

DAS LUFTMESSNETZ DES UMWELTBUNDESAMTES

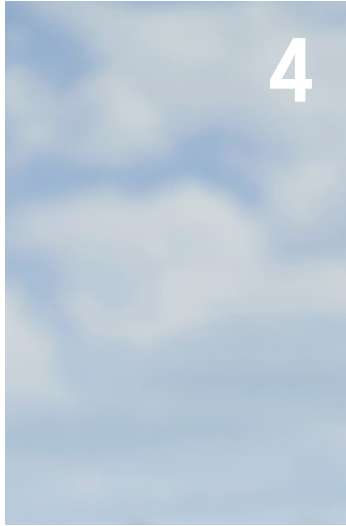
Langzeitmessungen, Prozessverständnis
und Wirkungen ferntransportierter
Luftverunreinigungen

Umwelt
Bundes
Amt 
Für Mensch und Umwelt

DAS LUFTMESSNETZ DES UMWELTBUNDESAMTES

**Langzeitmessungen, Prozessverständnis
und Wirkungen ferntransportierter
Luftverunreinigungen**

INHALT



Der Luft auf der Spur

5 Einleitung



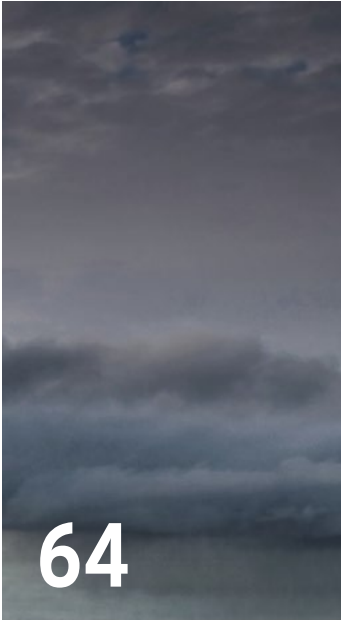
Warum, was und wie misst das UBA- Luftmessnetz?

- 10 Ziele, Aufgaben und Zuordnung
- 14 Historie des UBA-Luftmessnetzes
- 20 Einführung in die Zusammensetzung und die Prozesse der unteren Atmosphäre
- 29 Messebenen und Messprinzipien
- 39 Qualitätssicherung und Qualitätsmanagement
- 42 Beiträge des UBA-Luftmessnetzes zu Forschung, Entwicklung und Methodenharmonisierung
- 44 Datenverwaltung und Datenberichte



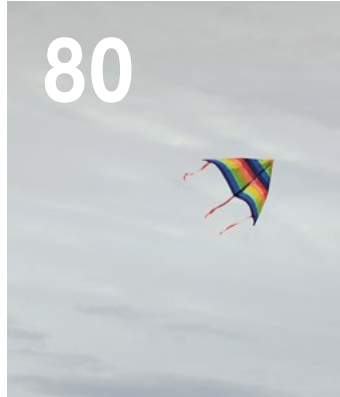
Die Standorte des UBA-Luftmessnetzes

- 48 Allgemeines zu den Messstationen
- 51 Messstation Westerland
- 52 Messstation Zingst
- 53 Messstation Waldhof
- 54 Messstation Neuglobsow
- 55 Messstation Schmücke
- 56 Messstation Schauinsland
- 57 GAW-Globalstation auf der Zugspitze
- 58 Integrated-Monitoring-Untersuchungsgebiet Forellenbach im Nationalpark Bayerischer Wald
- 60 Luftmessnetzzentrale in Langen



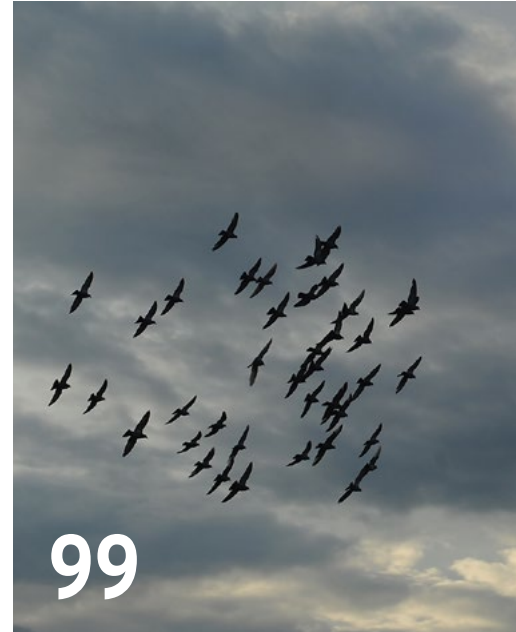
Ausgewählte Ergebnisse aus dem UBA-Luftmessnetz

- 66 Einleitung
- 67 Gasförmige
Luftschadstoffe
- 70 Staub und seine
Zusammensetzung
- 72 Deposition
- 74 Klimawirksame Gase
- 76 Besondere Ereignisse



Gesetze und Abkommen zur Luftreinhaltung

- 82 Die Genfer
Luftreinhaltekonvention
- 89 Das GAW-Programm
der Weltmeteorologie-
organisation
- 94 Das Übereinkommen
zum Schutz der Ostsee
- 95 Das Übereinkommen
zum Schutz des Nord-
ostatlantiks
- 96 EU-Gesetzgebung
zur Luftreinhaltung
- 98 Koordination zwischen
den verschiedenen
Messprogrammen



Anhang

- 100 Abkürzungen und
Erläuterungen
- 106 Ansprechpartner
- 106 Internet-Links
- 108 Impressum
& Bildnachweis

DER LUFT AUF DER SPUR

QUECKSILBER (Hg) 1 ng/m³

AMMONIAK (NH₃) 0,5 µg/m³

STICKSTOFFDIOXID (NO₂) 5 µg/m³



Die Luft ist unseren fünf Sinnen nur eingeschränkt zugänglich. Wir fühlen Luft zwar, wenn sie sich bewegt, können sie aber nicht anfassen. Wir sehen Luft nur indirekt, wenn beispielsweise Rauch oder Wasserdampf sich mit ihr vermischen. Riechen oder gar schmecken können wir Luft nur, wenn bestimmte Geruchsstoffe enthalten sind, und hören können wir Luft manchmal als pfeifenden oder heulenden Wind. Zeigt man einem Kind ein offenes leeres Gefäß und fragt es, was darin sei, ist die Antwort zumeist „nichts“. In vielen Redewendungen kommt dieser „unbegreifliche“ und scheinbar „schwere“ Zustand der Luft zum Ausdruck: Es liegt etwas in der Luft, Probleme lösen sich in Luft auf, manchmal hängen wir in der Luft oder verschaffen uns etwas Luft, einige leben von Luft und Liebe, für Einzelne wird die Luft dünn und nicht selten bauen wir Luftschlösser.

Luft ist lebenswichtig, nicht nur für uns Menschen, auch für Tiere und Pflanzen. Ohne feste Nahrung kann ein Mensch nur wenig mehr als einen Monat überleben, ohne Flüssigkeit wenige Tage. Ohne Atemluft kommen wir aber nur wenige Minuten aus. Dabei steht uns diese überlebenswichtige Luft nicht unbegrenzt zur Verfügung. Astronauten berichten immer wieder darüber, wie ihnen die Atmosphäre als hauchdünne Hülle um die Erde erst beim Blick aus dem All tatsächlich bewusst geworden ist. Wie dünn und verletzbar die Atmosphäre ist, macht folgender Vergleich deutlich: Setzt man die Dicke der wichtigsten Atmosphärenschichten (Troposphäre + Stratosphäre = 40–50 km) ins Verhältnis zum Durchmesser der Erde (12 700 km), dann entspricht dies bei einem auf 50 cm aufgeblasenen Luftballon gerade mal 2 mm.

SPURENGASE

Als Spurengase bezeichnet man alle gasförmigen Bestandteile der Luft, die neben den Hauptbestandteilen Stickstoff und Sauerstoff, lediglich in winzigen Mengen, eben nur in Spuren, vorhanden sind. Ohne dass es eine wissenschaftlich klar definierte Grenze gibt, kann man die 1 %-Marke als grobes Abgrenzungskriterium heranziehen, d.h. alle gasförmigen Bestandteile der Luft mit Mengen unter 1 % sind Spurengase. Im Vergleich untereinander schwanken die Mengen der verschiedenen Spurengase jedoch über viele Größenordnungen (von 1 % = 1 Teil pro hundert bis unter 1 ppt = 1 Teil pro Billion).

Zu den Spurengasen zählen die Edelgase Argon oder Helium ebenso wie die klimawirksamen Gase Kohlendioxid, Methan oder Lachgas sowie die gasförmigen Luftschadstoffe Schwefeldioxid, Stickoxide oder Ozon. Es gibt natürliche Quellen für Spurengase (z.B. Vulkanausbrüche, Pflanzen, Ozeane) und menschliche (z.B. Verbrennungsprozesse, Ausdünstungen). Während bestimmte Spurengase ausschließlich die Folge menschlicher Aktivitäten sind (z.B. Schwefelhexafluorid, Fluorchlorkohlenwasserstoffe), gibt es für andere natürliche und menschliche Quellen (z.B. Schwefeldioxid, Kohlendioxid).

Trotz ihrer geringen Menge haben die Spurengase erhebliche Einflüsse auf atmosphärenchemische Prozesse und den Strahlungshaushalt der Erde. Von Bedeutung ist daher die mittlere Verweildauer (Aufenthaltszeit) von Spurengasen in der Atmosphäre, die von Sekunden bis zu vielen Jahrhunderten reichen kann.

ATMOSPÄRE

Die Erdatmosphäre ist die gasförmige Hülle der Erde. Sie besteht aus mehreren Schichten, von denen hier insbesondere die bodennahe Schicht mit einer Dicke von rund 12 km – die Troposphäre – interessiert. Die Troposphäre ist feucht und turbulent. In ihr spielen sich das Wettergeschehen und der atmosphärische Teil des Wasserkreislaufs ab, auch findet hier der wesentliche Umsatz von Luftverunreinigungen statt.

Die darüberliegende Stratosphäre ist sehr trocken und stabil geschichtet. Sie reicht bis etwa 40 km Höhe. Hierhin gelangen nur einzelne, sehr langlebige Luftverunreinigungen.

Wir Menschen leben am Grund einer Art „Luftozeans“, und so wie die Wassersäule der echten Ozeane mit zunehmender Tiefe einen enormen Druck entwickelt, hat auch die Luftsäule über uns ein Gewicht. Luft ist eben nicht schwerelos – ein Kubikmeter wiegt immerhin 1,29 kg.

Luft besteht zu vier Fünfteln aus Stickstoff und zu einem Fünftel aus Sauerstoff. Daneben kommen in äußerst geringen Mengen Edelgase, Kohlendioxid und andere Gase vor. Den Unterschied zwischen „schlechter Stadtluft“, „gesunder Seeluft“, „deftiger Landluft“ oder „würziger Waldluft“ machen ausschließlich solche Spurenbestandteile aus. Dazu zählen

auch die menschlichen Luftverunreinigungen in Form von Gasen (Schwefeldioxid, Stickoxide, Ozon u. a.) und Feinstaub (Bodenpartikel, Ruß, Flugasche u. a.). Sie stammen aus Verbrennungsprozessen (Kraftwerke, Verkehr, Heizung u. a.), aus der Landwirtschaft oder aus Produktionsprozessen und Produkten. Diese Luftverunreinigungen haben – obwohl oft nur im Millionstel Gramm pro Kubikmeter Luft oder weit weniger enthalten – dennoch Wirkungen auf die menschliche Gesundheit, auf Ökosysteme, auf Böden und Gewässer, auf Gebäude oder auf das Klima.

Andere Umweltmedien wie Gewässer oder Böden sind immer begrenzt. Gewässer besitzen ein begrenztes Einzugsgebiet, Böden sind räumlich begrenzte Körper. Luft hingegen kennt keine Grenzen: in die Atmosphäre emittierte Schadstoffe verbreiten sich grenzüberschreitend, auf der gesamten nördlichen oder südlichen Erdhalbkugel oder sogar global. Der Reinhaltung der lebensnotwendigen Luft kommt daher eine besondere Bedeutung innerhalb des Umweltschutzes, des Schutzes der menschlichen Gesundheit, des Klimaschutzes und des Naturschutzes zu. Unter dem byzantinischen Kaiser Justinian (527–565) entstand in den Jahren 528–534, also etwa in der Übergangsphase von der Spätantike zum Frühmittelalter, das Gesetzeswerk „Corpus Iuris Canonici“. Bereits damals, vor 1 500 Jahren, galt das Gebot „Aerem corrumpere non licet“ (zu Deutsch: Es ist nicht erlaubt, die Luft zu verunreinigen). Holzfeuerungen, aber auch die Brennöfen für die Metall-, Keramik- und Glasproduktion verursachten schon zu damaliger Zeit in Konstantinopel große Mengen an Rauch und Gestank.

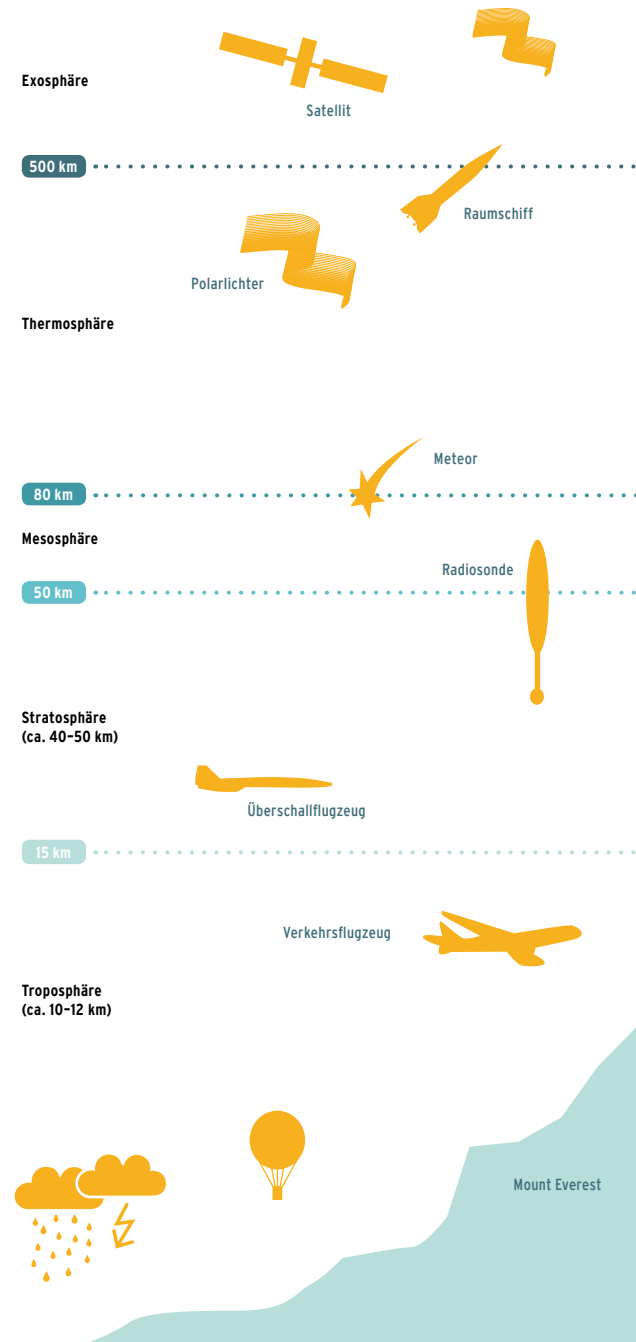
Aus einem einzigen Satz zur Luftreinhaltung haben sich nach 1 500 Jahren umfangreiche Gesetze, Verordnungen, technische Anleitungen und internationale Abkommen entwickelt, um die menschliche Gesundheit, Ökosysteme und das Klima zu schützen. Sie setzen auf der einen Seite auf technische Maßnahmen zur Verringerung oder Vermeidung von Luftverunreinigungen, auf der anderen Seite auf Messungen zu deren Überwachung und Beobachtung.

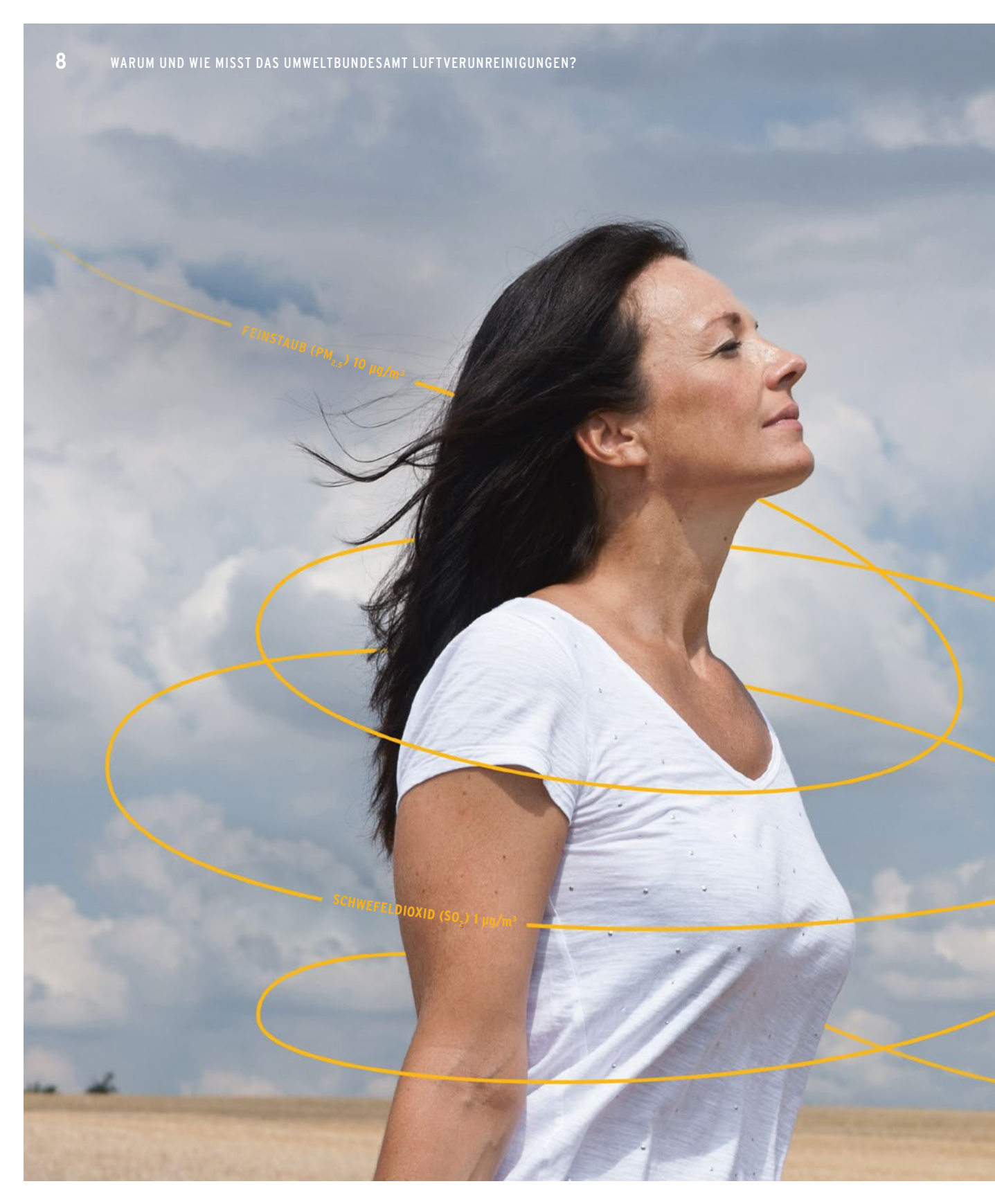
Setzt man die Dicke der wichtigsten Atmosphärenschichten ins Verhältnis zum Durchmesser der Erde, entspricht dies bei einem auf 50 cm aufgeblasenen Luftballon gerade mal 2 mm.

Im Gesetz über die Errichtung eines Umweltbundesamtes (vom 22. Juli 1974, zuletzt geändert am 01. Mai 1996) ist dem Umweltbundesamt in § 2 die „Messung der großräumigen Luftbelastung“ explizit als Aufgabe zugewiesen. Das Umweltbundesamt betreibt deshalb ein Luftmessnetz, das aus sieben Messstationen besteht, die über ganz Deutschland verteilt sind. Dabei erfüllt das UBA-Luftmessnetz seine Messaufgaben, die aus internationalen Abkommen und aus der EU-Gesetzgebung resultieren, vorrangig in ländlichen Reinluftgebieten. Dieses Luftmessnetz des Umweltbundesamtes stellen wir Ihnen in der vorliegenden Broschüre vor.

ABBILDUNG 1

AUFBAU DER ATMOSPHÄRENSCHICHTEN





FEINSTAUB (PM₁₀) 110 µg/m³

SCHWEFELDIOXID (SO₂) 1 µg/m³

WARUM UND WIE MISST DAS UMWELTBUNDESAMT LUFTVERUNREINIGUNGEN?

ISOPHIE 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

The image is a full-page background photograph of a landscape. In the foreground, there is a flat, light-brown field. In the middle ground, a dark green line of trees is visible against the sky. The sky is blue with scattered white and grey clouds. Overlaid on the left side of the image are several thin, yellow, curved lines that represent isophytes of air pollution. One of these lines is labeled 'ISOPHIE 0.5 μg/m³'. The lines curve upwards and to the right, indicating a gradient of pollution levels across the landscape.

Ziele, Aufgaben und Zuordnung

Die Überwachung der Luftqualität in Deutschland ist vorwiegend Aufgabe der Bundesländer. Sie wird meist in Städten und in der Nähe von Emissionsquellen durchgeführt. Hierbei geht es vorrangig darum, die Bevölkerung vor gesundheitlichen Schäden durch Luftschadstoffe zu schützen sowie die Umwelt insgesamt.

Beim UBA-Luftmessnetz interessieren insbesondere die Luftverunreinigungen, die über weite Entfernungen, grenzüberschreitend und global transportiert werden.

Somit betreiben sechzehn Bundesländer in Deutschland jeweils ein eigenes Luftmessnetz. Warum betreibt das Umweltbundesamt (UBA) – eine Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) – ein zusätzliches siebzehntes Luftmessnetz in Deutschland? Die Antwort ist einfach: Weil sich die Messaufgaben, Messinhalte und Zielsetzungen grundlegend unterscheiden (**Tabelle 1**).

Beim UBA-Luftmessnetz interessieren insbesondere die Luftverunreinigungen,

die über weite Entfernungen, grenzüberschreitend und global transportiert werden, weswegen das Umweltbundesamt seine Messstationen fernab von wesentlichen Schadstoffverursachern betreibt. Denn auch weit entfernt von sog. Emittenten, in Reinluftgebieten, machen sich Schadstofftransporte über den Luftpfad auch weit über Landes- und Kontinentgrenzen hinweg bemerkbar. Die Erfassung solcher Ferntransporte ist wichtig für die Erfolgskontrolle internationaler Abkommen zur Luftreinhaltung.

Die Überwachung der Luftqualität geschieht in allen Mitgliedstaaten der EU auf einheitlicher gesetzlicher Grundlage – den EU-Luftqualitätsrichtlinien (derzeit: „Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa“ und „Richtlinie 2004/107/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 über Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft“). Sie regeln u. a., wo Messstellen zu betreiben sind, welche Luftverunreinigungen mit welchen Methoden und welcher zeitlichen Auflösung zu messen sind sowie deren Grenz- oder Zielwerte. Die EU-Richtlinien wurden als 39. Verordnung zur Durchführung



EMISSION / IMMISSION

Die Emission (von lat. *emittere* = Herausschicken, herauslassen u. a.) von Luftschadstoffen ist ihr Ausstoß. Typische Emissionsquellen sind Schornstein, Kamin oder Auspuff. Die Immission (von lat. *immittere* = hineinschicken, hineinleiten u. a.) ist der Eintrag von Luftschadstoffen bzw. der eingetragene Luftschadstoff selbst. Der Unterschied ist also die Sichtweise: Die Emission ist der Blick aus dem Schornstein, die Immission auf die Luft um den Schornstein. Das eine ist die Ursache, das andere die Folge. So wie ein Emigrant nicht aus einem Land emigrieren kann, ohne in ein anderes Land zu immigrieren, so gibt es keine Emission ohne Immission.

Maßnahmen gegen Luftverunreinigungen setzen sowohl emissionsseitig an (z. B. Katalysator) als auch immissionsseitig (z. B. Grenzwerte). Das Luftmessnetz des Umweltbundesamtes beschäftigt sich ausschließlich mit Immissionen und deren Auswirkungen.

DEPOSITION



Die Deposition ist die Ablagerung von Luftverunreinigungen auf Oberflächen, beispielsweise auf Böden, Gewässern oder Pflanzen, und der wichtigste Prozess zu ihrer Entfernung aus der Atmosphäre. Man gibt sie an als Menge pro Fläche und Zeit, z. B. „Gramm pro Quadratmeter und Jahr“ oder „Kilogramm pro Hektar und Jahr“. Die Depositionsmechanismen sind vielfältig, am wichtigsten sind die nasse Deposition mit dem Niederschlagswasser und die gasförmige Deposition.

Die Deposition ist zum einen zwar ein erfreulicher Prozess, denn sie säubert die Luft, zum anderen kann sie jedoch für Böden, Gewässer, Pflanzen und Ökosysteme einen unerfreulichen Schadstoffeintrag darstellen – und das auch weit entfernt von den Quellen. Beispiele für Folgen der Deposition sind:

- ▶ die Schädigung von empfindlichen Wald- und Offenlandökosystemen,
- ▶ Gewässer- und Bodenversauerung, flächendeckende Spuren von POP (Persistent Organic Pollutants = Persistente Organische Verunreinigungen) in Böden,
- ▶ diverse Schadstoffe (POP, Schwermetalle) in völlig abgelegenen Gegenden wie Arktis und Antarktis.

des Bundesimmissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) in deutsches Recht umgesetzt. Ziel ist die Verringerung schädlicher Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt insgesamt.

Unabhängig davon hat Deutschland verschiedene internationale Abkommen zur Luftreinhaltung, zum Klimaschutz und zum Meeresschutz unterzeichnet. Einige dieser Abkommen verpflichten die Mitgliedstaaten zu Messungen weiträumig transportierter Luftverunreinigungen sowie deren Deposition und Wirkungen, in unterschiedlichem Ausmaß und mit unterschiedlicher Verbindlichkeit. Gesetzlich verpflichtend sind in den erwähnten EU-Luftqualitätsrichtlinien geforderte übergeordnete Hintergrundmessungen an wenigen ausgesuchten Standorten mit dem Ziel, die Prozesse besser zu verstehen. (Ausführlicher zu den Gesetzen und Abkommen zur Luftreinhaltung S. 82 ff). Die Durchführung dieser Art von Messungen ist eine Bundesaufgabe, die das Luftmessnetz des Umweltbundesamtes erfüllt. Im „Gesetz über die Errichtung eines Umweltbundesamtes“ vom 22.07.1974 (zuletzt geändert 02.05.1996) ist daher die „Messung der großräumigen Luftbelastung“ als spezielle UBA-Aufgabe explizit aufgeführt.

TABELLE 1

VERGLEICH DER LUFTMESSNETZE DER BUNDESLÄNDER UND DES UMWELTBUNDESAMTES

	LUFTMESSNETZE DER BUNDESLÄNDER	LUFTMESSNETZ DES UMWELTBUNDESAMTES
AUFGABEN UND GESETZLICHE GRUNDLAGE(N)	► ÜBERWACHUNGSVERPFLICHTUNG aus EU-Gesetzgebung und deren Umsetzung in deutsches Recht (Bundesimmissionsschutzgesetz = BImSchG) inkl. zugehöriger Verordnungen und Verwaltungsvorschriften (z.B. TA Luft)	► MESSAUFTRÄGE aus internationalen Protokollen und Abkommen: 1. Genfer Luftreinhaltekonvention (CLRTAP) der UN-Wirtschaftskommission für Europa (UN-ECE): • EMEP-Messprogramm • Integrated Monitoring-Messprogramm 2. Global Atmosphere Watch (GAW) der UN-Weltmeteorologieorganisation (UN-WMO) 3. Erfassung der Stoffeinträge in Nord- und Ostsee aus der Luft im Rahmen der Übereinkommen zum Schutz der Ostsee (HELCOM) und zum Schutz des Nordostatlantiks (OSPAR) ► HINTERGRUNDMESSVERPFLICHTUNGEN aus EU-Gesetzgebung und deren Umsetzung in deutsches Recht (Bundesimmissionsschutzgesetz = BImSchG) • 4. Tochterrichtlinie • EU-Luftqualitätsrichtlinie ► UBA-ERRICHTUNGSGESETZ
ZIEL DER MESSUNGEN	► LOKALE UND REGIONALE GESETZLICHE ÜBERWACHUNG DER LUFTQUALITÄT zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Ökosysteme ► ANLAGENBEZOGENE MESSUNGEN zur Ermittlung der Vor- und Zusatzbelastung im Rahmen von Genehmigungsverfahren	► MESSUNG, ÜBERWACHUNG UND DOKUMENTATION VON GLOBAL, WEITRÄUMIG UND GRENZÜBERSCHREITEND TRANSPORTIERTEN LUFTVERUNREINIGUNGEN (inkl. klimawirksamer Kenngrößen) sowie der Deposition und Wirkungen durch Langzeitmessungen ► PROZESSVERSTÄNDNIS UND WISSENSCHAFTLICHE UNTERSTÜTZUNG bei der Vorbereitung und Erfolgskontrolle von Luftreinhaltemaßnahmen (Emissionsminderung, Klimaschutz)
LAGE DER MESSSTELLEN	ÜBERWIEGEND QUELLENNAH Ballungsräume, Anlagen	MÖGLICHSST QUELLENFERN „Reinluftgebiete“
MESSSTELLEN	ca. 640 Messcontainer, ohne Personal vor Ort	sieben Messstationen, mit Personal vor Ort
MESSPARAMETER	gesetzlich geregelte Parameter	ungeregelte und gesetzlich geregelte Parameter

Historie des UBA-Luftmessnetzes



Ansaugstutzen und Messeinrichtungen auf dem Dach der Messstation Schauinsland im Schwarzwald

1960

Die Ursprünge des Luftmessnetzes des Umweltbundesamtes sind älter als das Umweltbundesamt selbst. Anfang der 1960er Jahre begann man sich in Deutschland verstärkt für die Spurenstoffkonzentrationen in der Luft außerhalb der Städte und Ballungsräume zu interessieren.

Ziel war es, die Zusammensetzung unbelasteter Luft (sog. „Normalluft“) kennenzulernen, um die Luft in Gebieten mit erhöhten Verunreinigungen bezüglich ihrer Wirkungen auf Mensch und Umwelt besser bewerten zu können. Unter „Normalluft“ verstand man damals die über einen größeren Raum und längere Zeit repräsentative Luftzusammensetzung.

1965

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens, finanziert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), installierte das Institut für Meteorologie und Geophysik der Goethe-Universität in Frankfurt am Main ab dem Jahr 1965 erste Messstellen, fünf in ländlichen Gebieten, zwei in städtischen. Zwei dieser ländlichen „Urmessstellen“, Westerland und Schauinsland, sind noch heute Stationen des UBA-Luftmessnetzes. Im Institutsgebäude der Frankfurter Goethe-Universität entwickelte sich zudem parallel eine Betriebs- und Entwicklungszentrale (Pilotstation), welche später mit den DFG-Messstellen zusammengeführt wurde und die me-

1974

thodischen Grundlagen für den Betrieb der Messstellen sowie für die Auswertung und Interpretation der Messdaten entwickelte. Nach acht Jahren war eine Finanzierung durch Forschungsgelder der DFG kaum mehr möglich; gleichzeitig erkannte die Politik die Notwendigkeit von Hintergrundmessungen in der Luft als staatliche Aufgabe. Es erfolgte deshalb 1973 zunächst eine organisatorische Zuordnung des zu Forschungszwecken eingerichteten Luftmessnetzes und seiner Pilotstation zur damaligen „Bundesstelle für Umweltangelegenheiten“ und 1974 die Eingliederung in das neu gegründete Umweltbundesamt. Im Sommer 1984 erhielt die Pilotstation neue Büros und Laboratorien im Gebäude des Deutschen Wetterdienstes in Offenbach.

1980

Wie wertvoll langfristig ermittelte Daten zur Luftqualität sind, zeigte sich zu Beginn der 1980er Jahre in der Debatte um die Ursachen der damals „neuartigen“, weil klassisch nicht erklärbaren, Waldschäden („Waldsterben“). Für die beiden am meisten diskutierten Ursachenkomplexe, den Säuregehalt des Niederschlags („Saurer Regen“) und die fotochemischen Oxidantien mit Ozon als Leitkomponente („Sommer-Smog“) konnte das UBA-Luftmessnetz belastbare Messwerte zur Verfügung stellen und somit zur Versachlichung der Debatte beitragen.

Es zeigte sich auch, dass der vor allem durch hohe Schwefeldioxid- und Staubkonzentrationen charakterisierte Winter-Smog keinesfalls nur auf einheimische Quellen zurückzuführen war, sondern auch grenzüberschreitend transportiert wurde. Um solche Smog-Episoden auch großräumig besser überwachen zu können, war eine höhere zeitliche Auf-

SAURER REGEN

Der saure Regen ist ein klassisches Beispiel für Luftverunreinigung und für die Folgen und Wirkungen des grenzüberschreitenden Ferntransports – aber auch für eine erfolgreiche internationale und nationale Luftreinhaltepolitik.

