



Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Nationales Metrologieinstitut

Mit Metrologie  
in die Zukunft

Herausforderung  
Umwelt und Klima



# Herausforderung Umwelt und Klima

nachhaltig – global/lokal – quantitativ – interdisziplinär – vernetzt

Beim Thema Klima und Umwelt ist es vielfach bereits fünf vor zwölf. Doch für belastbare Aussagen über die Veränderungen braucht man quantitative, genaue und verlässliche Messungen – und dies in einem hochkomplexen System mit einer sehr hohen Zahl an relevanten Messparametern und Stoffgruppen. Weil Umwelt- und Klimaprozesse keine Grenzen kennen, ist einer der wichtigsten Partner der PTB bei der Klimaüberwachung die World Meteorological Organization (WMO), die unter anderem das Global Atmosphere Watch (GAW) Programme und das Global Climate Observing System (GCOS) betreibt. Letzteres definiert beispielsweise 54 essenzielle Klimavariablen, also physikalische, chemische und biologische Messgrößen, die eine Beschreibung des globalen Klimazustandes zum Ziel haben. Die Änderungen dieser Größen sind klein, und um Entwicklungen eindeutig zu erkennen, sind langfristige, hochgenaue und zuverlässige (sprich: auf das Internationale Einheitensystem SI rückgeführte) Messungen notwendig. Daher ist die PTB in zunehmendem Maße an der Rückführung dieser Messungen beteiligt.

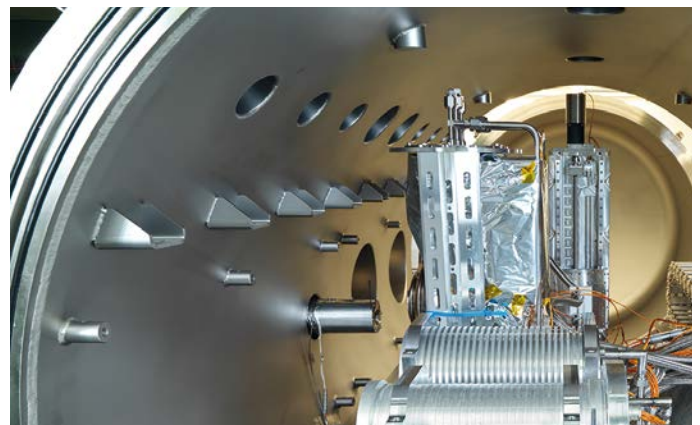
Beim Thema Umweltschutz ist ein wichtiger PTB-Partner das deutsche Umweltbundesamt (UBA); den gesetzlichen Rahmen liefern unter anderem europäische Rahmenrichtlinien für Luft und Wasser. Die PTB ist auch zuständig für die Rückführung und Zertifizierung von KFZ-Abgasmessungen und baut hier stetig ihre Fähigkeiten aus. Im Rahmen des Strahlenschutznetzwerkes unterhält sie enge Kontakte zum Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), den Leitstellen des Integrierten Mess- und Informationssystems (IMIS), das die Radioaktivität in der Umwelt überwacht, sowie zu den Messstellen des Bundes und der Länder. Sie ist sehr aktiv in europäischen Forschungsprogrammen wie EMPIR und engagiert sich stark in den daraus hervorgehenden, langfristig aufgestellten Europäischen Metrologienetzwerken (EMN). Sie kommuniziert intensiv mit den diversen Akteuren in Gesetzgebung, Industrie und Forschung, um eine stetige Verbesserung und Ausweitung der Aktivitäten zu ermöglichen und zu unterstützen. Nehmen Sie gerne Kontakt zu uns auf!

## Klima

### Satelliten: Der Blick aus dem All

Wie stark heizt der Treibhauseffekt die Erde auf? Wo werden Regenwälder abgeholzt? Wo werden noch immer FCKW in die Atmosphäre geleitet? Um solche Fragen zu beantworten, werden zum Beispiel im Rahmen der ESA-SENTINEL-Missionen oder der geplanten EnMAP-Mission des Deutschen GeoForschungszentrums (GFZ) und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) laufend Daten von Messgeräten auf Satelliten ausgewertet und frei zur Verfügung gestellt. Zukünftige Missionen werden es ermöglichen, belastbare Aussagen über die komplette Energiebilanz der Erde zu machen. Die geplante ESA-Mission TRUTHS misst die solare Eingangsstrahlung; für die emittierte Strahlung der Erde wird der geplante ESA Earth Explorer FORUM zuständig sein, in dessen Charakterisierung die PTB schon jetzt in besonderem Maße eingebunden ist. Andere essenzielle Klimavariablen, die vom All aus strahlungsthermometrisch oder radiometrisch gemessen werden, sind die Temperaturen von Wasseroberfläche und Atmosphäre sowie die Konzentrationen von Spurengasen und Aerosolen. Die PTB sorgt dafür, dass die entsprechenden Messgeräte bzw. die Detektor- oder Strahlernormale vor ihrem Einsatz auf das Internationale Einheitensystem rückgeführt werden. Sie unterstützt die ESA schon seit vielen Jahren, etwa mit ihrer Reduced Background Calibration Facility, einer in Europa einzigartigen Messanlage für die Kalibrierung von Instrumenten in der Erdfernerkundung im infraroten Spektralbereich. Weltweit hat die PTB mit ihren Messmöglichkeiten

im fernen Infrarotbereich ein Alleinstellungsmerkmal. Mit einem neuen Spektralkomparator-Messplatz wird die PTB künftig zudem auf die spezifischen Anforderungen der Erdfernerkundung im Spektralbereich vom UV- bis in den Infrarotbereich eingehen.



Die Innenansicht der Quellenkammer der Reduced Background Calibration Facility 2. Im Vordergrund die Referenzschwarzkörperstrahler, gegen die z. B. die FORUM- und GLORIA-Referenzquellen kalibriert werden.

### Genauer Blick auf die Sonne

Die Strahlung der Sonne wird in der Erdatmosphäre von kleineren Bestandteilen, die zu den essenziellen Klimavariablen zählen (wie Ozon, Stickoxiden, Wasserdampf und Aerosolen), teilweise absorbiert oder unter anderem auch zurück in den Weltraum reflektiert. Auf Basis radiometrischer Messungen der

terrestrischen Sonnenstrahlung können daher einerseits die entsprechenden essenziellen Klimavariablen bestimmt, andererseits die Auswirkung auf die Gesundheit (durch UV-Strahlung) oder auf die Energieerzeugung in Photovoltaik-Anlagen quantifiziert werden. Die PTB arbeitet seit Jahren eng mit dem Physikalisch-Meteorologischen Observatorium Davos/World Radiation Center zusammen, um die Rückführung der Sonnenmessungen und der abgeleiteten Größen wie der Ozonsäule oder säulen-integrierter optischer Eigenschaften von Aerosolen auf das SI mit kleinsten Unsicherheiten zu ermöglichen. Dazu werden nicht nur das nationale Normal für die spektrale Bestrahlungsstärke (ein Hochtemperatur-Schwarzkörperstrahler), sondern auch die spektral durchstimmbaren Lasersysteme der PTB eingesetzt, um die benötigten spektral auflösenden und spektral integrierenden Messgeräte zu kalibrieren.



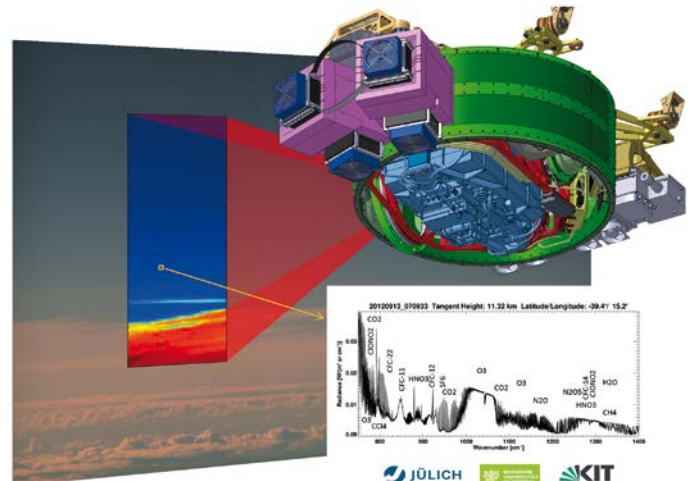
Ein an der PTB charakterisiertes Array-Spektralradiometer blickt auf die aufgehende Sonne am Atmosphärischen Observatorium Izaña auf Teneriffa während einer internationalen Vergleichsmesskampagne zur Bestimmung der Ozonsäule.

## Atmosphäre: Die Luft um uns herum

Eine Schlüsselaufgabe der Klimaüberwachung ist die Beobachtung der wichtigsten Atmosphärenbestandteile, die den Treibhauseffekt beeinflussen. Außer mit Bodenstationen und Satelliten misst die WMO in ihrem Global Atmosphere Watch (GAW) Programme auch in der Atmosphäre, etwa mithilfe von Flugzeugen, Ballons oder Drohnen. In allen Bereichen liefert die PTB metrologische Unterstützung. Sie ist bei der SI-Rückführung der Messung von  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ , flüchtigen organischen Verbindungen (sogenannten VOCs) sowie Ruß-Aerosolen aktiv und entwickelt dazu nationale Normale und Messverfahren, beispielsweise auf der Grundlage optisch-spektroskopischer Messungen mit Laser-Fourier-Transformations-Infrarotspektrometern (FTIR) oder innovativer Aerosolmetrologie bis hin zu primären Partikelanzahlnormalen oder der Rückführung von Black-Carbon-Messungen. Wo aufgrund des Anwendungsbereichs eine Kalibrierung optischer Spektrometer nicht möglich ist oder wo stabile, SI-rückgeführte Referenzgase nicht zur Verfügung stehen, bietet die PTB mit der Messung spektraler Moleküldaten die wichtigste Eingangsgröße für spektroskopische Fernerkundungsmessungen an. Gleichzeitig entwickelt sie absolut arbeitende, kalibrationsfreie Laser-

spektrometer als metrologische Transferrnormale, die bei Bedarf auch feldtauglich – etwa für den Einsatz auf Forschungsflugzeugen wie HALO – konzipiert und eingesetzt werden. Die faszinierenden Möglichkeiten der spektroskopischen Transferrnormale, der Absolut-Spektraldaten und der Aerosolmetrologie sollen weiter ausgebaut werden.

