

**GIFTLIG**

GIFTIG

# LUFTVERSCHMUTZUNG IN DEN STÄDTEN

DENIS PÖHLER & ULRICH PLATT

**Spätestens seit dem VW-Abgasskandal sind Stickoxid-Emissionen in den Fokus öffentlicher Debatten gerückt. Stickoxide sind sehr giftig und ihre Konzentration in den Städten gesundheitsgefährdend hoch – unter realen Bedingungen ließen sie sich bislang aber nur schwer messen. Heidelberger Umweltphysiker haben eine innovative Lösung für das Problem.**

# D

Die meisten Menschen in Industrienationen und Schwellenländern leben in urbanen Ballungsgebieten. Die Qualität der Luft wird in diesen dicht besiedelten Gegenden vor allem durch die Emissionen von Kraftfahrzeugen bestimmt. Hierzulande überwachen die Bundesländer und das Umweltbundesamt die Luftqualität mit circa 500 Messstationen. Einen negativen Einfluss auf die Luftqualität hat neben Feinstaub und Ozon ( $O_3$ ) vor allem Stickstoffdioxid ( $NO_2$ ). Laut Umweltbundesamt ist Stickstoffdioxid mittlerweile der „Schadstoff Nummer eins“ in Deutschland. Auch Stickstoffmonoxid ( $NO$ ) spielt eine Rolle; verglichen mit Stickstoffdioxid ist es aber weniger gesundheitsschädlich.  $NO_2$  und  $NO$  stehen in einem chemischen Gleichgewicht und werden in der Summe als Stickoxide ( $NO_x$ ) bezeichnet. Daher wird für die Emissionen  $NO_x$  und für die Luftqualität  $NO_2$  reglementiert.

## Charakteristik eines Schadstoffs

In hohen Konzentrationen ist Stickstoffdioxid rotbraun gefärbt und riecht stechend. In geringer Konzentration ist es unsichtbar, und sein Geruch ist kaum wahrnehmbar. Auswirkungen auf den Menschen infolge kurzfristiger hoher  $NO_2$ -Belastungen der Außenluft zeigen sich in einer Zunahme der Gesamtsterblichkeit, insbesondere aufgrund von Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Hauptsächlich betroffen sind Menschen mit Asthma oder chronischer Bronchitis. Bei kurzfristiger Exposition mit extrem hohen Konzentrationen von über 4.700 Mikrogramm pro Kubikmeter ( $\mu g/m^3$ ) ist mit einer verminderten Lungenfunktion zu rechnen, darüber hinaus mit Atemnot und Lungenödemen (Wasser in der Lunge). Die Atemwege und die Bindegewebe des Auges können bereits durch niedrige Konzentrationen (bis  $40 \mu g/m^3$ ) gereizt werden.

Von einer langfristigen  $NO_2$ -Belastung der Außenluft sind besonders Menschen betroffen, die an verkehrsreichen Straßen leben. Bei längerer Exposition mit zehn bis  $100 \mu g/m^3$  treten häufiger Erkrankungen der Atemwege wie Husten, Bronchitis und Verschlechterungen der Lungenfunktion auf, die chronisch werden können. Es liegen auch Anhaltspunkte für eine krebserregende Wirkung vor. Selbst wenn Menschen in ihrer Jugend nur geringen  $NO_2$ -Konzentrationen ausgesetzt waren, ist es aufgrund derzeitiger wissenschaftlicher Erkenntnisse

nicht auszuschließen, dass sich im Alter irreversible Lungenschäden entwickeln. Nach der EU-Gefahrenstoffkennzeichnung „EG 1272/2008“ wird  $NO_2$  deshalb als sehr giftig für den Menschen eingestuft.