Den Säuregrad misst man als pH-Wert. Ein pH-Wert von 7 zeigt neutrale Verhältnisse an, je weiter der pH-Wert unter 7 liegt, desto saurer ist es. Ein Anstieg des Säuregrades um eine pH-Einheit, z. B. von 6 auf 5 oder von 4,5 auf 3,5, bedeutet eine Verzehnfachung an säurebildenden Ionen. Natürliches Regenwasser hat einen pH-Wert von rund 5,5, ist also leicht sauer. Das liegt an den natürlichen Gehalten von Kohlendioxid oder Schwefeldioxid in der Luft, die mit Regenwasser zu Kohlensäure oder Schwefelsäure reagieren. In den 1970er und Anfang der 1980er Jahre sank der pH-Wert des Niederschlagswassers auf unter 4,5 – teilweise sogar auf unter 4, was mindestens das 10- bis 30-fache an Säurebildnern bedeutet. Verantwortlich dafür waren hauptsächlich die Luftschadstoffe Schwefeldioxid (überwiegend aus der Kohleverbrennung) und Stickoxide (vorwiegend aus Verbrennungsmotoren), welche mit Regenwasser zu Schwefel- bzw. Salpetersäure reagieren.

Die Wirkungen des sauren Regens sind sehr verschieden. Während kalkhaltiger Untergrund die Säure im Regen zu neutralisieren vermag (z. B. Muschelkalk, Jurakalke), ist dies bei silikatischem Untergrund (z. B. Granit, Gneis, Sandstein) weit weniger der Fall. In Skandinavien wurde daher eine extreme Versauerung der Seen beobachtet mit zum Teil tödlichen Folgen für die Lebewesen. In Deutschland versauerten in kalkarmen Regionen die Böden. Aluminium, Schwermetalle und Nährstoffe lösen sich dann besser und wandern mit dem Sickerwasser ins Grundwasser und gefährden unsere wichtigste Trinkwasserressource. Die im Boden ausgeschwemmten Nährstoffe fehlen den Bäumen, welche Mangelerscheinungen zeigen („Waldsterben“). Auch Gebäude aus Natursteinen (z. B. gotische Kathedralen) leiden erheblich. Gesetzliche Maßnahmen zur Luftreinhaltung (Entschwefelung der Rauchgase von Großfeuerungsanlagen, Katalysatoren in Kfz u. a.) haben zu einer erheblichen Verbesserung der Situation geführt. Der pH-Wert des Regenwassers liegt heute wieder um oder knapp über 5.

1982

1990

lösung, als sie Tagesmittelwerte liefern, erforderlich. Daher wurden die Messstationen und einige weitere Messstandorte in Containern mit kontinuierlich registrierenden Messgeräten ausgestattet. Ein großer Teil der Schadstoffe bei winterlichen Smog-Episoden wurde aus dem benachbarten östlichen Ausland in die Bundesrepublik importiert, zu dem zu dieser Zeit noch die DDR gehörte. Die DDR verfügte zwar über eine größere Zahl von Messstellen, diese überwachten jedoch häufig nur den Schadstoff Schwefeldioxid, zudem waren deren Daten nicht zugänglich. Ab 1982 betrieb die DDR im Rahmen ihrer EMEP-Messverpflichtungen zusätzlich zwei Hintergrund-Messstationen, eine davon in Neuglobsow am Stechlinsee, an denen neben Schwefeldioxid auch Ozon, Staub (Masse, Sulfat Blei) und die nasse Deposition (pH-Wert, Leitfähigkeit, An- und Kationen) bestimmt wurden.

Im Rahmen der technischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Umweltschutzes stellte das Bundesumweltministerium (BMU) der DDR Messeinrichtungen zum Aufbau von zwölf Luftmesscontainern an Stationen des Meteorologischen Dienstes der DDR zur Verfügung. Das Konzept dieser zwölf DDR-Stationen entsprach dem des UBA-Luftmessnetzes, sodass sich beide Systeme nach der Wiedervereinigung ohne Probleme zusammenführen ließen. Zusätzlich wurden im Beitrittsgebiet drei mit Personal ausgestattete Messstationen vom UBA-Luftmessnetz übernommen (Zingst, Neuglobsow, Schmücke). Diese beträchtliche Erweiterung war Ende 1991 weitgehend abgeschlossen.

Es war selbstverständlich, dass die aus der Genfer Luftreinhaltekonvention resultie-

1995

renden deutschen Messaufgaben, speziell die aus dem EMEP-Protokoll, dem Luftmessnetz des Umweltbundesamtes übertragen wurden. Auch wurden die beiden deutschen Integrated Monitoring-Untersuchungsgebiete in räumlicher Nähe zu zwei UBA-Luftmessstationen (Neuglobsow und Brotjacklriegel) eingerichtet und von diesen messtechnisch betreut. 1995 beschloss Deutschland zudem, sich am GAW-Programm der WMO mit einer Globalstation zu beteiligen, wodurch das UBA-Luftmessnetz seit 1999 eine zusätzliche bemannte Station im Schneefernerhaus auf der Zugspitze betreibt. In dieser „Hoch-Zeit“ zählte das UBA-Luftmessnetz neun personell besetzte Messstationen, 23 Containerstandorte und die Messnetz-zentrale bzw. Pilotstation in Offenbach.

1998

Verschiedene Gründe führten ab Ende der 1990er Jahre zu einer Verschlankung des UBA-Luftmessnetzes. Zum einen hatte sich die Luftqualität in den neuen Bundesländern nach der Wiedervereinigung deutlich verbessert, weil die veralteten Kraftwerke und Industriestandorte der ehemaligen DDR als Emittenten weggefallen waren. Zum anderen bauten die Bundesländer mit der steten Verschärfung der Luftreinhalte-Gesetzgebung ihre Luftmessnetze immer weiter aus und konnten Messaufgaben übernehmen, die bis dahin nur das UBA-Luftmessnetz durchführte. Schließlich nahmen die Sparzwänge zu. 1998 wurden die Messungen an zunächst neun Container-Standorten eingestellt. Außerdem wurden zwei Außenstellen des UBA im Rhein-Main-Gebiet, die Messnetzzentrale bzw. Pilotstation in Offenbach und die ehemalige Außenstelle des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene in Langen, am Standort Langen zusammengeführt.

OZON

Ozon (O_3) ist ein kurzlebiges, weil sehr reaktionsfreudiges Gas mit ambivalenter Wirkung. Das „gute Ozon“ entsteht in der oberen Atmosphäre, der Stratosphäre. Hier bildet die sog. Ozonschicht in 20 km Höhe einen Schutzschirm, der die Erde vor der energiereichen und hautkrebsverursachenden UV-Strahlung schützt. An den Polkappen ist diese Ozonschicht durch Fluorchlorkohlenwasserstoffe (Spraydosen, Kühlmittel) und Halone (Löschmittel) ausgedünnt („Ozonloch“). Entsprechende Verbote (Montreal-Protokoll) seit 1990 führen sehr langsam zu einer Erholung dieser lebenswichtigen Schicht. Das „böse Ozon“ bildet sich bodennah durch Sonneneinstrahlung aus Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen. In hohen Konzentrationen schädigt es Pflanzen und reizt die menschlichen Atemwege. An heißen sonnigen Sommertagen werden immer noch entsprechende Warnschwellen überschritten. Weil auch Pflanzen natürliche Kohlenwasserstoffe produzieren, kommen die höchsten Ozonwerte nicht unbedingt nur in Städten vor, sondern auch in ländlichen Gebieten.

2004

2004 mussten dann auch zwei personell besetzte „Ur-Messstationen“, Brotjacklriegel im Bayerischen Wald und Deuselbach im Hunsrück, schließen. In den beiden Folgejahren 2005/06 wurden die restlichen 14 Messcontainer abgebaut. Gleichzeitig investierte das UBA an den verbliebenen Standorten intensiv in die Bausubstanz, die Gebäudetechnik, den Arbeits- und Brandschutz und in die Messgerätetechnik. Das war eine Voraussetzung dafür, dass alle Standorte (mit Ausnahme Zugspitze) nach dem EU-EMAS-Umweltmanagement zertifiziert werden konnten – Langen im Jahr 2005, die Messstationen im Jahr 2011.

2011



Das Logo für zertifiziertes Umweltmanagement nach der EU-EMAS-Verordnung zierte die Standorte des UBA-Luftmessnetzes.

Heute besteht das Luftmessnetz des Umweltbundesamtes aus sieben personell besetzten Messstationen sowie der Messnetzzentrale und dem nationalen EU-Referenzlabor (vormals Pilotstation) in Langen. Dazu zu zählen ist auch die vom UBA fachlich betreute Integrated-Monitoring-Messfläche Forellenbach im Nationalpark Bayerischer Wald, die extern betrieben wird.

In mehr als vier Jahrzehnten haben sich die Aufgaben gewandelt. Standen ursprünglich reine Forschungsfragen im Vordergrund, stehen heute mehr und mehr die durch den Bund durchzuführenden Messaufgaben aus internationalen Vereinbarungen und der EU-Gesetzgebung im Mittelpunkt. Die beiden wertvollsten Produkte des UBA-Luftmessnetzes sind kontinuierliche, Jahrzehnte zurückreichende, belastbare Messreihen, die die Erfolge der Luftreinhaltung (z. B. SO_2 , Staub) dokumentieren, aber auch bestehende Probleme (z. B. Anstieg Klimagase) aufzeigen, sowie die dabei gesammelten Kenntnisse in Messtechnik

und Prozessverständnis, die in die Weiterentwicklung der Luftreinhaltung und Messmethodik einfließen.

Seit Beginn der Messungen wurden etwa 130 Millionen Messwerte erhoben. Pro Jahr kommen zur Zeit rund 3,6 Millionen neue hinzu. Sämtliche Werte sind in einheitlichem Format in einer Datenbank abgelegt, zusammen mit Messort, Zeitpunkt oder Zeitspanne der Messung und Messmethode. Sie fließen auch in die zentralen Datenbanken der internationalen Luftreinhaltungsprogramme ein. Diese Datensätze werden für Berichterstattung, Modellrechnungen, allgemeine Information und zur weiteren Politikberatung genutzt.

ABBILDUNG 2

DIE STANDORTE DES UBA-LUFTMESSNETZES

Die Standorte des UBA-Luftmessnetzes sowie die Messstationen seiner Kooperationspartner sind über ganz Deutschland verteilt.

- A** Messstation Melpitz des Leibniz-Instituts für Troposphärenforschung (IfT): Kooperation bei EMEP (Level 3)
- B** Untersuchungsgebiet Forellenbach der Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald: Kooperation beim ICP Integrated Monitoring
- C** Observatorium Hohenpeißenberg des Deutschen Wetterdienstes (DWD): Kooperation bei GAW-Globalstation

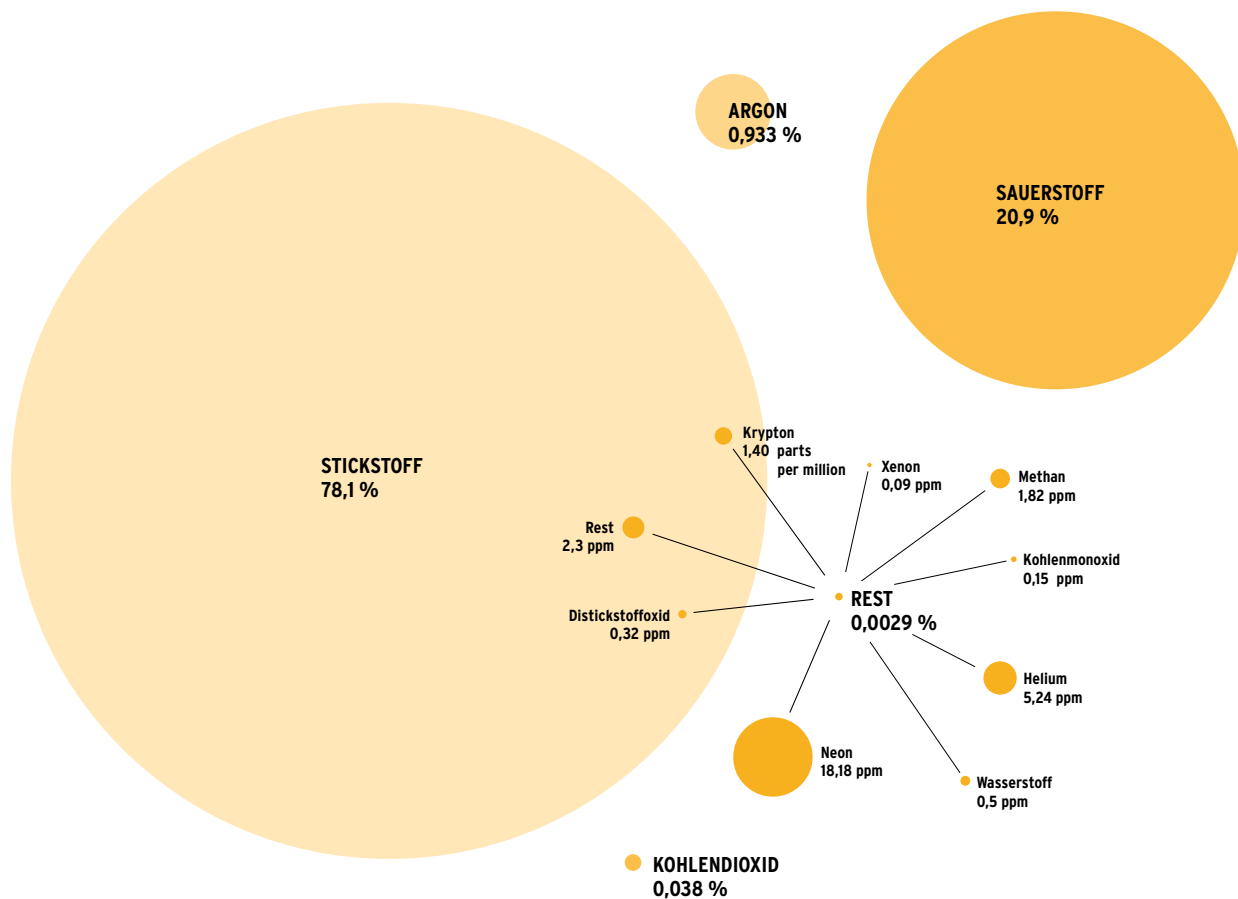
-  UBA-Messnetzzentrale
-  UBA-Messstation
-  Messstation eines Kooperationspartners



Zusammensetzung und Prozesse der unteren Atmosphäre

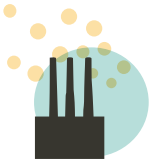
ABBILDUNG 3

DURCHSCHNITTliche ZUSAMMENSETZUNG (IN VOLUMEN-%)
DER TROCKENEN ATMOSPHÄRISCHEN LUFT



Das Gasmisch der atmosphärischen Luft besteht in trockenem Zustand zu etwa 78 Vol.-% aus Stickstoff und zu 21 Vol.-% aus Sauerstoff. Das verbleibende Prozent wird nahezu vollständig von dem natürlichen Edelgas Argon eingenommen und es verbleibt nur ein kleiner Rest von 0,003 Vol.-% für eine Reihe von Spurengasen (**Abb. 3**).

Daneben enthält die atmosphärische Luft noch Wasserdampf (in der Troposphäre durchschnittlich etwa 1 %) und Aerosole, das sind feste und flüssige Partikel, also Staub und Wassertröpfchen. Vorrangig durch menschliche Aktivitäten, aber auch aus natürlichen Quellen, gelangen Verunreinigungen in Form von Gasen und Staub in die Atmosphäre:



VERBRENNUNGSPROZESSE

z. B. Kraftwerke, Verbrennungsmotoren, Heizungen. Typische Emissionen sind Kohlendioxid, Schwefeldioxid, Stickoxide, Feinstaub, Ruß, PAK, Schwermetalle u. a.



LANDWIRTSCHAFT

z. B. Düngung, Tierhaltung, Bodenbearbeitung und Ernte, Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Typische Emissionen sind Stickstoffverbindungen (z. B. Ammoniak, Lachgas), Methan, Staub, Pflanzenschutzmittel u. a.



PRODUKTE

z. B. Emissionen während des Lebenszyklus eines Produktes, d. h. von der Herstellung, über den Gebrauch bis hin zur Entsorgung. Beispiele für „Ausdünstungen“ sind flüchtige organische Verbindungen, Lösemittel, Weichmacher, Kraftstoffe (Betankungsverluste), Kühlmittel, Treibgase, Schwefelhexafluorid, Feinstaub durch Abrieb (z. B. Straßen, Bremsen, Reifen).



NATÜRLICHE QUELLEN

z. B. Vulkane (Staub, Schwefeldioxid), nackte Böden und Wüsten (mineralische Staubpartikel durch Aufwirbelung und mechanischen Abrieb), Pflanzen (biologische Staubpartikel durch mechanischen Abrieb, Pollen, Emission flüchtiger organische Verbindungen, z. B. Terpene), Viren, Gischt vom Meer, natürliche Waldbrände (Rauch).

WIRKUNG VON LUFTSCHADSTOFFEN

Luftverunreinigungen und ihre Deposition haben negative Wirkungen auf Mensch, Natur, Umwelt, Klima und Materialien:

- ▶ gesundheitliche Wirkungen beim Menschen: von Reizung der Atemwege bis Krebs
- ▶ Wirkungen auf Pflanzen und Ökosysteme: von Blattverfärbungen bis zum Verlust biologischer Vielfalt
- ▶ Klimaveränderung und deren Folgen: von Erderwärmung bis Verschiebung von Klima- und Vegetationszonen
- ▶ sonstige Wirkungen: von Materialveränderungen bis Boden- und Gewässerversauerung

Luftreinhaltung ist deshalb Gesundheitsschutz, Naturschutz, Umweltschutz und Klimaschutz.

Die Mengen und die regionale Verteilung der menschlichen Emissionen sind recht unterschiedlich. In Ballungsräumen dominieren Emissionen aus Verbrennungsprozessen, in ländlichen Gebieten solche aus der Landwirtschaft. Kohlekraftwerke sind Beispiele für ausgeprägte punktförmige Emissionsquellen, Autobahnen und Schifffahrtslinien für linienförmige. Die Mitgliedstaaten der Genfer Luftreinhaltekonvention haben sich verpflichtet, Emissionskataster zu führen und darüber zu berichten. Diese enthalten die wichtigsten Emissionsquellen, aufgeteilt nach Herkunft (sog. Emissionssektoren), ihre räumliche Verteilung auf der Basis eines Rasters und die Emissionsmengen als Masse.

Die menschlichen und natürlichen Gas- und Staub-Emissionen gelangen zunächst überwiegend bodennah in die Troposphäre (**Abb. 4, A**), das ist die rund 12 km mächtige untere Schicht der Atmosphäre. In der Troposphäre findet der atmosphärische Wasserkreislauf statt (Verdunstung, Niederschlag), in ihr spielt sich das Wettergeschehen ab (Hoch-/Tiefdruckgebiete, Luftaustausch, Niederschlag u. a.).

Die täglichen Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht führen zum Aufstieg warmer Luftmassen und zum Abstieg der kalten (**Abb. 4, C**). Hierbei werden auch die Luftverunreinigungen vertikal verteilt und durchmischt. Diese durch Thermik in Bewegung gehaltene Mischungsschicht ist im Sommer deutlich dicker (typischerweise ca. 1 500 m) als im Winter (typischerweise ca. 300 m). Die Mischungsschicht ist oft gut mit bloßem Auge als Trübung sichtbar, sowohl von unten, als auch – und das meist noch besser – von Bergen oder aus Flugzeugen, wobei der erhöhte Aerosolgehalt innerhalb der Mischungsschicht der Hauptgrund für die Sichtbarkeit ist.

Oberhalb der Mischungsschicht beginnt die sog. freie Troposphäre. Passagierflugzeuge fliegen in deren oberen Bereich. Hierhin gelangen in der Mischungsschicht freigesetzte Luftverunreinigungen innerhalb weniger Tage (**Abb. 4, G**) durch das Wettergeschehen (z. B. Konvektion, Turbulenzen, Wind, Diffusion).

In der Troposphäre (Mischungsschicht und freie Troposphäre) werden viele Luftverunreinigungen chemisch verändert (**Abb. 4, B**). Die komplizierte Atmosphärenchemie soll hier nicht weiter vertieft werden, an dieser Stelle nur so viel: die

ABBILDUNG 4

AUFBAU DER UNTEREN ATMOSPHÄRE UND WESENTLICHE PROZESSE VON LUFTVERUNREINIGUNGEN.

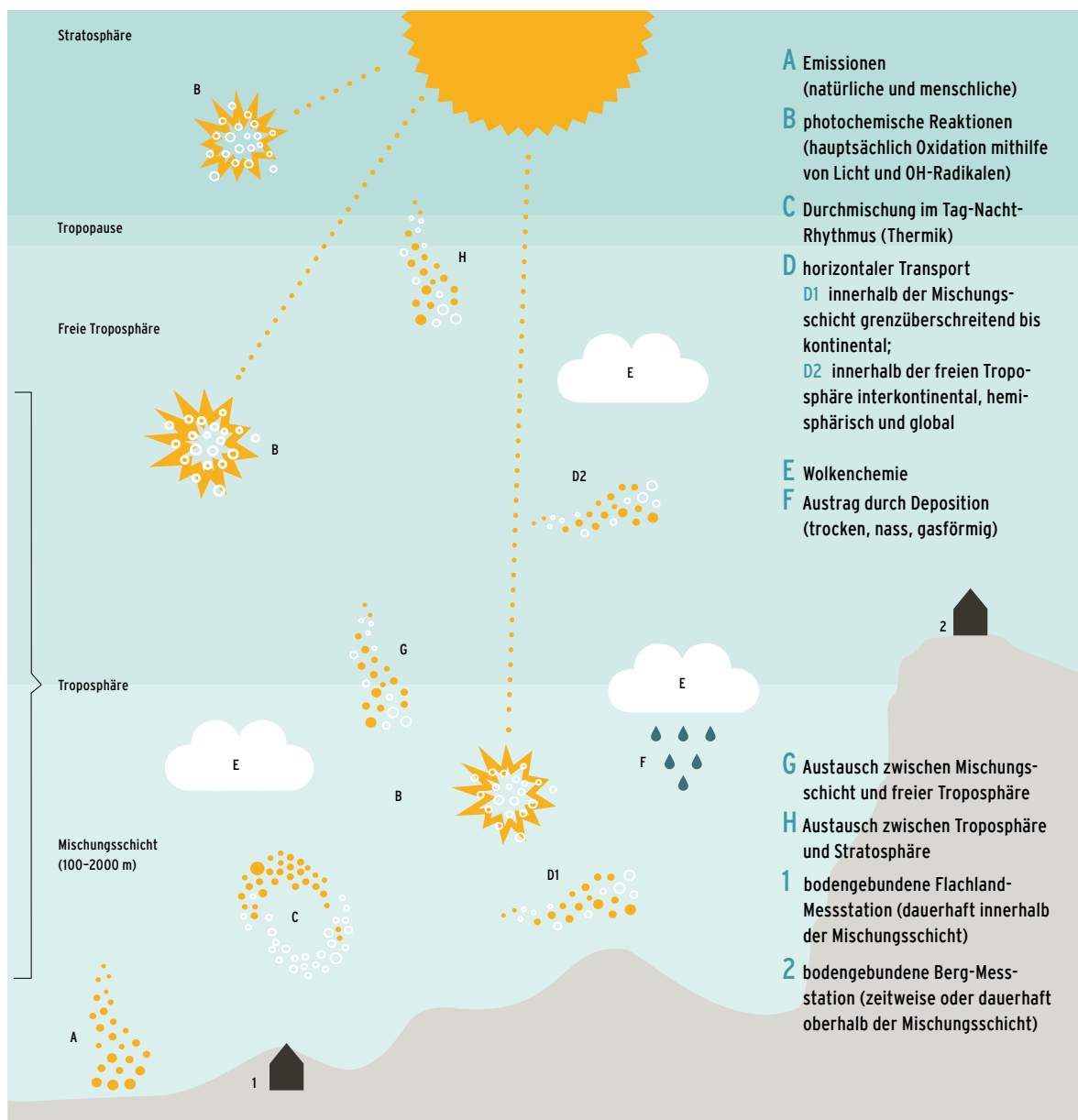
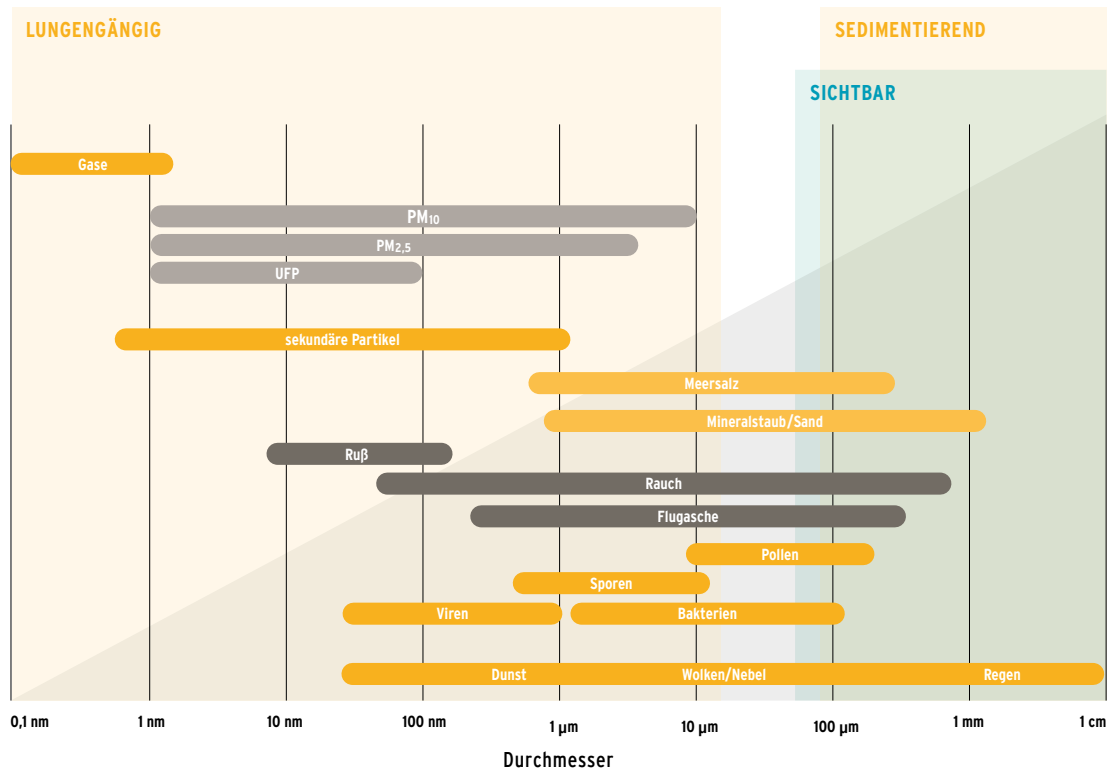


ABBILDUNG 5

ARTEN UND GRÖSSENBEREICHE VON PARTIKELN UND PARTIKELFRAKTIONEN IN DER LUFT (UFP = ULTRAFEINSTAUBPARTIKEL)



Schadstoffe reagieren am Tag mithilfe von Licht und Hydroxyl-Radikalen mit dem Luftsauerstoff, ein Vorgang, der als fotochemische Oxidation bezeichnet wird, die Reaktionsprodukte als Foto-Oxidantien. Deren Leitsubstanz ist Ozon. Die fotochemische Oxidation kann nur am Tage bei Licht stattfinden und ist an warmen, sonnigen Sommertagen intensiver als an trüben, kalten Wintertagen. Aber auch nachts finden Transformationsprozesse statt, bei denen in vielen Fällen

das vorher am Tag durch die Fotooxidation gebildete Ozon beteiligt ist. Durch Kondensation schwerflüchtiger Gase in der Luft entstehen auch Partikel, ein Vorgang, den man als Nukleation bezeichnet. Die dabei entstehenden sog. sekundären Aerosole sind zunächst sehr klein und wachsen langsam zu größeren heran.

Ein weiterer chemischer Reaktor sind die Wolken (Abb. 4, E). Hier kommen die Wassertröpfchen als zusätzliche wässrige

Phase hinzu. Wasserlösliche Bestandteile gehen in Lösung, soweit es die Gleichgewichtsverhältnisse zulassen.

Sowohl in der Mischungsschicht als auch in der freien Troposphäre findet mit den Luftbewegungen eine horizontale Verlagerung, d. h. ein Transport von Luftmassen und damit auch von Luftverunreinigungen statt (**Abb. 4, D**). Das gilt für die primär emittierten Luftverunreinigungen ebenso wie für die Foto-Oxidantien und für Staub. Die Transportweite hängt von der Windgeschwindigkeit und von der Beständigkeit (Persistenz) einer Substanz ab, bei den Aerosolen auch noch von deren Größe, weil kleinere Partikel länger in der Luftsäule schweben (**vgl. Abb. 5**). In der Mischungsschicht kann die Transportweite bis weit über tausend Kilometer betragen, also durchaus Landesgrenzen überschreiten oder große Teile Europas abdecken. In der freien Troposphäre wirken die globalen atmosphärischen Zirkulationssysteme sowie die Hoch- und Tiefdruckgebiete wie riesengroße atmosphärische Rührwerke. Diese durchmischen die Atmosphäre großmaßstäblich vertikal und horizontal und können die Luft samt beständiger Verunreinigungen innerhalb von Wochen von Kontinent zu Kontinent oder vollständig um eine Erdhalbkugel transportieren.

Schwierig ist der Luftaustausch wegen der äquatorialen Tiefdruckrinne zwischen der Nord- und der Südhalbkugel, also über den Äquator hinweg. Er benötigt den Zeitraum von etwa einem Jahr. Nur bei den besonders langlebigen Luftverunreinigungen ist deshalb die Konzentration auf beiden Erdhalbkugeln ausgeglichen. Kurzlebige Luftverunreinigungen sind dagegen auf der Nord-

STAUB

Staub sind die festen Partikel in der Luft. Der häusliche Staub, den man mit dem Staubsauger entfernt und den man sieht, wenn man z. B. eine Wolldecke ausschüttelt, ist riesengroß im Vergleich zu Feinstaub und Ultrafeinstaub.

Wäre ein Ultrafeinstaubpartikel (50 nm) ein Stecknadelkopf von 1 mm, dann wäre ein Feinstaubpartikel (5 μm) eine Christbaumkugel von 10 cm, und ein häuslicher faseriger Grobstaubpartikel (5 mm) wäre ein Baumstamm von 100 m Länge.

WIRKUNGEN VON STAUB

Staub ist gesundheitsschädlich (Atemwege, Herz-Kreislauf, Krebs). Dafür verantwortlich sind die Größe der Staubpartikel, ihre Form und die chemische Zusammensetzung.

Häuslicher Grobstaub wird bereits in den Atemwegen ausgefiltert („Popel“) und ist vergleichsweise harmlos. Feinstaub gelangt dagegen bis in die Lungenbläschen (Alveolen) und Ultrafeinstaub kann sogar durch die Zellwände der Lunge bis in die Blutbahn vordringen und weiter in alle Organe. Eingeatmete spitze, faserige Partikel (z. B. Asbest) wirken allein durch ihre Form (Asbestose, Silikose). Dieselruß wird seit 2012 von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) als krebserregend eingestuft. Viele giftige Umweltchemikalien neigen dazu, sich an Staubpartikel anzulagern und gelangen mit ihnen als Vehikel in Lunge und Körper, wo sie beispielsweise das Immunsystem des Körpers beeinträchtigen können.

halbkugel wegen der höheren Emissionen (höhere Bevölkerung und Industrialisierung) auch höher konzentriert.

Noch langsamer, in einem Zeitraum von etwa fünf Jahren, vollzieht sich der stoffliche Austausch zwischen Troposphäre und der darüber liegenden, stabil geschichteten und sehr trockenen Stratosphäre (Abb. 4, H). Hier wirkt die Tropopause als Barriere. Deshalb gelangen nur die langlebigsten und beständigsten Luftverunreinigungen in die Stratosphäre.

STICKSTOFF

Die Luft, die wir atmen, besteht zu etwa 80 % aus Stickstoff. Der allergrößte Teil davon (mehr als 99 %) ist elementarer Stickstoff (N_2). Elementarer Stickstoff ist kaum reaktiv und kann von den meisten Lebewesen nicht genutzt werden. Ganz anders verhält es sich mit dem sogenannten „reaktiven Stickstoff“, der ein essentieller Nährstoff für alle Lebewesen ist. Typische reaktive Verbindungen des Stickstoffs sind: Stickstoffdioxid (NO_2), Ammoniak (NH_3), Ammonium (NH_4^+), Nitrat (NO_3^-) oder Lachgas (N_2O).

Durch die Aktivitäten des Menschen (Kfz-Verkehr, Landwirtschaft, Industrie u. a.) werden riesige Mengen reaktiver Stickstoffverbindungen produziert, die den natürlichen Stickstoffkreislauf erheblich stören. Über die Luft transportiert verursachen sie Atemwegserkrankungen bei Menschen (Stickoxide), versauern Gewässer und Böden, gefährden die Trinkwasserversorgung (Nitrat), überfrachten Gewässer und Böden mit Nährstoffen (Eutrophierung), bringen großflächig Ökosysteme ins Ungleichgewicht und tragen zur Klimaerwärmung bei (Lachgas). Es bedarf dringend einer Minderung der Emissionen reaktiver Stickstoffverbindungen. Einen Anfang machte 1988 das Sofia-Protokoll der Genfer Luftreinhaltekonvention.

