneut Dhaka waren Spitzenreiter in Sachen Feinstaubbelastung.

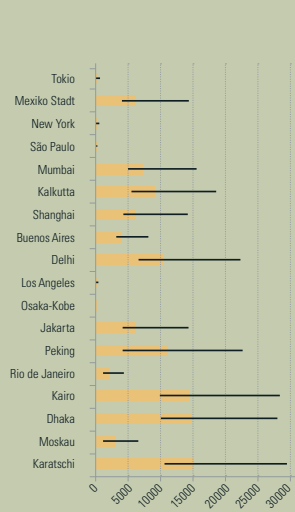
Zusammen mit Jos Lelieveld, Direktor am Max-Planck-Institut für Chemie, entwickelte Gurjar ein mathematisches Modell, Ri-MAP (**R**isk of **M**ortality-**M**orbidity due to **A**ir **P**ollution), das Vorhersagen trifft, wie viele zusätzliche Todesfälle ein bestimmter Grad der Luftverschmutzung fordert, verglichen mit einem Leben in sauberer Atmosphäre. Danach bieten Osaka-Kobe, Tokio und São Paulo die gesündeste Luft, während sie in Dhaka, Peking und Kairo besonders schädlich ist. Ri-MAP enthüllte sogar, wie viele zusätzliche Todesfälle in den 18 untersuchten Megacities auf das Konto der Luftverschmutzung gehen. Ergebnis: In Karatschi kosten die Schadstoffe 15.000 Menschen das Leben, in Dhaka 14.700 und in Kairo 14.100 – pro Jahr. Zum Vergleich: In New York oder Tokio sind es weniger als 500 (**Abb. E**).

„Die Analyse zeigt eine eindeutige Tendenz: Das von der Luftverschmutzung ausgehende Gesundheitsrisiko ist in den Megastädten der Entwicklungsländer größer als in denen der Industrienationen“, sagt Bhola Ram Gurjar. „Die Risikoschätzungen mögen nicht perfekt sein, doch wir sind der Meinung, dass sie bei der Aufstellung von Richtlinien zur **Schadstoffkontrolle** hilfreich sein können.“ Die Forscher arbeiten nun daran, ihr Modell weiter zu verbessern und noch praxistauglicher zu machen. So wollen sie beispielsweise →

**Index der Luftverschmutzung in Megacities**



**Zahl der Todesfälle aufgrund der Luftverschmutzung**



**E**

Eine Rangfolge der ungesündesten Luft: Der Index der Luftverschmutzung in Megacities erfasst die Konzentration mehrerer Schadstoffe und vergleicht die gemessenen Konzentrationen mit Grenzwerten der UNO. Bei einem negativen Index werden diese Grenzwerte im Schnitt unter-, bei einem positiven Index überschritten.

© MPI für Chemie

→ künftig weitere Schadstoffe wie Schwermetalle, Ozon oder winzige Staubteilchen berücksichtigen. Und irgendwann ist auch ein Abgleich der Modellrechnungen mit den amtlichen Todesstatistiken der Megastädte geplant. Halten die Ri-MAP-Zahlen diesem Härtestand, wäre ein wichtiges Ziel der Wissenschaftler erreicht.

Doch die Luftverschmutzung ist nur eine der Schattenseiten von Megastädten. Sie verbrauchen, u.a. durch die Versiegelung von Flächen, enorme Ressourcen und sind darüber hinaus von den Auswirkungen des Klimawandels besonders betroffen: Vier Fünftel aller Megastädte befinden sich in direkter

Küsten- und Flussnähe und sind somit der Gefahr von Überschwemmungen ausgesetzt. Und während als ökonomische Lenkungszentralen noch immer eindeutig die Megacities der Industrieländer dominieren (New York, London, Tokio), wandeln sich die Metropolen in den Schwellen- und Entwicklungsländern angesichts von Umweltverschmutzung, Naturkatastrophen und extremer Armut in tickende Zeitbomben. Schon heute lebt vielerorts mehr als die Hälfte der Megacity-Bürger in nicht genehmigten, so genannten informellen Siedlungen. Ein Großteil davon sind Elendsviertel, die sich häufig wie ein Ring um die Kernstädte mit ihren zum Teil imposanten Skylines ziehen (**Abb. F**).

15 Ländern des subsaharischen Afrika mehr Stadt- als Landkinder an Mangelernährung. Hinzu kommen große Gesundheitsgefahren, etwa in Form von Infektionskrankheiten wie Diarrhöe oder Cholera. Letztere sind vor allem auf verschmutztes, mit Bakterien und Viren verseuchtes Wasser und mangelnde sanitäre Einrichtungen zurückzuführen.

Megacities bestimmen aber nicht nur ihre eigene Zukunft, sondern auch die des Planeten. Längst arbeiten deshalb Forscher aus aller Welt daran, die zum Teil sehr unterschiedlichen Herausforderungen der Megastädte – von ihrer Regierbarkeit über die Ressourceneffizienz bis hin zum Umgang mit Risiken wie dem Klimawandel – zu identifizieren und zu lösen. Ob es am Ende in Zusammenarbeit mit Politik und Wirtschaft gelingt, die Probleme der Megacities in den Griff zu bekommen, wird sich jedoch erst in einigen Jahrzehnten zeigen.

**F**



▲ Slum in Mumbai

Die Verwaltungen der meisten Megacities – selbst der wirtschaftlich prosperierenden wie São Paulo, Mumbai oder Kalkutta – sind, so der Marburger Forscher Günter Mertins, damit überfordert für Hunderttausende neue Einwohner jedes Jahr kurzfristig ausreichend Wohnraum, eine adäquate Infrastruktur, Ver- und Entsorgungssysteme sowie Gesundheits- und Bildungseinrichtungen bereitzustellen. Fehlende Infrastruktur, eklatanter Trinkwassermangel, ungeklärte Abwässer, wilde Mülldeponien und vergiftete Böden gehören in den Slums zum Alltag und sorgen für verheerende Lebensbedingungen.

In Afrika leben 72 Prozent der Stadtbevölkerung, das sind 300 Millionen Menschen, in solchen **Slums**. Nur durchschnittlich jeder fünfte Haushalt ist dort an die Wasser- und Stromversorgung angeschlossen, lediglich sieben Prozent an ein Abwassersystem. Den Ärmsten in den Megastädten fehlt es am Notwendigsten. Einer Studie des *International Journal for Equity in Health* zufolge leiden in

**Schlagerwörter:** Megacity, Emissionen, Luftverschmutzung, Aerosole, Klima, Gesundheit, Schadstoffkontrolle, Slums

**Lesetipps:** Metropolen, Megastädte, Global Cities. Die Metropolisierung der Erde. Dirk Bronger, Wissenschaftliche Buchgesellschaft; September 2004

**Internet-Tipps:** „Megapoli“ <http://megapoli.dmi.dk/maininfo/megfoc.html>;

Megastädte – Dossier der Bundeszentrale für politische Bildung <http://www.bpb.de/themen/TFUJJPW,0,0,Megast%E4dte.html>

**WWW.MAXWISSEN.DE**

– der Link zur Forschung für Schüler und Lehrer

Hier finden Sie Hintergrundinformationen und didaktisches Material zu den jeweils zweimal im Jahr erscheinenden Ausgaben von BIOMAX, GEOMAX und TECHMAX. Weitere Exemplare können Sie kostenlos bestellen bei:

