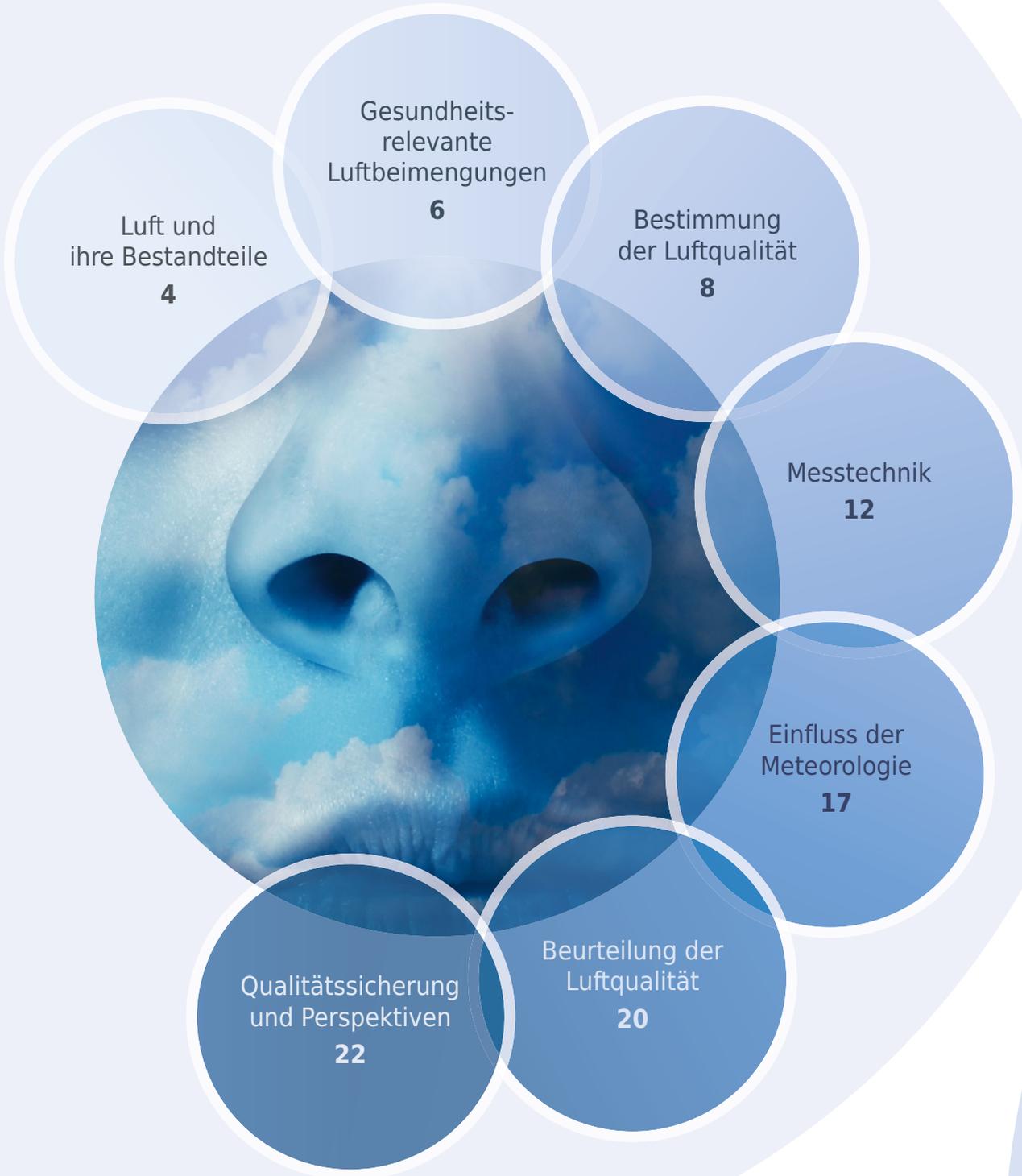




**Messen - Bewerten - Beraten**

## *Luftqualität unter der Lupe*





## Was ist Luft?

*Luft ist eine der wichtigsten Grundlagen zum Leben. Luft kann man in der Regel nicht sehen, hören, schmecken, riechen oder fühlen.*

*In extremen Fällen nehmen wir wahr, ob die Luft, die uns umgibt, sehr sauber oder stark belastet ist. Normalerweise sind wir aber auf Messungen durch Experten angewiesen.*

„Die Luft ist rein“ bedeutet im übertragenen Sinne einen Zustand bzw. eine Situation ohne Störkomponenten oder Gefahren, wortwörtlich eine Luft frei von Inhaltsstoffen, die für Mensch und Umwelt schädlich sind.

Wie rein die Luft an einem Ort ist, kann anhand von Konzentrationen verschiedener Luftinhaltsstoffe bestimmt werden. Gesundheits- und umweltgefährdende Komponenten dürfen dabei einen bestimmten Grenzwert nicht überschreiten. Ist dies doch der Fall, müssen Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität umgesetzt werden. Damit die Luft rein bleibt bzw. reiner wird, sind europaweit Rechtsvorgaben zur Luftreinhaltung verabschiedet worden.

In Kur- und Erholungs-orten kommt der Luftqualität eine ganz besondere Bedeutung zu, schließlich trägt sie dazu bei, die Qualität der Kur sicherzustellen und den kurmedizinischen Erfolg zu unterstützen. Deshalb sind die vom Deutschen Heilbäderverband e.V. und Deutschen Tourismusverband e.V. festgelegten Qualitätsstandards strenger als die nach deutschem und europäischem Recht festgelegten Grenzwerte für die Luftqualität.

Kur- und Erholungsorte weisen grundsätzlich eine Luftqualität auf, die weit über dem Durchschnitt liegt. Damit stellen Kur- und Erholungsorte eine Entlastung von den Immissionsverhältnissen dar, wie sie häufig in Großstädten und Ballungsgebieten anzutreffen sind. Bereits im 18. Jahrhundert galt die Luft in Kur- und Erholungsorten als gesundheitsfördernd und wurde für kurmedizinische Anwendungen eingesetzt. Heutzutage findet sie zunehmend auch präventiv Anwendung.

Für den Nachweis einer sauberen Luft werden in regelmäßigen Abständen Luftqualitätsmessungen durchgeführt. Um zum Kur- und Erholungsort durch die Genehmigungsbehörden (z. B. Bezirksregierungen) ernannt (prädikatisiert) zu werden, oder dieses Prädikat nach einem bestimmten Zeitraum zu bestätigen, ist unter anderem ein amtlich anerkanntes Luftqualitätsgutachten vorzulegen, das einjährige Messungen der Luftqualität voraussetzt. Dabei greifen

die Gemeinden auf die Kompetenz und die über 50-jährige Erfahrung des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zurück. Natürlich steht es jeder Gemeinde frei, ob Kurort oder nicht, die Luftqualität vom DWD überprüfen zu lassen, um so mit dem amtlichen Luftqualitätsgutachten die Attraktivität des Heimatortes als Urlaubsziel zu erhöhen. Die Feinstaubkonzentrationen des lufthygienischen Referenzmessnetzes des DWD und der Kurorte werden im Internet veröffentlicht. Dieser Service wird um weitere Komponenten erweitert.



# Luft und ihre Bestandteile

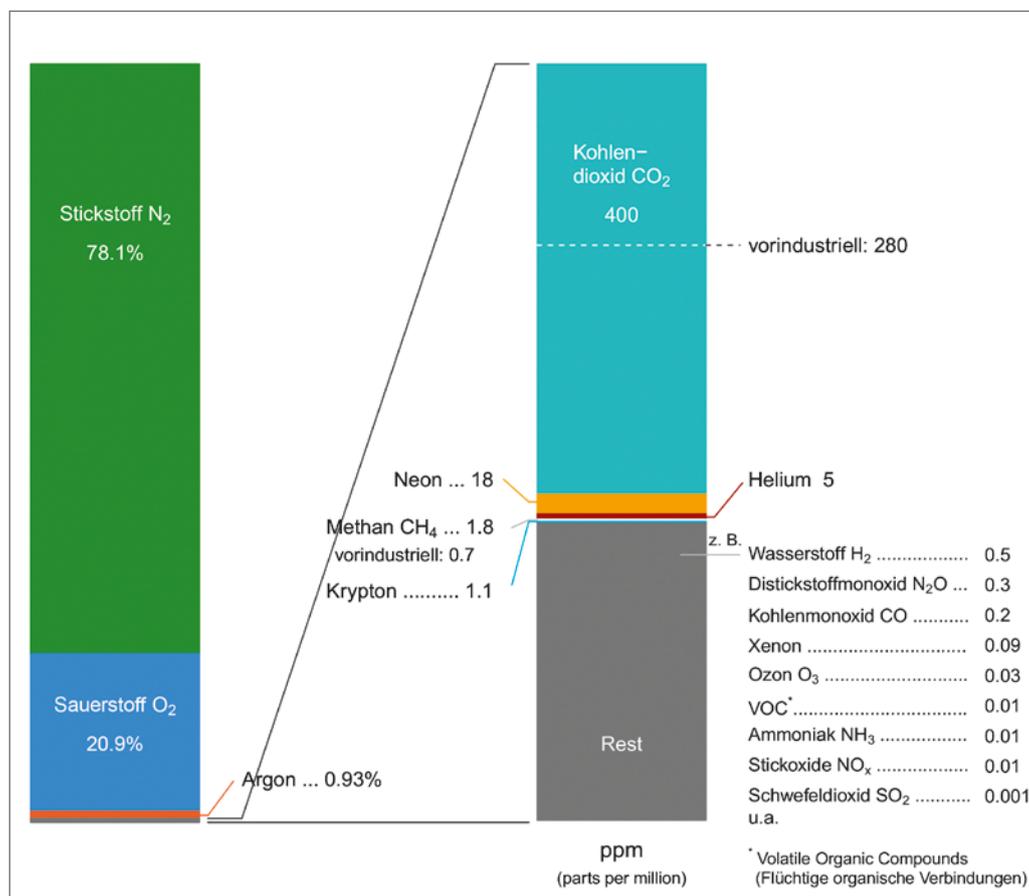
Die Luft unserer Atmosphäre ist ein Gemisch aus vielen Gasen, hauptsächlich Stickstoff ( $N_2$ ), Sauerstoff ( $O_2$ ), Edelgase, Wasserdampf ( $H_2O$ ) und Kohlendioxid ( $CO_2$ ). Viele weitere Gase kommen in so geringen Konzentrationen vor, dass man sie Spurengase nennt. Neben gasförmigen Molekülen enthält die Luft auch noch eine ganze Reihe von flüssigen, festen oder aus verschiedenen Phasen kombinierten Teilchen, die Aerosole.

Wasserdampf, Kohlendioxid, Ozon ( $O_3$ ), Methan ( $CH_4$ ) und Distickstoffoxid ( $N_2O$ , „Lachgas“) bewirken, dass die mittlere Oberflächentemperatur der Erde von  $-18^\circ C$  auf  $+14^\circ C$  angehoben wird. Durch

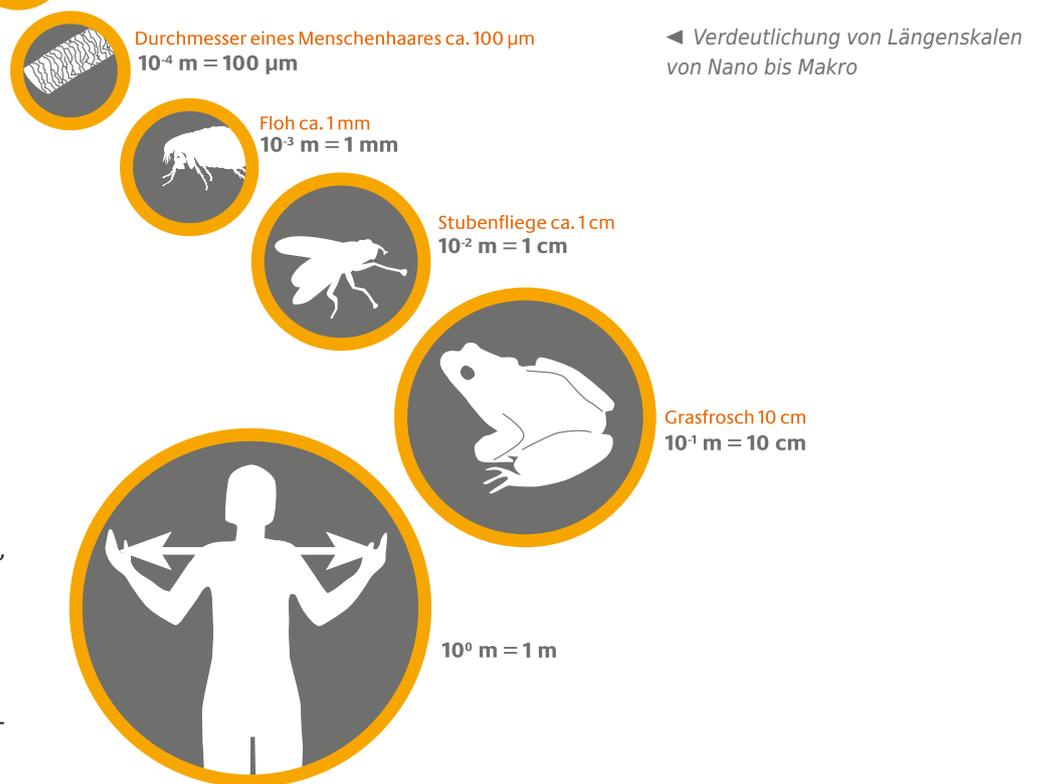
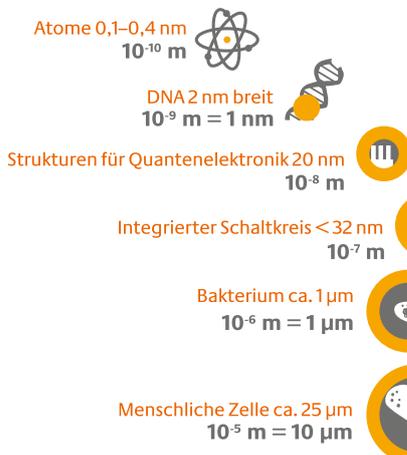
diesen natürlichen Treibhauseffekt ist Leben auf unserem Planeten überhaupt erst möglich. Der Mensch ist allerdings in der Lage, mit seinen Emissionen diese natürliche Zusammensetzung empfindlich zu stören.

Die Spurengase haben verschiedene Quellen, Senken und Aufenthaltszeiten in der Atmosphäre. Dementsprechend liegen sie in sehr unterschiedlichen Konzentrationen vor. Mit ihren individuellen Absorptions- und Emissionseigenschaften wirken sie unterschiedlich stark auf den Strahlungshaushalt der Erde.

Sowohl im Strahlungshaushalt als auch bei physikalischen und chemischen Prozessen in der Atmosphäre spielen Aerosolpartikel eine wichtige Rolle. Die Größe der Partikel variiert von wenigen Nanometern (nm) bis zu etwa 100 Mikrometern ( $\mu m$ ).



◀ Chemische Zusammensetzung der Luft. Hauptbestandteile sind Stickstoff mit 78,1 % und Sauerstoff mit 20,9 %, die zusammen 99 % ausmachen. Die Spurenstoffe stellen einen vergleichbar geringen Anteil dar, haben dennoch einen erheblichen Einfluss auf die Luftqualität.



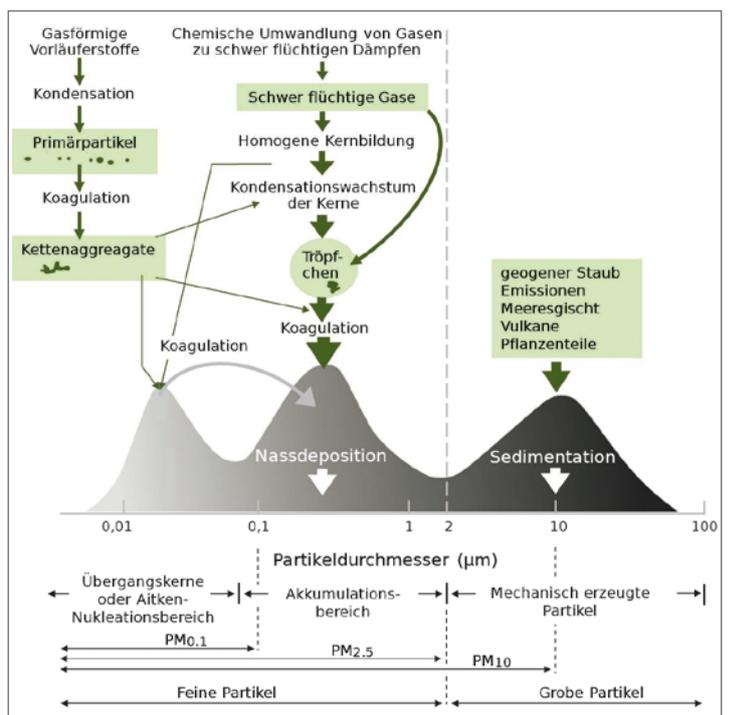
Es werden folgende Partikelgrößenbereiche unterschieden:

- **Ultra-Feinstaub (PM<sub>0,1</sub>)** mit einem Partikeldurchmesser < 0,1 µm,
- **Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>)** mit einem Partikeldurchmesser < 2,5 µm,
- **Grobstaub** mit einem Partikeldurchmesser > 10 µm,
- **Inhalierbarer Grobstaub** mit einem Partikeldurchmesser zwischen 2,5 und 10 µm. Inhalierbarer Grobstaub und PM<sub>2,5</sub> zusammengefasst wird vielfach als Feinstaub PM<sub>10</sub> bezeichnet.

Der jeweilige Anteil der verschiedenen Luftinhaltsstoffe (Gase, Partikel) bestimmt, wie sauber bzw. belastet unsere Luft ist, die wir atmen. Für Mensch und Umwelt sind viele der Luftinhaltsstoffe oberhalb bestimmter Konzentrationen beeinträchtigend oder schädlich.

Wenn das der Fall ist, spricht man von „Luftverunreinigungen“ oder „Luftschadstoffen“.

*Größenverteilung des atmosphärischen Aerosols in idealisierter Form bezogen auf die Massenkonzentration nach Whitby und Cantrell (1976). Mit Partikelgrößen von wenigen Nanometern bis zu etwa 100 Mikrometern überdeckt die Größenverteilung fünf Größenordnungen. ▶*



# Gesundheitsrelevante Luftbeimengungen und gesetzliche Rahmenbedingungen

Seit 1974 erfolgt in Deutschland die Messung und Bewertung der Luft und damit eine geregelte Überwachung der Luftqualität. Die Europäische Union zog nach und legte mit ihren Richtlinien den Grundstein für eine Vereinheitlichung innerhalb Europas, denn Luft kennt keine Grenzen.

Luftbeimengungen, die auf Mensch und Umwelt wirken, sind vor allem reaktive Gase wie z. B. Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickoxide (NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>), Kohlenmonoxid (CO), Ozon, Benzol (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), Ammoniak (NH<sub>3</sub>), flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds, VOC) und Stäube wie z. B. PM<sub>2,5</sub> oder PM<sub>10</sub>.

Unkontrollierte Emissionen von Luftbeimengungen führten in den 1950er und 1960er Jahren besonders im Winter während austauscharmer Wetterlagen in Verbindung mit hohen Staub- und SO<sub>2</sub>-Konzentrationen zu Smog. Eine andere Art des Smogs trat in den 1980er und 1990er Jahren vor allem im Sommer auf: Hohe Emissionen von VOC und NO<sub>x</sub> zusammen mit intensiver Sonneneinstrahlung führten zu hohen O<sub>3</sub>-Konzentrationen (fotochemischer Smog). Heutzutage sind der hohe Eintrag von

Ammoniak, die Zunahme von Feinstaub und klimarelevanten Gasen die führenden Umweltthemen.

Um eine Luftqualität sicherzustellen, die die menschliche Gesundheit und Umwelt vor solchen Luftverunreinigungen schützt, wurden ab Mitte der 1990er Jahre europaweit Rechtsvorschriften zur Luftreinhaltung eingeführt. Dies hatte zur Folge, dass seitdem die Emission bestimmter Luftschadstoffe stark zurückgegangen ist (siehe Abbildung rechts).