Darüber hinaus verursacht Stickstoffdioxid sauren Regen und trägt zur Versauerung des Bodens bei, es behindert das Wachstum der Pflanzen und beschleunigt die Verwitterung von Naturstein, wovon viele Baudenkmäler betroffen sind.  $NO_2$  katalysiert auch die Bildung des gleichfalls sehr schädlichen Ozons, und es erzeugt indirekt Aerosolpartikel. Der Schadstoff Stickstoffdioxid muss deshalb immer in einem größeren Zusammenhang gesehen werden.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt zum Schutz von Mensch und Natur für die Stickstoffdioxid-Konzentration einen Jahresmittelgrenzwert von  $40 \mu g/m^3$  und einen Stundenmittelgrenzwert von  $200 \mu g/m^3$ . Die Grenzwerte der WHO sind europaweit in die Richtlinie „2008/50/EG“ übernommen worden. Zusätzlich wurde festgelegt, dass der Ein-Stunden-Grenzwert nicht öfter als 18 Mal im Kalenderjahr überschritten werden darf. Die Realität jedoch sieht anders aus: In Deutschland wurde der Jahresmittelgrenzwert für Stickstoffdioxid in den Jahren 2014 und 2015 an circa sechzig Prozent aller verkehrsnahen Messstationen überschritten – hierin zeigt sich ein flächendeckendes Problem.

## Das Problem der stationären Luftqualitätsmessung

Für zu hohe Emissionen von Stickoxid sind in den Städten vorwiegend der Verkehr und besonders dieselbetriebene Kraftfahrzeuge verantwortlich. Die Luftqualität eines Ortes wird dabei nicht allein vom Verkehrsaufkommen beeinflusst, sondern auch von der geographischen Lage, der Bebauung und den meteorologischen Bedingungen. Aus diesen vielfältigen Faktoren resultieren lokal große Schwankungen der  $NO_2$ -Konzentration. In den Städten wird die Schadstoffbelastung in der Regel aber nur stationär an ein bis zwei Messstationen erfasst. Das macht es kaum möglich, die Belastung für die gesamte Bevölkerung zu bestimmen. Ein weiterer Nachteil herkömmlicher, fest installierter Umweltmessstationen ist die Messtechnik selbst: Die  $NO_2$ -Konzentration wird nur indirekt mit Chemilumineszenz-Messgeräten (CLD) und Konvertern ermittelt – dadurch sind große systematische Messfehler bis zu fünfzig Prozent möglich. Zudem benötigen die Geräte regelmäßig teure und aufwendige Kalibrationen.

Ein kompaktes und mobiles, am Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg entwickeltes „ICAD- $NO_x$ -Messinstrument“ macht es möglich, die Konzentration von Stickstoffdioxid unabhängig von stationären Messstationen präzise an beliebigen Orten zu bestimmen. Mit dem neuen, zur Patentierung eingereichten Gerät konnten bereits in vielen Städten zahlreiche Untersuchungen stattfinden.

Ziel unserer Immissionsmessungen ist es, den politischen Entscheidern kurzfristig verlässliche und realitätsnahe Messdaten zu liefern, damit nötige und zielführende Maßnahmen zur Reduktion von Schadstoffen in den Städten erfolgen können. Im Auftrag von Städten und Umweltorganisationen, etwa der Deutschen Umwelthilfe und Greenpeace, aber auch im Auftrag des Deutschen Bundestags wurde hierzu in den vergangenen Monaten an verschiedensten Orten die Schadstoffbelastung gemessen und quantifiziert:

- In bisher 16 deutschen Städten erfolgten Untersuchungen an über 200 Messorten. Damit ließ sich eine Übersicht der Schadstoffbelastung in den jeweiligen Städten erzielen.
- Mit mobilen Fahrradmessungen wurde die Belastung für Fahrradfahrer genau bestimmt.
- Die Schadstoffwerte an Kindergärten und Schulen wurde näher quantifiziert, um die flächendeckende Belastung dieser besonders gefährdeten Bevölkerungsgruppe zu untersuchen.

Insgesamt bilden unsere Untersuchungen die aktuelle städtische NO<sub>2</sub>-Belastung wesentlich genauer ab als die wenigen fest installierten Umweltmessstationen.

#### Fingerabdruck der Moleküle

Unser kompaktes ICAD-NO<sub>x</sub>-Messgerät bestimmt die Konzentration von Stickoxid, indem es Umgebungsluft ansaugt und durch eine Messzelle von rund einem halben Meter Länge leitet. Die Messzelle wird dabei zunächst mit blauem Licht einer LED durchleuchtet. NO<sub>2</sub> absorbiert einen Teil dieser Strahlung, wobei die Absorption des NO<sub>2</sub>-Moleküls in charakteristischer Weise mit der Wellenlänge variiert. Diese Variation ist gleichsam der Fingerabdruck des Moleküls. Die Stärke der Absorption ist für ein gegebenes Molekül (hier NO<sub>2</sub>) charakteristisch: Sie ändert sich nie und wird ein für alle Mal im Labor bestimmt. Dieses Spektrum wird anschließend mit einem Kompaktspektrometer analysiert.