Ein Beispiel sind die vollhalogenierten flüchtigen Kohlenwasserstoffe, die dort allerdings äußerst gefährlich sind, weil fotochemische Reaktionen, an denen sie beteiligt sind, die stratosphärische Ozonschicht schädigen („Ozonloch“). Glücklicherweise gibt es Mechanismen, die Luftverunreinigungen aus der Atmosphäre entfernen. Wäre dies nicht der Fall, stünde es 200 Jahre nach der industriellen Revolution schlecht um die Qualität unserer Atemluft und sie entspräche weltweit vielleicht am ehesten der in London während der großen Smog-Katastrophe im Dezember 1952. Der wichtigste Austragsmechanismus für Luftverunreinigungen ist die Deposition (Abb. 4, F), das ist die Ablagerung von Luftverunreinigungen auf der Erdoberfläche, Gewässern, Pflanzen, Gebäuden und anderen Flächen oder die Aufnahme von Gasen durch Vegetation oder Ozeane. Die sog. nasse Deposition, das ist das „Auswaschen“ gelöster Stoffe und Partikel mit dem Niederschlagswasser (Regen, Schnee u. a.), ist besonders effektiv und bedeutsam. Sie ist auch messtechnisch am besten erfassbar. Daneben lagern sich auch in Zeiten ohne Niederschlag Partikel und Gase auf Oberflächen ab (trockene und gasförmige Deposition).

Aus der Sicht der Luftreinhaltung ist die Deposition ein begrüßenswerter Prozess, weil er Luftverunreinigungen aus der Atmosphäre entfernt; aus Sicht der betroffenen Medien (Boden, Pflanzen, Gewässer u. a.) ist er jedoch dann problematisch, wenn es sich um einen Schadstoffeintrag mit negativen Wirkungen handelt. Dieser findet auch weit entfernt von den Emissionsquellen statt (z. B. Versauerung skandinavischer Seen). Die Depositionsraten, angegeben in Masse pro Fläche

und Zeit (z. B. „Gramm pro Quadratmeter und Jahr“ oder „Kilogramm pro Hektar und Jahr“), variieren stark und hängen u. a. von der Entfernung zu Emittenten und der Niederschlagsmenge ab (**Abb. 6**). Auch ist die Deposition in Wäldern höher als im Freiland, u. a. weil die enorme Vegetationsoberfläche von Blättern und Nadeln Luftverunreinigungen in großen Mengen aufnimmt und die Verwirbelung dort größer ist („Auskämmeffekt“).

Luftverunreinigungen und ihre Deposition haben Wirkungen, die nachteilig für Mensch, Natur und Umwelt sind. An erster Stelle sind die für den Menschen abträglichen gesundheitlichen Wirkungen zu nennen, die von Reizungen der Atemwege (z. B. Ozon) bis hin zur Entstehung von Krebs (z. B. Dieselruß) – und somit letztlich auch zum Tod – führen können. Nachteilige Wirkungen auf Ökosysteme, wie Blattverfärbungen und Ertragseinbußen bei Pflanzen (z. B. durch Ozon), die sog. „neuartigen“ Waldschäden (u. a. durch die Deposition von Säuren), eingeschränkte Existenzmöglichkeiten für Pflanzengemeinschaften (z. B. durch zu hohe Stickstoffeinträge), erhöhte Schadstoffauswaschung in Gewässer usw. sind der zweite Wirkungskomplex von Luftverunreinigungen und ihrer Deposition. Die sog. Klimagase tragen bereits den dritten Wirkungskomplex im Namen. Sie absorbieren die von der Erde reflektierte Infrarotstrahlung in unterschiedlicher Stärke, tragen damit zum Treibhauseffekt bei und verändern in der Folge das Klima. Sie sind in der Atmosphäre zudem sehr langlebig, sodass sie sich gleichmäßig verteilen und eine stete globale Anreicherung stattfindet, solange ihre Einträge in die Atmosphäre nicht nachlassen.

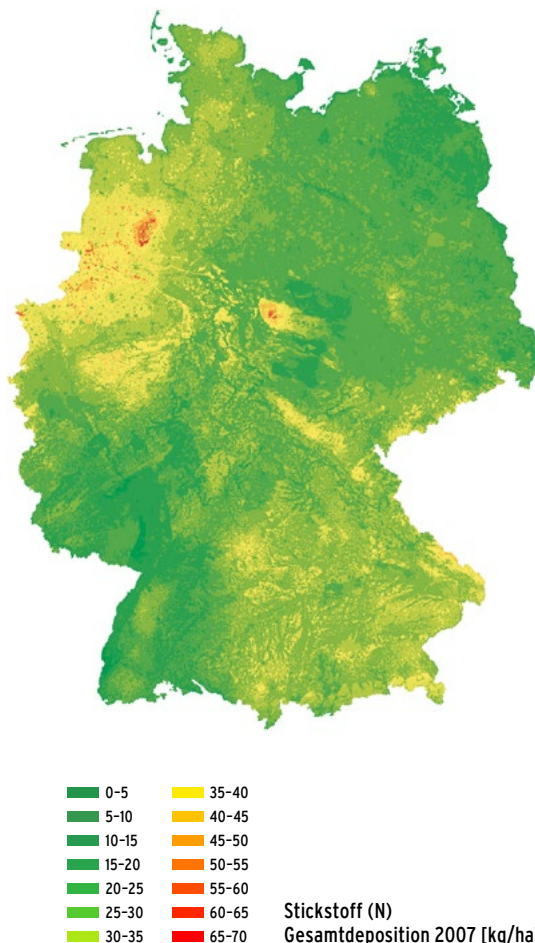


ABBILDUNG 6

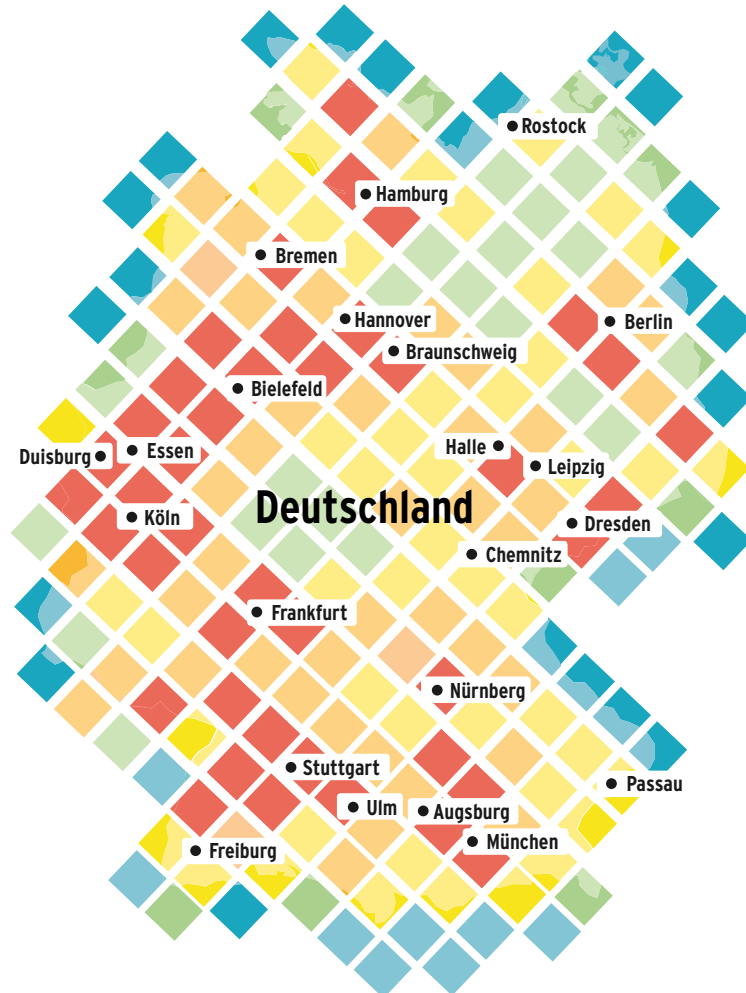
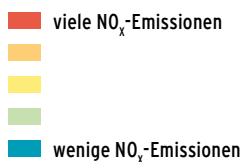
DEPOSITION VON STICKSTOFFVERBINDUNGEN

Die Deposition von Luftverunreinigungen ist nicht gleichmäßig. Sie hängt u. a. von der Niederschlagsmenge, der Entfernung zu Emittenten, der Oberflächenbeschaffenheit und der Vegetation ab. Die Karte zeigt die modellierte Deposition von Stickstoffverbindungen in Deutschland im Jahr 2007 (Quelle: Umweltbundesamt).

ABBILDUNG 7

EMISSIONSMENGEN VON LUFTSCHADSTOFFEN AUF DER BASIS EINES RASTERS

Die Mitgliedstaaten der Genfer Luftreinhaltekonvention melden die Emissionsmengen von Luftschadstoffen auf der Basis eines 50 x 50 km²-Rasters. Dargestellt sind die gemeldeten NO_x-Emissionen (als NO₂) Deutschlands des Jahres 2011). Auf der Internetseite von EMEP (vgl. Anhang) lassen sich solche Karten für verschiedene Schadstoffe und Staaten generieren.



Aktuell geraten die sog. „Short-lived Climate Forcers“ (SLCF, kurzlebige Klimatreiber) in den Fokus des Interesses, das sind Luftverunreinigungen mit klimaerwärmendem Potential, allerdings mit einer deutlich kürzeren Verweildauer in der Atmosphäre als die typischen Klimagase. Zu den SLCF zählen Ruß, Ozon oder HCF (Fluorkohlenwasserstoffe).

Messebenen und Messprinzipien

Für die Beobachtung der Atmosphäre und ihrer Verunreinigungen kommen drei Messebenen in Betracht:

- ▶ bodengebundene Messungen,
- ▶ Messungen von Luftfahrzeugen (Flugzeug, Ballon, Luftschiff),
- ▶ satellitengestützte Fernerkundung aus dem All.

Jede dieser Messebenen hat bezüglich Aufwand, Möglichkeiten, Aussagekraft, Repräsentativität und Kosten ihre Vor- und Nachteile. Sie stehen deshalb nicht in Konkurrenz zueinander, sie ergänzen und befruchten sich vielmehr gegenseitig sinnvoll. So bedürfen Messsignale aus dem All unbedingt einer Klassifizierung und Verifizierung durch bodengebundene Messdaten (sog. „groundtruthing“).

Das UBA-Luftmessnetz betreibt ausschließlich bodengebundene Messungen von Luftverunreinigungen und ihrer Deposition. Hierbei kommen in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Luftverunreinigungen und der Phase, in der sie vorliegen (gasförmig, partikelgebunden, gelöst) sowie in Abhängigkeit von den messtechnischen Möglichkeiten verschiedene Messprinzipien zum Einsatz.

Die zwei Grundprinzipien sind:

- ▶ automatische Messungen sowie
- ▶ Probenahme und spätere Analyse im Labor.

AUTOMATISCHE MESSUNGEN

Frische Außenluft gelangt über einen Ansaugstutzen und Schläuche in ein Messgerät, das automatisch und an Ort und Stelle die Konzentration eines oder mehrerer Spurenstoffe bestimmt. Die zeitliche Auflösung automatischer Messungen ist hoch und reicht von kontinuierlich bis zu etwa viertelstündlich. Ein angeschlossenes Datenverarbeitungssystem sammelt die eingehenden Messwerte, verrechnet sie halbstündlich zu Mittelwerten und überträgt diese online an eine Datenzentrale. Entsprechendes Messequipment steht im Messraum jeder Messstation (vgl. Abb. 18, S.50). Die Messungen basieren meist auf optischen Verfahren, das heißt, der zu messende Stoff absorbiert Licht oder emittiert es nach Anregung; die Höhe der Absorption oder Lichtemission ist ein Maß für die Konzentration. Es kommen aber auch andere Messverfahren zum Einsatz, z. B. bei den Klimagasen oder bei der kontinuierlichen Feinstaubbestimmung (Tabelle 2).

TABELLE 2

Auflistung der im UBA-Luftmessnetz kontinuierlich gemessenen Parameter sowie die dafür zugrunde liegenden Messprinzipien.

MESSPARAMETER	MESSPRINZIP
Schwefeldioxid (SO ₂)	optisch (Fluoreszenz)
Ozon (O ₃)	optisch (UV-Absorption)
Stickoxide	optisch (Chemolumineszenz)
Ruß (BC)	optisch (Absorption)
Feinstaubmasse (Größenfraktionen PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM ₁)	Lichtstreuung und Absorption von beta-Strahlung
Kohlendioxid (CO ₂) und Methan (CH ₄)	Resonanzabkling- spektroskopie
Peroxyacetylnitrat (PAN)	Gaschromatografie mit ECD-Detektor
Klimagase Kohlendioxid (CO ₂), Kohlenmonoxid (CO), Methan (CH ₄), Lachgas (N ₂ O), Wasserstoff (H ₂), Schwefelhexafluorid (SF ₆)	Gaschromatografie mit FID- und ECD-Detektor
Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW, HCF), ca. 20 Einzel- komponenten	Gaschromatografie mit Massenspektrometer (GC-MS)
Ultrafeinstaub (Partikelanzahlverteilung)	Mobilitätsspektrometrie
Quecksilber (elementar, oxidiert und partikelgebunden)	optisch (Fluoreszenz)
Meteorologische Parameter ► Temperatur ► Luftbewegung (Wind- richtung, -geschwindigkeit) ► relative Luftfeuchte ► Luftdruck ► Niederschlagsmenge ► Globalstrahlung ► UV-Spektrum	► Messfühler ► Anemometer ► Messfühler ► Messfühler ► Kippwaage ► Spektrometer ► Spektrometer

Alle derartig erfassten Luftverunreinigungen kommen nur als Spuren in der Luft vor (vgl. Abb. 3). Hohe Präzision und regelmäßiges exaktes Kalibrieren der Messautomaten sind daher zwingend notwendig. Die Konzentrationsangaben erfolgen meist entweder als Massenkonzentration:

- µg/m³ (Mikrogramm = Millionstel Gramm pro Kubikmeter Luft),
- ng/m³ (Nanogramm = Milliardstel Gramm pro Kubikmeter Luft)
- in Einzelfällen sogar pg/m³ (Pikogramm = Billionstel Gramm pro Kubikmeter Luft)

oder bei Gasen als Volumen-Mischungsverhältnis:

- ppm (Parts per Million
= Teile pro Million = 0,0001 %),
- ppb (Parts per Billion
= Teile pro Milliarde = 0,0000001 %),
- in Einzelfällen sogar ppt (Parts per Trillion = Teile pro Billion = 0,0000000001 %)

Zu den kontinuierlichen automatischen Messungen sind auch die meteorologischen Messungen zu zählen, die für die Interpretation der luftchemischen Daten notwendig sind. Die entsprechenden Messgeräte sind im Freien an Masten montiert und liefern kontinuierlich Daten über Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Windrichtung (in allen Raumrichtungen), Windstärke (Abb. 8) und die Strahlung.

PROBENAHME UND SPÄTERE ANALYSE IM LABOR

Die Probenahme von Luft, Feinstaub (Abb. 9) und Niederschlagswasser (Abb. 10) und deren spätere Analyse im Labor spielt im Luftmessnetz des UBA eine herausragende Rolle und ist der wesentliche Grund dafür, warum die Messstationen personell besetzt sind und nicht weitgehend automatisch betrieben werden können wie die Luftmesscontainer der Bundesländer.

Die Proben werden über einen festgelegten Zeitraum und in festgelegten Zeitabständen gesammelt und später im Labor analysiert. Als Probenahmemedium kommen Filter (für Feinstaub), Flaschen (für Niederschlagswasser), Edelstahlkanister (für Luft) oder speziell beschichtete Röhrchen, sog. Denuder (für spezielle Luftinhaltsstoffe), zum Einsatz. Einzelne Sammelgeräte sind automatisiert und programmierbar, sodass sie das Probenahmemedium selbsttätig zu einem festgelegten Zeitpunkt wechseln.

Bereits eine Datenreihe mit einer zeitlichen Auflösung von einer Probe pro Tag bedeutet bei langjährigen Messreihen einen erheblichen Aufwand an Personal, Logistik und Material, denn die Probenahmemedien müssen vorbereitet, präpariert, verschickt, ausgewechselt, konserviert, aufgeschlossen und analysiert werden. Daher können nur ausgewählte Messgrößen täglich bestimmt werden, z. B. Feinstaubmasse (Abb. 11). Bei anderen Messgrößen, z. B. Feinstaubinhaltsstoffe (Abb. 12), wird der Messaufwand dadurch reduziert, dass zwar Tagesproben genommen werden, jedoch mehrere davon zusammen analysiert werden.



Schalenanemometer (links) und Ultraschallanemometer (rechts), die klassische und die moderne Variante zur Messung von Luftbewegungen, wie zum Beispiel Windrichtung und Windstärke.

ANEMOMETER

Ein Anemometer ist ein meteorologisches Messinstrument für Luftbewegungen (Windrichtung und Windstärke).

Bekannt sind die sog. Schalenanemometer, bei denen der Wind halbkugelförmige Schalen, die an Eiskugellöffel erinnern, um eine senkrechte Achse antreibt. Je stärker der Wind, desto schneller die Drehbewegung.

Moderne Ultraschallanemometer arbeiten völlig ohne mechanische Bauteile. Sie nutzen die Laufzeitunterschiede von Ultraschallwellen in bewegter Luft und registrieren die Luftbewegungen in allen drei Raumrichtungen.



Zwei unterschiedliche Sammelgeräte für Feinstaub. Oben sind die Abscheider erkennbar, die selektiv nur Partikel bis zu einer maximalen Größe passieren lassen (PM_{10} , $PM_{2.5}$ oder PM_1). Die Abkürzung PM steht hierbei für „Particulate Matter“ (= partikuläre Bestandteile), die englische Fachbezeichnung für Feinstaub, die tiefgestellte Zahl für die Obergrenze der Partikelgrößenfraktion in μm (Mikrometer = Millionstel Meter bzw. Tausendstel Millimeter).

STAUBSAMMLER

Die Sammelgeräte für Feinstaub sind im Prinzip „Hightech-Staubsauger“. Ein Vorabscheider (PM_{10} -, $PM_{2.5}$ - oder PM_1 -Kopf) lässt nur die Partikelgröße bis zu einer gewünschten Obergrenze in ein Ansaugrohr passieren, das einen definierten und konstanten Luftstrom über einen Filter leitet, auf dem sich die Feinstaubpartikel abscheiden. Im gewünschten Rhythmus wechselt das Gerät die Filter automatisch und sammelt bis zu 14 Stück in einem Magazin. Die Filter werden später im Labor gewogen oder chemisch analysiert. An allen UBA-Luftmessstationen stehen mehrere solcher Sammler, je nach Aufgabe mit PM_{10} -, $PM_{2.5}$ - oder PM_1 -Kopf, beispielsweise zur Bestimmung der Feinstaubmasse oder zur chemischen Analyse auf Ionen, Schwermetalle, Kohlenstoffspezies oder POP.

Bei weiteren Messgrößen läuft die Sammelperiode über einen längeren Zeitraum (eine oder mehrere Wochen) oder die Proben werden nur an ausgesuchten Tagen im Wochen- oder Mehrwochen-Rhythmus genommen.

Daraus ergibt sich folgendes Muster an Proben und Analysen:

- ▶ Probenahme täglich ganztags (24 h) und Analyse in Tagesauflösung, d. h. jede Probe:
 - Filterproben zur Bestimmung der Staubmasse (PM_{10} , $PM_{2,5}$ und PM_1),
 - Probenträger für die Messung von Stickstoffdioxid,
 - sog. Filterpack-Proben für die Analyse von Sulfat, Nitrat, Ammonium in Partikeln sowie von Salpetersäure, Schwefeldioxid, Ammoniak als Gase.
- ▶ Probenahme täglich ganztags (24 h) und Analyse in Wochenauflösung (für die Analyse werden die sieben Proben einer Woche zusammengeführt): Filterproben zur Bestimmung von Schwermetallen im Feinstaub.
- ▶ Probenahme alle drei Tage ein Tag (24 h) und Analyse jeder Probe: Filter für die chemische Zusammensetzung des Feinstaubs (An- und Kationen).
- ▶ Probenahme alle sechs Tage ein Tag (24 h) und Analyse jeder Probe: Filter für die Analyse des Feinstaubs auf Kohlenstoffspezies (EC / OC).
- ▶ Probenahme alle sechs Tage ein Tag (24 h) und Analyse in Monatsauflösung (für die Analyse werden die fünf Proben eines Monats zusammengeführt):

POP

POP ist die Abkürzung für „Persistent Organic Pollutants“, auf Deutsch „Langlebige Organische Schadstoffe“. Es handelt sich um organische Stoffe mit folgenden charakteristischen Eigenschaften:

- ▶ persistent, d. h. sie sind sehr schwer abbaubar, was gleichbedeutend ist mit sehr langlebig in der Umwelt und einer weiten Verbreitung,
- ▶ toxisch, d. h. sie sind giftig und zwar bereits in sehr geringen Mengen; manche POP zeigen z. B. in geringsten Konzentrationen eine hormonelle Wirkung,
- ▶ bioakkumulierbar, d. h. sie neigen dazu, sich in Lebewesen, insbesondere im Fettgewebe, abzulagern, was zu einer Anreicherung in der Nahrungskette führt.

Zu den ursprünglich zwölf POP (= „dirty dozen“ oder dreckiges Dutzend) zählen Industriechemikalien (z. B. PCB), Pestizide (z. B. Lindan) und unbeabsichtigt entstehende Beistoffe (z. B. Dioxine). Inzwischen ist die Liste auf 24 Stoffe und Stoffgruppen angewachsen.

Internationale Regelungen (z. B. Anwendungsverbote, Minderung von POP in der Umwelt, Monitoring) gibt es auf der Ebene der Genfer Luftreinhaltekonvention (POP-Protokoll, in Kraft getreten am 23. Oktober 2003) und auf globaler Ebene (Stockholm Konvention, in Kraft getreten am 17. Mai 2004).

TABELLE 3

MESSPARAMETER	ANALYTISCHES LABORVERFAHREN
Feinstaubmasse (Größenfraktionen PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_1)	Wägung
Ionen (Kationen und Anionen) im Niederschlagswasser und in Partikeln	Ionenchromatografie (IC)
Flüchtige organische Verbindungen (VOC) in der Luft (ca. 30 verschiedene Einzelkomponenten)	Gaschromatografie (GC) mit FID (Flammenionisationsdetektor)
Persistente organische Verbindungen (POP) in Luft und Feinstaub bzw. in Niederschlagswasser (ca. 30 verschiedene Einzelkomponenten)	Gaschromatografie mit Massenspektrometer (GC-MS)
Carbonylverbindungen (sechs verschiedene Einzelkomponenten)	Hochleistungsflüssigchromatografie (HPLC)
Ammoniak (NH_3), Ammonium (NH_4^+), Stickstoffdioxid (NO_2) und Salpetersäure (HNO_3) auf Probenträgern	Fließinjektionsanalyse (FIA)
Schwermetalle (21 verschiedene) im Feinstaub und in Niederschlagswasser	Plasmamassenspektrometrie (ICP-MS)
Quecksilber (Hg) im Niederschlagswasser	Atomfluoreszenzspektrometrie
Kohlenstoffspezies (EC / OC) im Feinstaub	Thermo-optisches Verfahren
pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit von Niederschlagswasser	Potentiometrische bzw. konduktometrische Messsonden

In den Laboratorien des UBA-Luftmessnetzes werden viele und sehr unterschiedliche Proben (Luft, Feinstaub unterschiedlicher Fraktionen, Niederschlagswasser) analysiert. Je nach Messparameter und Probenmatrix kommen verschiedene analytische Verfahren zum Einsatz.

Proben auf Filterschäumen zur Analyse von persistenten organischen Verbindungen (POP) in Luft und Feinstaub.

- Probenahme zwei Mal wöchentlich und Analyse jeder Probe:
 - Luftproben (Probenahmedauer ca. halbe Stunde) in Edelstahlzylindern für die Analyse auf ca. 30 flüchtige organische Verbindungen (VOC),
 - Filterproben (Probenahmedauer acht Stunden) für die Analyse von Carbo- nylverbindungen (Aceton, Acetalde- hyd, Formaldehyd, Methylvinylketon, Methylglyoxal, Methacrolein).
- Probenahme eine Woche und Analyse jeder Probe:
 - Niederschlagswasserproben zur Bestimmung der Inhaltsstoffe und zur Berechnung der Deposition (Leit- fähigkeit, pH-Wert, Anionen, Kationen, Schwermetalle, Quecksilber),
 - Proben auf Denuderröhrchen zur Bestimmung von Ammoniak und Salpetersäure.
- Probenahme ein Monat und Analyse jeder Probe:

Niederschlagswasserproben zur Bestimmung von persistenten organi- schen Verbindungen (POP).
- Monatliche, jährliche oder mehrjäh- rige Stichproben oder Inventuren im Rahmen des Integrated Monitoring: Stammabfluss, Bodenwasserchemie, Grundwasserchemie, Oberflächenwas- serchemie, Blattchemie, Streufallche- mie, Mikrobiologie, Waldwachstum und Kronenzustand, Fische, Vegeta- tion, Vegetationsstruktur, Flechten, Vogelinventur und Phänologie.



Die weißen, kühlschrankgroßen „Kästen“ (oben) sind Sammler für Niederschlagswasser. Ein Deckel öffnet sich sensorgesteuert bei Regen und leitet das Niederschlagswasser über einen Trichter in eine dunkel stehende, gekühlte und ggf. mit konservierenden Chemikalien versehene Sammelflasche.

Für unterschiedliche Messparameter oder Parametergruppen sind jeweils eigene Sammler notwendig. Das gesammelte Niederschlagswasser wird später im Labor analysiert und die nasse Deposition der gemessenen Parameter berechnet.

REGENSAMMLER (SOG. WET-ONLY-SAMMLER)

Niederschlag entfernt Verunreinigungen aus der Luft. Er wird gesammelt, um die nasse Deposition zu bestimmen, das ist die pro Fläche und Zeit mit dem Niederschlagswasser abgelagerte Menge einer Luftverunreinigung.

Die Sammelgeräte (sog. Wet-only-Sammler) bestehen aus einem Trichter, der das Niederschlagswasser einfängt und in eine Flasche leitet. Die Sammelflasche steht dunkel und gekühlt, damit Wärme, Sonnenstrahlung oder Bakterien die Probe nicht verändern, und enthält gegebenenfalls konservierende Chemikalien. Über dem Trichter befindet sich ein Deckel, der sich sensorgesteuert bei Regen öffnet und danach wieder schließt. So wird gewährleistet, dass nur Niederschlagswasser gesammelt wird und während Trockenperioden nichts anderes in die Probe gelangt. An allen UBA-Messstationen stehen mehrere solcher Sammler, beispielsweise zur chemischen Analyse auf Ionen, Schwermetalle, Quecksilber oder POP.

Aus den im Labor analysierten Konzentrationen und den an den Messstationen gemessenen Niederschlagsmengen wird die nasse Deposition berechnet.

TABELLE 4

Auflistung von Luftverunreinigungen, die vom UBA-Luftmessnetz gemessen werden (ohne Integrated Monitoring), den wesentlichen Quellen, ihrem Zustand in der Atmosphäre und ihren Wirkungen.

SCHWEFELVERBINDUNGEN

STICKSTOFFVERBINDUNGEN

FOTO-OXIDANTIEN

KLIMAWIRKSAME GASE

Auflistung von Luftverunreinigungen, die vom UBA-Luftmessnetz gemessen werden (ohne Integrated Monitoring), den wesentlichen Quellen, ihrem Zustand in der Atmosphäre und ihren Wirkungen.			VORLIEGEN IN DER ATMOSPHÄRE		WIRKUNG(EN) AUF				
LUFTVERUNREINIGUNGEN	WESENTLICHE QUELLE(N)		gasförmig	als Staub oder am Staub	im Niederschlag	Pflanzen, Ökosysteme, Gewässer	Klima	Atmosphärenchemie	
	PRIMÄR	SEKUNDÄR							
									menschliche Gesundheit
Schwefeldioxid (SO ₂)	► Kohle- und Holzverbrennung ► Schiffsdiesel ► Vulkane		X			X	(X)	(X)	X
Sulfat (SO ₄ ²⁻)		► aus SO₂ ► aus schwefelhaltigen Verbindungen (Dimethylsulfid u. a.)		X	X		X	X	
Stickoxide (NO, NO ₂)	► Verbrennungsprozesse (Motoren, Kraftwerke)		X			X	(X)		X
Salpetersäure (HNO ₃)		► aus NO₂	X			(X)	(X)		X
Nitrat (NO ₃ ⁻)		► aus Salpetersäure		X	X		X		
Ammoniak (NH ₃)	► Landwirtschaft		X				X		X
Ammonium (NH ₄ ⁺)		► aus NH₃		X	X		X		
Flüchtige Organische Verbindungen (VOC)	► Pflanzen ► Produkte / Anwendung		X			(X)			X
Carbonylverbindungen	► Produkte / Anwendung	► aus VOC	X	X	X				X
Ozon (O ₃)	► Eintrag aus Stratosphäre	► aus NO_x und VOC	X			X	X	X	X
Peroxyacetylnitrat (PAN)	► Eintrag aus Stratosphäre	► aus NO_x und VOC	X			X			X
Kohlendioxid (CO ₂)	► Verbrennungsprozesse ► natürlicher C-Kreislauf		X					X	
Kohlenmonoxid (CO)	► Verbrennungsprozesse		X			(X)		(X)	X
Methan (CH ₄)	► Tierhaltung ► Altablagerungen ► auftauender Permafrost ► Erdgasförderung		X					X	X
Lachgas (N ₂ O)	► Landwirtschaft ► Produkte / Anwendung		X					X	
Schwefelhexafluorid (SF ₆)	► Produkte / Anwendung		X					X	

Fluorchlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW, HCF u. a.)	► Produkte / Anwendung		X						X	X
Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	► Verbrennungsprozesse (menschlich + natürlich)		X	X	X	X	(X)			
Persistente organische Verbindungen (POP)	► Verbrennungsprozesse ► Produkte / Anwendung ► Reemission		X	X	X	X	X			
Feinstaub (Masse in den drei Fraktionen PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁)	► natürliche Quellen ► Verbrennungsprozesse (Heizung, Verkehr) ► Produkte (Abrieb)	► Akkumulation an Kondensationskernen		X		X	X	X		
Ultrafeinstaub (Partikelanzahl)	► Verbrennungsprozesse (Ruß)	► Anlagerung an Kondensationskerne		X		X				(X)
Ruß (EC bzw. BC)	► Verbrennungsprozesse			X		X		X		
Ionen (Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Cl ⁻)	► Seesalz ► mineralischer Abrieb			X	X		X			
Schwermetalle (Pb, Cd, Ni u. a.)	► Verbrennungsprozesse ► Produkte / Anwendung ► natürliche Quellen			X	X	X	X			
Quecksilber (Hg)	► Kohleverbrennung ► Anwendung ► Reemission ► Ozeane		X	X	X	X	X			

SCHWERMETALLE
FEINSTAUB | FEINSTAUBKOMPONENTEN
ORG. VERBINDUNGEN *

* Schwer abbaubare organische Verbindungen

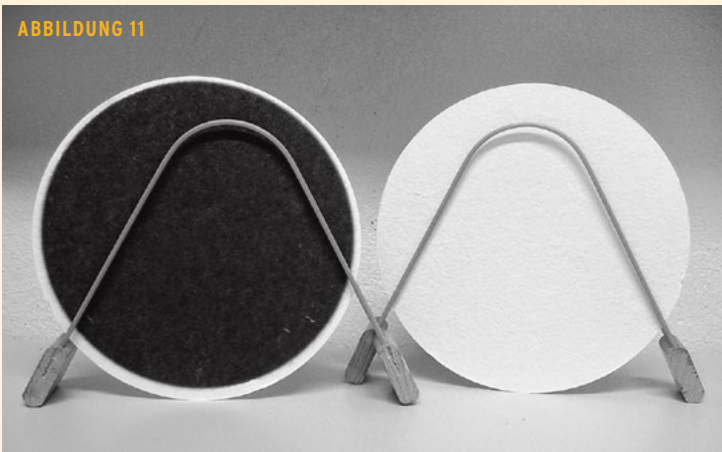


ABBILDUNG 11

Frischer unbelegter (rechts) und belegter (links) Staubfilter im Vergleich. Durch den belegten Filter sind 24 Stunden lang ca. 700 Kubikmeter Luft geströmt und haben ihren Feinstaubinhalt auf dem Filter abgelegt. So ist der Feinstaub einer Wägung oder einer chemischen Analyse zugänglich.

ULTRAFEINSTAUB

Ultrafeinstaubpartikel sind die Staubpartikel unterhalb 100 Nanometer (= Millionstel Millimeter). Sie sind so klein (die Kleinsten liegen im Übergangsbereich von Makromolekülen zu Partikeln) und ihre Masse so gering, dass eine Wägung kaum möglich ist. Sie sind jedoch sehr zahlreich. Ihre Zahl lässt sich mit sog. Kondensationskernzählern messtechnisch erfassen und als Häufigkeitsverteilung (Anzahl Partikel pro Kubikzentimeter Luft) in verschiedenen Größenklassen darstellen.

Es gibt bislang weder emissionsseitig noch immissionsseitig gesetzliche Regelungen für Ultrafeinstaub, denn nach wie vor gibt es zu viele offene Fragen, z. B.:

- ▶ Welches sind die wesentlichen Quellen für Ultrafeinstaub?
- ▶ Welchen Anteil haben technische Anwendungen von Nanopartikeln am Ultrafeinstaub?
- ▶ Welche gesundheitlichen Wirkungen hat Ultrafeinstaub?
- ▶ Welches Messverfahren eignet sich für eine dauerhafte gesetzliche Überwachung?

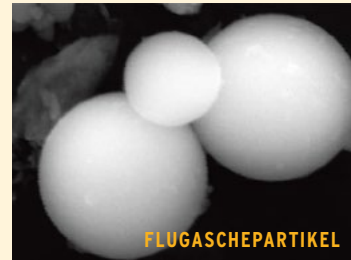
Das Luftmessnetz des Umweltbundesamtes beteiligt sich intensiv an der Klärung dieser Fragen. Vier Messstationen (Zugspitze, Schauinsland, Neuglobsow, Waldhof) sind Teil des vom IfT Leipzig betreuten „German Ultrafine Aerosol Network“ (GUAN). Die Messnetzzentrale Langen führt messtechnisch-methodische Untersuchungen durch.