Für die Beurteilung der Luftqualität ist neben der Emission auch die Immission maßgebend. Unter Immission versteht man die Einwirkung von

Luftschadstoffen auf Mensch und Umwelt. Emission und Immission hängen prinzipiell zusammen; Rückschlüsse von Emission auf Immission sind jedoch nur bedingt möglich. So ist beispielsweise bei NO<sub>2</sub> trotz Emissionsrückgang die Immissionsbelastung vor allem an verkehrsreichen Standorten immer noch deutlich erhöht.

Die Rechtsvorschriften regeln sowohl den Ausstoß von festen und gasförmigen Stoffen (Emission) als auch die Einwirkung dieser auf Mensch und Umwelt (Immission). Dafür werden in den verschiedenen Bundes-Immissionsschutzverordnungen (BImSchV) für viele Luftinhaltsstoffe Grenzwerte festgelegt, die einzuhalten sind. In

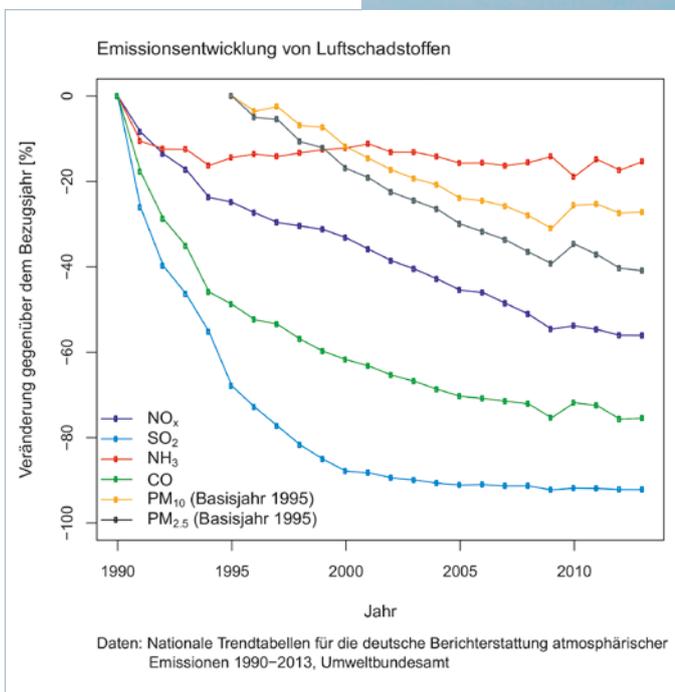
der 39. BImSchV „Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen“ ist ab dem 1. Januar 2015 für Feinstaub PM<sub>2,5</sub> ein Grenzwert von 25 µg/m<sup>3</sup> verbindlich (Jahresmittel), siehe auch Tabelle. Ab dem 1. Januar 2020 wird dieser auf 20 µg/m<sup>3</sup> abgesenkt. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt einen strengeren Grenzwert für PM<sub>2,5</sub> mit 10 µg/m<sup>3</sup> und für PM<sub>10</sub> mit 20 µg/m<sup>3</sup> (WHO 2006). In den Vereinigten Staaten von Amerika liegt derzeit der Standard für PM<sub>2,5</sub> bei 12 µg/m<sup>3</sup> (US-EPA, United States Environmental Protection Agency).

Die Wirkung von Luftbeimengungen auf den Menschen ist sehr komplex und damit schwierig

	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
39. BImSchV (EU)	40	25 20 (ab 2020)	40
WHO	40	10	20
US-EPA	100	12	-

▲ Standards für NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub>

Emissionsentwicklung  
verschiedener Luftschadstoffe  
von 1990 bis 2013



zu quantifizieren. So können infolge individueller Prädispositionen (Anfälligkeit) auch bereits unterhalb der vorgeschriebenen Grenz- bzw. Richtwerte Gesundheitsschädigungen auftreten (z.B. Dockery et al. 1993, Pope et al. 2002, Thurston et al. 2016).

Die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben unterliegt in Deutschland den Umweltbehörden der Bundesländer und dem Umweltbundesamt.



# Bestimmung der Luftqualität in Kurorten

Da „saubere Luft“ sowohl direkt als auch unterstützend therapeutisch wirkt, soll sie weniger Luftbeimengungen enthalten als am Heimatort des Kurgastes. Dafür sind entsprechende Qualitätsstandards einzuhalten, die deutlich unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte liegen.