Die Bestimmung der Konzentration erfolgt mit der von uns bereits im Jahr 1979 entwickelten, inzwischen weltweit angewendeten „Differentiellen optischen Absorptionsspektroskopie“ (DOAS). Sie liefert bei bekanntem Absorptionsweg absolut kalibrierte Ergebnisse. Die Absorption des NO<sub>2</sub>-Moleküls ist bei typischen Stadtluft-Konzentrationen von wenigen Dezimetern jedoch extrem schwach und damit für fast alle Anwendungen unzureichend. Aus diesem Grund stattdessen wir die Messzelle mit zwei hochreflektiven Spiegeln aus, die zusammen einen optischen Resonator bilden. Das Licht läuft zwischen den beiden Spiegeln einige Tausend Male hin und her: Der effektive Lichtweg wird dadurch auf über einen Kilometer verlängert. Das Resultat sind sehr präzise Messungen, die selbst noch 0,05 µg/m<sup>3</sup> Stickstoffdioxid in der Umgebungsluft

erfassen können. In der wissenschaftlich gebräuchlichen Angabe entspricht dies circa 0,1 „parts per billion“ (ppb), das heißt „Teilen pro Milliarde“.

Zunächst misst das Gerät mittels DOAS die Konzentration von NO<sub>2</sub>. Die verschiedenen sonstigen Gase und Aerosole in der Messzelle können jedoch den Absorptionslichtweg verkürzen. Diesen Effekt zu bestimmen, war bisher technisch aufwendig, unter anderem aufgrund hoher Anforderungen an die optische und mechanische Stabilität des Aufbaus. Wir lösen dieses Problem mathematisch mit einem von uns entwickelten ICAD-Algorithmus (Iterative Cavity DOAS). Damit lässt sich der tatsächliche Lichtweg bei der Messung – und damit die wahre Konzentration – hinreichend genau rekonstruieren, ohne dass man hohe Anforderungen an die Apparatur stellen muss. Da Stickstoffdioxid direkt bestimmt wird – und nicht indirekt über eine Umwandlung von NO<sub>2</sub> in NO, wie es bei bislang etablierten Messverfahren der Fall ist – sind schnelle und präzise Messungen möglich. Dank unserer DOAS-Methode kann auch auf die aufwendige Kalibration mit Prüfgasen verzichtet werden. Unser Messgerät ist zudem deutlich einfacher aufgebaut, es ist leicht, vibrationsunempfindlich, mobil einsetzbar, und es erlaubt eine sehr hohe Zeitauflösung mit einer hohen Messgenauigkeit.

#### Von der Immissions- zur Emissionsmessung

Das innovative Instrument unserer Arbeitsgruppe wird inzwischen nicht nur eingesetzt, um die Luftqualität zu analysieren und zu überwachen (Immissionsmessung). Es wird auch im Bereich der Abgasmessung angewendet, als Teil der Emissionsmessung. Bis heute weiß man relativ wenig über den wahren Stickoxid-Ausstoß unter realen Betriebsbedingungen beziehungsweise im Laufe des Lebenszyklus eines Fahrzeuges. Derartige Emissionsbestimmungen sind aufgrund des hohen Aufwandes weder Teil der Abgasuntersuchung noch der Neuwagenprüfung. Sie werden nur bei der Typenzulassung im Labor untersucht.

**„Wenige Fahrzeuge verursachen einen Großteil der Stickoxid-Emissionen.“**

Zwar ermöglichen es genaue, aber sehr aufwendige mobile Messgeräte (sogenannte PEMS = Portable Emission Measurement Systems), die Emission auch im realen Betrieb zu bestimmen. Diese Messgeräte gelten europaweit jedoch bislang nur für neue LKW-Typen. Ab September 2017 sollen sie schrittweise auch für neue PKW-Typen und leichte Nutzfahrzeuge eingeführt werden – als neue Testprozedur unter dem Schlagwort „Real Drive Emission“ (RDE). Demnach sollen Abgase also nicht mehr allein auf dem Prüfstand – das heißt unter idealisierten Laborbedingungen –, sondern im realen Straßenverkehr bestimmt werden. Problematisch aus unserer Sicht ist jedoch, dass lediglich bei der Typzulassung – und somit nur für ein (und zudem fabrikneues) Fahrzeug einer Modellkonfiguration – gemessen wird und dann auch nur direkt am Fahrzeug. Damit können Variationen zwischen verschiedenen Exemplaren des gleichen Modells oder durch Alterung und Defekte verursachte Veränderungen nicht erfasst werden. Unsere Arbeitsgruppe geht daher einen anderen, unabhängigen Weg.