Seit vielen Jahren leistet die PTB auch die Rückführung von flugzeuggebunden Fernerkundungsmessungen zur Zusammensetzung und Dynamik der Atmosphäre, wie sie bei den verschiedenen Missionen des bildgebenden Infrarot-Fourierspektrometers GLORIA des Forschungszentrums Jülich (FZJ) und des Karlsruher Institutes für Technologie (KIT) auf dem Forschungsflugzeug HALO durchgeführt werden. Für die globalen bodengebundenen Messungen der Infrarotrückstrahlung der Atmosphäre, die im Rahmen des weltweiten Baseline Surface Radiation Network (BSRN) durchgeführt werden, hat die PTB in Zusammenarbeit mit dem World Radiation Center in Davos ein Rückführungskonzept entwickelt und realisiert und wird so in Zukunft auch die Vergleichbarkeit dieser Messungen sicherstellen.



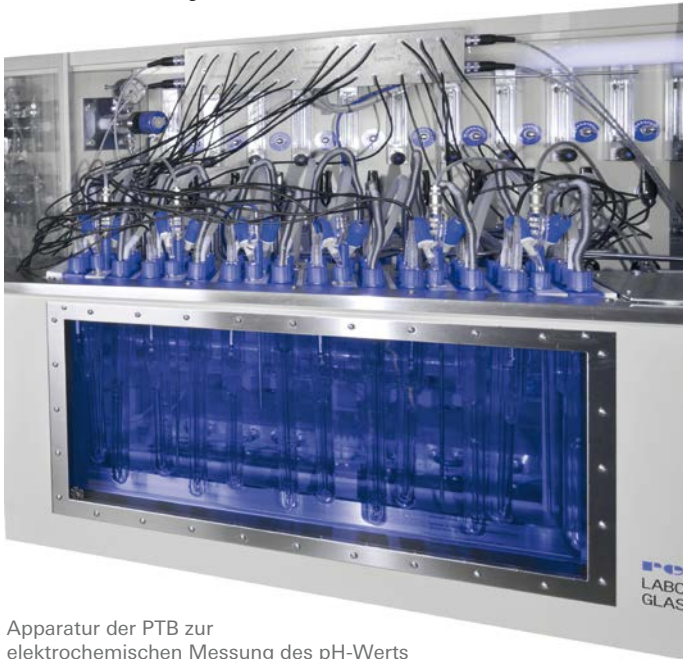
Das Infrarot-Fourierspektrometer GLORIA fliegt regelmäßig auf den verschiedenen Missionen des Forschungsflugzeuges HALO des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt mit. Es kann mehr als 16 000 orts- und spektral aufgelöste Atmosphärenbeobachtungen simultan durchführen und wird regelmäßig von der PTB rekaliert.

## Ozeane: salziger und saurer

Im Rahmen der Klimaforschung messen Wissenschaftler unter anderem zwei wichtige Eigenschaften der weltweiten Ozeane: Salzgehalt und pH-Wert. Mit dem Klimawandel verändern sich Dichte und Salzgehalt (Salinität) des Meerwassers. Dadurch verändern sich möglicherweise (wenn auch sehr langsam) die großen Meeresströmungen wie der Golfstrom, die ihrerseits großen Einfluss auf das Klima haben. Daher müssen Messergebnisse über lange Zeiträume mit möglichst geringen Messunsicherheiten vergleichbar sein. Im Rahmen eines europäischen Forschungsprojekts hat die PTB die Anbindung von Messungen der Salinität an das SI-System mit geeigneten Messunsicherheiten realisiert.

In einem gemeinsamen Projekt mit dem Leibniz-Institut für Ostseeforschung in Warnemünde hat die PTB erstmals die

zumeist in der Ozeanografie eingesetzten optischen Messverfahren auf den metrologisch fundierten, elektrochemisch gemessenen pH-Wert rückführbar gemacht. Dies ermöglicht es, die pH-Werte in den Ozeanen zukünftig vergleichbar messen zu können, was im Hinblick auf die Quantifizierung der durch anthropogenes CO<sub>2</sub> verursachten Versauerung der Weltmeere von besonderem Interesse ist. Diese Versauerung beeinflusst etwa die Diversität von Meeresmikroben oder das Korallenwachstum. Die PTB plant ihre primären Messplätze zukünftig noch weiter auszubauen, z. B. für Anwendungen bei hohem Druck, wie er in großen Meerestiefen herrscht.



Apparatur der PTB zur elektrochemischen Messung des pH-Werts

## Wie feucht, wie warm?

Alle reden von Kohlendioxid – doch schlichtes Wasser in Form von feuchter Luft ist eines der stärksten Treibhausgase, also eine essenzielle Klimavariablen. Die PTB ist entscheidend daran beteiligt, für die Messgröße Wassergehalt bzw. Gasfeuchte das metrologische Prinzip der Rückführung breit einzuführen und somit die Messungen verlässlicher und vergleichbarer zu machen.



Das Forschungsflugzeug HALO des DLR über dem Regenwald. Mit an Bord: das hochgenaue Feuchtemessgerät HAI aus der PTB, das speziell für den Einsatz in Flugzeugen und in Wolken entwickelt worden ist.

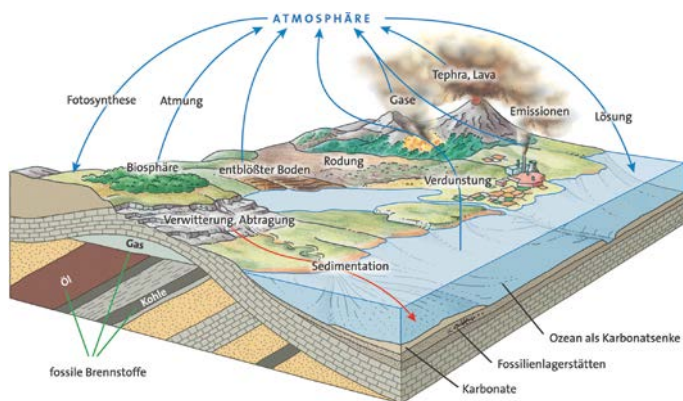
Sie hat mit den Laserhygrometern HAI und SEALDH – zusätzlich zu ihrem bestehenden Primärnormal – die weltweit ersten flugtauglichen, kalibrationsfreien H<sub>2</sub>O-Transferrnormale entwickelt und sie erfolgreich auf renommierten Forschungsflugzeugen wie HALO oder LEARJET eingesetzt. Mit HAI wurde ein extrem schnell arbeitendes Hygrometer speziell für den Einsatz in Flugzeugen und in Wolken entwickelt. Es kann als weltweit einziges Gerät zeitgleich und präzise ermitteln, welcher Anteil des Wassers in der Atmosphäre kondensiert als Tropfen oder Eis vorliegt und welcher als Dampf. Diese Daten helfen, natürliche und menschengemachte Wolkenbildungsprozesse und deren Einfluss auf das Klima besser zu verstehen. Die PTB arbeitet (über die strahlungsthermometrischen und radiometrischen Methoden der Fernerkundung hinaus) an Messkonzepten, um mittels hochaufgelöster Molekülspektren die Temperaturen von Atmosphärenschichten besser als bisher bestimmen zu können.

## Menschliche Einflüsse im Kreislaufsystem der Klimagase

Der Mensch stört den natürlichen Kreislauf der Klimagase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O und H<sub>2</sub>O). Wie hoch der anthropogene Anteil konkret ist, lässt sich mit verschiedenen Methoden herausfinden. Bei der Messung von Isotopensignaturen nutzt man aus, dass das Verhältnis verschiedener Isotope eines Elementes sich je nach ihrer Herkunft unterscheiden kann. So hat das bei Verbrennungsprozessen von Pflanzen und fossilen Brennstoffen entstehende CO<sub>2</sub> ein anderes Verhältnis zwischen <sup>12</sup>C und <sup>13</sup>C als das CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre. Bei Methan (einem 30-mal stärkeren Klimagas als CO<sub>2</sub>, das aus auftauendem Permafrost, der Erdgasförderung, Lecks in Erdgas-Pipelines und der intensiven Viehhaltung stammt), finden sich unterschiedliche C/H-Isotopensignaturen. Analog ist es bei den N-Isotopen in N<sub>2</sub>O, das vor allem durch intensive Landwirtschaft und Verkehrsemissionen beeinflusst wird, oder bei der H/D- und <sup>16</sup>O/<sup>18</sup>O-Isotopenverteilung in Wasser. Letztere ist ein wichtiger Indikator für Transportprozesse zwischen Ozeanen, Atmosphäre und Biosphäre sowie für Kondensationsprozesse in Wolken. Um solche Isotopenverhältnisse auf globalem Maßstab langfristig und hochgenau zu bestimmen, braucht man neue Referenzmaterialien und primäre Isotopenverhältnismessverfahren für die unterschiedlichen Moleküle. Außerdem müssen optische Transferrnormale für die Rückführung und die Durchführung mobiler Isotopenmessungen (etwa mit Flugzeugen, Ballons oder in entlegenen Messorten) entwickelt oder verbessert werden. Unter Feldbedingungen werden Isotopenverhältnisse derzeit vor allem mit optisch-spektroskopischen Methoden (Laser oder FTIR) ermittelt, was einen soliden metrologischen Anschluss der optischen Messverfahren an die meist nur stationär betriebenen massenspektrometrischen Skalen erfordert. Die PTB arbeitet intensiv mit beiden Methoden. In EMPIR-Projekten wie SIRS und STELLAR zielen ihre Arbeiten auf die Unterstützung des Global Atmosphere Watch Programme der WMO und des europäischen Metrologienetzwerks (EMN) „Climate and Ocean Observation (COO)“.