## Messkonzept

Ideal wäre es, die luft-hygienische Situation am Kurort möglichst vollständig zu erfassen. Dem steht jedoch ein nicht zu finanzierender Aufwand gegenüber. Deshalb werden so genannte „Leitsubstanzen“ gemessen, die sich als Indikatoren für die Schadstoffbelastung der Luft bewährt haben:

- Stickstoffdioxid,
- Feinstaub und der darin enthaltende Ruß,
- Grobstaub.

Neben der gesamten Grobstaubbelastung werden auch der Anteil lichtundurchlässiger (opaker) Partikel sowie die Staubinhaltsstoffe Pollen und an Küstenstandorten zusätzlich Seesalz analysiert.

Ziel der Luftqualitätsmessungen ist es, die

mittlere, charakteristische Belastung dieser Leitsubstanzen kostengünstig zu bestimmen. Um dies zu ermöglichen, kommen etablierte Verfahren mit einer wöchentlichen Auflösung zum Einsatz.

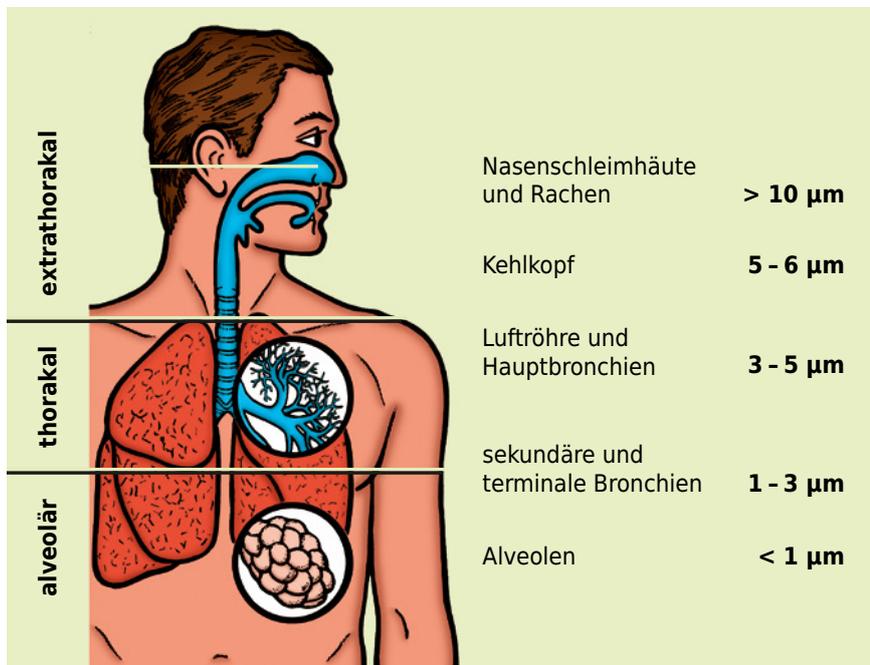
trationen im Winter sind kein Maßstab für saubere Luft. Stattdessen wird eine Ozon-Vorläufersubstanz, das  $\text{NO}_2$ , verwendet: Es entsteht bei jeder Art von Verbrennung und stammt hauptsächlich aus anthropogenen Quel-



## Stickstoffdioxid und Ozon

Der eigentliche Schlüsselparameter für gasförmige Luftschadstoffe ist troposphärisches Ozon. Als sekundärer Spurenstoff wird  $\text{O}_3$  nicht direkt emittiert, sondern aus Vorläufersubstanzen erst in der Atmosphäre gebildet. Er ist aufwendiger zu messen und nicht hinreichend eindeutig, denn niedrige Konzen-

len (Verkehr, Hausbrand, industrielle Prozesse). Natürliche Emissionen, die allerdings in Europa vergleichsweise wenig zur Hintergrundbelastung beitragen, sind mikrobiologische Reaktionen im Boden, Vulkanausbrüche und Blitze.  $\text{NO}_2$  ist deshalb hervorragend als Indikator für die Belastung einer Luftmasse mit anthropogenen Beimengungen geeignet.