ABBILDUNG 12

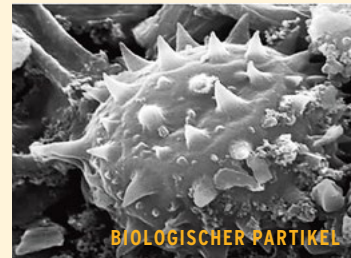
Feinstaub ist nicht gleich Feinstaub. Die gesundheitlichen und andere Wirkungen hängen entscheidend von Größe, Form, Art und der chemischen Zusammensetzung ab. Das UBA-Luftmessnetz arbeitet deshalb mit anderen Forschungsinstitutionen zusammen, um Feinstaub differenziert zu untersuchen. Die TU Darmstadt charakterisierte beispielsweise Feinstaub-Einzelpartikel von den UBA-Messstationen elektronenmikroskopisch.



BODENPARTIKEL



FLUGASCHEPARTIKEL



BIOLOGISCHER PARTIKEL



SEESALZPARTIKEL



RUSSPARTIKEL

Qualitätssicherung und Qualitätsmanagement

Über Jahrzehnte reichende Messreihen, die aus vergleichbaren „richtigen“ Messwerten in möglichst hoher zeitlicher Auflösung mit möglichst geringen Messlücken bestehen, erfordern einen hohen Aufwand für die Qualitätssicherung (QS) und das Qualitätsmanagement (QM). Die internationalen Messprogramme beinhalten bereits eine Reihe von QS-Vorgaben. Es gelten die Regeln der GLP (Gute Laborpraxis) und die Grundsätze der Qualitätsrichtlinie DIN EN ISO/IEC 17025. Die Elemente des QS/QM im UBA-Luftmessnetz (**Abb. 13**) umfassen die gesamte Bearbeitungskette und sämtliche Messmittel von der Probenahme, über die Mess- und Sammelgeräte, die verschiedenen Methoden bis hin zu den erzeugten Messwerten selbst:

KALIBRATION

Sämtliche Messsysteme, unabhängig davon, ob vor Ort an den Messstationen oder im Labor, sind regelmäßig exakt zu kalibrieren. Hierfür werden zertifizierte Referenzmaterialien benutzt; das sind Substanzen (Feststoffe, Gase oder Flüssigkeiten) mit bekannten und eindeutigen Gehalten der Messgröße. Für die Kalibration der SO_2 - und NO_x -Messgeräte kommen beispielsweise die zertifizierten Kalibriergase des hauseigenen nationalen EU-Referenzlabors als Referenzmaterial

zum Einsatz. Ziel ist es, jeden erzeugten Messwert lückenlos auf Primärstandards zurückführen zu können, welche selbst wiederum an die nationalen oder internationalen Normale angehängt sind.

BLINDWERTKONTROLLE / BLINDPROBEN

Probenahmemedien, wie Filter oder Flaschen, können auch ohne existente Probe positive Messwerte erzeugen, sog. Blindwerte. Ursachen dafür gibt es viele. So kann dies bspw. am Material des Probenahmemediums liegen oder aber zu messende Substanzen gelangen im Laufe der Verarbeitungskette (Lagerung, Transport, Umgebungsluft, Chemikalien, Laborgerätschaften u. a.) unbeabsichtigt und unerkannt in die Analysenprobe. Hierbei sind die äußerst geringen Konzentrationsbereiche zu bedenken, in denen sich die Messungen bewegen; zudem können bereits Milliardstel oder Billionstel Gramm einen Messwert verfälschen. Zur Vermeidung bzw. Verringerung von Blindwerten werden die Probenahmemedien und Chemikalien regelmäßig auf Blindwerte kontrolliert und sog. Blindproben durchlaufen die gesamte Verarbeitungskette. Weitere Maßnahmen sind: äußerste Sorgfalt auf dem gesamten Verarbeitungsweg von der Probenahme bis zur Messung im Labor sowie Doppelbestimmungen. In Einzelfällen, z. B. bei der Schwermetallanalyse, müssen

die Messungen sogar in einer Reinluftkabine stattfinden, um die Proben vor Kontamination durch die Raumluft zu schützen und die Blindwerte niedrig zu halten.

MATERIALBESCHAFFUNG

Die kontrollierte Materialbeschaffung bei qualifizierten Herstellern mit garantierter und gleichbleibender Qualität ihrer Produkte trägt zur Reproduzierbarkeit und gleichbleibenden Qualität der Messwerte bei.

FUNKTIONSKONTROLLE

Sämtliche Mess- und Sammelsysteme werden regelmäßig auf korrekte Funktion geprüft und gereinigt und es werden Verschleißteile ausgetauscht, sowohl durch das technische Personal vor Ort, als auch über Wartungsverträge mit Fachfirmen. Nach einer Laufzeit von etwa zehn Jahren findet ein Austausch der Geräte statt. Eine Datenbank gibt Auskunft über Alter, Zustand, Wartungen und Kalibrationen jedes Mess- und Sammelsystems.

METHODENVALIDIERUNG

Bevor eine Messmethode zur Bestimmung einer Luftverunreinigung eingesetzt werden darf, muss der Nachweis erbracht werden, dass sie für diese spezielle Anwendung geeignet ist und richtige und vergleichbare Messwerte liefert. Dieser Nachweis kann zum Beispiel durch Untersuchung zertifizierter Referenzmaterialien bekannter Zusammensetzung (Laborvergleich) oder durch Vergleichsmessungen mit bereits validierten (Referenz-)Verfahren am gleichen Standort (Feldvergleich) erbracht werden.

RINGVERSUCHE

Ein Ringversuch ist ein Laborvergleichstest. Hierfür wird eine natürliche oder

künstlich hergestellte Probe, deren Gehalt nur dem Organisator des Ringversuchs bekannt ist, an verschiedene Labore verschickt und von diesen vermessen. Das Ergebnis offenbart rigoros die Unterschiede und die Messqualität jedes teilnehmenden Labors. Ringversuche werden beispielsweise im Rahmen von EMEP oder GAW organisiert, aber auch von anderen Institutionen; die Labore des UBA-Luftmessnetzes beteiligen sich regelmäßig daran.

DOKUMENTATION

Die Arbeitsabläufe sind in Form von Standardarbeitsanweisungen schriftlich fixiert. Auch werden sämtliche durchgeführte Arbeitsschritte, die Relevanz auf das Ergebnis haben, auf Formblättern dokumentiert – teils automatisch und digital, teils handschriftlich. Diese Protokolle begleiten die Proben bis zum Messwert. Dafür dient ein IT-gestütztes System, basierend auf dem Software-Produkt Microsoft Sharepoint 2010.

MESSWERTKONTROLLE

Sämtliche Messwerte werden validiert und auf Plausibilität kontrolliert. Ausreißer, die klar auf Fehlern oder Fehlfunktionen beruhen, werden eliminiert. Ungewöhnliche Ereignisse, wie Baumaßnahmen oder erhöhter Kfz-Verkehr an einer Messstation, werden vermerkt und die entsprechenden Messwerte gekennzeichnet.

SCHULUNGEN/UNTERWEISUNGEN

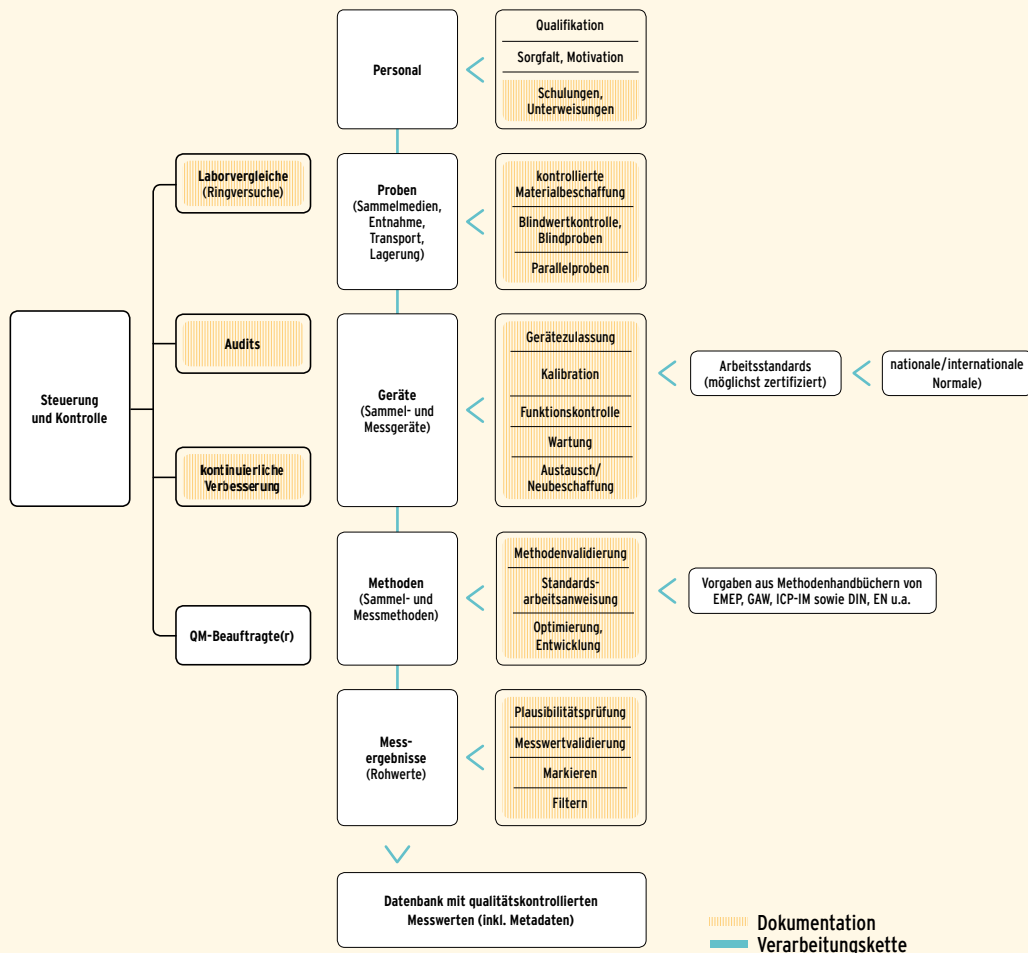
Regelmäßige Schulungen und Unterweisungen sorgen dafür, dass die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf dem aktuellen Stand der Messtechnik, des Qualitätsmanagements und der Arbeitssicherheit sind.

STEUERUNG UND KONTROLLE

Sämtliche Arbeitsabläufe des QM werden von einem Qualitätsmanagementbeauftragten gesteuert und kontrolliert. Regelmäßige Audits – die Überprüfung und Bewertung eines Prozesses durch eine dafür qualifizierte Fachkraft – sorgen für zusätzliche Sicherheit.

ABBILDUNG 13

DIE ELEMENTE DES QUALITÄTSMANAGEMENTS (QM) IM UBA-LUFTMESSNETZ



Beiträge des UBA-Luftmessnetzes zu Forschung, Entwicklung und Methodenharmonisierung

Die Durchführung der regelmäßigen Langzeitmessungen für die internationalen Messprogramme der Genfer Luftreinhaltekonvention (EMEP, ICP-IM), für die EU sowie für GAW, OSPAR und HELCOM steht klar im Vordergrund der Aufgaben des UBA-Luftmessnetzes.

Das UBA-Luftmessnetz betreibt aber auch Forschungs- und Entwicklungsarbeit, um die atmosphärenchemischen Prozesse noch besser zu verstehen, die Messtechnik und Analytik stetig zu verbessern und um mehr Informationen über bislang wenig beachtete Luftverunreinigungen zu erhalten. Zwei der internationalen Messprogramme, EMEP mit der Messstufe 3 („level 3“) und GAW, fordern sogar ausdrücklich Sondermessungen mit Forschungscharakter.

Die mit Forschungs- und Entwicklungsvorhaben verbundenen Messaufgaben sind immer befristet. Sie werden entweder aus den vorhandenen Ressourcen selbst geleistet oder in Kooperation mit anderen Forschungsinstitutionen durchgeführt. Auch stellt das UBA-Luftmessnetz seine Messstationen anderen Forschungseinrichtungen für deren Messungen zur Verfügung und unterstützt diese logistisch.

Das Testen und Optimieren neuer Messgeräte oder Messmethoden ist eine Entwicklungsaufgabe, die typischerweise mithilfe eigener Ressourcen durchgeführt wird. So wurde in der Messnetzzentrale in Langen die Messung von Kohlenstoffspezies (EC/OC) getestet und für den Routinebetrieb optimiert.

Beispiele für Forschungsvorhaben in Kooperation mit anderen Forschungseinrichtungen aus jüngerer Zeit sind:

- In Kooperation mit der Arbeitsgruppe Umweltanalytik der Goethe-Universität Frankfurt am Main: Ferntransport der Platingruppen-Elemente Platin, Rhodium und Palladium mit Feinstaub.
- In Kooperation mit dem Institut für Umweltmineralogie und Angewandte Geowissenschaften der TU Darmstadt: Elektronenmikroskopische Charakterisierung von Feinstaub durch Einzelpartikelanalyse.
- In Kooperation mit dem Institut für Küstenforschung, Abt. Umweltchemie des Helmholtz-Zentrums Geesthacht: Bestimmung von Quecksilber-Spezies (TGM, GEM, RGM, TPM) in der Außenluft.

- In Kooperation mit dem Leibniz-Institut für Troposphärenforschung in Leipzig: Physikalisch-chemische Charakterisierung des Feinstaub-Aerosols und speziell des dynamischen Verhaltens von Ammoniumsalzen.

Das Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg nutzt die Messstation Schauinsland als Messplattform für eigene Untersuchungen im Bereich der Klimagasforschung, das IfT Leipzig hat an der Messstation Schmücke mehrmals sog. Wolkendurchgangsexperimente durchgeführt und in der Forschungsstation Schneefernerhaus kooperiert die UBA-GAW-Station mit anderen Forschungsinstitutionen im Rahmen eines Konsortialvertrags.

Die Ergebnisse aus den Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sind in wissenschaftlichen Fachveröffentlichungen dargestellt und fließen u. a. ein in die Gremien der internationalen Messprogramme sowie in die Normungs- und Methodenharmonisierungsarbeit bei CEN („Comité Européen de Normalisation“ = Europäisches Komitee für Normung) oder der Kommission „Reinhaltung der Luft“ des VDI (Verband Deutscher Ingenieure).

QUECKSILBER

Das hochgiftige Quecksilber (Hg) ist das einzige Metall, das bei Raumtemperatur flüssig vorliegt und wie Wasser in die Luft verdampfen kann. Hauptquelle von Quecksilber in der Luft ist aber nicht verdampfendes flüssiges Quecksilber aus der Anwendung, sondern es sind die Ozeane und die Verbrennung von Kohle.

In der Luft liegt Quecksilber in verschiedenen Formen vor: gasförmig als Quecksilberdampf, an Partikel gebunden als Quecksilbersalze, in Wassertropfen gelöst als Quecksilberionen oder als Organo-Quecksilberverbindungen. Quecksilber ist als chemisches Element nicht abbaubar und wird global in der Atmosphäre verteilt. Die Deposition ist der einzige Ausstragsmechanismus.

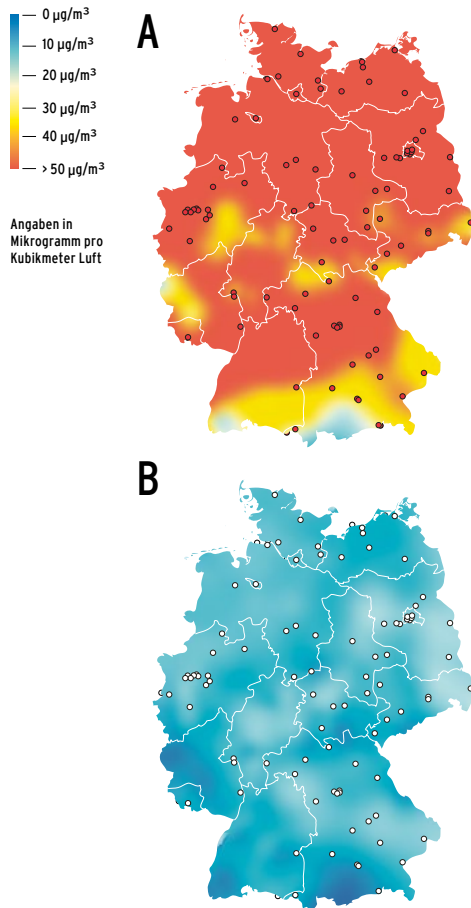
Das UBA-Luftmessnetz misst die Quecksilbergehalte in der Luft, im Staub und im Niederschlagswasser, um den Stoffkreislauf zu verstehen und die Frachten zu quantifizieren.

Datenverwaltung und Datenberichte

ABBILDUNG 14

FEINSTAUBKONZENTRATIONEN

IN DEUTSCHLAND AM 07.11.2011 (A) UND AM 12.12.2011 (B)



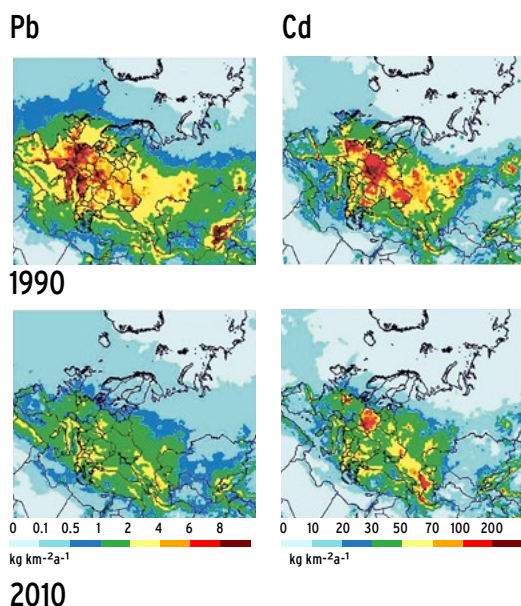
Seit Beginn der Messungen, also seit Mitte / Ende der 1960er Jahre, hat das UBA-Luftmessnetz mehr als 130 Millionen Messwerte produziert. Pro Jahr kommen etwa 3,6 Millionen neue Messwerte hinzu. Sämtliche Messwerte sind in einheitlichem Format in einer Datenbank abgelegt, zusammen mit Messort (= Messstation), Zeitpunkt oder Zeitspanne der Messung und Messmethode. Aus den Messwerten werden bei genügend hoher zeitlicher Auflösung Halbstunden-Mittelwerte berechnet und diese weiter zu Tagesmittelwerten aggregiert. Die Tagesmittelwerte und auch die chemischen Laborergebnisse von täglichen oder wöchentlichen Proben lassen sich zu Monats- und Jahresmittelwerten aggregieren. Die online und zeitnah abrufbaren Messwerte von Schwefeldioxid, Stickoxiden, Ozon und Feinstaub werden mehrmals täglich gemeinsam mit den entsprechenden Messwerten aus den Ländermessnetzen zu aktuellen Karten über die Immissionssituation in Deutschland verrechnet und im Internet dargestellt: www.umweltbundesamt.de/luftdaten.

Austauscharme Wetterbedingungen führten im November 2011 zu einer flächendeckend hohen Feinstaubkonzentration in unteren Luftschichten. Nach Umstellung der Großwetterlage lag die Feinstaubkonzentration im Dezember 2011 wieder deutlich tiefer.

Zu festgelegten jährlichen Berichtsterminen meldet das UBA-Luftmessnetz seine Messwerte in vorgegebenen Formaten an die Datenzentren der internationalen Messprogramme (EMEP, GAW, EU, OSPAR, HELCOM), wo sie zu Berichten verarbeitet werden und in die Modellvalidierung einfließen (Abb. 15). Berichte und Modelle dienen der Politikberatung oder der Information der Öffentlichkeit. Über die Internetseiten der Datenzentren sind die Messwerte der UBA-Messstationen öffentlich zugänglich, zusammen mit denen der anderen teilnehmenden Nationen. Sämtliche Messwerte des UBA-Luftmessnetzes stehen jedermann auch auf Anfrage zur Verfügung; ab 2015 sollen die Messwerte zudem zeitnah direkt über das Internet abrufbar sein.

ABBILDUNG 15

MODELLIERTE VERTEILUNG DER GESAMT-DEPOSITION VON SCHWERMETALLEN

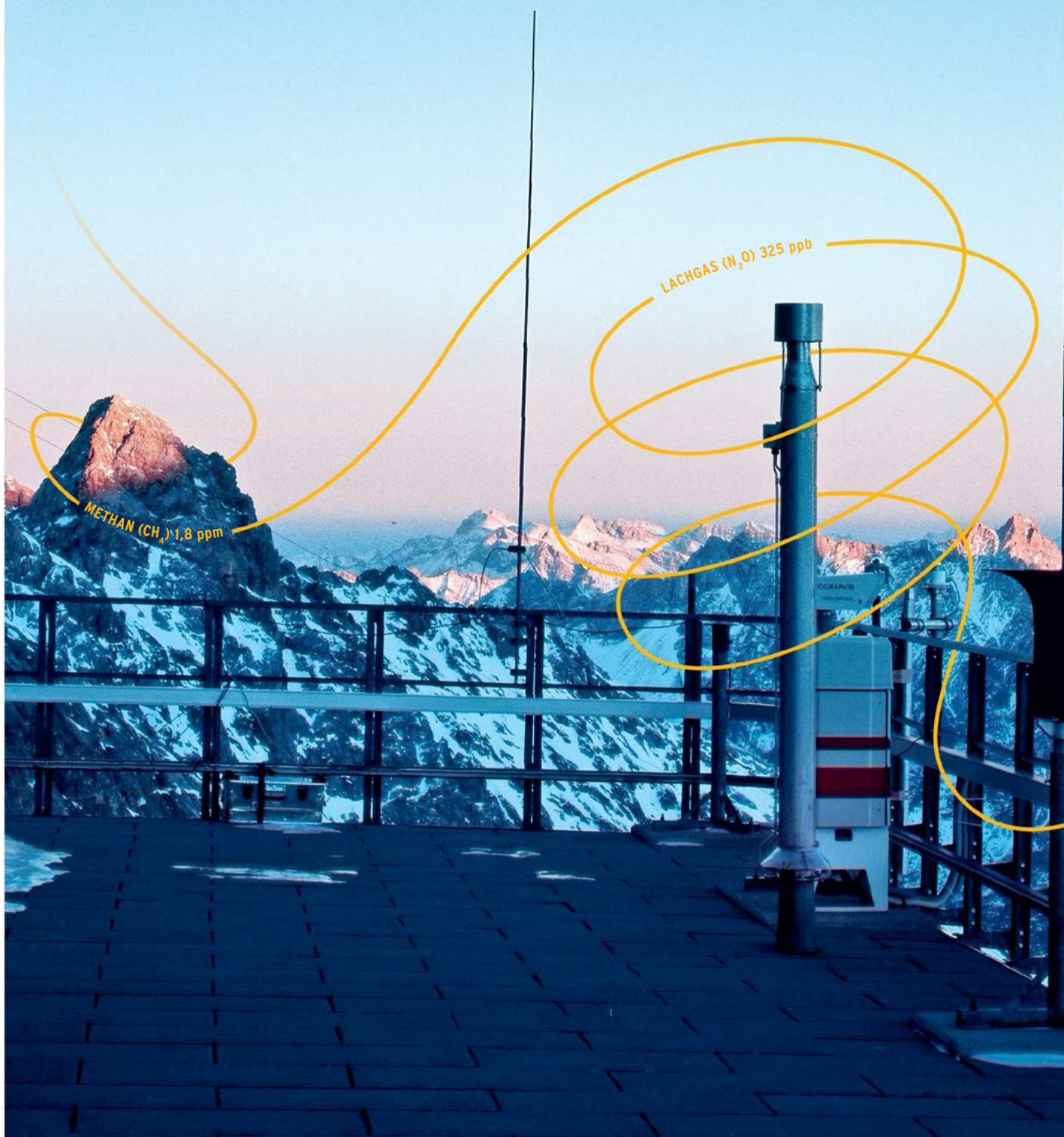


AUSBREITUNGS-MODELLIERUNG

Die Ausbreitung von Luftschadstoffen lässt sich mittels mathematischer Modelle berechnen, simulieren und darstellen. Das Modellgebiet (z. B. Deutschland oder Europa) wird hierzu in ein Gitter aus Quadraten zerlegt: je feiner das Gitter, desto feiner ist die Auflösung und desto genauer ist das Modell, aber desto höher ist auch der Rechenaufwand. Auch die dritte Dimension, also eine zusätzliche vertikale Komponente, lässt sich modellieren, wenn das Modellgebiet in Boxen diskretisiert wird.

Dafür wird aus den gemessenen Luftdruck- und Temperaturunterschieden die Luftbewegung von Zelle zu Zelle oder von Box zu Box berechnet. Bis hierhin handelt es sich um ein Wettermodell, dessen Ergebnisse tagtäglich in den Nachrichten oder im Internet dargestellt sind. Ein Wettermodell wird zu einem Ausbreitungsmodell, wenn Zusatzmodule den Eintrag, die chemischen Reaktionen sowie den Abbau oder Austrag (Deposition) von Luftverunreinigungen rechnerisch berücksichtigen. Trajektorien sind die berechneten Bahnlinien, auf den sich die Luftmassen bewegen und Luftverunreinigungen transportieren.

Erst die Modellvalidierungen macht den Zusammen grenzüberschreitender Luftverunreinigungen deutlich. Das Bild zeigt die modellierte Verteilung der Gesamtd deposition der Schwermetalle Blei (Pb) und Cadmium (Cd) für die Jahre 1990 und 2010 im Vergleich.



DIE STANDORTE DES UBA-LUFTMESSNETZES



Allgemeines zu den Messstationen

Das UBA-Luftmessnetz kann seinen wichtigsten Messauftrag, die Erfassung von weiträumig und grenzüberschreitend, zum Teil global transportierten Luftverunreinigungen und Klimagasen, nur in sog. Reinluftgebieten erfüllen.

In einer dicht besiedelten Industrienation wie Deutschland ist es sehr schwierig, geeignete Standorte in Reinluftgebieten zu finden.

Die Messstationen (sog. ländliche Hintergrundstationen) liegen daher möglichst weit entfernt von Ballungsräumen und lokalen Großemittenten wie Kraftwerken, Schwerindustrie oder Hauptverkehrsachsen. Die Fläche Deutschlands, seine Landschaftstypen und Höhenverteilung sollen dabei repräsentativ abgedeckt werden. Zudem gibt es Vorgaben und Anforderungen zu Lage und Verteilung der Messstandorte durch die internationalen Messprogramme. OSPAR und HELCOM beispielsweise verlangen Küstenstationen, EMEP wünscht eine Station pro 50 000 km² und die Hintergrundmessverpflichtungen aus der EU-Gesetzgebung schreiben eine Station pro 100 000 km² vor. Das UBA-Luftmessnetz erfüllt diese Vorga-

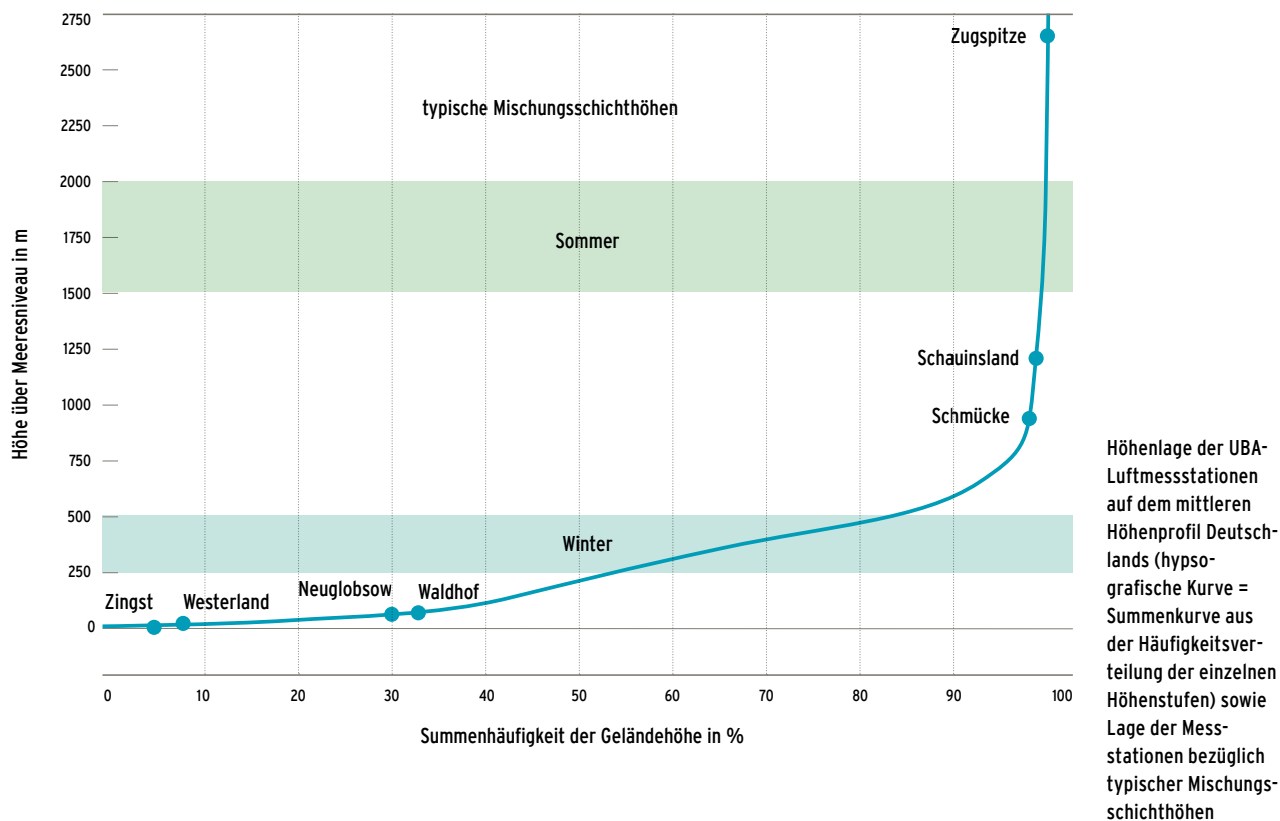
ben und Wünsche nicht perfekt, jedoch recht gut. Zu bedenken ist, dass es in einer dicht besiedelten Industrienation wie Deutschland sehr viel schwieriger ist, geeignete Standorte zu finden als beispielsweise im dünner besiedelten Skandinavien.

Während beispielsweise der Norden Deutschlands die Anforderungen an die EMEP-Stationsdichte recht gut erfüllt, gibt es im Westen und Südosten Lücken (Abb. 17). Diese werden jedoch teilweise von EMEP-Stationen im benachbarten Ausland aufgefangen. Eine Stationslücke existiert zudem im Höhenbereich zwischen 200 und 800 m ü. NN (Abb. 16), das ist der typische Mittelgebirgsbereich, der immerhin rund 40 % der Fläche Deutschlands einnimmt.

An allen Stationen des UBA-Luftmessnetzes arbeitet technisches Personal vor Ort, in Abhängigkeit vom Aufgabenumfang bis zu fünf Personen. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter kümmern sich um den reibungslosen Betrieb ihrer Messstation, dies beinhaltet die stete Funktionskontrolle, Kalibrierung und Wartung der Messgeräte, die regelmäßige Entnahme und den Versand von Proben, die Vor- und Nachbereitung der Probenahmemethoden oder die Aufbereitung von Mess-

ABBILDUNG 16

HÖHENLAGE DER UBA-LUFTMESSSTATIONEN



werten. An drei Stationen (Neuglobsow, Schauinsland) gibt es zudem Laboratorien, in denen zentrale analytische Aufgaben für das gesamte UBA-Luftmessnetz erledigt werden. Auch spielt die Öffentlichkeitsarbeit an den Messstationen eine nicht unwesentliche Rolle: Tagesbesucher und angemeldete Besuchergruppen sind herzlich willkommen.

Jede Messstation besteht aus einem Stationsgebäude und einem Messfeld. Im Stationsgebäude sind die Büros und Laboratorien sowie der Messraum untergebracht. Der Messraum ist das Herzstück jeder Messstation (Abb. 18). Über einen oder mehrere Ansaugstutzen wird frische Außenluft angesaugt, die durch automatisch arbeitende Messgeräte rund um

ABBILDUNG 17

STATIONSDICHTEN

Die deutschen EMEP-Stationen vor dem Hintergrund der EMEP-Anforderung an die Stationsdichte von einer Station pro 50 000 km²; die Kreise um die Stationen haben eine Fläche von genau 50 000 km².