Ein weiteres innovatives Verfahren ist die Radon-Tracer-Methode. Sie nutzt das natürlich vorkommende radioaktive Edelgas-Isotop <sup>222</sup>Radon, das aus dem Boden stammt und daher in tieferen

Schichten der Atmosphäre in höherer Konzentration zu finden ist als in höheren Schichten. Mittels  $^{222}\text{Rn}$  lassen sich daher Daten für Transportrechnungen (etwa von  $\text{CO}_2$ ) und zur Validierung von Modellen für Ausbreitungsrechnungen in der Atmosphäre gewinnen. Dadurch sind zukünftig Daten für Klimamodelle mit kleineren Unsicherheiten verfügbar, und eine Unterscheidung zwischen natürlichen und anthropogenen Treibhausgasen wird möglich. Das von der PTB koordinierte europäische Modellprojekt „traceRadon“ bietet dafür zum ersten Mal einen Anschluss an das SI für die weltweit schnell wachsende Zahl der Anwender von Flussmessungen wie ICOS oder ANSTO. Darüber hinaus stellen Außenluftmessungen von  $^{222}\text{Radon}$  eine wertvolle Datenbasis dar, um den Strahlenschutz der europäischen Bevölkerung effizient zu verbessern, ohne die Kosten in die Höhe zu treiben.



Der weltweite Kreislauf sorgt für einen steten Wechsel zwischen gebundenem und wieder freigesetztem Kohlendioxid. (Abb.: Ernst Klett Verlag, Stuttgart, Wolfgang Schaar, Grafing, nach Barbara W. Murck et al.: Dangerous Earth. John Wiley & Sons Inc. 1997, S. 25.)

## Klima / Umwelt

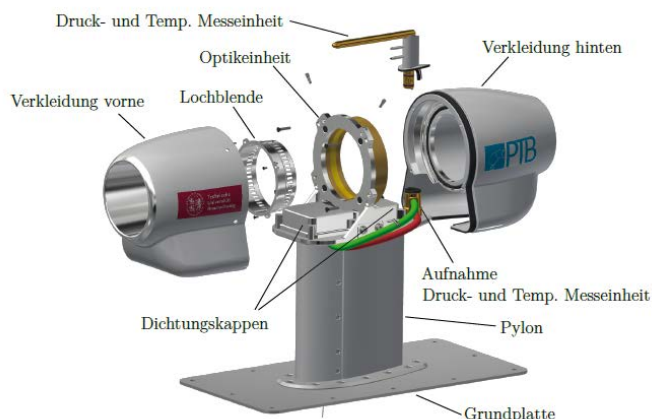
### Alles im Fluss: Globale Stoffflüsse – lokale Quellen und Senken

Wer Klimawandel und Auswirkungen der Umweltverschmutzung verstehen will, darf nicht nur den Istzustand erfassen, indem er etwa die lokale  $\text{CO}_2$ -Konzentration misst. Nötig ist

eine Quantifizierung der Quellen und Senken der problematischen Stoffe: von Wasserdampf, Treibhausgasen ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), Schadstoffen wie etwa  $\text{N}_2\text{O}$  aus der Düngung,  $\text{NH}_3/\text{CH}_4$  aus der intensiven Nutztierhaltung oder  $\text{NO}_x$  und Aerosolen/Feinstaub aus dem Verkehr. Es muss gemessen werden, wieviel Substanz wie schnell und wo zwischen Luft/Boden/Ozean/Biosphäre ausgetauscht wird, wie groß diese Stoffflüsse sind und wie sie sich verändern. Essenzielles Werkzeug hierfür ist die Eddy-Covarianz (EC), bei der gleichzeitig und sehr schnell die Fluktuation von Stoffkonzentration, Temperatur und der vertikalen Windgeschwindigkeit bestimmt wird. Hierfür entwickeln PTB und TU Braunschweig ein neues, sehr schnelles Transfernormal-Laserhygrometer für den Einsatz auf ihrem neuen Forschungsflugzeug. In Kooperation mit weiteren Partnern soll beispielsweise untersucht werden, wie sich der Rückgang des polaren Meereises auf den arktischen Wärmehaushalt auswirkt. Auch Projekte zur  $\text{CH}_4$ -Freisetzung aus Deponien oder Mooren sind geplant. Weitere Methoden zur Bestimmung von Stoffflüssen zielen auf die Erfassung räumlicher Konzentrationsgradienten mittels spektroskopischer Methoden in Kombination mit dedizierten Gasfreisetzungs- und -erfassungstudien, wie sie im Rahmen der IMPRESS- und IMPRESS2-Projekte auf der 600-m-Referenz-Messstrecke der PTB untersucht wurden. Sie sollen noch weiterentwickelt werden.