#### Ein neuer Ansatz

Wir bestimmen die Emissionen von Stickoxid, indem wir die Luft aus der Abgasfahne eines vorausfahrenden Fahrzeuges durch eine Sonde oder einen Trichter ansaugen und sie sodann durch das ICAD-NO<sub>x</sub>-Messgerät leiten. Für die Anwendung im Abgasbereich konnten wir unser Messsystem mittlerweile so erweitern, dass zusätzlich Stickstoffmonoxid in Stickstoffdioxid umgewandelt wird. Auf diese Weise können wir die relevanten gesamten Stickoxid(NO<sub>x</sub>)-Emissionen bestimmen.

Es gilt zudem zu berücksichtigen, dass sich die Emissionen von der Quelle – dem Auspuff – bis hin zum Messgerät verdünnen. Wird gleichzeitig die Konzentration eines Markierungsstoffes bestimmt, dessen Emission gut bekannt ist, kann die Verdünnung genau ermittelt werden. Wir verwenden hierzu CO<sub>2</sub>, das in circa tausendfach höherer Konzentration als NO<sub>x</sub> ausgestoßen wird und daher – gleichfalls durch Absorptionsspektroskopie – sehr leicht messbar ist. Somit lässt sich mit einer einfachen Erfassung von NO<sub>x</sub> und CO<sub>2</sub> in der Abgasfahne die Emission von Stickoxid mit einer Genauigkeit von zehn bis zwanzig Prozent bestimmen. Damit erreicht unsere Methode zwar nicht ganz die Genauigkeit von Messsystemen direkt am Fahrzeug (PEMS) – dafür aber können wir ein aussagekräftiges Ergebnis statt in vielen Stunden innerhalb weniger Minuten erzielen. Das macht es möglich, in kurzer Zeit nicht nur Neuwagen, sondern auch viele Fahrzeugtypen wie PKWs, Motorräder, Busse und LKWs zu untersuchen.

#### Im Praxistest überzeugend

Mehr als 1.000 Fahrzeuge haben wir bereits mit unserem Mess-PKW untersucht. Es erwies sich, dass unser neues Gerät den Stickstoffdioxid- beziehungsweise Stickoxid-

**„Die Einführung der Umweltzonen mit Feinstaubplaketten vor einigen Jahren konnte kaum etwas dazu beitragen, das wahre Problem der hohen Luftverschmutzung anzugehen.“**

Anteil in den Abgasfahnen der Fahrzeuge unter realen Bedingungen erfolgreich bestimmen kann. Wichtig dabei ist, die Messpunkte innerhalb der Emissionsfahne eines einzelnen Fahrzeugs zu legen, um weitgehend zu vermeiden, dass sich die Abgase anderer Fahrzeuge miteinander vermischen – bei sehr starkem Verkehrsaufkommen ist das regelmäßig eine Herausforderung.

Im Praxistest wurde das ICAD-NO<sub>x</sub>-Instrument erstmals im Jahr 2014 bei Messungen im Auftrag der Stadt Mainz eingesetzt. Mehr als 730 Fahrzeuge wurden dabei im realen Stadtverkehr erfasst. Aufgrund der Schadstoffkonzentrationen in den Abgasfahnen konnten wir auf die Emissionen der einzelnen Fahrzeuge rückschließen. Dabei zeigte sich: Es bestehen nicht nur (wie erwartet) große Unterschiede der Emissionen zwischen verschiedenen Kategorien von Fahrzeugen (PKWs, Busse etc.), sondern auch innerhalb einer Kategorie selbst. Die Stickoxid-Emissionen variieren sehr stark von Fahrzeug zu Fahrzeug und hängen von zahlreichen Parametern ab, seien es Motortyp, Abgasbehandlung, Alter, Zustand oder Fahreigenschaften. Die Rolle dieser unterschiedlichen Parameter ist bislang nicht genau bekannt.