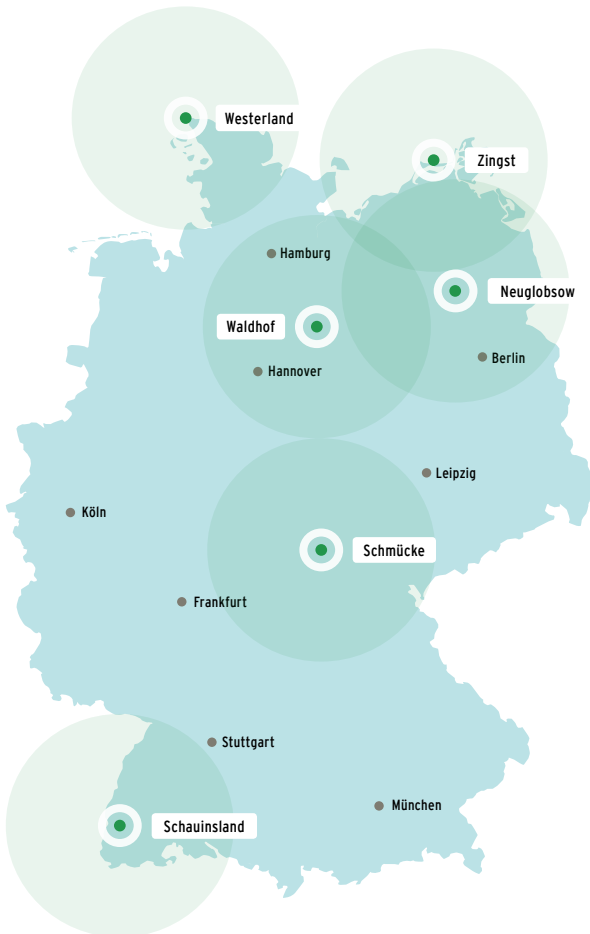


ABBILDUNG 18



ABBILDUNG 19

die Uhr auf bestimmte Luftverunreinigungen untersucht wird. Auch besonders empfindliche und sensible Luftproben können so gesammelt und weiterverarbeitet werden. Auf dem Messfeld (Abb. 19) stehen Probensammler für Feinstaub, Niederschlagswasser und spezielle Luftverunreinigungen. Die Proben werden täglich oder wöchentlich gesammelt und später im Labor analysiert. Für jede Analysenmethode bedarf es eines eigenen Sammlers mit spezifischem Sammelmedium.

Messstation Westerland



Das Stationsgebäude der Messstation Westerland liegt direkt hinter den Nordsee-Dünen auf der Insel Sylt. Die aus Nordwesten vom Meer anströmende Luft zeigt hier in idealtypischer Weise die Hintergrundbelastung der Nordhalbkugel, den sogenannten nordhemisphärischen Hintergrund.

Die Messstation Westerland liegt auf der Nordseeinsel Sylt und ist der nördlichste Standort des UBA-Luftmessnetzes. Sie gehört zu den beiden noch in Betrieb befindlichen „Ur-Stationen“, denn seit 1968 werden hier Luftmessungen durchgeführt. Die ursprüngliche Messbaracke wurde 1998 durch einen Neubau ersetzt.

Stationsgebäude und Messfeld liegen wenige Kilometer voneinander entfernt. Während das Stationsgebäude unmittelbar in den Dünen an der Westküste nördlich der Stadt Westerland steht, befindet sich das Messfeld mit den Niederschlags- und Staubsammlern in den Tinnum-Wiesen, mehrere Kilometer vom Meer entfernt. Der Grund für diese räumliche Trennung ist das in der Gischte enthaltene

Meersalz, das in unmittelbarer Nähe zum Meer die Staub- und Niederschlagsproben sehr stark beeinflussen und die Sammelgeräte zu stark korrodieren würde.

Westerland ist die einzige deutsche OSPAR-Station (CAMP-Messprogramm) und eine der sechs deutschen EMEP-Stationen.

Die aus dem Nordwestsektor am Stationsgebäude in Westerland anströmenden Luftmassen spiegeln in geradezu idealer Weise die nordhemisphärische Hintergrundbelastung wider, die nur einzelne Messstationen in Europa (z. B. Mace Head in Irland, vgl. Abb. 34, S. 90) zu erfassen in der Lage sind.

Messstation Zingst



Die Messstation Zingst liegt auf der Halbinsel Fischland-Darß-Zingst, ganz im Norden von Mecklenburg-Vorpommern. Sie befindet sich etwa drei Kilometer östlich des Ostseebads Zingst, in der Mitte zwischen Ostsee- und Boddenküste. Die Kernzone des Nationalparks Vorpommersche Boddenlandschaft reicht bis an die Messstation. Die ehemalige Forschungsstation des Meteorologischen Dienstes der DDR zur Sondierung der mittleren Atmosphäre wurde Ende 1991 in das Luftmessnetz des Umweltbundesamts integriert.

Im Vordergrund der Stationsarbeit steht die Untersuchung der Hintergrundbelastung der Luft der ostseenahe Küstenregion im Rahmen von EMEP sowie der

Stoffflüsse aus der Atmosphäre in die Ostsee im Rahmen von HELCOM.

Das Bild zeigt das alte Stationsgebäude im Jahr 2013. Ein Neubau ist in Planung und soll 2013/14 realisiert werden.

Messstation Waldhof



Die Messstation Waldhof liegt im Osten der Lüneburger Heide auf niedersächsischem Gebiet, nur wenige hundert Meter von der Landesgrenze zu Sachsen-Anhalt entfernt. Die nächste Ortschaft ist das etwa drei Kilometer westlich gelegene Langenbrügge.

Die Station wurde 1970 eingerichtet, ursprünglich um den grenzüberschreitenden Transport von Luftverunreinigungen zwischen den beiden deutschen Staaten zu erfassen. Heute werden hier Luftmassen untersucht, die repräsentativ sind für die Hintergrundbelastung des norddeutschen Flachlands. Feinstaub und Schwermetalle (insbesondere Quecksilber und dessen Spezies) bilden Untersuchungsschwerpunkte.

Waldhof ist eine der sechs deutschen EMEP-Stationen und eine Hintergrundmessstation gemäß EU-Luftqualitätsrichtlinie.

Die Messstation Waldhof dient zudem als Kalibrier- und Servicezentrale für die norddeutschen Messstationen. Hierfür besucht ein Servicetechniker von der Messstation Waldhof die anderen Messstationen regelmäßig, um Messgeräte zu kalibrieren und Wartungsarbeiten durchzuführen.

Messstation Neuglobsow



Die Messstation Neuglobsow liegt im nördlichen Brandenburg, am südöstlichen Rand der Brandenburg-Mecklenburger Seenplatte, direkt am Südostufer des Stechlinsees auf 65 m über NN. Die eiszeitlich geprägte flachhügelige Umgebung ist ein Naturschutzgebiet. Die Messstation und das Stechlingebiet wurden bereits seit 1982 genutzt, um internationale Mess- und Berichtspflichten der DDR zur Genfer Luftreinhaltekonvention zur erfüllen. 1991 integrierte das Umweltbundesamt die Station in sein Luftmessnetz. Die untersuchten Luftmassen sind typisch für das östliche Norddeutschland.

Die Messstation ist eine der sechs deutschen EMEP-Stationen, eine von zwei GAW-Regionalstationen sowie eine

Hintergrundmessstation gemäß EU-Luftqualitätsrichtlinie. Außerdem dient das bewaldete Umfeld der Messstation und der Stechlinsee mit seinem hydrologischen Einzugsgebiet als eine von zwei deutschen Integrated-Monitoring-Messflächen. Der benachbarte Standort des Leibniz-Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) sowie das Büsgen-Institut der Universität Göttingen unterstützen das UBA in einer langjährigen Kooperation beim Integrated Monitoring in Neuglobsow.

In den Laboratorien der Messstation werden zentral für alle UBA-Messstationen die Probenahmeröhrchen für Ammoniak und Salpetersäure vorbereitet, versandt und nach Rücksendung analysiert.

Messstation Schmücke



Die Messstation Schmücke liegt im Kammbereich des Thüringer Waldes auf 937 Metern Höhe, etwa 7 km nordöstlich der Stadt Suhl. Der bekannte Höhenwanderweg Rennsteig tangiert die Messstation. Sie wurde 1976 vom Meteorologischen Dienst der DDR eingerichtet und Ende 1991 in das Luftmessnetz des Umweltbundesamtes übernommen. Mitte in Deutschland gelegen ist die Station repräsentativ für Mittelgebirgslandschaften und erfasst weiträumig transportierte Luftmassen aus dem westlichen und östlichen Europa.

Die Mitarbeiter/innen an der Messstation Schmücke wiegen für das gesamte UBA-Luftmessnetz die Feinstaubfilter und analysieren täglich belegte Probenträger auf

NO_2 sowie zwei Mal wöchentlich gefüllte Edelstahlkanister auf flüchtige organische Verbindungen (VOC).

Die Messstation ist eine der sechs deutschen EMEP-Stationen, eine Hintergrundmessstation gemäß EU-Luftqualitätsrichtlinie sowie die in der EU-Luftqualitäts-Richtlinie (Artikel 10 (6)) geforderte Probenahmestelle zur Erfassung der Konzentrationen der Ozonvorläuferstoffe NO , NO_2 sowie geeigneter VOC.

Messstation Schauinsland



Die Messstation Schauinsland liegt in 1204 m Höhe auf dem gleichnamigen Berg im Südschwarzwald bei Freiburg. Für das Klimagas Kohlendioxid existiert von hier die längste Messreihe Europas (1972 bis heute).

Die Messstation Schauinsland liegt auf dem gleichnamigen Berg im südlichen Schwarzwald, etwa zehn Kilometer süd-östlich von Freiburg. Wegen ihrer Lage in 1204 Metern Höhe am Ostrand des Oberrheintalgrabens befindet sich die Station häufig über der bodennahen Mischungsschicht, wodurch weiträumig transportierte Luftmassen erfasst werden.

Die Messungen begannen 1965 (eine der „Ur-Stationen“) und werden seit 1974 vom Umweltbundesamt fortgeführt. Neben seiner Hauptaufgabe als deutsche EMEP-Station fungiert der Standort als eine Hintergrundmessstation gemäß EU-Luftqualitätsrichtlinie sowie als GAW-Regionalstation. Für Kohlendioxid existiert am Schauinsland die längste Messreihe

Europas (1972 bis heute). Wegen dieser Langzeiterfahrung bei Klimagasmessungen dient die Messstation UBA-intern auch als Kalibrierlabor für Klimagase im GAW-Messprogramm, das heißt mithilfe des vom GAW-CCL („Central Calibration Laboratory“) NOAA-ESRL in Boulder (Colorado) bezogenen Primärstandards für die Klimagasmessungen werden auf dem Schauinsland Transferstandards für die beiden anderen GAW-Stationen des UBA auf der Zugspitze und in Neuglobsow hergestellt, vermessen und verteilt.

In den Laboratorien auf dem Schauinsland analysieren die Mitarbeiter/innen zudem zentral für alle UBA-Messstationen Proben auf An- und Kationen und präparieren die entsprechenden Probenahmefilter.

GAW-Globalstation auf der Zugspitze



In der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus, knapp unterhalb des Zugspitzgipfels, ist auf 2 650 m Höhe die höchstgelegene und jüngste UBA-Luftmessstation untergebracht, die Messplattform Zugspitze der einzigen GAW-Globalstation in Deutschland.

Die südlichste und am höchsten gelegene (2 650 m ü. NN) Messstation des UBA-Luftmessnetzes befindet sich in der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus auf der Zugspitze. Zusammen mit dem vom Deutschen Wetterdienst in einer Entfernung von etwa 40 km Luftlinie betriebenen Observatorium Hohenpeißenberg bildet sie die einzige GAW-Globalstation in Deutschland, eine von weltweit nur 30.

Der höchste Berg Deutschlands bietet beste Voraussetzungen, um in der unteren freien Troposphäre breit und langfristig angelegte Beobachtungs- und Forschungsaktivitäten zu atmosphärischen Treibhausgasen, zu Aerosolen, zur Veränderung der Ozonschicht und zum

globalen Ferntransport von Luftverunreinigungen durchzuführen.

Im sog. DACH-Verbund (D = Deutschland, A = Österreich, CH = Schweiz) werden die Messdaten von drei alpinen GAW-Stationen aus Deutschland (Zugspitze-Hohenpeißenberg), Österreich (Sonnblick 3 106 m ü. NN) und der Schweiz (Jungfraujoch, 3 580 m ü. NN) zusammengeführt, um gemeinsam Trends von Luftverunreinigungen und Klimaveränderungen im Alpenraum und in Mitteleuropa zu verfolgen. Die Messstation Zugspitze ist in den Forschungsverbund der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus integriert. Seit Jahren besteht eine intensive Zusammenarbeit mit den anderen Forschungseinrichtungen.

Integrated-Monitoring- Untersuchungsgebiet Forellenbach im Nationalpark Bayerischer Wald



Die Messfläche im Buchenbestand ist eine von mehreren Messflächen und Messstellen im Forellenbachgebiet im Nationalpark Bayerischer Wald. Sie dienen der Untersuchung von Wirkungen grenzüberschreitend transportierter Luftverunreinigungen auf Ökosysteme im Rahmen des sog. „Integrated Monitoring“.

Der Forellenbach und sein Einzugsgebiet im Nationalpark Bayerischer Wald ist eines der beiden Integrated-Monitoring-Untersuchungsgebiete Deutschlands. Es wird seit 1990 vom UBA betrieben. An mehreren Messflächen und Messstellen werden die Wirkungen grenzüberschreitend transportierter Luftverunreinigungen auf die Ökosysteme untersucht.

Kooperationspartner ist die Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald (NPV), die im Rahmen einer Verwaltungsvereinbarung die Beobachtung durchführt. Die Beobachtungen und Messungen umfassen

Meteorologie, Luftchemie, Niederschlagschemie in Freifläche und Wald, Stammabfluss, Bodenwasserchemie, Grundwasserchemie, Oberflächenwasserchemie, Blattchemie, Streufallchemie, Mikrobiologie, Waldwachstum und Kronenzustand, Fische, Vegetation, Vegetationsstruktur, Flechten, Vogelinventur und Phänologie.



Nach starkem Schneefall ist die Messstation Schauinsland kaum noch zu erkennen.

Im Winter peitscht nicht selten eine eisige Brise von der Nordsee über das Stationsgebäude Westerland.

Reinluftgebiete sind oft auch Urlaubsregionen. Fotos der Messstationen bei Sonnenschein und blauem Himmel suggerieren daher leicht den Eindruck, die Tätigkeiten an den Messstationen seien eine Art „dauerhafter Arbeitsurlaub“. Tatsächlich handelt es sich um exponierte und außergewöhnliche Arbeitsplätze, die dem Personal einiges abverlangen. Die Arbeit findet ganzjährig, bei jedem Wetter auch im Freien statt, z. B. in dünner Luft auf der Zugspitze, bei wochenlang meterhohem Schnee an den Bergstationen oder Leuchtturmwärter-artiger Einsamkeit auf Sylt.



Luftmessnetzzentrale in Langen

Im hessischen Langen, etwa in der Mitte zwischen Frankfurt und Darmstadt, befindet sich seit 1998 die Zentrale für alle Messaktivitäten des UBA in der Außenluft. Hier sind Leitung, wissenschaftliche Lenkung, Zentrallabors, Datenzentrale und das sog. nationale EU-Referenzlabor untergebracht.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Standort Langen steuern und unterstützen die Messstationen und die Messprogramme fachlich, werten die Daten wissenschaftlich aus, arbeiten als deutsche Experten in den Fachgremien

der internationalen Vertragswerke mit und begleiten Forschungsvorhaben.

Das zentrale Messnetzlabor in Langen führt spezielle Laboranalysen durch, für die an den Messstationen nicht die apparativ-technischen oder personellen Voraussetzungen gegeben sind bzw. die aus Gründen der Qualitätssicherung zentral ausgeführt werden müssen. Hierzu gehören neben der Untersuchung von Proben aus dem UBA-Luftmessnetz auch methodische Arbeiten zur Analytik der Inhaltsstoffe in Feinstaub und Niederschlagswasser (**Abb. 20**).

Die von den Messstationen eintreffenden Feinstaub- und Niederschlagswasserproben werden auf Ionen, Schwermetalle, Quecksilber, Kohlenstoffspezies und POP analysiert. Die zentrale Analyse nach harmonisierten und standardisierten Methoden bildet ein wesentliches Element der Qualitätssicherung bei der Untersuchung von Luftverunreinigungen im Rahmen der internationalen Messprogramme bzw. gemäß EU-Luftqualitätsrichtlinien.

Methodische Arbeiten zur Optimierung der eingesetzten Analysenverfahren dienen der stetigen Qualitätsüberprüfung und -verbesserung der Messungen und zielen auf eine effiziente und qualitätsgerechte Erledigung der Messaufgaben. Die Validierung der eingesetzten Methoden beinhaltet auch die Teilnahme an Methodenvergleichen im nationalen und internationalen Rahmen. Über die Mitwirkung in nationalen und internationalen Arbeitsgruppen tragen diese Arbeiten auch zur Harmonisierung und Standardisierung von Messmethoden bei.

Das zentrale Messnetzlabor in Langen führt spezielle Laboranalysen durch, für die an den Messstationen nicht die Voraussetzungen gegeben sind bzw. die zentral ausgeführt werden müssen.

In der Datenzentrale laufen die Messwerte zusammen, zeitnah und online abrufen von den automatisch-kontinuierlich messenden Geräten, zeitferner per Datei die Analysenergebnisse aus den Laboren. Es findet eine intensive Validierung und



Die UBA-Außenstelle im hessischen Langen ist seit 1998 die Zentrale für sämtliche Messaktivitäten des Umweltbundesamtes im Bereich Außenluft. Beim Umweltfest der Stadt Langen öffnet die Außenstelle Türen und Labore für Besucherinnen und Besucher.



Für die Analyse von Feinstaub auf Kohlenstoffspezies (Ruß, organischer Kohlenstoff) werden definierte Teile von mit Feinstaub belegten Filtern ausgestant.

Das nationale EU-Referenzlabor in Langen zertifiziert die Kalibriergase von Luftmessnetzen der Bundesländer und des UBA und gewährleistet damit einheitliches, genaues und richtiges Messen.

Qualitätskontrolle der Messdaten statt, bevor sie zum einen in einer zentralen Datenbank verwaltet, zum anderen zu jährlichen Berichtsterminen an die internationalen Datenzentren weitergegeben werden.

Das EU-Referenzlabor (vormals Pilotstation) im UBA Langen ist in Deutschland eines von zwei nationalen Kalibrierlabors für die gesetzlich geregelten Luftschadstoffe, wie sie die EU-Luftqualitätsrichtlinie fordert. Hier werden die Kalibriergase der deutschen Luftmessnetze (Bundesländer und UBA) amtlich zertifiziert, um zu gewährleisten, dass alle gleich, genau und richtig messen (**Abb. 21**).

Das Nationale EU-Referenzlabor Langen ist zertifiziert nach DIN EN ISO/IEC 17025 und unterlegt seine eigene Messqualität durch Teilnahme an Ringversuchen im Rahmen der metrologischen Abkommen mit Einträgen der Kalibrierfähigkeiten beim BIPM in Paris („Bureau International des Poids et Mesures“ = Internationales Büro für Maße und Gewichte) auf dem Niveau eines Primärstandards. Darüber hinaus ist das Labor Mitglied in AQUILA („Association of National Air Quality Reference Laboratories“), einem Netzwerk der nationalen Referenzlaboratorien in Europa, und begleitet Harmonisierungsprogramme, die durch das Europäische Referenzlabor für Luftverschmutzung (ERLAP = „European Reference Laboratory for Air Pollution“, JRC-Centre) in Ispra (Italien) organisiert werden.



Die Laboratorien in der Messnetzzentrale Langen analysieren Feinstaub- und Niederschlagswasserproben auf Ionen, Schwermetalle, Quecksilber, Kohlenstoffspezies und POP. Mittels der unten dargestellten Atomfluoreszenzspektrometrie werden Niederschlagswasserproben auf ihren Quecksilbergehalt analysiert. Die Konzentrationen liegen im Bereich weniger Nanogramm (Milliardstel Gramm) pro Liter.

Was für die Längenmessung der vom Urmeter in Paris abgeleitete nationale deutsche Metermaßstab bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig ist, sind für die Messung von Luftschadstoffen die Kalibriergase des nationalen EU-Referenzlabors in Langen.

BENZO(A)PUREN 3,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{a}$

BLEI (pb) 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{a}$

QUECKSILBER (Hg) 5,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{a}$

STICKSTOFF (N) 500 $\text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{a}$



AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE AUS DEM UBA-LUFTMESSNETZ



130 Millionen qualitätskontrollierte Messwerte aus 50 Jahren UBA-Luftmessnetz, pro Jahr rund 3,6 Millionen neue Messwerte, mehr als 100 Messparameter, da bieten sich nahezu unendlich viele Möglichkeiten der Auswertung und Darstellung.

BLEI (Pb) 300 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{a}$

Von Einzelparametern lassen sich Mittelwerte und Streuung berechnen oder ihre zeitliche Entwicklung verfolgen. Die Abhängigkeiten von Messgrößen untereinander, von der Tages-, Wochen- oder Jahreszeit, von bestimmten Wetterbedingungen oder vom Ort der Messung können Antworten beinhalten auf Fragen zu Prozessen in der Atmosphäre, zur Herkunft und zur Transportweite von Luftschadstoffen, zur Rolle und Bedeutung des menschlichen Einflusses, zu Fortschritten in der Luftreinhaltung oder zum Handlungsbedarf, zur Exposition von Mensch und Umwelt gegenüber Luftschadstoffen und zu Wirkungen.

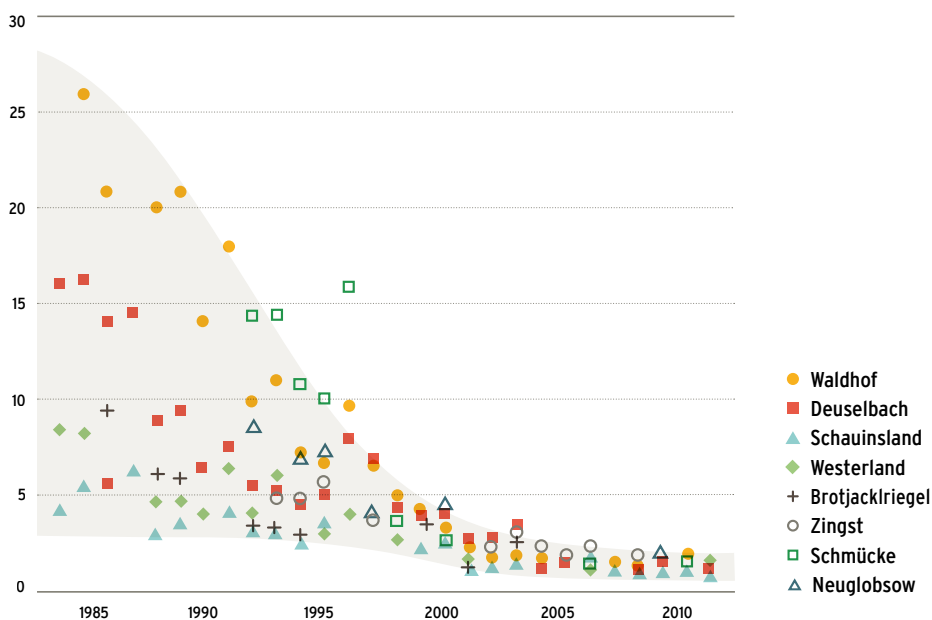
Oft liegen die Zusammenhänge klar und deutlich auf der Hand und bestätigen bestehende Erkenntnisse oder Vermutungen. In den Messwerten verbergen sich aber nicht selten auch Informationen, die erst nach aufwändiger, fachkundiger und kunstgerechter Datenbehandlung oder erst nach komplizierten statistischen Auswertungen zu Tage treten. Einige ausgewählte Beispiele aus den Bereichen gasförmige Luftschadstoffe, Staub und seine Zusammensetzung, Deposition und klimawirksame Gase sollen davon einen Eindruck geben.

Gasförmige Luftschadstoffe

ABBILDUNG 21 A

JAHRESMITTELWERT SCHWEFELDIOXID

SO₂ in µg m⁻³



Die Grafik oben und die Grafiken auf der folgenden Seite zeigen die Jahresmittelwerte der „klassischen“ Luftschadstoffe Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Ozon an den Stationen des UBA-Luftmessnetzes von den 1980er Jahren bis 2011. Die grau hinterlegte Fläche verdeutlicht die generellen Trends in fast drei Jahrzehnten.

ABBILDUNG 21 B

JAHRESMITTELWERT STICKSTOFFDIOXID

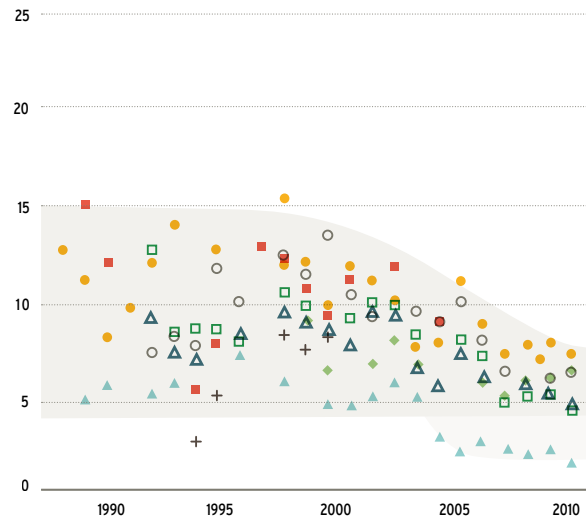
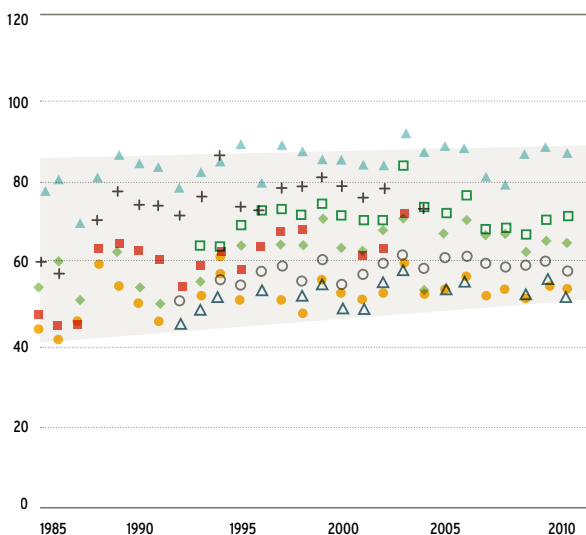
 NO_2 in $\mu\text{g m}^{-3}$


ABBILDUNG 21 C

JAHRESMITTELWERT OZON

 O_3 in $\mu\text{g m}^{-3}$


Schwefeldioxid (SO_2) zeigt seit den 1980er Jahren den stärksten Konzentrationsrückgang. Grund ist die Großfeuerungsanlagenverordnung (= 13. BImSchV) aus dem Jahr 1983, in der ein Emissionsgrenzwert für Schwefeldioxid für Kohlekraftwerke vorgeschrieben wurde. Auch hatte die Stilllegung der DDR-Braunkohlekraftwerke Anfang der 1990er Jahre einen positiven Einfluss auf die SO_2 -Konzentrationen. Stickstoffdioxid (NO_2) stammt hauptsächlich aus Verbrennungsmotoren (Kfz, LKW, Schiffdiesel). Zwar ist der NO_2 -Ausstoß von PKW dank Katalysator stark rückläufig, die Zunahme der PKW und der gefahrenen Kilometer wirkt jedoch gegenläufig, sodass die NO_2 -Konzentrationen deutlich schwächer abgenommen haben als die von SO_2 .

Die Jahresmittelwerte von Ozon zeigen die höchsten Konzentrationen an den Bergstationen, wo der nächtliche Ozonabbau geringer ist. Der leichte Anstieg der Ozon-Jahresmittelwerte an den Flachlandstationen ist paradoxerweise eine Folge der Luftreinhaltung, denn zurückgehende Stickoxid-Konzentrationen führen nachts zu einem verringerten Ozonabbau. Das Jahr 2003 mit einem sehr heißen und trockenen Sommer ist an erhöhten Ozon-Jahresmittelwerten erkennbar.

- Waldhof
- Deuselbach
- ▲ Schauinsland
- ◆ Westerland
- + Brotjacklriegel
- Zingst
- Schmücke
- ▲ Neuglobsow

ABBILDUNG 22

STICKSTOFFDIOXID IN WESTERLAND

 NO_2 in $\mu\text{g m}^{-3}$

Abhängigkeit der NO_2 -Konzentrationen (Halbstundenmittelwerte eines Jahres) von der Windrichtung an der Messstation Westerland. Kommen die Luftmassen vom Land (Sektor Südwest über Südost bis Nordost), sind die Konzentrationen deutlich höher als in Luftmassen vom Meer (Sektor Südwest über Nordwest bis Nordost). Die von Nordwesten anströmende Meeresluft repräsentiert an der Messstation Westerland in idealtypischer Weise den nordhemisphärischen Hintergrund von Luftverunreinigungen. Solche Auswertungen machen die Notwendigkeit deutlich, auch meteorologische Messgrößen zu erfassen und für bestimmte Auswertungen die Messwerte entsprechend zu filtern.

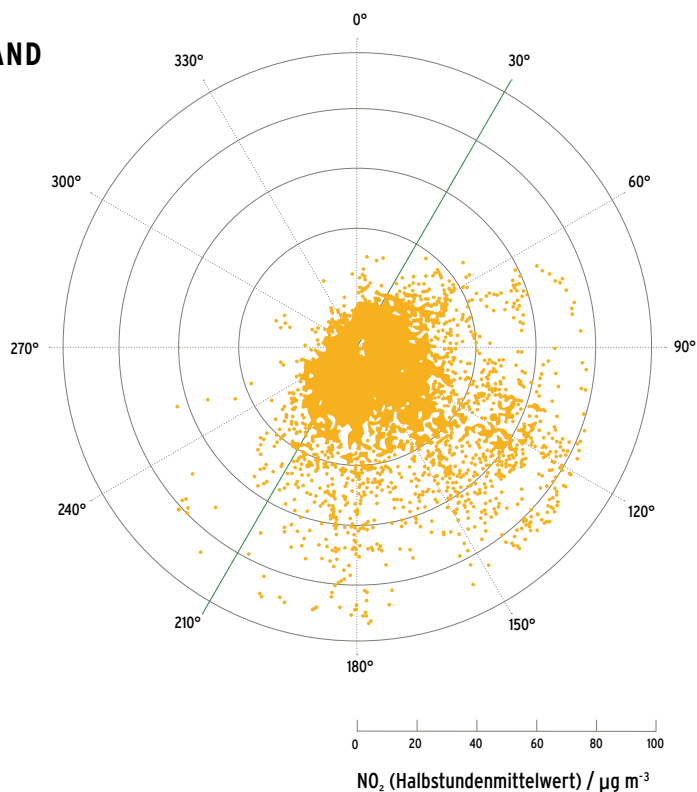
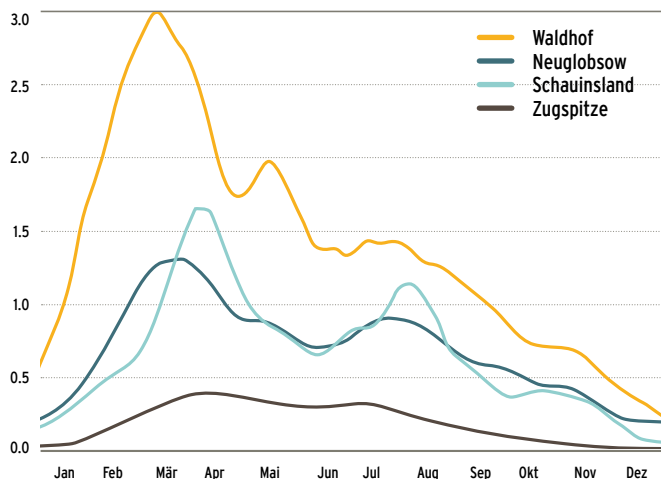


ABBILDUNG 23

JAHRESGANG AMMONIAK

 NH_3 in $\mu\text{g m}^{-3}$

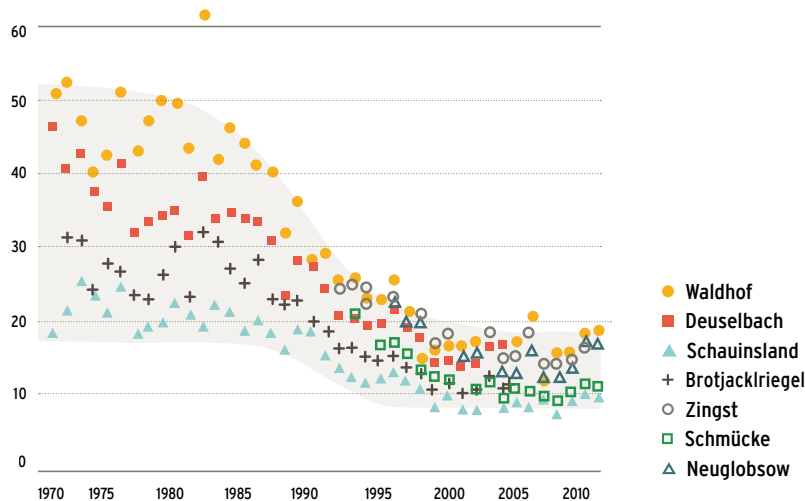
Ammoniak (NH_3) stammt vorwiegend aus der Landwirtschaft. Die mittleren Jahresgänge an vier UBA-Messstationen zeigen daher auch im März / April, wenn die landwirtschaftlichen Aktivitäten (z. B. Gülle-Düngung) starten, die höchsten Konzentrationen und im Winter, wenn sie ruhen, die niedrigsten. Die Messstation Waldhof liegt den niedersächsischen Regionen mit Massentierhaltung am nächsten, weshalb die Ammoniak-Konzentrationen hier am höchsten sind. Aber selbst auf der Zugspitze, weit entfernt von landwirtschaftlichen Aktivitäten und in der freien Troposphäre gelegen, ist das landwirtschaftliche Ammoniak-Signal noch erkennbar.