### „Dicke Luft“ in den Städten

Schadstoffe etwa aus Autoabgasen wie Stickoxide oder Rußteilchen/Feinstaub schaden der Gesundheit des Menschen, der Umwelt und dem Klima. Die PTB sorgt dafür, dass Messgeräte zur Abgasmessung oder zur Überwachung der Luftreinheit verlässlich messen. Sie arbeitet beim Thema Verkehrsemissionen eng mit den Ministerien für Verkehr und Umwelt sowie den Landeseichämtern zusammen und beim Thema Umweltverschmutzung mit dem Umweltbundesamt, das das deutsche EU-Referenzlabor für die Luftschadstoffüberwachung ist. Die Richtlinie über Luftqualität und saubere Luft in Europa (2008/50/EG) fordert die Überwachung prioritärer Luftschadstoffe in Europa. Weil neue Schadstoffe als prioritär eingestuft werden bzw. Grenzwerte (etwa für  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  oder Feinstaub) strenger definiert werden, steht die PTB vor immer neuen messtechnischen Herausforderungen. So ist sie etwa am Projekt „MessBAR“ beteiligt, das vom Bundesministerium für



Transfernormal-Laserhygrometer für Flussmessungen auf dem neuen Forschungsflugzeug der TU Braunschweig (Abbildung: Felix Witt, TU Braunschweig)



Der Quadcopter ALICE nimmt Luftproben, die dann im Labor weiter analysiert werden können. Zusätzlich misst er Temperatur- und Feuchteprofile bis in 1000 m Höhe. (Foto: Astrid Lampert, TU Braunschweig)

Verkehr und digitale Infrastruktur finanziert wird. Ausgangspunkt dabei ist, dass die vertikale Schadstoffverteilung momentan nur mit hohem Aufwand bestimmt werden kann, aber eine wichtige Rolle für den Transport und die Verteilung von Partikeln und anderen Luftschadstoffen wie Stickstoffdioxid spielt. Um die Vorhersagen zu verbessern, Transportmodelle zu validieren und Maßnahmen zur Schadstoffreduzierung zu überprüfen, entwickeln und validieren TU Braunschweig, PTB, Umweltbundesamt und weitere Partner in MessBAR ein fliegendes, drohnenbasiertes Messsystem. Drei Quadrocopter werden mit miniaturisierter Sensorik für Feinstaub, Ruß, Stickoxide und Ozon ausgerüstet und sollen die räumlich aufgelöste 3D-Schadstoffbelastung im Umfeld von Städten und Ballungsräumen bis zur Höhe von einem Kilometer bestimmen.

## Umwelt

### Was kommt aus dem Auspuff?

Dieselskandal, Stickoxidgrenzwerte, Fahrverbote in deutschen Innenstädten – all dies sind Themen, die aktuell für viele Diskussionen sorgen. Die PTB überwacht in gesetzlichem Auftrag Schadstoffe in Fahrzeugabgasen, sie führt Konformitätsprüfungen für Abgas- und Partikelmessgeräte durch und kalibriert Messgeräte sowie Transfornormale für Eichbehörden und Prüfinstitutionen. Ein Schwerpunkt der PTB liegt auf der Entwicklung primärer und sekundärer Partikelanzahlnormale, um die Rückführung von (Nano-)Partikelzahlmessungen auf international anerkannte Normale sicherzustellen. In naher Zukunft wird die rückführbare Messung der Partikelzahlkonzentration in der Abgasuntersuchung (AU) gesetzlich vorgeschrieben; dafür errichtet die PTB mehrere Aerosolforschungs- und Prüflabore. Auch die rückgeführte Messung von Stickoxiden wird intensiv vom Gesetzgeber diskutiert. Auf eine Einführung einer NO<sub>x</sub>-AU bereitet sich die PTB daher ebenfalls vor. Außerdem betreibt sie Forschung zu einer verbesserten Rückführung bei mobilen Emissionsmessungen (RDE, PEMS) im Rahmen der herstellerseitigen KFZ-Zulassung. Abgasmessungen, die auch im realen Fahrprozess oder in der KFZ-Werkstatt Grenzwerte verlässlich (sprich: SI-rückgeführt) messen und die nötigen Spezifikationen einhalten, sind für die AU und zukünftig auch für die KFZ-Typprüfung unerlässlich. Dem trägt die PTB Rechnung als Initiatorin oder Koordinatorin verschiedener europäischer Metrologie-Forschungsprojekte wie „PartEmission“, „Autopart“ oder „METROPEMS“.