Ein weiteres Problem ist es, Daten zu erheben, die Behörden und Wissenschaft befähigen, die Stickoxid-Emissionen verschiedener Fahrzeuge präzise abzuschätzen und deren Beitrag zur Luftverschmutzung zu bestimmen. Diese Informationen sind erforderlich, um Maßnahmen zu treffen, die die Luftqualität wirkungsvoll verbessern können. Hierzu fehlen aber nicht nur weitere verlässliche Fahrzeugemissionsdaten unter realen Fahrbedingungen, sondern auch Untersuchungen zu den tatsächlich gefahrenen Kilometern verschiedener Fahrzeugtypen. Hier ist noch viel Forschungsarbeit nötig, um genaue Aussagen treffen zu können. Nur mithilfe zusätzlicher umfassender Analysen werden wirkungsvolle Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität möglich werden.

#### Ergebnisse der Mainzer Studie

Unsere Mainzer Studie vermittelt ein interessantes Bild der wahren Emissionen; die Ergebnisse sind sicher auch für andere Städte aufschlussreich. Danach fallen nur 7,6 Prozent aller Fahrzeuge in die Kategorie „sehr hohe Emissionen“ an Stickstoffdioxid mit Konzentrationen von über 1.000 Mikrogramm pro Kubikmeter in der Abgasfahne. Vor allem Busse älterer Bauart (oft mit nachgerüsteten Feinstaubfiltern), aber auch einzelne PKWs und Motorräder finden sich in dieser Kategorie – sie sind unseren Daten nach für 45 Prozent der gesamten direkten Stickstoffdioxid-Emissionen verantwortlich. Mit anderen Worten: Die Umweltbelastung könnte durch technische Nachbesserungen oder durch den Ausschluss von nur wenigen Fahrzeugen nahezu halbiert werden. Um die Hauptverursacher hoher Schadstoffbelastung zu



DR. DENIS PÖHLER studierte Physik an den Universitäten Würzburg und Edinburgh, Schottland. Im Jahr 2010 wurde er von der Universität Heidelberg in der Umweltphysik zur Bestimmung von zweidimensionalen Spurengasverteilungen mittels tomographischen LP-DOAS-Messungen in der Stadt Heidelberg promoviert. Seitdem arbeitet er als Postdoktorand weiterhin am Institut für Umweltphysik und leitet hier zahlreiche Projekte am Lehrstuhl von Prof. Dr. Ulrich Platt, unter anderem zur Erforschung von Halogenen in polaren und maritimen Umgebungen sowie zur Entwicklung von Langpfad(LP)- und Cavity-Enhanced (CE)-DOAS-Messinstrumenten für die Atmosphärenforschung sowie zum Monitoring urbaner Luftverschmutzung. Von April 2016 bis September 2017 ist er Projektleiter der renommierten Gründungsförderung „EXIST-Forschungstransfer“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und der EU.

Kontakt: denis.poehler@iup.uni-heidelberg.de

**„Die Emissionen spielen nicht allein eine Rolle für Anwohner und Passanten – auch die Autofahrer selbst sind betroffen.“**



PROF. DR. ULRICH PLATT wurde im Jahr 1989 als Professor für Experimentalphysik an die Universität Heidelberg berufen. Zuvor forschte er mehrere Jahre am Institut für Atmosphärische Chemie der Kernforschungsanlage Jülich (heute: Forschungszentrum Jülich) sowie am Statewide Air Pollution Research Center der University of Riverside in Kalifornien, USA. 1984 folgte die Habilitation im Bereich Geophysik an der Universität Köln. Von 1990 bis zu seiner Pensionierung im Jahr 2015 war Ulrich Platt Direktor am Heidelberger Institut für Umweltphysik. In dieser Funktion (und auch als pensionierter Hochschullehrer) leitete und leitet er zahlreiche Forschungsprojekte, die sich mit dem physikalischen Verständnis unserer Umwelt befassen. Sein Arbeitsschwerpunkt ist die Troposphärenchemie. Er entwickelte maßgeblich die Methode der Differentiellen optischen Absorptionsspektroskopie (DOAS) zur Messung von Schadstoffen und Spurengasen – ein Verfahren, das die Entwicklung von Atmosphärenmodellen revolutioniert hat – und wendet diese zur Untersuchung der Atmosphäre an.