Staub und seine Zusammensetzung

ABBILDUNG 24

ENTWICKLUNG DER FEINSTAUBMASSE SEIT 1970 AN DEN MESSSTATIONEN DES UBA-LUFTMESSNETZES



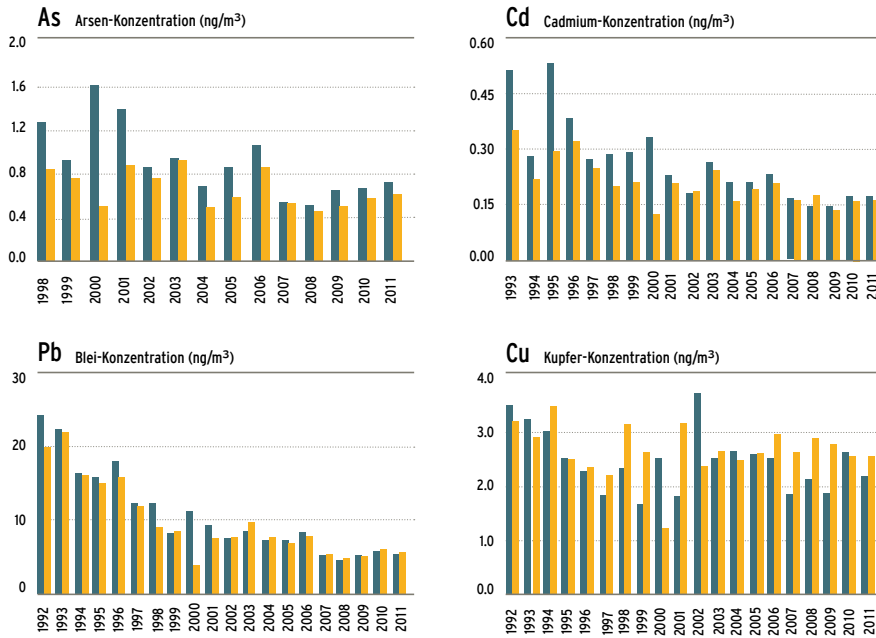
Jahresmittelwert PM_{10} in in $\mu\text{g m}^{-3}$

Waren in den 1970er Jahren Konzentrationen von $20 \mu\text{g/m}^3$ noch die Untergrenze der Feinstaubbelastung (Abb. 24), so ist dies heute die Obergrenze. Hauptgründe sind die Entstaubung von Anlagen-Emissionen (Kraftwerke, Industrie), die Stilllegung von Anlagen in der ehemaligen DDR sowie der Rückgang der Schwefeldioxid-Emissionen, wodurch sich weniger sekundäre Partikel bilden. Ultrafeinstaubpartikel können sich durch atmosphärenchemische Prozesse bilden (Nukleation) und wachsen. Das zeigt nachfolgend die

Grafik vom 21. Juni 2005 (Abb. 26) von der Zugspitze. Waagerecht aufgetragen ist die Uhrzeit, senkrecht die Partikelgröße in Nanometer (Millionstel Millimeter). Die Menge der Ultrafeinstaubpartikel ist farbcodiert von blau (= wenige) bis rot (= viele). Zu erkennen ist, dass ab etwa 9:00 Uhr die Sonneneinstrahlung die photochemische Aktivität anheizt. Es bilden sich viele Partikel im Bereich $10 - 20 \text{ nm}$. Die Größe nimmt von Stunde zu Stunde zu, um sich ab Mittag bei etwa 100 nm einzupendeln.

ABBILDUNG 25

KONZENTRATIONEN PARTIKELGEBUNDENER SCHWERMETALLE

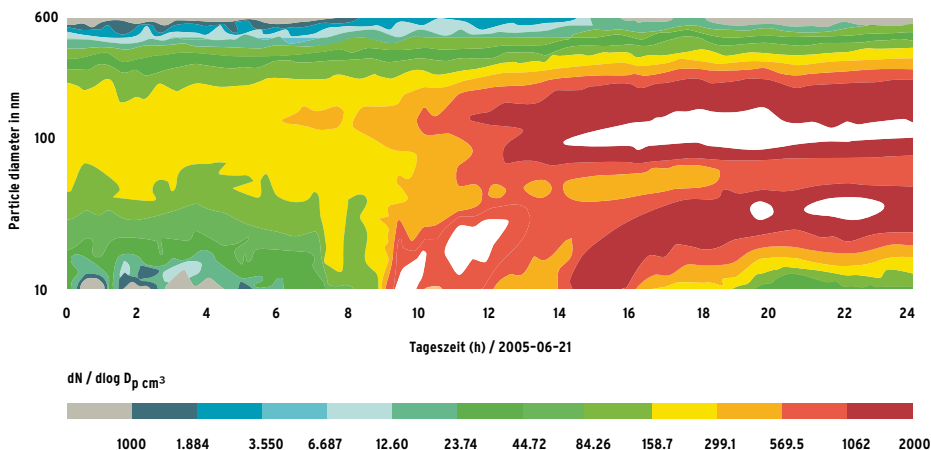


Konzentrationen partikelgebundener Schwermetalle (As = Arsen, Cd = Cadmium, Pb = Blei, Cu = Kupfer) an den beiden UBA-Messstationen Neuglobsow und Waldhof im norddeutschen Flachland (bis 1998 Gesamtstaub, ab 1999 Feinstaub PM₁₀). Alle vier Schwermetalle zeigen eine rückläufige Tendenz, allerdings unterschiedlich stark ausgeprägt. Hauptgründe sind der Feinstaubrückgang insgesamt und verbesserte Reinigungstechniken bei Emissionen aus Hochtemperaturprozessen. Beim Blei zeigt sich zudem das sukzessive Verbot von verbleitem Benzin in den europäischen Ländern.

ABBILDUNG 26

WACHSTUM VON ULTRAFEINSTAUBPARTIKELN

ZUGSPITZE, 21. JUNI 2005

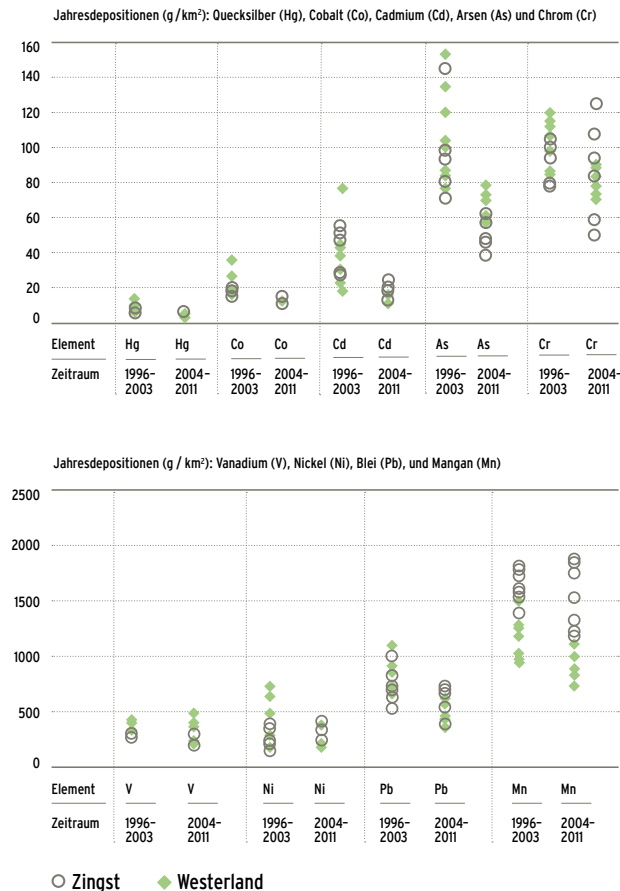


Deposition

ABBILDUNG 27

JAHRESSUMMEN DER NASSEN SPUREN-METALLDEPOSITION IM VERGLEICH

WESTERLAND UND ZINGST (1996 - 2003 ZU 2004 - 2011)



Der Eintrag ferntransportierter säurebildender Ionen aus der Luft (= Deposition) in Ökosysteme ist seit 1982 stark rückgängig. Dargestellt in Abbildung 28 sind mit der Niederschlagsmenge gewichtete Jahresmittelwerte der UBA-Messstationen Westerland, Waldhof, Deuselbach/Hunsrück (seit 2004 nur noch Probenahmestelle) und Schauinsland, normiert auf 1982. 1982-1999: tägliche „bulk“-Proben, 2000-2011: wöchentliche „wet-only“-Proben.

Messungen zur nassen Spurenmetalldeposition an den UBA-Luftmessstationen (Abb. 27) zeigen in Deutschland einen unterschiedlich ausgeprägten Rückgang bei den Depositionen fast aller Spurenmetalle, was sehr gut mit den modellierten Schwermetall-Depositionen in Europa und Teilen Asiens übereinstimmt (vgl. auch Abb. 15).

Für Quecksilber ergaben EMEP-Modellrechnungen, dass im Jahr 2010 in Deutschland insgesamt 5,4 t Hg aus der Atmosphäre deponiert wurden. Davon entstammen 3,2 t Hg direkten anthropogenen Emissionen aus der EMEP-Region (davon 2,1 t Hg aus Deutschland), während die restlichen 2,2 t Hg (das heißt 38 % der Gesamtd deposition) aus natürlichen, globalen und historischen Emissionsquellen stammen (Abb. 29).

ABBILDUNG 28

ENTWICKLUNG DER IONENKONZENTRATIONEN IM NIEDERSCHLAG AN DEN MESSSTATIONEN DES UBA-LUFTMESSNETZES VON 1982 BIS 2011

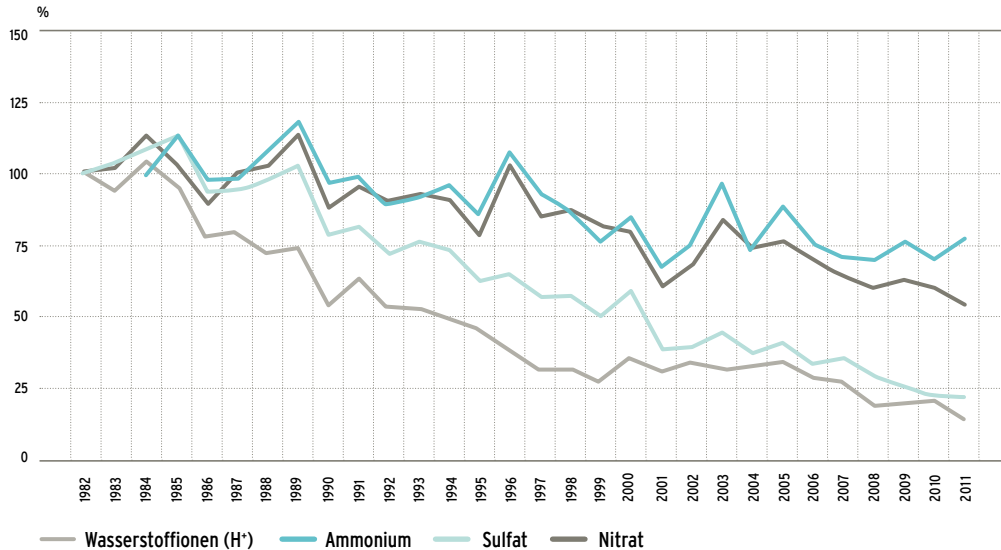
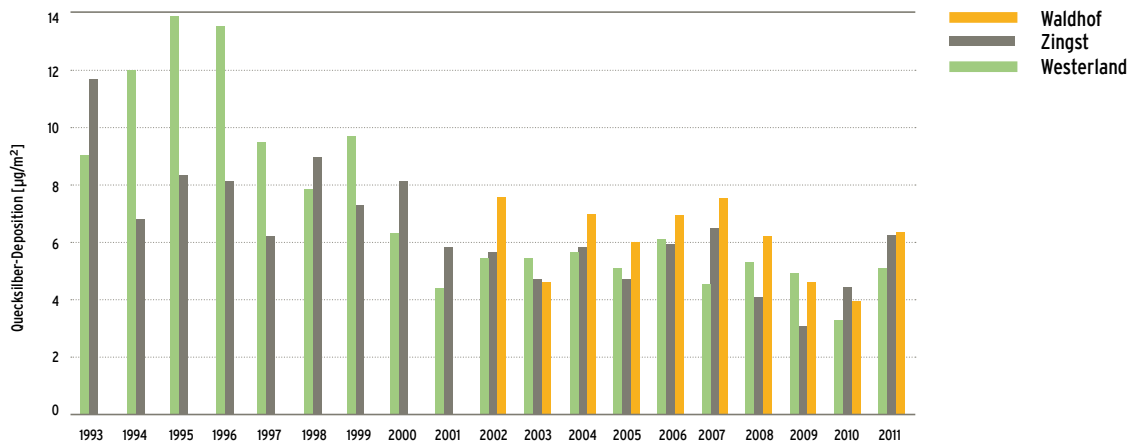


ABBILDUNG 29

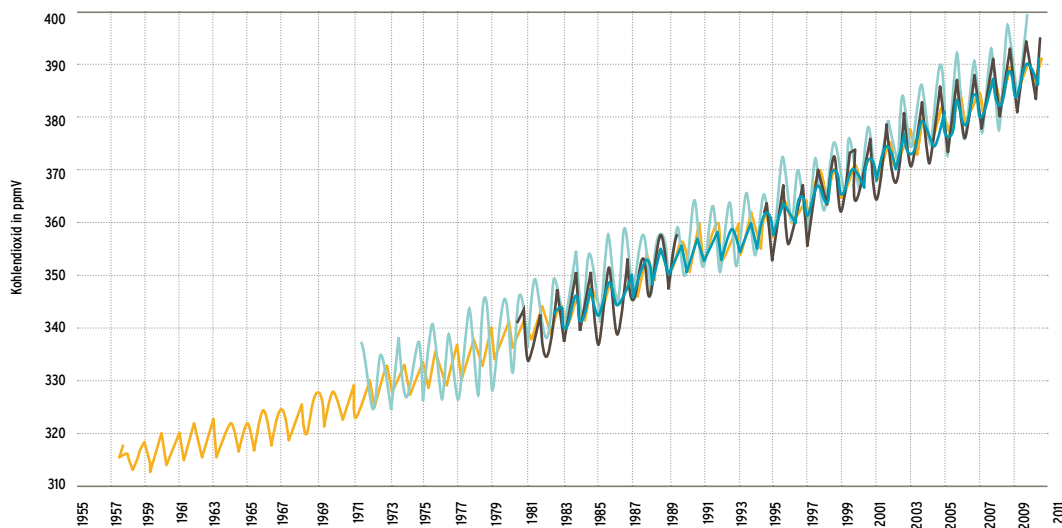
NASSE JAHRESDEPOSITIONEN (MIT DEM NIEDERSCHLAGSWASSER) VON QUECKSILBER (HG) AN DREI NORDDEUTSCHEN UBA-MESSSTATIONEN



Klimawirksame Gase

ABBILDUNG 30

ZEITREIHEN DES KLIMAGASES KOHLENDIOXID UBA-MESSSTATIONEN IM VERGLEICH ZUM WELTWEITEN TREND UND ZUR LÄNGSTEN CO₂-MESSREIHE VON MAUNA LOA (HAWAII)



Zeitreihen des Klimagases Kohlendioxid an den UBA-Messstationen Schauinsland und Zugspitze im Vergleich zum weltweiten Trend (WMO = Weltmeteorologieorganisation der UN) und zu der weltweit längsten CO₂-Messreihe von Mauna Loa (Hawaii). Im Mittelwert stimmen die Messreihen gut überein. Der Einfluss kontinentaler anthropogener Quellen und der Vegetation als Senke bewirken bei den beiden Festlandsstandorten Schauinsland und Zugspitze die erheblich stärkeren jahreszeitlichen Schwankungen mit geringeren CO₂-Konzentrationen im Sommer und erhöhten Konzentrationsniveaus im Winterhalbjahr.

- Schauinsland
- Mauna Loa, Hawai
- Zugspitze
- Welttrend WMO

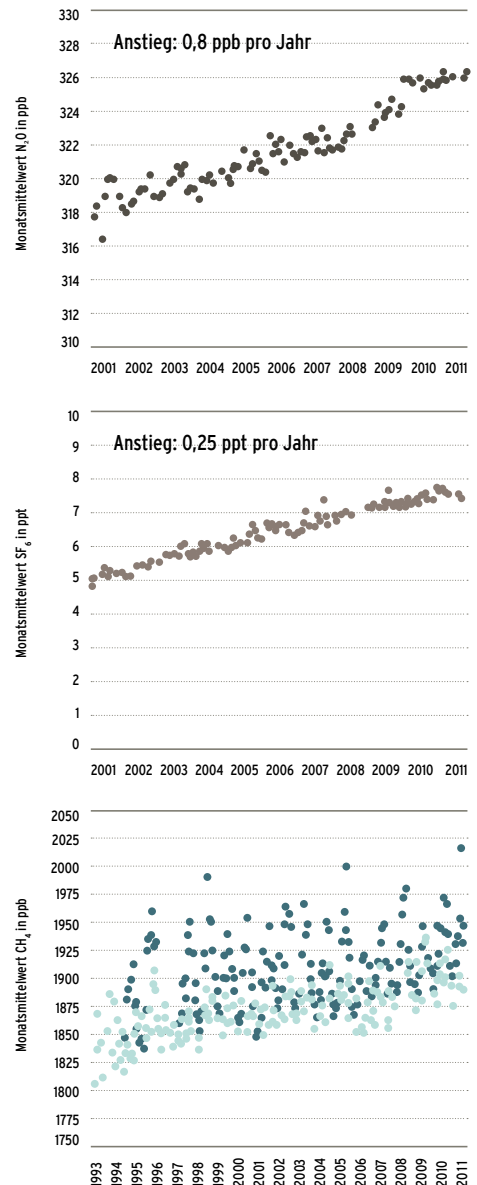
Kohlendioxid (CO_2) ist das bekannteste und mengenmäßig bedeutendste klimawirksame Gas. Andere Gase sind weniger bekannt und bezüglich ihrer Menge unbedeutender, ihre Klimawirksamkeit kann aber sehr viel höher als die gleiche Menge Kohlendioxid sein. Die drei Diagramme (Abb. 31) zeigen die zeitliche Entwicklung der Konzentrationen (Monatsmittelwerte) von Lachgas (N_2O) und Schwefelhexafluorid (SF_6) an der Messstation Schauinsland sowie von Methan (CH_4) an den Messstationen Schauinsland und Neuglobsow. Alle drei klimawirksamen Gase zeigen wie Kohlendioxid eine klar ansteigende Tendenz. Neuglobsow zeigt als Flachlandstation eine stärkere Streuung der Methan-Konzentrationen, weil im Flachland generell lokale Einflüsse eine größere Rolle spielen.

Zeitliche Entwicklung der Konzentrationen (Monatsmittelwerte) von Lachgas (N_2O) und Schwefelhexafluorid (SF_6) an der Messstation Schauinsland sowie von Methan (CH_4) an den Messstationen Schauinsland und Neuglobsow.

● Neuglobsow
● Schauinsland

ABBILDUNG 31

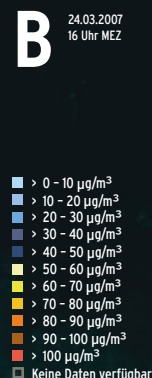
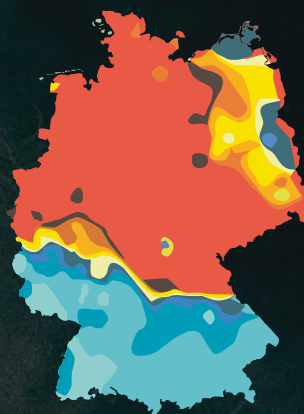
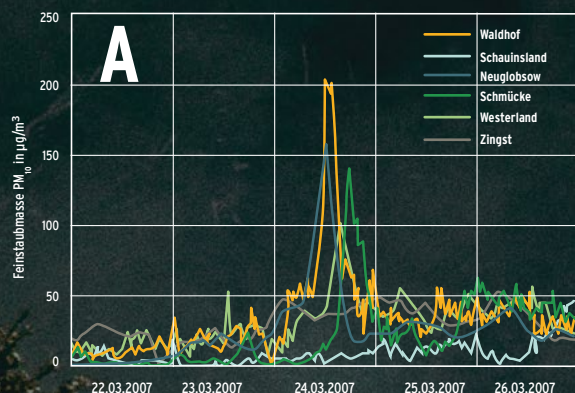
KONZENTRATIONEN VON LACHGAS UND SCHWEFELHEXAFLUORID AN DEN MESSSTATIONEN SCHAUINSLAND UND NEUGLOBSOW



Besondere Ereignisse

Die Messgeräte an den UBA-Messstationen registrieren nicht nur die menschgemachten Luftverunreinigungen aus den bekannten Emissionsquellen. Ab und an gehen auch Naturereignisse oder außergewöhnliche Quellen ins (Luftmess-) Netz. Beispiele sind die traditionellen norddeutschen Osterfeuer, Saharastaub-Episoden, Staub von Waldbränden oder aus den Steppen Südosteuropas oder Vulkanausbrüche.





WALDBRAND UND SAHARASTAUB

Am 24. März 2007 registrierten die UBA-Messstationen Waldhof, Neuglobsow, Schmücke und Westerland einen plötzlichen und enorm hohen Anstieg der Feinstaubkonzentrationen (A). An der Messstation Waldhof wurde für PM_{10} sogar die $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -Marke erreicht. In Kombination mit den Messwerten der Bundesländer zeigte sich eine Feinstaubwolke, die wie eine Welle in wenigen Stunden von Südosten nach Nordwesten über die Nordhälfte Deutschlands schwappte (B). Zu dieser Zeit (20. bis 24. März 2007) wüteten ausgedehnte Waldbrände im Südosten Europas (C).

Gleichzeitig trieben Wolken von Saharastaub nach Nordosten (D = Satellitenbild vom 20. März 2007). Die berechneten Trajektorien (E) zeigen, dass die Wetterlage die Staubfrachten beider Ereignisse direkt Richtung Deutschland trieb, wo sie am 24. März 2007 eintrafen. Die Messstation Schauinsland im Süden Deutschlands lag außerhalb dieses Ereignisses (A und B).

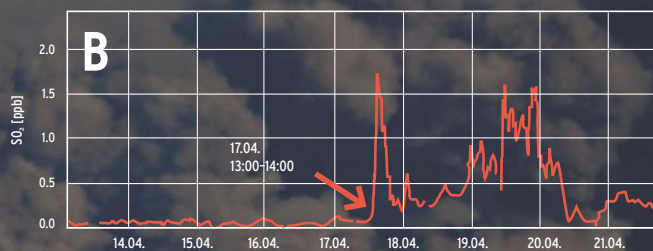
VULKAN EYJAFJALLAJÖKULL

Am 17. April 2010 verzeichneten zunächst die Messgeräte auf der Zugspitze (A) und wenig später die auf dem Schauinsland (B) einen ungewöhnlichen und enormen Anstieg der Schwefeldioxid-Konzentrationen. Die berechneten Bahnlinien (Trajektorien) der höheren Luftmassen führten exakt zum Vulkan Eyjafjallajökull auf Island (C), der sich zu der Zeit im Eruptionsstadium befand und große Mengen vulkanischer Gase und Asche in die obere Troposphäre blies. Große Teile des europäischen Luftraums mussten für den Flugverkehr gesperrt werden wegen der unkalkulierbaren Gefahren durch die Vulkanaschewolke. Die UBA-Messstationen registrierten auch die Vulkanstaubpartikel, zum einen als erhöhte Staubmasse, zum anderen an der vulkanasche-typischen veränderten chemischen Zusammensetzung, z. B. deutlich erhöhte Eisen- und Mangangehalte.

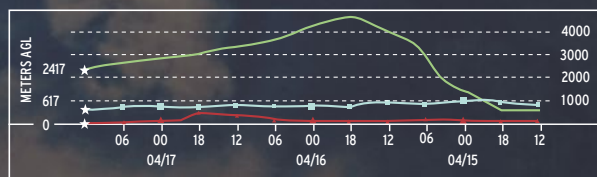
SO₂ Mischungsverhältnisse am Schneefernerhaus / Zugspitze



SO₂ Mischungsverhältnisse am Schauinsland / von 13.04.2010 03:00 Uhr bis 21.04.2010 18:00 Uhr



NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 1200 UTC 17 Apr 10
GDAS
Meteorological Data





GESETZE UND ABKOMMEN ZUR LUFTREINHALTUNG

AMMONIUMSULFAT 0,5 µg/m³

SCHWefeldioxid 0,5 µg/m³



Die Genfer Luftreinhaltekonvention

HISTORIE

In den 1960er und 1970er Jahren verdichtete sich die Erkenntnis, dass Schwefeldioxidemissionen aus den mitteleuropäischen Industriestaaten Verursacher der Versauerung von skandinavischen Gewässern sind. Aus dieser Zeit stammt eine wichtige Erkenntnis: Luftschadstoffe verschmutzen die Luft nicht nur in ihrem Ursprungsland. Sie kennen keine Grenzen. Einige Luftverunreinigungen können in der Atmosphäre über hunderte Kilometer, einige sogar global transportiert werden. Die Bekämpfung grenzüberschreitender Luftverschmutzung erfordert deshalb internationale Zusammenarbeit.

Die nach dem zweiten Weltkrieg (1947) eingerichtete Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE = „United Nations Economic Commission for Europe“) vereinte als internationale Institution in den 1970er Jahren so gut wie alle europäischen Staaten unter einem Dach, d. h. EG-Staaten und Nicht-EG-Staaten, Ostblock-Staaten und westliche Staaten. Sie nahm deshalb auch in den frühen 1970er Jahren politische Verhandlungen zur Schaffung einer Konvention zur Begrenzung und Verminderung der weiträumigen grenzüberschreitenden

Luftverunreinigung auf. Der Sitz der UNECE, die Schweizer Stadt Genf, war dann auch namensgebend für das Abkommen zur Bekämpfung grenzüberschreitender Luftverunreinigungen, die „Genfer Luftreinhaltekonvention“. Die offizielle Bezeichnung lautet CLRTAP = „Convention on Long-range and Transboundary Air Pollution“ (= Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung).

Damals, im November 1979, unterzeichneten 32 europäische Staaten, die USA und Kanada sowie die Europäische Gemeinschaft die völkerrechtlich verbindliche Vereinbarung, darunter beide deutsche Staaten, also sowohl die Bundesrepublik Deutschland als auch die Deutsche Demokratische Republik. Bis heute erfuhr die Konvention 51 Ratifizierungen. In der Genfer Luftreinhaltekonvention erklären die Vertragsparteien, dass sie sich bemühen, „die Luftverunreinigung ... einzudämmen und soweit wie möglich schrittweise zu verringern und zu verhindern“. Im Wesentlichen verpflichtet die Genfer Luftreinhaltekonvention die Mitglieder zu einer Begrenzung und Verringerung der Emission von Luftschadstoffen und zum gegenseitigen Austausch von Informationen über die Luftqualität. Sie stellt zudem die Notwendigkeit eines europäischen

Beobachtungsnetzwerks für grenzüberschreitende Luftverunreinigungen und deren Wirkungen fest, welches auch durch Forschungsaktivitäten die Weiterentwicklung der Konvention fördert.

Die Genfer Luftreinhaltekonvention hat sich über mehr als drei Jahrzehnte als Instrument der europäischen Luftreinhaltung bewährt. Sie verknüpft Staaten mit unterschiedlichen politischen Systemen, hat die politischen Umwälzungen Anfang der 1990er Jahre überstanden und in vielen Bereichen zu einer spürbaren Verbesserung der Luftqualität geführt. Das von der Genfer Luftreinhaltekonvention abgedeckte Gebiet hat sich ständig erweitert. Es erstreckt sich heute über Gesamteuropa, Nordamerika und Teile Asiens; insbesondere beteiligen sich viele Nachfolgestaaten der früheren Sowjetunion nach und nach als sog. EECCA-Region (= „Eastern Europe, Caucasus and Central Asia“) an der Arbeit der Genfer Luftreinhaltekonvention.

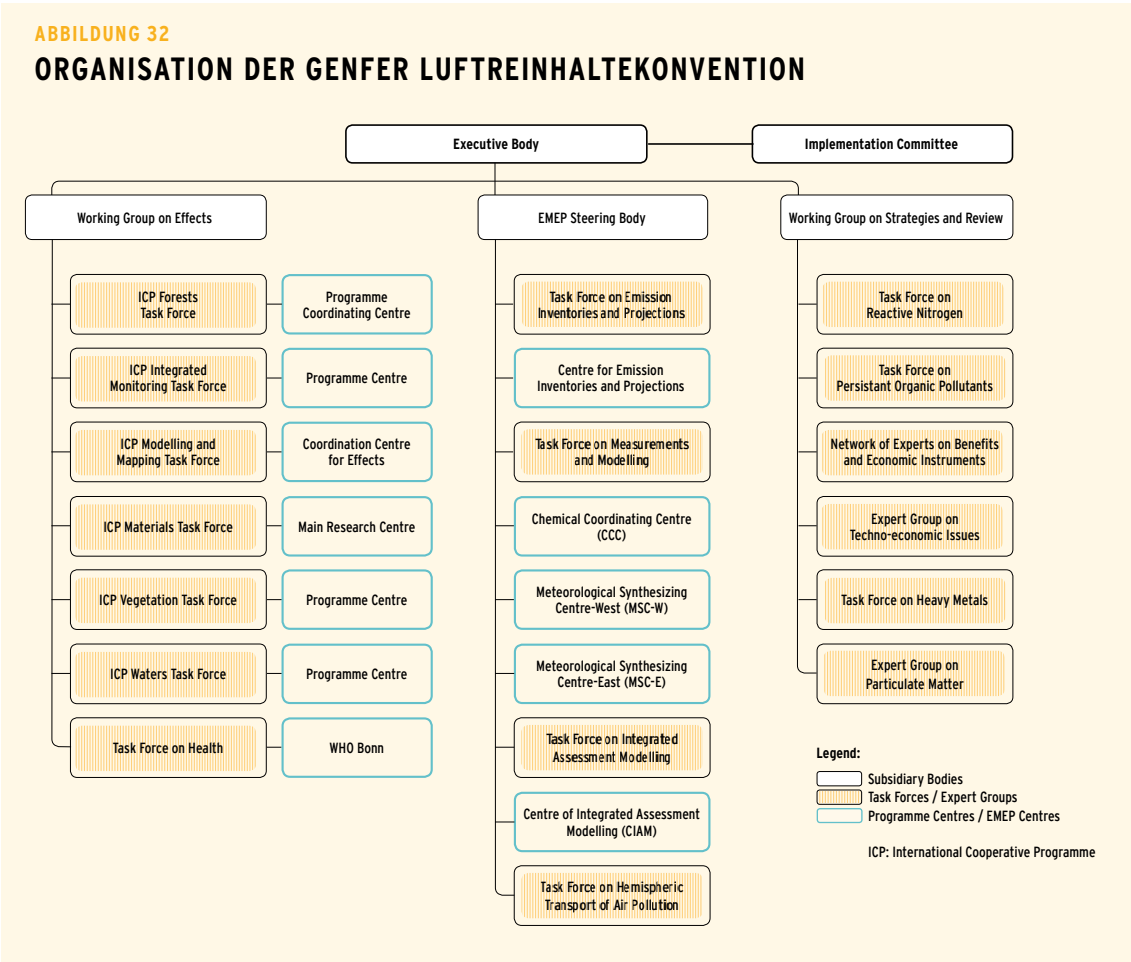
Auch inhaltlich entwickelt sich die Genfer Luftreinhaltekonvention ständig weiter. Es existieren inzwischen acht ergänzende Protokolle, um verschiedene Problemfelder zu entschärfen:

- ▶ **1984** Das EMEP-Protokoll = Protokoll zur langfristigen Finanzierung des Kooperationsprogramms zur Beobachtung und Bewertung des Ferntransports von Luftverunreinigungen in Europa; 44 Mitglieder, in Kraft getreten am 28.01.1988.
- ▶ **1985** Das (1.) Schwefelprotokoll (Helsinki) = Protokoll zur Minderung von Schwefelemissionen oder ihrer grenzüberschreitenden Stoffströme

um mindestens 30 Prozent; 25 Mitglieder, in Kraft getreten am 02.09.1987.

- ▶ **1988** Das Stickstoff-Protokoll (Sofia) = Protokoll zur Kontrolle von Stickoxiden und ihrer grenzüberschreitenden Stoffströme; 34 Mitglieder, in Kraft getreten am 14.02.1991.
- ▶ **1991** Das VOC-Protokoll (Genf) = Protokoll zur Kontrolle der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und ihrer grenzüberschreitenden Stoffströme; 23 Mitglieder, in Kraft getreten am 29.09.1997.
- ▶ **1994** Das 2. Schwefel-Protokoll (Oslo) = Protokoll zur weiteren Minderung von Schwefelemissionen; 29 Mitglieder, in Kraft getreten am 05.08.1998.
- ▶ **1998** Das POP-Protokoll (Aarhus): POP = Persistente Organische Schadstoffe; 33 Mitglieder, in Kraft getreten am 23.10.2003.
- ▶ **1998** Das Schwermetall-Protokoll (Aarhus) = 33 Mitglieder, in Kraft getreten am 29.12.2003.
- ▶ **1999** Das Multikomponenten/Multi-effekt-Protokoll oder Göteborg-Protokoll zur Minderung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon; 25 Mitglieder, in Kraft getreten am 17.05.2005. In einer aktuellen Revision des Göteborg-Protokolls (Mai 2012) vereinbarten die Vertragsstaaten bis 2020 weitere Reduktionen von Schwefeldioxid, Stickoxiden, Ammoniak und VOC. Erstmals ist auch Feinstaub der PM_{2,5}-Fraktion mit einer Minderungsabsicht einbezogen.

ABBILDUNG 32
ORGANISATION DER GENFER LUFTREINHALTEKONVENTION



Die Organisation der Genfer Luftreinhaltekonvention basiert auf Arbeitsgruppen und Gremien, die mit nationalen Fachleuten besetzt sind. (Quelle: UNECE Internet).