Das neue Laborgebäude der PTB für die Baumusterprüfung von Kfz-Abgasmessgeräten

### Schadstoffe in Wasser und Boden

Die EU sorgt sich sehr um ihre Gewässer. Die Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EC und die Meeresstrategie-Rahmenricht-

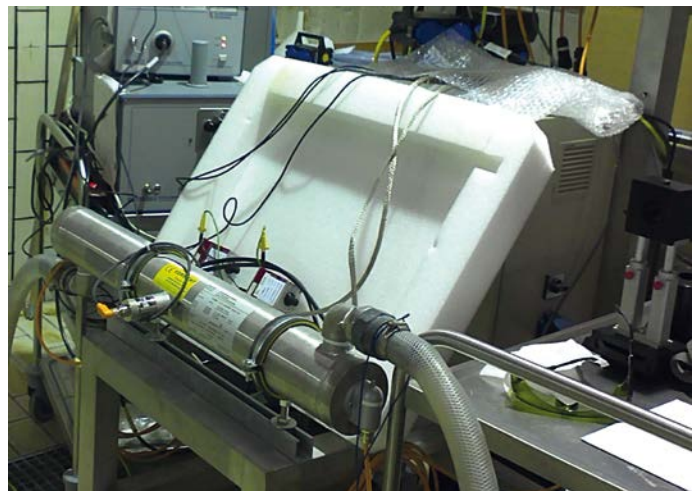
linie 2008/56/EG nennen prioritäre Messgrößen, relevante Messbereiche und Messunsicherheiten und fordern eine Qualitätssicherung gemäß ISO 17025. Im Rahmen des Netzwerkes für Metrologie in der Chemie in Deutschland halten die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) und die PTB die nötigen Normale bereit und organisieren Ringvergleiche. Bei der PTB liegt der Schwerpunkt auf den Schwermetallmessungen. Dafür werden Monoelementlösungen als Referenzlösungen für die SI-rückgeführte Bestimmung von Schwermetallen (Cd, Ni, Pb, Hg) in Trinkwasser als nationale Normale hergestellt. Für die Messung weiterer Schadstoffe müssen noch Strukturen aufgebaut werden; dies gilt etwa für Arzneimittelrückstände, um dem wachsenden Problem der Antibiotikaresistenzen Rechnung zu tragen. Sinnvoll wäre hier ein nationales Referenzlabor, wie es das Umweltbundesamt für die Luftschadstoffe ist.



Entnahme einer Wasserprobe der Oker in Braunschweig

### UV-Therapie für sicheres Trinkwasser

Trinkwasserdesinfektion mit UV-C-Strahlung spielt eine immer größere Rolle. Durch die enge Zusammenarbeit der PTB mit dem Technologiezentrum Wasser (TZW), die für Deutschland zuständige Zertifizierungsstelle, wurden in den vergangenen Jahren rückführbare Mess- und Kalibriermethoden etabliert und normativ festgehalten (DIN 1294). Die heutige Technologie basiert hierbei vor allem auf dem Einsatz von Quecksilber-



Messkampagne im DVGW-Prüflabor in St. Augustin-Meindorf zur Validierung der von der PTB entwickelten Kalibrierverfahren

dampflampen, deren starke Emissionslinien im UV-C in der Nähe des Maximums der Wirkungsfunktion zur Abtötung von Mikroorganismen liegen. Da aber das zum Thema Quecksilber vom United Nations Environment Programme initiierte und von allen Mitgliedern 2017 ratifizierte Minamata-Übereinkommen ab 2020 weltweite Verbote und Einschränkungen für die Herstellung, den Handel und Verkauf von quecksilberhaltigen Produkten vorsieht, wird in den kommenden Jahren ein Technologiewechsel von Quecksilberdampflampen hin zu LED-basierten energiesparenden UV-C-Strahlern stattfinden. Die neue Technologie erfordert jedoch auch eine umfassende Anpassung der Regularien und Normung und die Gewinnung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse. So muss zum Beispiel die spektrale Wirkungsfunktion zur Abtötung von Mikroorganismen durch UV-Strahlung sehr genau ermittelt werden, um das Spektrum der zu verwendenden UV-LEDs hierauf zu optimieren. Die PTB ist hier wieder mit ihren Partnern und dem DIN dabei, die messtechnischen Rahmenbedingungen strahlerseitig zu definieren.

### Was strahlt denn hier?

Auf ionisierende Strahlung kann man unterschiedlich blicken: entweder auf das strahlende Objekt selbst oder auf die Dosis, die ein Mensch erhält. In beiden Fällen gilt das deutsche Strahlenschutzgesetz und ist die PTB tätig, wenn es um präzise Messungen geht. Im ersten Fall, wenn man das Objekt selbst betrachtet, geht es um die Einheit Becquerel. Die PTB sichert hier die Rückführung von Radioaktivitätsmessungen an Umweltproben aus Deutschland, Europa und darüber hinaus. Neben klassischen Umweltproben (Wasser, Boden, Nahrungsmittel usw.) werden auch Industrieprodukte analysiert (Baustoffe, Rückstände und Abfälle); sowohl künstliche als auch natürliche Radionuklide sind relevant. Der Fokus der PTB liegt auf Kalibriermessungen für Vergleichs- und Referenzmaterialien. Betrachtet man – im zweiten Fall – die Dosis, geht es um die Einheit Sievert. Die PTB ist vor allem bei niedrigen Dosisleistungen tätig. Sie betreibt das Untertagelabor UDO II (mit einer minimalen Ortsdosisleistung), einen Referenzmessplatz auf dem Wasser (ohne die terrestrische Strahlungskomponente) und eine Referenzmessfläche, die zusätzlich zur Ortsdosisleistung die kosmische Strahlung erfasst. Durch vergleichende Messungen können die Komponenten voneinander getrennt werden. Zukünftig wird die PTB unter



Niederdosis-Kalibriereinrichtung im Untertagelaboratorium UDO II der PTB

anderem die Messung alphastrahlender Nuklide in der Umwelt mit optischen Methoden weiterentwickeln, um Kontaminationen aus großen Entfernungen erfassen zu können.