Kontakt: ulrich.platt@iup.uni-heidelberg.de

# „Die zu hohen Stickstoffdioxid-Werte sind ein weit größeres Problem, als es die Feinstaubwerte jemals waren.“

ermitteln, lassen sich die Daten heranziehen, die wir bei unseren mobilen Messungen erfasst haben. Für die Stadt Mainz konnten gravierende Schwachstellen der bisherigen Modellrechnungen aufgezeigt werden, vor allem durch Ungenauigkeiten der Parameter wie Fahrzeugverteilung, Fahrzeugflotte oder Emissionswerte.

Noch sind weitere Analysen nötig, um die Frage zu beantworten, zu welchen Anteilen einzelne Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeuggruppen – abhängig von Alter, Zustand oder Motor – zur Luftverschmutzung im Stadtverkehr beitragen. In diesem Jahr finden daher zusätzliche Kampagnen für Abgasmessungen an PKWs, Bussen und zahlreichen LKWs statt. Zudem sind weitere Anwendungen im Emissionsbereich geplant.

Die Emissionen der Fahrzeuge spielen aber nicht nur eine Rolle für Anwohner und Passanten. Auch die Autofahrer selbst sind von den Abgasen betroffen. Entgegen der allgemeinen Annahme, dass die Insassen eines Fahrzeugs hiervon geschützt seien, konnten wir Folgendes zeigen: Die von den vorausfahrenden Fahrzeugen emittierten Stickoxide gelangen fast ungehindert durch die Lüftung ins Fahrzeuginnere (bei typischen Standardfiltern für die Fahrzeuglüftung). Mehrtägige PKW-Innenraummessungen zeigten, dass die Belastung von Autofahrern und Insassen dauerhaft sehr hohe Werte erreicht. In Tunneln lag diese bei fast  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  – und damit deutlich über dem Grenzwert –, auf der Autobahn bei über  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und in der Stadt bei über  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Somit ist von einer akuten Gesundheits-

gefährdung auch der Autofahrer selbst auszugehen. Die Werte liegen zudem deutlich höher als die zeitgleich an Umweltmessstationen bestimmten Konzentrationen. Das zeigt, dass Fahrzeuginsassen noch einmal deutlich höheren Belastungen ausgesetzt sein können als etwa Passanten.

## Mehr Stickstoffdioxid, weniger Feinstaub

Über unseren Forschungsauftrag hinaus sehen wir es als unsere Aufgabe an, die Bevölkerung aufzuklären. Dazu gehört es, die in Gesellschaft, Politik und Medien weitverbreitete Verwechslung der Begriffe „Feinstaub“ und „Stickstoffdioxide“ klarzustellen. Beide Luftschadstoffe haben gesundheitliche Auswirkungen, die jedoch sehr unterschiedlich sein können. Auch die Verursacher dieser Luftschadstoffe und die Möglichkeiten, sie zu reduzieren, sind sehr unterschiedlich.

Laut Umweltbundesamt wurde der seit 2010 in Deutschland gültige Jahresgrenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für Stickstoff-

## EXIST – Aus Wissenschaft wird Business

Mit seinem Programm „EXIST-Forschungstransfer“ fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) herausragende forschungsbasierte Gründungsvorhaben mit hohem und risikoreichem Entwicklungsaufwand. Acht Gründungsteams aus Heidelberg, darunter auch die Entwickler des innovativen ICAD-NO<sub>x</sub>-Messgeräts, haben in den letzten Jahren das anspruchsvolle Bewerbungsverfahren erfolgreich durchlaufen und konnten in Berlin die Jury von den Erfolgsaussichten ihrer Projekte überzeugen. Für die Universität Heidelberg bedeutet das ein Fördervolumen von etwa 6,5 Millionen Euro.