ORGANISATION DER
GENFER LUFTREINHALTEKONVENTION

Die Verwaltungszentrale für die Genfer Luftreinhaltekonvention besteht aus einem Sekretariat im UN-Gebäude in Genf. Die fachlich-inhaltliche Steuerung geschieht über Gremien und Arbeitskreise, die mit Fachleuten aus den Mitgliedsstaaten besetzt sind (Abb. 32). Hier werden Ziele, Strategien, Mess- und Auswertprogramme beschlossen.

DAS EMEP-PROGRAMM DER GENFER LUFTREINHALTEKONVENTION

Bereits 1979 betonte der Vertrag zur Genfer Luftreinhaltekonvention die Notwendigkeit eines überstaatlichen Beobachtungsnetzwerks für grenzüberschreitende Luftverunreinigungen. Denn den wertvollsten Beitrag zur Erfolgskontrolle international vereinbarter Luftreinhaltemaßnahmen liefern Messungen. Mit dem EMEP-Protokoll von 1984 wurde die Grundlage für ein solches Messnetz geschaffen, wobei das Akronym EMEP für „European Monitoring and Evaluation Programme“ (= Europäisches Beobachtungs- und Auswerteprogramm, offiziell: Programm über die Zusammenarbeit bei der Messung und Bewertung der weiträumigen Übertragung von luftverunreinigenden Stoffen in Europa) steht. EMEP besteht aus vier Pfeilern:

► **EMISSIONSBERICHTERSTATTUNG**

Jeder Mitgliedstaat informiert über die Mengen, Art und – auf der Basis eines Rasters – über die geografische Herkunft seiner in die Atmosphäre emittierten Luftverunreinigungen.

► **IMMISSIONS- UND DEPOSITIONSMESSUNGEN**

Jeder Mitgliedstaat führt Immissions- und Depositionsmessungen grenzüberschreitender Luftverunreinigungen durch.

► **MODELLIERUNG MIT ATMOSPHERISCHEN CHEMIE-TRANSPORTMODELLEN**

Emissionsdaten und meteorologische Daten fließen an zentraler Stelle in ein Computermodell, das die daraus resultierende Konzentration und Deposition von Luftverunreinigungen im EMEP-Gebiet berechnet. Die Mess-

daten dienen der Validierung und Kontrolle.

► **INTEGRIERTE BEWERTUNG UND MODELLIERUNG („INTEGRATED ASSESSMENT MODELLING“)**

Berechnung und Bewertung unterschiedlicher Emissionsminderungsszenarien zur Verbesserung der Luftqualität unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Aspekten.

EMEP selbst ist eine von drei Säulen der Genfer Luftreinhaltekonvention (**Abb. 32**) und wird fachlich von einem Lenkungsausschuss („EMEP Steering Body“) aus nationalen Vertretern gesteuert, der zur bestmöglichen Unterstützung aktueller Fragestellungen der Genfer Luftreinhaltekonvention über die generelle Ausrichtung des Programms entscheidet, etwa über die Frage, ob die Modellierung auf die gesamte Nordhemisphäre ausgedehnt werden soll und – wenn ja – mit welcher räumlichen Auflösung. Auch das zu betrachtende Stoffspektrum wird diskutiert. So wurde beispielsweise vor einigen Jahren der Feinstaub ergänzend in die Betrachtungen aufgenommen.

Vier untergeordnete Arbeitsgruppen („EMEP Task Forces“, vgl. **Abb. 32**) mit nationalen Fachleuten treffen sich einmal jährlich und besprechen inhaltlich-fachlich konkrete Aufgaben, Arbeitspakete und Ziele. Dabei geht es beispielsweise darum, wie Emissionsinventare verbessert werden können, welche Schadstoffe in Intensivmesskampagnen detailliert untersucht werden sollen und welche Messmethoden am besten dazu geeignet sind.

Es existieren zudem fünf Koordinierungszentren „EMEP Centres“ (**vgl. Abb. 32**), die organisatorisch an Institutionen einzel-

ner Staaten angegliedert sind und an zentraler Stelle konkrete Facharbeit auf wissenschaftlicher Basis für EMEP leisten, z. B. Methodenharmonisierung, Datenverwaltung, Auswertungen, Modellierungen oder Erstellung von Berichten.

In Deutschland erfüllen sechs Messstationen des UBA-Luftmessnetzes die EMEP-Messverpflichtungen: Westerland (Nordseeküste), Zingst (Ostseeküste), Waldhof (Lüneburger Heide), Neuglobsow (Brandenburg), Schmücke (Thüringer Wald) und Schauinsland (Schwarzwald). Zusätzlich führt das Leipziger Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (IfT) an seiner Messstation in Melpitz (Sachsen) eine Reihe von EMEP-Sonderuntersuchungen im Auftrag des UBA-Luftmessnetzes durch. Fachleute aus dem UBA-Luftmessnetz sind sowohl im EMEP Lenkungsausschuss („EMEP Steering Body“) als auch in der „EMEP-Task Force on Measurements and Modelling“ (= Arbeitsgruppe zu Messungen und Modellierung) vertreten. Hier werden Messprogramme, Messmethoden und Messstrategien besprochen und koordiniert.

Die Chemische Koordinierungszentrale von EMEP (CCC = „Chemical Coordinating Centre“), die organisatorisch am Norwegischen Institut für Luftforschung (NILU) in Oslo angesiedelt ist, und die Meteorologische Zentrale West von EMEP (MSC-W = „Meteorological Synthesizing Centre – West“), ebenso in Oslo, dort jedoch am Norwegischen Meteorologischen Institut ansässig, sind für das UBA-Luftmessnetz in Sachen EMEP die beiden Haupt-Ansprechpartner. Hier werden Messmethoden harmonisiert, werden die Messwerte aus ganz Europa (**Abb. 33**) gesammelt, analysiert, ausgewertet und

publiziert sowie zur Validierung der Modellrechnungen verwendet.

Grundlage für die im EMEP-Programm durchgeführten Messaufgaben sind die Protokolle der Genfer Luftreinhaltekonvention, die jeweils bestimmte Luftverunreinigungen betreffen (Komponenten der Versauerung und Überdüngung, Foto-Oxidantien und deren Vorläufersubstanzen, Schwermetalle und POP, Feinstaub). Eine auf jeweils 10 Jahre angelegte EMEP-Strategie (aktuell 2010 – 2019) regelt die Messnetzgestaltung und die Messparameter. Ziel ist eine Messstation pro 50 000 km², wobei die Messstationen in drei Kategorien eingeteilt werden:

- **STUFE 1** Messstationen mit einem Basis-Messprogramm
- **STUFE 2** Messstationen mit einem erweiterten Messprogramm
- **STUFE 3** Messstationen für Sonderaufgaben mit Forschungscharakter

Alle sechs deutschen EMEP-Stationen erfüllen die Anforderungen der Stufen 1 und 2. Die Stufe 3 wird durch Kooperation mit Forschungsinstituten abgedeckt. Einheitliche Messmethoden und ein einheitliches Qualitätsmanagement, zusammengestellt in einem Handbuch („EMEP-Manual for Sampling and Analysis“ = EMEP-Handbuch für Probenahme und Analytik), gewährleisten die Vergleichbarkeit der Messwerte, sowohl räumlich (über die Staatsgrenzen) als auch zeitlich über längere Zeiträume.

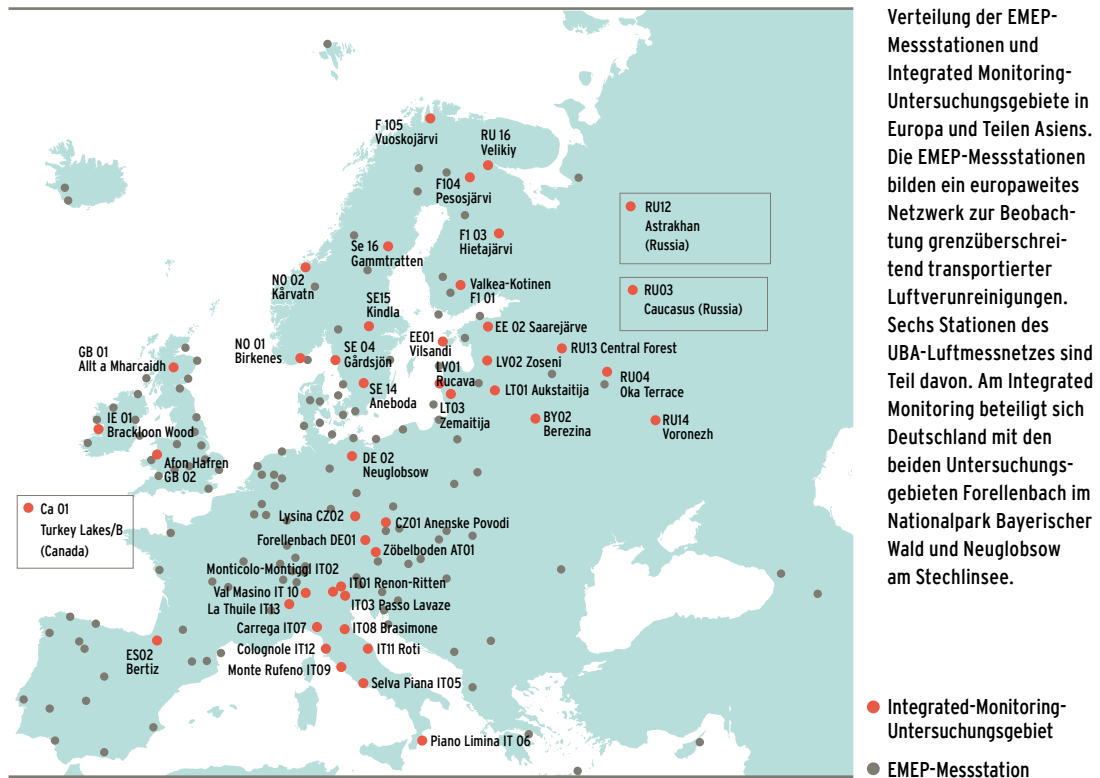
DIE ARBEITSGRUPPE WIRKUNGEN DER GENFER LUFTREINHALTEKONVENTION

Luftverunreinigungen können die menschliche Gesundheit, Ökosysteme und Materialien schädigen. Diese negativen Wirkungen sind der Grund, warum Anstrengungen zur Reinhaltung der Luft unternommen, Luftqualitätskriterien und Schadstoffeinträge gemessen werden. Eine zweite Säule der Genfer Luftreinhaltekonvention (vgl. Abb.

32) ist daher die Arbeitsgruppe zu den Wirkungen (WGE = „Working Group on Effects“). Diese untersucht die Wirkungen von grenzüberschreitend transportierten Luftverunreinigungen auf den Menschen, natürliche und wirtschaftlich genutzte Landökosysteme, Binnengewässer sowie auf Materialien. Wichtige Grundlagen ihrer Arbeit sind zum einen langfristige, zielgerichtete Umweltbeobachtungsprogramme (Monitoring) und zum anderen verschiedene Methoden der Risikobewer-

ABBILDUNG 33

EMEP-MESSSTATIONEN UND INTEGRATED-MONITORING-GEBIETE IN EUROPA



tung (Wirkungsmodellierung, Belastungsgrenzwerte), die ständig dem aktuellen Stand des Wissens angepasst werden. Die Arbeitsgruppe liefert Informationen über das Ausmaß und die geografische Verteilung der Risiken durch Luftschadstoffe und dokumentiert, wie sich eine verbesserte Luftreinhaltung auf die untersuchten Schutzgüter auswirkt.

Um das gesamte Aufgabenspektrum abzudecken, wurden sechs internationale Kooperativprogramme (ICP = „International Cooperative Programme“) und eine Sonderarbeitsgruppe für gesundheitliche Auswirkungen in Kooperation mit der UN-Weltgesundheitsorganisation WHO („Joint Task Force on the Health Aspects of Air Pollution“ = Gemeinsame Arbeitsgruppe zu Gesundheitsaspekten von Luftverunreinigungen) eingerichtet (vgl. **Abb. 32**). Aus diesen Programmen resultieren zusätzliche Mess- und Untersuchungsaufgaben für die Mitgliedstaaten, welche in Deutschland teils von den Bundesländern (z. B. ICP Forests) und im Falle des „ICP Integrated Monitoring“ (ICP-IM) vom Umweltbundesamt wahrgenommen werden. Für wieder andere Aktivitäten hat das Umweltbundesamt eine koordinierende Funktion, ohne selbst zu messen.

Zwischen der Arbeitsgruppe Wirkungen und dem EMEP-Programm (s. o.) besteht eine enge Zusammenarbeit mit dem Ziel einer möglichst flächenhaften Beurteilung der Wirkungen von Luftverunreinigungen. Eine wichtige Rolle spielt hierbei das Kooperativprogramm Modellierung und Kartierung („ICP Modelling & Mapping“). Auf nationaler Ebene werden die flächenhaften Beurteilungen zusätzlich mit einer höheren räumlichen Auflösung durchgeführt.

DAS „INTEGRATED MONITORING“-PROGRAMM DER GENFER LUFTREINHALTEKONVENTION

Das „Integrated Monitoring“ (= Integrierte Umweltbeobachtung) hat die Untersuchung von Wirkungen grenzüberschreitend transportierter Luftschadstoffe auf Ökosysteme zum Inhalt. Untersuchungsobjekte sind möglichst naturbelassene, abgelegene und abgeschlossene kleine Gewässereinzugsgebiete, in denen die Luftschadstoffe auf ihrem Weg aus der Luft, über den Untergrund und das Sickerwasser, das Grundwasser, Quellen und Bäche untersucht werden sowie ihre Wirkungen auf die vorhandenen Ökosysteme. Hier steht das Verständnis von Wirkungszusammenhängen im Vordergrund. Sofern diese in einem Untersuchungsgebiet verstanden sind, können die Erkenntnisse auf andere Standorte übertragen werden.

Das Umweltbundesamt liefert mit zwei Untersuchungsgebieten den deutschen Beitrag zum ICP-IM: dem Forellenbachgebiet im Nationalpark Bayerischer Wald und dem Umfeld der Messstation Neuglobsow am Stechlinsee im Norden Brandenburgs. Insgesamt existieren europaweit 44 ICP-IM-Untersuchungsgebiete und zusätzlich eins in Kanada (**Abb. 33**). Die Organisations- und Datenzentrale des ICP-IM befindet sich im Finnischen Umweltinstitut in Helsinki.

Auch beim Integrated Monitoring sind die Methoden zur Einrichtung von Messflächen, zur Probenahme und zu den Messmethoden in einem Handbuch festgelegt, sodass auf internationaler Ebene Einheitlichkeit und Vergleichbarkeit gewährleistet sind.

Das GAW-Programm der Weltmeteorologieorganisation

Die Weltmeteorologieorganisation WMO ist ebenfalls eine Institution der Vereinten Nationen mit Sitz in Genf. Sie wurde 1950 eingerichtet, agiert global und befasst sich schwerpunktmäßig mit Meteorologie (Wetter und Klima), aber auch mit Hydrologie und Ozeanographie. Zwischen EMEP und der WMO gibt es eine langjährige Zusammenarbeit, insbesondere im Bereich Messungen und Modellierung, die das gemeinsame Interesse an der Zusammensetzung der Atmosphäre und die Wechselwirkungen zwischen Luftverunreinigung und Klima widerspiegelt. Deutschland ist seit 1954 Mitglied der WMO und wird dort durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) vertreten.

Unter dem Dach der WMO und in Kooperation mit anderen UN-Organisationen läuft das weltweite Langzeitmessprogramm zur globalen Klimaüberwachung GCOS (= „Global Climate Observing System“) mit dem Teilsystem GAW (= „Global Atmosphere Watch“, Globale Überwachung der Atmosphäre). Das GAW-Messprogramm wurde 1989 eingerichtet. Es handelt sich um ein weltweites Messprogramm zur Überwachung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre und klimarelevanter physikalischer Kenngrößen sowie ihrer menschengemach-

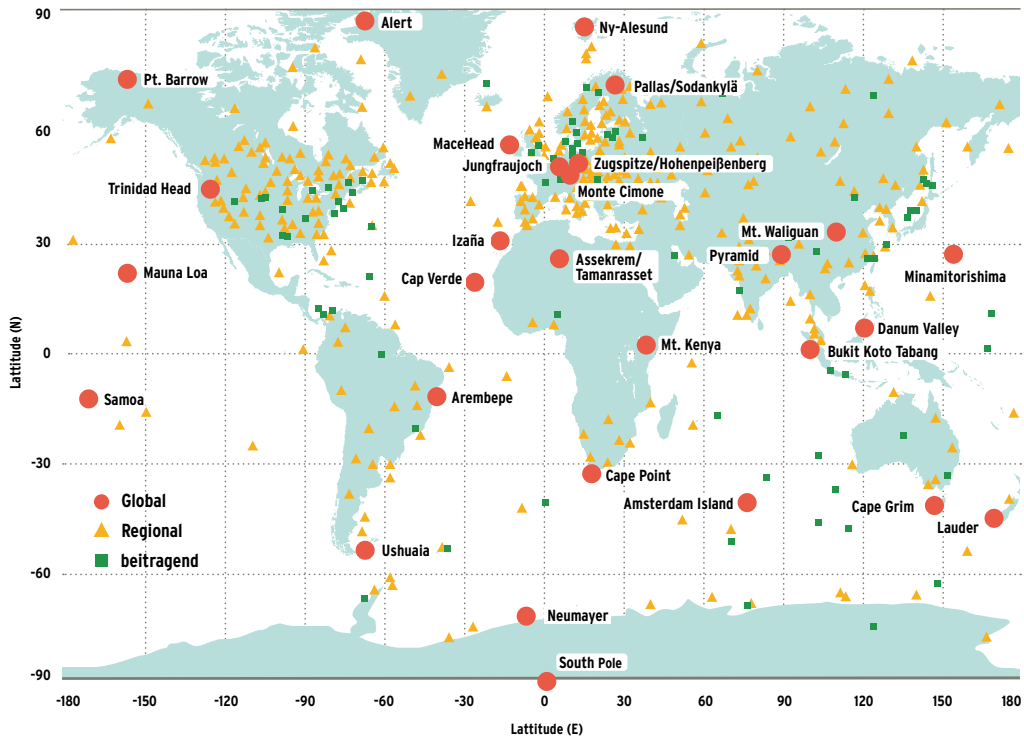
ten und natürlichen Veränderungen. An GAW beteiligen sich 80 Staaten, darunter auch Deutschland. Der Schwerpunkt der Messungen liegt im Bereich klimawirksamer Gase, reaktiver Gase und Aerosole und weiterer physikalischer Parameter, die im Zusammenhang mit der Erforschung des Klimahaushalts der Erdatmosphäre stehen.

Primäres Ziel von GAW ist es, eine weltweite Datenbasis von hoher Qualität aufzubauen, die als wissenschaftliche Grundlage zum besseren Verständnis des Zustands der Erdatmosphäre dient. Daten aus GAW-Untersuchungen werden dazu verwendet, die Wirksamkeit umweltpolitischer Abkommen zu überprüfen, beispielsweise des Montreal-Protokolls oder des Kyoto-Protokolls. GAW-Aktivitäten sind im Schwerpunkt wissenschaftsnah: die Daten werden nach Stand der Wissenschaft für wissenschaftliche Untersuchungen erhoben. Betreiber vieler GAW-Stationen sind Universitäten und Forschungsinstitute sowie halbstaatliche und staatliche Organisationen wie Wetterdienste und nationale Umweltagenturen.

GAW begann mit Stationsmessungen und hat sich mittlerweile zu einem integrierten globalen Messverbund ent-

ABBILDUNG 34

GLOBALE VERTEILUNG ALLER GAW-STATIONEN



Globale Verteilung aller GAW-Stationen und ihre Einteilung in die drei Kategorien global, regional und beitragend. Die Station Zugspitze-Hohenpeißenberg ist die einzige GAW-Globalstation in Deutschland (von weltweit 30).

wickelt. Dieser basiert auf bodennahen Messungen an besonders repräsentativen Standorten und wird von senkrechten Profilmessungen mit Methoden der Fernerkundung, durch Flugzeugmessungen oder aus dem Weltraum von außen her unterstützt. Denn erst die Kombination all dieser Messungen stellt die Lösbarkeit einer Reihe wichtiger Probleme der Klimaforschung in Aussicht. Dieser hohe Aufwand ist begründet, weil die Genauigkeit von Prognosen zur Klimaentwick-

lung nach wie vor oft unzureichend ist. Auch fordert die Politik für korrekte und sichere Entscheidungen eine Datengrundlage von ausreichend hoher Qualität. Die erzeugten GAW-Daten werden im Wesentlichen verwendet:

- Für die Analyse und Bilanzierung chemischer und physikalischer Prozesse, die mit Klimaveränderungen in der Atmosphäre im Zusammenhang stehen.

- ▶ Zur Kontrolle der Wirksamkeit umweltpolitischer Maßnahmen für den Klimaschutz. Beispielsweise zeigte sich, dass mit der Unterzeichnung des Montreal-Protokolls zur Minderung halogenierter klimawirksamer Treibgase bislang ein deutlich höherer Effekt für den Klimaschutz erzielt werden konnte als durch das Kyoto-Protokoll.
- ▶ Für Analysen des IPCC-Berichts („Intergovernmental Panel on Climate Change“) zur bestmöglichen Beurteilung der Entwicklung des Erdklimas nach dem Stand der Wissenschaft.
- ▶ Zur unabhängigen Überprüfung der nach Vorgaben des UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) von der internationalen Staatengemeinschaft zu liefernden Emissionsstatistiken klimarelevanter anthropogener Gase. In der Vergangenheit gab es bereits mehrfach Fälle, in denen anhand atmosphärischer Messungen nachgewiesen werden konnte, dass in einem bestimmten Gebiet oder Land wesentlich mehr von einem bestimmten Klimagas emittiert wurde, als zuvor in den offiziell bereitgestellten Emissionsstatistiken angegeben worden war. Auch die EU fordert solche unabhängigen Überprüfungen der Emissionen im Rahmen der Emissionsüberwachung von Klimagasen.
- ▶ Zur Ermittlung der regionalen Quellstärke der Emission von Klimagasen im Einzugsgebiet einer Messstation.
- ▶ Zur Schätzung des Risikos und des möglichen volkswirtschaftlichen Schadens, der von bestehenden klima-

tischen Änderungen ausgeht. Rückversicherungen sind hier als wichtiger Kunde zu nennen.

- ▶ Zur Bestimmung des Risikos, welches aus den klimatischen Auswirkungen der Emission industriell erzeugter anthropogener Klimagase resultiert.

Rund 800 über den gesamten Globus verteilte GAW-Stationen (**Abb. 34**) liefern Messwerte. Dabei werden die Stationen den drei Kategorien Globalstationen (30), Regionalstationen (ca. 600) und „Contributing Stations“ (= Beitragende Stationen, ca. 200) zugeordnet.

Globalstationen, auch globale Observatorien genannt, stehen an ausgewählten, besonders repräsentativen Standorten typischerweise im Hochgebirge, in Küstennähe oder in dünn besiedelten Hochebenen (**Abb. 34**). Diese Standorte sollen per Definition eine möglichst geringe Beeinflussung durch anthropogene Emissionen aufweisen. Bei Globalstationen wird besonders großer Wert auf die Qualität der Ergebnisse gelegt. Deshalb sollen sie die gleichen Messgrößen mit verschiedenen Messprinzipien und Messgeräten möglichst mehrfach messen, um auch bei einem Ausfall von Messgeräten möglichst vollständige Datenreihen zu gewährleisten. Globalstationen werden zudem regelmäßig offiziellen Stationsaudits durch die zentralen GAW-Kalibrierlabore unterzogen. Globalobservatorien haben ferner die Aufgabe, mit den gemessenen Daten selbst wissenschaftlich zu arbeiten und wissenschaftliche Untersuchungen an der Station zu unterstützen und zu fördern sowie an wissenschaftlichen GAW-Programmen teilzunehmen. Eine intensive Zusammenarbeit mit Univer-

sitäten und Forschungsinstituten ist ein weiterer Baustein des Konzepts der GAW-Globalstationen. GAW-Regionalstationen stehen in größerer Nähe zu Emittenten. Sie haben eine deutlich kleinere räumliche Repräsentanz und sind für die Erfassung regionaler Einflüsse zuständig. Dazu zählen beispielsweise Emissionen größerer Ballungsgebiete, Staubemissionen von Steppenregionen, ferntransportierte Staubbelastungen aus Wüstengebieten, die Deposition saurer Niederschläge oder die infolge von Desertifikationsercheinungen in den Mittelmeerländern auftretenden Effekte auf Atmosphäre und Klima und deren Überwachung. GAW-Regionalstationen sind nicht in die regulären Stationsaudits der zentralen GAW-Kalibrierlabore eingebunden; sie haben auch nicht die Aufgabe, selbst wissenschaftlich mit den eigenen Daten zu arbeiten.

Die UBA-Messstation im Schneefernerhaus auf der Zugspitze bildet zusammen mit dem vom Deutschen Wetterdienst (DWD) betriebenen Observatorium auf dem Hohenpeißenberg in Bayern die aus zwei Messplattformen bestehende einzige GAW-Globalstation in Deutschland (Abb. 34). Eine weitere GAW-Globalstation betreibt das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) in der Antarktis an der deutschen Neumayer-Station. Zwei Messstationen des UBA-Luftmessnetzes (Schauinsland und Neuglobsow) haben den Status von GAW-Regionalstationen. Vier weitere Stationen des UBA-Luftmessnetzes (Westerland, Zingst, Waldhof, Schmücke) zählen zur Kategorie der beitragenden Stationen. Die Messwerte des GAW-Programms laufen in sechs Datenzentren (WDC = „World Data Centre“) zusammen, von denen zwei

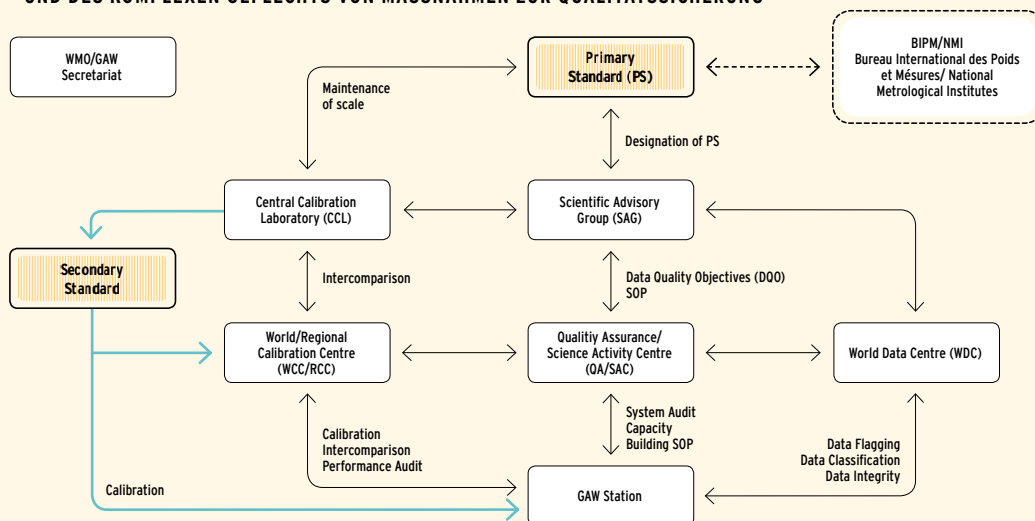
wegen der Aktualität der Klimaproblematik besonders erwähnt werden sollen: das Welt Datenzentrum für Klimagase (WDCGG = „World Data Centre for Greenhouse Gases“), das vom Japanischen Wetterdienst („Japan Meteorological Agency“) in Tokyo betrieben wird, und das Welt Datenzentrum für Aerosole, (WDCA = „World Data Centre for Aerosols“), welches das Institut für Luftforschung (NILU) in Norwegen betreibt.

Eine hohe Qualität, die Vergleichbarkeit über einen langen Zeitraum und die Belastbarkeit der Messwerte spielen bei GAW eine zentrale Rolle. Es existiert deshalb ein komplexes Geflecht von Maßnahmen zur Qualitätssicherung (Abb. 6), zu welchem folgende Komponenten zählen:

- **WISSENSCHAFTLICHE BERATUNGSGRUPPEN** (SAG = „Scientific Advisory Groups“) definieren Qualitätsziele und entwickeln Standardarbeitsanweisungen (SOP = „Standard Operating Procedures“) für die Messung einzelner Parameter.
- **FÜNF QUALITÄTSSICHERUNGS- UND WISSENSCHAFTSAKTIVITÄTENZENTREN** (QA/SAC = „Quality Assurance/Science Activity Centres“) in USA, Japan, Schweiz, Deutschland und China sind verantwortlich für das Qualitätsmanagement bei der Messung bestimmter Parameter sowie für dessen Weiterentwicklung. Eines davon wird durch das Umweltbundesamt (QA/SAC Deutschland) betrieben und koordiniert weltweit das Qualitätsmanagement für die Messungen der Parameter physikalische Eigenschaften von Aerosolen, flüchtigen organischen Verbindungen (VOC= „Volatile Organic Compounds“) und Lachgas (N_2O).

ABBILDUNG 35

DIE BAUSTEINE DES WELTWEITEN ATMOSPHÄREN-MESSPROGRAMMS GAW UND DES KOMPLEXEN GEFLECHTS VON MASSNAHMEN ZUR QUALITÄTSSICHERUNG



- **WELTKALIBRIERZENTREN** (WCC = „World Calibration Center“) unterstützen die Messstationen bei der Implementierung der Qualitätsmanagementmaßnahmen und kontrollieren den Erfolg durch Ringversuche und Auditierung der Messstationen. Das Umweltbundesamt finanziert im Rahmen der Aufgaben des QA/SAC Deutschland drei WCC: das für physikalische Eigenschaften von Aerosolen (WCCAP = „World Calibration Center for Aerosol Physics“) am Leibniz-Institut für Troposphärenforschung in Leipzig (IfT), das für VOC (WCC-VOC = „World Calibration Center for Volatile Organic Compounds“) und das für Lachgas (WCC-N₂O = „World Calibration Center for Nitrous Oxide“) - beide am Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) in Garmisch-Partenkirchen.

- **ZENTRALE KALIBRIERLABORATORIEN** (CCL = „Central Calibration Laboratories“) stellen die Primärstandards für einzelne Messgrößen her, halten sie vor und liefern Transferstandards an die GAW-Messstationen. Für die Klimagase CO₂, CH₄, N₂O, SF₆ und CO beispielsweise ist das CCL das amerikanische NOAA-ESRL (= „Earth System Research Laboratory“ der „National Oceanic and Atmospheric Administration“, Forschungslabor für das System Erde der nationalen Verwaltung für Ozeane und Atmosphäre) in Boulder, Colorado.
- Die UBA-Messstation im Schneefernerhaus auf der Zugspitze dient als **GAW-SCHULUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM** (GAWTEC = „GAW Training and Education Center“). Zweimal jährlich werden durchschnittlich zwölf Messtechniker aus aller Welt in zweiwöchigen Kursen weitergebildet.

Das Übereinkommen zum Schutz der Ostsee

Die Anrainerstaaten der Ostsee unterzeichneten 1974 das „Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebiets“, kurz Helsinki-Konvention, die 1980 in Kraft trat und 1992 vor dem Hintergrund von politischen Veränderungen und neuer Erkenntnisse erneuert und erweitert wurde. Vertragsparteien sind alle neun Ostsee-Anrainerstaaten (Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Lettland, Litauen, Polen, Russland, Schweden) sowie die EU (**Abb. 36**). Inhalt der Vereinbarung ist der Schutz der Ostsee, ihres Meeresgrundes, ihrer Küstenzonen, ihrer Ökosysteme und auch ihres hydrologischen Einzugsgebiets vor Verschmutzung vom Lande aus, vor Verschmutzung durch Schiffe, vor Abfallablagerung und

-verbrennung auf See, vor Verschmutzung durch Offshore-Aktivitäten und durch Unfälle. Die Helsinki-Kommission, kurz HELCOM, ein regelmäßig tagendes Gremium von Vertretern der Vertragsparteien und offiziellen Beobachtern mit festem Sekretariat in Helsinki, steuert die Aktivitäten für das Vertragswerk inhaltlich.

Die Hauptbelastungspfade für die Ostsee sind Zuflüsse und die Deposition von Luftverunreinigungen. Ein anspruchsvoller Aktionsplan für die Ostsee, der 2007 in Krakau verabschiedet wurde, hat zum Ziel, einen guten ökologischen Zustand der Ostsee bis 2021 zu erreichen. Er beinhaltet u. a. ein umfangreiches Mess- und Beobachtungsprogramm durch die Mitgliedsstaaten, das Auskunft gibt über den Zustand und die Veränderungen der Ostsee. Dieses umfasst chemische (z. B. Nährstoffe, Schadstoffe, radioaktive Substanzen), biologische (z. B. Phyto- und Zooplankton, Makrophyten, Makrozoobenthos, Fische, Meeressäuger und Vögel) und physikalische (z. B. Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoff, Sichttiefe) Messungen. Ein Bestandteil des chemischen Untersuchungsprogramms ist die Messung des Eintrags von Luftverunreinigungen in die Ostsee (Deposition). Für Deutschland erfüllt diese Teilaufgabe das Luftmessnetz des Umweltbundesamtes an der Messstation Zingst.

ABBILDUNG 36

DAS HELCOM-GEBIET

Die neun Vertragsstaaten und -dunkler dargestellt - das betroffene Wassereinzugsgebiet (Quelle: HELCOM).