### Zu hell und zu laut

Lichtverschmutzung meint kein schmutziges Licht, sondern die zunehmende Aufhellung des Nachthimmels durch künstliche Lichtquellen. Dies führt zu unnötiger Energieverschwendung und stört den Tag-Nacht-Rhythmus der Lebewesen; zudem gibt es auf der Erde inzwischen nur noch wenige wirklich dunkle, für astronomische Forschung geeignete Orte. Viel Lichtverschmutzung stammt von schlecht konstruierten oder ineffektiven Lichtquellen. Die PTB ist im Bereich der Charakterisierung energieeffizienter Beleuchtungsquellen aktiv. Allgemeingültige Regularien zur Beschränkung von Lichtmissionen gibt es nicht, was auch damit zusammenhängt, dass es weder eine verbindliche Messgröße noch eine rückgeführte Messtechnik zur quantitativen Bestimmung von Lichtverschmutzung gibt. Die PTB arbeitet daran, hier die Metrologie und die Gesetzgebung voranzubringen.



Die Lichtverschmutzung im nächtlichen Europa (Abb: NASA Earth Observatory / NOAA NGDC)

Lärm ist ein wesentlicher Umweltfaktor, den die Weltgesundheitsorganisation zu den führenden umweltbedingten Gesundheitsrisiken zählt. Um ihn bekämpfen zu können, muss man ihn vor Ort quantitativ erfassen. Dafür braucht man Messgeräte, die genaue, verlässliche und auf nationale Normale rückführbare Ergebnisse liefern. Die PTB bietet hierfür umfangreiche Dienstleistungen im Bereich der Kalibrierung von Mikrofonen, Schallpegelmessern und Zusatzgeräten an. Die Baumusterprüfung von Schallmessgeräten sichert das Vertrauen in eine quantitative Analyse. Gleichzeitig forscht die PTB zu Infraschall, der etwa von Windenergieanlagen ausgeht, und zu Luft-Ultraschall. Neben der Entwicklung neuer Mess- und Kalibrierverfahren geht es dabei darum, besser zu verstehen, wie Infra- und Ultraschall wahrgenommen werden.

## Koordinator des Lenkungskreises Umwelt und Klima

Dr. Fabian Plag  
Präsidentialer Stab  
Telefon: (0531) 592-2006  
E-Mail: fabian.plag@ptb.de

## Mitglieder / fachliche Ansprechpartner

Dr.-Ing. Frank Härtig (Lenkungskreis-Vorsitz)  
Vizepräsident der PTB  
Telefon: (0531) 592-2000  
E-Mail: frank.haertig@ptb.de

Dr. Bernd Güttler  
Leiter der Abteilung 3 | Chemische Physik und Explosionsschutz  
Telefon: (0531) 592-3010  
E-Mail: bernd.guettler@ptb.de

Dr. Armin Sperling  
Leiter des Fachbereichs 4.1 | Photometrie und Spektroradiometrie  
Telefon: (0531) 592-4100  
E-Mail: armin.sperling@ptb.de

Dr. Annette Röttger  
Leiterin der Abteilung 6 | Ionisierende Strahlung  
Telefon: (0531) 592-6010  
E-Mail: annette.roettger@ptb.de

Dr. Jörg Hollandt  
Leiter des Fachbereichs 7.3 | Detektorradiometrie und Strahlungsthermometrie  
Telefon: (030) 3481-7369  
E-Mail: joerg.hollandt@ptb.de

Dr. Christian Monte  
Leiter der Arbeitsgruppe 7.32 | Infrarot-Strahlungsthermometrie  
Telefon: (030) 3481-7246  
E-Mail: christian.monte@ptb.de

Die Inhalte dieses Infoblattes und weitere Informationen finden Sie im Internet unter [www.ptb.de](http://www.ptb.de) > Forschung & Entwicklung > Mit Metrologie in die Zukunft > Herausforderung Umwelt und Klima



Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Bundesallee 100  
38116 Braunschweig  
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Telefon: (0531) 592-3006  
E-Mail: [presse@ptb.de](mailto:presse@ptb.de)  
[www.ptb.de](http://www.ptb.de)

Stand: 10/2021



Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt, das nationale Metrologieinstitut, ist eine wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.

Foto Titelseite: ©Pixel-Shot. Adobestock