Das Programm besteht aus zwei Förderphasen. In einem ersten Schritt sollen Forschungsergebnisse, die über das Potenzial für eine Unternehmensgründung verfügen, weiterentwickelt werden. Ziel ist es, wissenschaftliche Ergebnisse in technische Produkte und Verfahren zu überführen, die darauf basierende Geschäftsidee zu einem Businessplan auszuarbeiten und die geplante Unternehmensgründung vorzubereiten. Hierbei werden pro Projekt bis zu vier Arbeitsplätze – davon einer mit wirtschaftlichem Hintergrund – sowie Materialkosten zum Beispiel zur Herstellung von Prototypen finanziert. Im Anschluss kann eine zweite Förderphase beantragt werden, in der weitere Entwicklungsarbeiten durchgeführt werden. Im Fokus stehen dabei konkrete Maßnahmen zur Aufnahme der Geschäftstätigkeit. Zudem sollen die Voraussetzungen für eine externe Unternehmensfinanzierung geschaffen werden. Der EXIST-Forschungstransfer wird vom Europäischen Sozialfonds kofinanziert.

TOXIC

# AIR POLLUTION IN THE CITY

ULRICH PLATT &amp; DENIS PÖHLER

Ever since VW diesel gate, nitrogen oxide emissions have become the focus of public debate. What researchers, environmental organisations, and stakeholders in politics and industry have been analysing for years has now become a much-discussed issue in mainstream society: Nitrogen oxides are highly toxic, and their concentration in cities is reaching harmful levels – however, they are difficult to measure under real conditions. The validity of results obtained with conventional measuring methods is also regularly criticised. Researchers at the Institute of Environmental Physics have now developed a new mobile measurement method that overcomes nearly all significant disadvantages of established instruments.

The innovative measurement method combines the technique of differential optical absorption spectroscopy (DOAS) developed by Heidelberg environmental physicists with optical resonators and a new retrieval algorithm. In this method, blue light is transmitted through a measurement cell. Using special, highly reflective mirrors, the light path of forty centimetres is extended to over one kilometre in order to achieve the necessary measurement accuracy. The concentration of nitrogen dioxide in the air is determined by its attenuation, specifically the absorption of light over a spectral range of around 30 nanometres. We make use of the fact that each molecule has its own characteristic absorption fingerprint and can therefore be uniquely identified. With an additional converter for nitrogen monoxide and a CO<sub>2</sub> module, scientists of Heidelberg University have succeeded in developing a compact, robust and easy-to-handle pollutant measurement device that can also be used to determine the emissions of vehicles. The new method has already been successfully applied in various studies. ●

**“Nitrogen oxides are highly toxic, and their concentration in cities is reaching harmful levels – however, they are difficult to measure under real conditions. Heidelberg environmental physicists have now developed an innovative solution to this problem.”**

PROF. DR ULRICH PLATT accepted the Chair of Experimental Physics at Heidelberg University in 1989. The physicist previously worked several years at the Institute for Atmospheric Chemistry of the Nuclear Research Centre Jülich (today 'Forschungszentrum Jülich') as well as at the Statewide Air Pollution Research Center of the University of Riverside in California, USA. In 1985 he completed his habilitation in geophysics at the University of Cologne. From 1990 until his retirement in 2015 he headed the Institute of Environmental Physics at Heidelberg University. In this function he conducted – and still conducts – numerous research projects concentrating on the physical understanding of our environment. His research focus is tropospheric chemistry. He was one of the principal researchers involved in the development and continuous application of differential optical absorption spectroscopy (DOAS), a technique for the measurement of pollutants and trace gases that has revolutionised the development of atmospheric models.

Contact: [ulrich.platt@iup.uni-heidelberg.de](mailto:ulrich.platt@iup.uni-heidelberg.de)

DR DENIS PÖHLER studied physics at the universities of Würzburg in Germany and Edinburgh in Scotland. In 2010 he obtained his PhD in environmental physics from Heidelberg University with a thesis on the determination of two-dimensional trace gas distributions using tomographic LP-DOAS measurements in the city of Heidelberg. As a post-doctoral fellow at the Institute of Environmental Physics, he manages several projects at the chair of Prof. Dr Ulrich Platt that concern such research fields as halogens in polar and maritime environments and the development of longpath (LP) and cavity enhanced (CE) DOAS measuring instruments for atmospheric research as well as for monitoring urban pollution. From April 2016 to September 2017 he will head a project under the renowned German start-up promotion programme 'EXIST-Transfer of Research' that is funded by the EU and the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.