Das Übereinkommen zum Schutz des Nordostatlantiks

Zwei Vorgängerabkommen, die 1972 unterzeichnete Oslo-Konvention und die 1974 unterzeichnete Paris-Konvention, wurden 1992 aktualisiert, erweitert und zur Oslo-Paris-Konvention (OSPAR) vereint (Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks). Bezüglich Inhalt und Schutzziele ist die OSPAR-Konvention für den Nordostatlantik einschließlich seines Nebenmeeres, der Nordsee, weitgehend das Pendant zum Helsinki-Übereinkommen für die Ostsee. 15 Staaten sowie die EU sind die Vertragspartner, darunter auch Deutschland (Abb. 37). Auch hier steuert eine Kommission aus Vertretern der Vertragspartner und offiziellen Beobachtern, die OSPAR-Kommission, das Vertragswerk inhaltlich, indem sie Schutzziele, Schutzstrategien oder Beobachtungsprogramme beschließt. Das feste Sekretariat der Kommission hat seinen Sitz in London.

Zahlreiche Mess- und Beobachtungsprogramme im Rahmen von OSPAR geben Auskunft über Zustand und Veränderungen des Nordostatlantiks und seines Wassereinzugsgebiets. Eines davon, das „umfassende atmosphärische Beobachtungsprogramm“ (CAMP = „Comprehensive Atmospheric Monitoring Programme“), beschäftigt sich mit dem Stoffeintrag aus der Atmosphäre. Jeder OSPAR-

ABBILDUNG 37

DAS OSPAR-GEBIET

Die 15 Vertragsstaaten und - dunkel dargestellt - das betroffene Wassereinzugsgebiet (Quelle: OSPAR).



- | | |
|----------|---------------------------------|
| Region 1 | Arctic Waters |
| Region 2 | Greater North Sea |
| Region 3 | Celtic Sea |
| Region 4 | Bay of Biscay and Iberian Coast |
| Region 5 | Wider Atlantic |
| | OSPAR catchment area |

Mitgliedstaat ist aufgefordert, hierfür mindestens eine küstennahe Messstelle zu betreiben. Diese Aufgabe erfüllt für Deutschland die vom Luftmessnetz des Umweltbundesamts betriebene Messstation Westerland auf Sylt.

EU-Gesetzgebung zur Luftreinhaltung

Mit der Luftqualitätsrahmenrichtlinie (Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität) hat die Europäische Gemeinschaft erstmals einen gemeinsamen Rahmen zur Luftreinhaltung und deren Überwachung in ihren Mitgliedstaaten geschaffen. Vier zwischen 1999 und 2004 erlassene Tochterrichtlinien konkretisieren und harmonisieren die Luftreinhaltung in der EU weiter:

- ▶ **1. TOCHTERRICHTLINIE**
(Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft)
- ▶ **2. TOCHTERRICHTLINIE**
(Richtlinie 2000/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. November 2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft)
- ▶ **3. TOCHTERRICHTLINIE**
(Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozon-gehalt in der Luft)

- ▶ **4. TOCHTERRICHTLINIE**
(Richtlinie 2004/107/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 über Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft)
- ▶ Die „Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa“, kurz **EU-LUFTQUALITÄTSRICHTLINIE**, ersetzt sowohl die Luftqualitätsrahmenrichtlinie aus dem Jahr 1996 als auch die ersten drei Tochterrichtlinien aus den Jahren 1999 – 2002, sodass die EU-Luftqualitätsrichtlinie und die 4. Tochterrichtlinie derzeit den rechtlichen Rahmen für die Luftreinhaltung in den Staaten der EU bilden.

Neben den gesetzlichen Überwachungsaufgaben, die in Deutschland die Bundesländer wahrnehmen, beinhalten beide Richtlinien an drei Stellen spezielle gesetzliche Messverpflichtungen, die hierzulande dem Luftmessnetz des Umweltbundesamtes übertragen wurden:



► **4. TOCHTERRICHTLINIE;**

Artikel 4 (9): Betrieb von Hintergrundmessstellen (eine pro 100 000 km²) zur orientierenden Messung von Arsen, Kadmium, Nickel, Quecksilber, Benzo(a)pyren und weiterer Polyzyklischer Aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) in der Luft und in der Deposition.

► **EU-LUFTQUALITÄTSRICHTLINIE;**

Artikel 6 (5): Betrieb von Hintergrundmessstellen (eine pro 100 000 km²) zur Messung des Jahresdurchschnitts

der PM_{2,5}-Staubmasse und von PM_{2,5}-Staubinhaltsstoffen (Anionen, Kationen, Elementarer Kohlenstoff und Organischer Kohlenstoff).

► **EU-LUFTQUALITÄTSRICHTLINIE;**

Artikel 10 (6): Betrieb mindestens einer Probenahmestelle zur Erfassung der Konzentrationen der Ozonvorläuferstoffe NO, NO₂ sowie geeigneter VOC.

Koordination zwischen den verschiedenen Messprogrammen

Die Luftmessprogramme der Genfer Luftreinhaltekonvention, und hier speziell des EMEP-Messprogramms, von GAW, von HELCOM und OSPAR sowie der EU-Gesetzgebung haben bezüglich der Messparameter, Messmethoden und Messstrategien zahlreiche Berührungspunkte. Es findet

Es findet ein steter Abstimmungsprozess zwischen nationalen und internationalen Fachleuten statt.

daher ein steter Abstimmungsprozess statt, der in den sich teilweise überlappenden bzw. ergänzenden Inhalten und Zielen begründet ist, und dadurch unterstützt wird, dass die nationalen Fachleute z. T. in verschiedenen internationalen Arbeitsgruppen vertreten sind. Hierbei ist zu bedenken, dass die föderale Struktur Deutschlands, die eine Aufteilung der Luftreinhalteaufgaben auf Bundesländer und Bund zur Folge hat, in kleineren Staaten oft nicht gegeben ist; nicht selten liegen dort die Aufgaben der Luftreinhaltung bei einer Institution in einer Hand.

Besonders intensiv ist die Koordination zwischen EMEP und den beiden Meereschutzabkommen OSPAR und HELCOM,

begünstigt durch gemeinsame Datenverwaltung, sowie durch regelmäßige Auswertungen, Modellierungen und Erstellung von Berichten für OSPAR und HELCOM durch die EMEP-Programzentren.

Auch zwischen GAW und EMEP gibt es von Beginn an einen Erfahrungsaustausch und eine Zusammenarbeit bei der Methodenharmonisierung, der sich zunehmend intensiviert. Dies zeigt sich auch darin, dass die Qualitätsanforderungen und die Messprogramme sowohl für EMEP-Stationen, als auch für GAW-Stationen harmonisiert wurden.

Durch die EU-Erweiterungen auf aktuell 28 Staaten hat sich der geografische Überlappungsbereich zwischen EMEP-Gebiet und EU ständig vergrößert; immer mehr Staaten sind sowohl Vertragspartner bei EMEP als auch Mitgliedstaat der EU. Es wundert daher nicht, dass die EU-Luftqualitätsrichtlinie von 2008 an zwei Stellen explizit die Abstimmung mit EMEP anspricht. Für die im Jahr 2014 vorgesehene Novellierung der EU-Luftqualitätsrichtlinie werden weitere Anpassungen zu EMEP angestrebt.

ANHANG

ABKÜRZUNGEN UND ERLÄUTERUNGEN

A

AQUILA Association of National Air Quality Reference Laboratories (= Vereinigung der nationalen Referenzlaboratorien für Luftqualität), ein Netzwerk der Referenzlabore für Luftmessungen in Europa

AWI Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, eine zur Helmholtz-Gemeinschaft gehörende Forschungseinrichtung mit Hauptsitz in Bremerhaven; betreibt die Neumayer-Station in der Antarktis und in Verbindung damit eine GAW-Globalstation

B

BC Black Carbon (= schwarzer Kohlenstoff), Bezeichnung für Ruß, wenn er mit optischen Messmethoden erfasst wird (vgl. EC)

BImSchG Bundesimmissionsschutzgesetz, ein deutsches Bundesgesetz (in seiner ersten Fassung aus dem Jahr 1974) zum Schutz von Menschen, Tieren und Pflanzen, Boden, Wasser und Atmosphäre sowie Kultur- und sonstigen Sachgütern vor Luftverunreinigungen, Geräuschen und Erschütterungen

BImSchV Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes, bundesweit gelten-

de Rechtsverordnungen des BMU zum BImSchG, 39 Verordnungen (Stand 2013)

BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Hauptsitz in Bonn, Außenstelle in Berlin

C

CAMP Comprehensive Atmospheric Monitoring Programme (= Umfassendes atmosphärisches Beobachtungsprogramm); ein Messprogramm zum Eintrag von Luftverunreinigungen in Nordatlantik und Nordsee im Rahmen von OSPAR

CCC Chemical Coordinating Centre (= Chemische Koordinierungszentrale) von EMEP; eines von fünf Zentren zur Erledigung von Fachaufgaben für EMEP, hier für die Sammlung, Auswertung von EMEP-Messdaten, angesiedelt am Norwegischen Institut für Luftforschung (NILU) in Oslo

CCL Central Calibration Laboratories (= Zentrale Kalibrierlaboratorien), sind bei GAW für die Primärstandards einzelner Messgrößen verantwortlich

CEN Comité Européen de Normalisation (= Europäisches Komitee für Normung); eine von 30 nationalen Normungsgremien getragene private Organisation mit Sitz in Brüssel, die auf freiwilliger Basis europäische Normen (EN) entwickelt

CLRTAP Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (= Vereinbarung über weitreichende und grenzüberschreitende Luftverunreinigung), kurz „Genfer Luftreinhaltekonvention“ der UNECE aus dem Jahr 1979, 51 Vertragspartner (Stand 2013), Sitz des Sekretariats in Genf

D

DACH Informeller Verbund aus drei GAW-Stationen im Alpenraum: Zugspitze-Hohenpeißenberg in Deutschland (D), Sonnblick in Österreich (A) und Jungfraujoch in der Schweiz (CH)

DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft, ein Verein (finanziert von Bund und Ländern) zur Forschungsförderung

DWD Deutscher Wetterdienst; eine Anstalt des öffentlichen Rechts im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung mit Hauptsitz in Offenbach, Kooperationspartner des UBA-Luftmessnetzes bei GAW

E

ECD Electron Capture Detector (= Elektroneneinfangdetektor), Detektor bei der Gaschromatografie, sehr empfindlich und spezifisch für halogenierte Kohlenwasserstoffe

EC-OC Elemental Carbon – Organic Carbon (= Elementarer Kohlenstoff – Organischer Kohlenstoff) zwei Messgrößen zur Differenzierung von Zustandsformen des Elements Kohlenstoff im Feinstaub der Luft. Ruß besteht weitestgehend aus EC (messtechnisch chemisch erfasst, vgl. BC), OC ist der in organischen Molekülen gebundene Kohlenstoff. Die messtechnische Trennung von EC und OC ist schwierig.

EECCA Eastern Europe, Caucasus and Central Asia (Osteuropa, Kaukasus und Zentralasien), Gebiet

der Nachfolgestaaten der früheren Sowjetunion, das in die Genfer Luftreinhaltekonvention integriert wird

EMAS Eco-Management and Audit Scheme (= Öko-Management und Auditierungsschema), kurz Öko-Audit, ein freiwilliges, nach EU-Verordnung zertifiziertes Umweltmanagement für Betriebe

EMEP European Monitoring and Evaluation Programme (= Europäisches Beobachtungs- und Auswertprogramm), ein Beobachtungs- und Überwachungsnetzwerk für grenzüberschreitende Luftverunreinigungen im Gebiet der Genfer Luftreinhaltekonvention auf der Basis von Messungen, Emissionsberichterstattung und Modellierung, 44 Vertragspartner (Stand 2013), Sitz des Sekretariats in Genf

EN Europäische Norm; in einem öffentlichen Normungsprozess entstandene Norm mit Gültigkeit in den CEN-Mitgliedstaaten

ERLAP European Reference Laboratory for Air Pollution (= Europäisches Referenzlabor für Luftverschmutzung), eine Einrichtung des Joint Research Centre (Gemeinsames Forschungszentrum) der Europäischen Kommission in Ispra (Italien)

F

FCKW Fluorchlorkohlenwasserstoffe, eine Gruppe kurzkettiger organischer Verbindungen, deren Wasserstoffatome durch Chlor und Fluor substituiert sind

FIA Flow Injection Analyzer (= Fließinjektionsanalyse), Messgerät bzw. Methode zur Analyse von Ionen

FID Flammen-Ionisations-Detektor, Detektor bei der Gaschromatografie, besonders empfindlich für nicht-halogenierte Kohlenwasserstoffe

G

GAW Global Atmosphere Watch (= Globale Überwachung der Atmosphäre), ein seit 1992 laufendes globales Messprogramm der Weltmeteorologieorganisation (WMO) zur Zusammensetzung und Veränderung der Atmosphäre mit Schwerpunkt Klima; Messbeiträge von 80 Staaten weltweit (Stand 2013), Sitz des Sekretariats in Genf

GAWSIS GAW Stations Information System (= GAW Messstationen-Informationssystem), eine von der Schweizer Forschungsinstitution EMPA geführte, öffentlich im Internet verfügbare Datenbank über GAW-Messstationen inkl. Metadaten

GAWTEC GAW Training and Education Centre (= GAW Schulungs- und Ausbildungszentrum), zentrales GAW-Schulungszentrum für Messtechniker aus aller Welt in der UBA-Messstation auf der Zugspitze, einer der Bausteine im Qualitätsmanagement bei GAW

GC Gaschromatografie; Messgerät bzw. Methode zur Analyse von organischen Substanzgemischen; das Gemisch wird im gasförmigen Zustand in einer langen speziellen Glaskapillare in die Einzelsubstanzen getrennt, diese mittels Detektoren (z.B. ECD oder FID) erkannt und quantifiziert

GCOS Global Climate Observing System (= Globales Klima-Überwachungssystem); ein umfassendes Mess- und Beobachtungsprogramm der WMO und anderer UN-Organisationen zur Verbesserung der Datenbasis und des Verständnisses sämtlicher klimarelevanter Prozesse

GEM Gaseous Elemental Mercury (= gasförmiges elementares Quecksilber); eine von mehreren Zustandsformen von Quecksilber in der Luft

GLP Gute Laborpraxis, ein Qualitätssicherungssystem für Labore

GUAN German Ultrafine Aerosol Network (= Deutsches Netzwerk für Ultrafeinstaub), ein Netzwerk mit Forschungscharakter aus Messstellen für Ultrafeinstaub in Deutschland, das das IfT Leipzig betreut

H

HCF Fluorierte Kohlenwasserstoffe

HELCOM Helsinki-Kommission, Gremium von Vertretern der Vertragsparteien und offiziellen Beobachtern zur Steuerung des Übereinkommens zum Schutz der Ostsee (unterzeichnet 1974, erneuert 1992), Vertragspartner sind neun Staaten und die EU, Sitz des Kommissions-Sekretariats in Helsinki

HPLC High Performance Liquid Chromatography (= Hochleistungsflüssigchromatografie), Messgerät bzw. Methode zur Analyse von organischen Substanzgemischen; das Gemisch wird im flüssigen Zustand durch eine kurze, speziell gefüllte Edelstahlsäule gepumpt, dabei in die Einzelsubstanzen getrennt, diese mittels Detektoren erkannt und quantifiziert

HVS High Volume Sampler (= Sammler mit hohem Luftdurchsatz); Sammelgerät für Feinstaub, um dessen Masse zu bestimmen oder ihn chemisch zu analysieren

I

IC Ionenchromatografie, Messgerät bzw. Methode zur Analyse von Ionen, die flüssige Probe wird durch eine kurze, speziell gefüllte Kunststoffsäule gepumpt, die Ionen dabei getrennt, diese mittels Leitfähigkeitsdetektor erkannt und quantifiziert

ICP-IM International Cooperative Programme on Integrated Monitoring (= Internationales Kooperativprogramm zur integrierten Umweltbeobachtung); ein internationales Messprogramm

im Rahmen der Genfer Luftreinhaltekonvention, um Wirkungen von Luftschadstoffen auf Ökosysteme zu untersuchen, 19 beitragende Staaten (Stand 2013), Sitz des Programmzentrums in Helsinki

ICP-MS Inductive Coupled Plasma – Mass Spectrometry (= Induktiv gekoppeltes Plasma – Massenspektrometrie oder kurz Plasmamassenspektrometrie), Messgerät bzw. Methode zur simultanen Analyse vieler chemischer Elemente

IFT Leibniz-Institut für Troposphärenforschung in Leipzig, Kooperationspartner des UBA-Luftmessnetzes bei EMEP und GAW

IGB Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei; der Standort Neuglobsow dieses Instituts kooperiert mit der UBA-Messstation Neuglobsow beim Integrated Monitoring

IMK Institut für Meteorologie und Klimaforschung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) in Garmisch-Partenkirchen, Kooperationspartner des UBA bei GAW

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (= Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen oder kurz Weltklimarat), eine 1988 eingerichtete UN-Einrichtung, um der Politik belastbare Informationen aus der Wissenschaft zum Klimawandel zur Verfügung zu stellen

J

JRC Joint Research Centre (= Gemeinsames Forschungszentrum der EU-Kommission), eine Forschungseinrichtung der EU, die als Referenzzentrum für Wissenschaft und Technik dient

L

LVS Low Volume Sampler (= Sammler mit niedri-

gem Luftdurchsatz); Sammelgerät für Feinstaub, um ihn chemisch zu analysieren

M

MSC-W Meteorological Synthesizing Centre - West (= Meteorologische Zentrale West), eines von fünf Zentren zur Erledigung von Fachaufgaben für EMEP, hier für die Ausbreitungsmodellierung von Luftverunreinigungen, angesiedelt am Norwegischen Meteorologischen Institut in Oslo

N

NILU Norsk Institutt for Luftforskning (= Norwegisches Institut für Luftforschung), nimmt in Oslo für EMEP die Aufgabe des Chemischen Koordinierungszentrums (CCC) wahr sowie für GAW die Aufgabe des Weltdatenzentrums für Aerosole (WDCA)

NOAA-ESRL Earth System Research Laboratory der National Oceanic and Atmospheric Administration (= Forschungslabor für das System Erde der nationalen Verwaltung für Ozeane und Atmosphäre), US-amerikanisches Institut, das bei GAW als zentrales Kalibrierlabor (CCL) für Klimagase fungiert

NPV Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald; Kooperationspartner des UBA beim Integrated-Monitoring-Untersuchungsgebiet Forellenbach

O

OSPAR Oslo-Paris-Kommission, ein Gremium aus Vertretern der Vertragspartner und offiziellen Beobachtern zur Steuerung des Übereinkommens zum Schutz des Nordostatlantiks (Nordsee u. a.), unterzeichnet 1992, Vertragspartner sind 15 Staaten und die EU, Sitz des Kommissions-Sekretariats in London

P

PAK Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe, eine Gruppe organischer Verbindungen, deren Moleküle aus aromatischen Ringsystemen wabenartig zusammengesetzt sind; sie sind sowohl natürlichen Ursprungs als auch die Folge menschlicher Verbrennungsprozesse, viele der Einzelsubstanzen sind giftig, z. B. das krebserregende Benzo(a)pyren

PAN Peroxyacetylnitrat, ein fotochemisches Reaktionsprodukt, das wie Ozon aus Stickoxiden und VOC entsteht

PCB Polychlorierte Biphenyle, eine Gruppe giftiger organischer Verbindungen, die zu den POP zählt. Die Produktion von PCB wurde in Deutschland bereits 1983 eingestellt; seit 1989 sind alle Anwendungen verboten

PM_x Particulate Matter (= Partikuläre Bestandteile feiner als x); Feinstaubfraktion mit einem aerodynamischen Durchmesser unterhalb x, wobei x in der messtechnischen Praxis die Werte 10 (= 10 µm), 2,5 (= 2,5 µm) und 1 (= 1 µm) annehmen kann

POP Persistent Organic Pollutants (= Persistente Organische Verunreinigungen), eine Gruppe von ursprünglich 12 (= „dreckiges Dutzend“), aktuell 24 organischen Substanzen und Substanzgruppen, die sich auszeichnen durch Ferntransport, hohe Giftigkeit, Langlebigkeit in der Umwelt und Anreicherungsvermögen in Lebewesen

Q

QA/SAC Quality Assurance / Science Activity Centres (= Qualitätssicherungs- und Wissenschaftsaktivitätszentren), einer der Bausteine im Qualitätsmanagement bei GAW (weltweit fünf)

QS / QM Qualitätssicherung / Qualitätsmanagement; Summe aller Maßnahmen, um die Qualität

von Messungen auf gleichbleibend hohem Niveau zu erhalten und ständig zu verbessern

R

RGM Reactive Gaseous Mercury (= reaktives gasförmiges Quecksilber); eine von mehreren Zustandsformen von Quecksilber in der Luft

S

SAG Scientific Advisory Groups (= Wissenschaftliche Beratungsgruppen), einer der Bausteine im Qualitätsmanagement bei GAW

SHARP Synchronized Hybrid Ambient Real-time Particulate Monitor (= Synchronisierter Hybridmonitor für Echtzeit-Partikelmessung in der Außenluft); Messgerät zur (quasi)kontinuierlichen Bestimmung von Feinstaub

SLCF Short-lived Climate Forcers (= kurzlebige Klimaaantreiber); eine Gruppe von Luftverunreinigungen, die klimawirksam, aber vergleichsweise kurzlebig in der Atmosphäre sind (Ruß, Ozon, HCF u. a.)

SOP Standard Operating Procedure (= Standardarbeitsanweisung), Auflistung aller Arbeitsschritte einer Methode, garantiert reproduzierbares einheitliches Vorgehen und damit Vergleichbarkeit und ist ein Baustein der Qualitätssicherung

T

TA Luft Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft; erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 24. Juli 2002

TGM Total Gaseous Mercury (= gesamtes gasförmiges Quecksilber); eine von mehreren Zustandsformen von Quecksilber in der Luft

U

UBA Umweltbundesamt, eine von drei oberen Bundesbehörden im Geschäftsbereich des BMU, Hauptsitz in Dessau-Roßlau (Sachsen-Anhalt), Außenstellen in Berlin, Bad-Elster (Thüringen) und Langen (Hessen) sowie sieben Luftmessstationen

UNECE United Nations Economic Commission for Europe (= Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa), eine 1947 eingerichtete Institution der Vereinten Nationen mit Sitz in Genf, deren Aufgabe es ist, die wirtschaftliche Zusammenarbeit der Mitgliedsländer zu verbessern

UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change (= Rahmenübereinkommen der UN über Klimaänderungen), ein internationales Abkommen zur Verhinderung bzw. Minderung von Klimaänderungen, Sitz des Sekretariats in Bonn

V

VDI Verband Deutscher Ingenieure; die VDI-Kommission „Reinhaltung der Luft“ betreibt zusammen mit dem Deutschen Institut für Normung (DIN) Normungsarbeit im Bereich Luftreinhaltung

VOC Volatile Organic Compounds (= Flüchtige Organische Verbindungen), eine Gruppe von rund 30 organischen Substanzen, die wegen ihrer Flüchtigkeit hauptsächlich in der Luft zu finden sind und zur Bildung des bodennahen Ozons beitragen

W

WCC World Calibration Centres (= Weltkalibrierzentren), einer der Bausteine im Qualitätsmanagement bei GAW

WCCAP World Calibration Center for Aerosol Phys-

ics (= Weltkalibrierzentrum für Aerosolphysik) am Leibniz-Institut für Troposphärenforschung in Leipzig (IfT)

WCC-N₂O World Calibration Center for Nitrous Oxide (= Weltkalibrierzentrum für Lachgas), am Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) in Garmisch-Partenkirchen

WCC-VOC World Calibration Center for Volatile Organic Compounds (= Weltkalibrierzentrum für flüchtige organische Verbindungen) am Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) in Garmisch-Partenkirchen

WDC World Data Centres (= Weltdatenzentren), insgesamt sechs Zentren, die jeweils bestimmte Gruppen von Messdaten bei GAW sammeln, verwalten und zugänglich machen

WDCA World Data Centre for Aerosols (= Weltdatenzentrum für Aerosole) bei GAW, angesiedelt beim Norwegischen Institut für Luftforschung (NILU) in Oslo

WDCGG World Data Centre for Greenhouse Gases (= Weltdatenzentrum für Klimagase) bei GAW, angesiedelt beim japanischen Wetterdienst in Tokyo

WGE Working Group on Effects (= Arbeitsgruppe zu Wirkungen), eine von drei Säulen der Genfer Luftreinhaltekonvention

WHO World Health Organisation (= Weltgesundheitsorganisation) der Vereinten Nationen

WMO World Meteorological Organization (= Weltmeteorologieorganisation), eine 1950 eingerichtete Institution der Vereinten Nationen mit Sitz in Genf, deren Aufgabe es ist, die weltweite Kooperation und Standardisierung in der Meteorologie zu verbessern

FOLGENDE ANSPRECHPARTNER GEBEN IHNEN ZU SPEZIELLEN FRAGEN GERN AUSKUNFT

ATMOSPHÄRENCHEMIE UND MESSTECHNIK

Markus Wallasch
markus.wallasch@uba.de

BEURTEILUNG DER LUFTQUALITÄT IN DEUTSCHLAND

Arno Graff
arno.graff@uba.de

CHEMISCHE ANALYTIK UND EMEP

Dr. Elke Bieber
elke.bieber@uba.de

GAW-GLOBALSTATION ZUGSPITZE, GAWTEC UND GAW ALLGEMEIN

Dr. Ludwig Ries
ludwig.ries@uba.de

GAW QA/SAC

Dr. Holger Gerwig
holger.gerwig@uba.de

INTEGRATED MONITORING

Dr. Helga Dieffenbach-
Fries
helga.fries@uba.de

INTERNATIONALE LUFTREINHALTUNG (EU, GENFER LUFTREIN- HALTE-KONVENTION)

Marion Wichmann-Fiebig
marion.wichmann-fiebig@
uba.de

MESSDATEN ALLER DEUTSCHEN LUFTMESS- STATIONEN

Stefan Feigenspan
stefan.feigenspan@uba.de

MESSDATEN UBA-LUFTMESSNETZ

Karin Uhse
karin.uhse@uba.de

MESSSTATION NEUGLOBSOW

Olaf Bath
olaf.bath@uba.de

MESSSTATION SCHAUINSLAND

Frank Meinhardt
frank.meinhardt@uba.de

MESSSTATION SCHMÜCKE

Rita Junek
rita.junek@uba.de

MESSSTATIONEN WESTERLAND, ZINGST UND WALDHOF

Dr. Axel Eggert
axel.eggert@uba.de

NATIONALE EU-BERICHTERSTATTUNG

Ute Dauert
ute.dauert@uba.de

NATIONALES EU-REFERENZLABOR

Dr. Klaus Wirtz
klaus.wirtz@uba.de

POP-ANALYTIK

Dr. Wilhelm Knoth
wilhelm.knoth@uba.de

UBA-LUFTMESSNETZ ALLGEMEIN

Dr. Ruprecht Schleyer
ruprecht.schleyer@uba.de

WORKING GROUP ON EFFECTS

Gudrun Schütze
gudrun.schuetze@uba.de

WEITERE INFORMATIONEN FINDEN SIE UNTER FOLGENDEN INTERNET-ADRESSEN

BMU UND UBA

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit (BMU)
<http://www.bmu.de>

Umweltbundesamt (UBA)
<http://www.umweltbundesamt.de>

Luftmessnetz des UBA
<http://www.umweltbundesamt.de/luft/luftmessnetze/ubamessnetz.htm>

Stationsdatenbank aller deutscher Luftmessstationen
(Bundesländer und UBA)
<http://www.env-it.de/stationen/public/open.do>

Aktuelle Luftqualitätsdaten
<http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/index.html>

Übersicht zu deutschen Aktivitäten im Rahmen
der Genfer Luftreinhaltekonvention
<http://www.umweltbundesamt.de/luft/umweltbeobachtung/clrtap.htm>

UNECE GENFER LUFTREINHALTEKONVENTION

Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE)
<http://www.unece.org/unece/welcome.html>

Genfer Luftreinhaltekonvention (CLRTAP)
<http://www.unece.org/env/lrtap/welcome.html>

EMEP

<http://www.emep.int>

**Chemische Koordinierungszentrale (CCC) von EMEP
beim Norwegischen Institut für Luftforschung (NILU) in Oslo**
<http://www.nilu.no/projects/ccc/index.html>

**Meteorologiezentrale West (MSC-W) von EMEP
am Norwegischen Meteorologischen Institut in Oslo**
http://www.emep.int/mscw/index_mscw.html

Working Group on Effects (WGE) der Genfer Luftreinhaltekonvention
<http://www.unece.org/env/lrtap/workinggroups/wge/welcome.html>

**Organisations- und Datenzentrale des ICP Integrated Monitoring
beim Finnischen Umweltinstitut in Helsinki**
<http://www.environment.fi/default.asp?contentid=398672&lan=EN>

**Integrated Monitoring im Forellenbachgebiet durch die National-
parkverwaltung Bayerischer Wald in Kooperation mit dem UBA**
<http://www.nationalpark-bayerischer-wald.bayern.de/nationalpark/forschung/projekte/oekologie.htm>

LUFTREINHALTUNG EU

Luftreinhalteung in der EU
<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/index.htm>

EU-Luftqualitätsrichtlinie
<http://www.bmu.de/luftreinhalteung/downloads/doc/41204.php>

Europäisches Referenzlabor ERLAP in Ispra (Italien)
<http://ies.jrc.ec.europa.eu/our-activities/support-for-member-states/erlap.html>

Netzwerk nationaler Referenzlabors in Europa AQUILA
<http://ies.jrc.ec.europa.eu/aquila-homepage.html>

GAW

Weltmeteorologieorganisation (WMO) der Vereinten Nationen
http://www.wmo.int/pages/index_en.html

Global Climate Observing System (GCOS)
<http://www.wmo.int/pages/prog/gcos>

Global Atmosphere Watch (GAW) der WMO
http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw_home_en.html

Überblick über die GAW-Aktivitäten des Umweltbundesamtes
<http://www.umweltbundesamt.de/luft/umweltbeobachtung/gaw/index.htm>

**UBA-GAW-Messstation Zugspitze in der
Umweltforschungsstation Schneefernerhaus**
<http://www.schneefernerhaus.de/index.php?id=37>

Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg des DWD
<http://bit.ly/Hohenpeißenberg>

GAW-Stationsdatenbank GAWSIS von der Schweizer EMPA
<http://gaw.empa.ch/gawsis>

**GAW-Weltdatenzentrum für Klimagase (WDCGG)
beim Japanischen Wetterdienst**
<http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg>

**GAW-Weltdatenzentrum für Aerosole beim
Norwegischen Institut für Luftforschung (NILU) in Oslo**
<http://www.gaw-wdca.org>

**GAW-Weltkalibrierzentrum für physikalische Eigenschaften
von Aerosolen (WCCAP) am IFT Leipzig**
<http://gaw.tropos.de/WCCAP/index.html>

**GAW-Weltkalibrierzentrum für VOC (WCC-VOC)
am IMK in Garmisch-Partenkirchen**
<http://imk-ifu.fzk.de/wcc-voc>

**GAW-Weltkalibrierzentrum für Lachgas (WCC-N₂O)
am IMK in Garmisch-Partenkirchen**
<http://imk-ifu.fzk.de/wcc-n2o>

GAW Schulungs- und Ausbildungszentrum GAWTEC
<http://www.gawtec.de>

OSPAR UND HELCOM

HELCOM = Ostsee-Meeresschutzabkommen
<http://www.helcom.fi>
<http://bit.ly/HELCOM>

OSPAR = Nordostatlantik/Nordsee-Meeresschutzabkommen
<http://www.ospar.org/>
<http://www.bmu.de/meeresumweltschutz/downloads/doc/4766.php>

SONSTIGE

Umweltmanagementsystem EMAS
<http://www.emas.de>

IMPRESSUM

HERAUSGEBER

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau

E-Mail: info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

AUTOREN

Ruprecht Schleyer | Elke Bieber |
Markus Wallasch

REDAKTION UND KOORDINATION

Christoph Zinsius

FREIES LEKTORAT

Grit Zacharias

GESTALTUNG

judithkeller.com
Judith Keller | Simon Adrian (Bildbearbeitung) |
Sarah-Lena Haaf (Assistenz) | Karoline Gorman-Rigaud |
Jessica Siegel (Fotografie) | Julia Vogel (Infografik)

STAND

September 2013

AUFLAGE

3 000 Exemplare
gedruckt auf Recyclingpapier
aus 100 % Altpapier

SOCIAL MEDIA

 www.youtube.com/umweltbundesamt



facebook.com/umweltbundesamt.de



twitter.com/umweltbundesamt

BILDNACHWEIS

Titel, S. 2, S. 3, S. 4, S. 8/9, S. 11, S. 12, S. 80/81,
S. 97 Jessica Siegel
S. 2, S. 46/47, S. 57 Dr. Ludwig Ries
S. 14, S. 59 (unten) F. Meinhardt
S. 18 S. Luck-Kopp
S. 31, S. 32, S. 35, S. 37, S. 51, S. 52, S. 53,
S. 59 (oben), S. 62 (unten) A. Eggert
S. 38 M. Ebert, TU Darmstadt
S. 50 (oben) A. Schwerin,
S. 20 (unten), S. 54 C. Casper
S. 55 E. Straube
S. 56 B. Fischer
S. 58 B. Beudert
S. 60 J. Nebhuth
S. 64/65 [daniel.schoenen / photocase.com](http://daniel.schoenen/)
S. 61 UBA
S. 62 (oben), S. 63 TV-Connexion
S. 76/77 [picture alliance / epa / Vassilis Psomas](http://picture.alliance/)
S. 78/79 Christoph Zinsius

Zusätzlich zur Broschüre ist im September 2013 auch
der Kurzfilm „Auf der Spur der Luft“ entstanden.
Abrufbar unter www.umweltbundesamt.de/luftfilm