Contact: [denis.poehler@iup.uni-heidelberg.de](mailto:denis.poehler@iup.uni-heidelberg.de)

dioxid in den letzten Jahren an etwa sechzig Prozent der verkehrsnahen deutschen Messstationen überschritten – lediglich zwei deutsche Messstationen hingegen liegen noch über dem gesetzlichen Grenzwert für Feinstaub. Die öffentliche Wahrnehmung hinsichtlich der Luftqualität aber wurde und wird dominiert von Berichten über erhöhte Feinstaubwerte. Tatsächlich lagen die Feinstaubmesswerte in den meisten deutschen Städten zum letzten Mal Ende der 1990er-Jahre über dem geltenden Grenzwert. Es zeigt sich: Die zu hohen Stickstoffdioxid-Werte sind ein weit größeres Problem, als es die Feinstaubwerte jemals waren.

Die Einführung der Umweltzonen mit Feinstaubplakette vor einigen Jahren konnte nichts oder nur wenig dazu beitragen, das wahre Problem der hohen Stickoxid-Werte anzugehen. Im Gegenteil: Die dadurch veranlasste Nachrüstung mit Partikelfiltern (Rußfiltern) in älteren Dieselfahrzeugen hat die direkte Emission von Stickstoffdioxid dieser Fahrzeuge noch erhöht. Ursache ist die Funktionsweise der meisten Partikelfilter, die eine weitere Oxidation von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid bewirkt und damit zu einer erhöhten Emission von  $\text{NO}_2$  führt. Während unserer städtischen Messungen konnten wir vielfach nachweisen, dass gerade ältere Busse unabhängig vom Fahrzeugtyp – erst recht, wenn die nachgerüstete Technik Feinstaub reduziert – einen hohen Stickstoffdioxid-Ausstoß aufweisen.

Die Städte werden also mehr als bisher gegen die zu hohen, gesundheitsgefährdenden  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen vorgehen müssen – und das nicht erst seit dem 2015 drohenden EU-Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutschland. In diesem Zusammenhang wird derzeit auch diskutiert, eine blaue Umweltzone einzuführen. Wichtig dabei ist, dass die zahlreichen Maßnahmen der Luftreinhaltepläne auch real messbar sind. Auch hierfür wollen wir mit unserem mobilen Messgerät Lösungsansätze bieten.

#### Die Zukunft unseres Messverfahrens

Das entwickelte ICAD-Messverfahren ist nicht alleine auf die Untersuchung von Stickoxiden begrenzt. Das DOAS-Verfahren ist flexibel, und durch die Wahl verschiedener Spektralbereiche können grundsätzlich auch andere Gase gemessen werden. Es konnten bereits Testsysteme untersucht werden, die neben dem bisherigen blauen Spektralbereich auch im UV-Bereich ab 340 Nanometern bis in den roten Spektralbereich arbeiten. Damit wird es bereits in absehbarer Zukunft möglich, weitere Schadstoffe und Spurengase wie Formaldehyd, salpetrige Säure und zahlreiche Halogenverbindungen zu bestimmen. Eine weitere Ausweitung der Messungen in den UV-Spektralbereich ist wünschenswert, denn damit können auch Luftschadstoffe analysiert werden, die zwar eine große Bedeutung für die Gesundheitsvorsorge haben, bislang aber nur sehr schwer untersucht werden können, beispielsweise Aromate, Ammoniak und Schwefeldioxid.

**„Die Städte werden mehr als bisher gegen die gesundheitsgefährdenden Schadstoffkonzentrationen vorgehen müssen.“**

Seit April 2016 wird unsere Forschungsgruppe als „EXIST-Forschungstransfer-Projekt“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie finanziell getragen. Das Hauptziel des Projektes ist es, die Messsysteme bis hin zur Kommerzialisierung weiterzuentwickeln. In einem künftigen Start-up-Unternehmen soll das Messsystem dann soweit zur Marktreife gebracht werden, dass es auch für andere Nutzer verfügbar wird. Nicht nur für den wissenschaftlichen Einsatz zur Umweltanalyse, sondern auch bei der Luftqualitäts- sowie der Emissionsüberwachung böte es viele Vorteile im Vergleich zu bestehenden Messverfahren. Auch Überwachungsanwendungen in Medizin und Industrie – zum Beispiel bei der Atemanalyse und in der Prozessindustrie – sind damit möglich. Eine universitäre Ausgründung ist für die nächsten Monate vorgesehen. ●