◀ Lungengängigkeit von Partikeln im menschlichen Atemtrakt und in der Lunge, Abscheidegrad > 50 % (nach DIN 1996, VDI 1999). Je nach Art der Atmung (z. B. Mund, Nase), Geschwindigkeit des Atemstroms (z. B. Ruhe, Sport) und unterschiedlicher Geometrie (z. B. Kind, Erwachsener) des Atemtraktes kann der tatsächliche Wert davon abweichen.

Beim Menschen kann  $\text{NO}_2$  vor allem die Atemwege schädigen. Lungenfunktionsänderungen sowie Atemwegserkrankungen (z. B. chronischer Husten, Bronchitis) sind die Folge. Durch Langzeiteinwirkung nimmt das Risiko für Atemwegserkrankungen zu. Mittlerweile gilt  $\text{NO}_2$  auch als krebserregend.

Ozon kann ebenfalls zu Entzündungsreaktionen der Atemwege führen. Bei andauernder, hoher Ozon-Exposition steigt das Risiko für Lungenkrebs und Schädigungen des Herz-Kreislaufsystems. Um die menschliche Gesundheit zu

erhalten und Verunsicherungen abzubauen, hat der Kurort Sorge zu tragen, dass sich der Kurgast über bestehende Ozonwarnungen und Verhaltensempfehlungen informieren kann. Weiterhin ist es Aufgabe der Kurorte, sich nachdrücklich für Maßnahmen einzusetzen, die einen Rückgang der Emissionen der Vorläuferstoffe für die Ozonbildung zum Ziel haben.

#### **Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX: Benzol, Toluol, Xylol)**

Benzol ist die Leitsubstanz für aromatische Kohlenwasserstoffe. Es wird hauptsächlich durch Abgase von Benzinmotoren freigesetzt. Seit dem Jahr 2000 ist europaweit ein Benzolgehalt im Ottokraftstoff von maximal 1 % erlaubt (Richtlinie 98/70/EG). Dies hat zur Folge, dass

die Benzolbelastung in der Außenluft deutlich zurückgegangen ist. Bereits ab 2005 wird der seit 2010 gültige Immissionsgrenzwert von  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel in Städten und Ballungsgebieten mit wenigen Ausnahmen eingehalten. In Kur- und Erholungsorten ist deshalb die Messung von Benzol nicht mehr erforderlich.

#### **Feinstaub**

Feinstaub ( $\text{PM}_{2,5}$ ) entsteht überwiegend aus gasförmigen Vorläufersubstanzen (sekundäre Partikel). Feinstaub kommt zum Teil aus den gleichen Quellen wie  $\text{NO}_2$  (Verkehr, Hausbrand, industrielle Prozesse). Darüber hinaus trägt die Landwirtschaft, speziell die Tierhaltung, durch Ammoniak-Emissionen zur Feinstaubbelastung bei. Zu natürlichen Feinstaubquellen zählen z. B. Waldbrände, Vulkanausbrüche und Meeresgisch.





Es ist erwiesen, dass Feinstaub gesundheitsschädlich ist. Er gelangt in die tiefen Atemwege bis zu den Alveolen. Feinstaub wird daher auch als „lungengängiger“ Staub bezeichnet. Lagert sich der Feinstaub im Lungengewebe ab, können Entzündungsreaktionen bis hin zu chronischen Lungenerkrankungen wie Bronchitis, Asthma oder COPD (chronic obstructive pulmonary disease, chronisch obstruktive Lungenerkrankung) ausgelöst werden. Auch Schädigungen des Herz-Kreislaufsystems können die Folge sein. Ultrafeine Partikel können weitaus tiefer in den Organismus eindringen (z. B. Lymphknoten, Blutbahn). Auf-

grund ihrer großen Anzahl haben sie insgesamt eine vergleichsweise große Teilchenoberfläche. Besonders gesundheitlich relevant sind die an der Oberfläche anhaftenden, toxischen und kanzerogenen Substanzen wie z. B. Schwermetalle, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Ruß. Letzterer entsteht bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material wie Holz, Kohle und Öl.

Aufgrund unterschiedlichen physikalisch-chemischen Verhaltens in der Atmosphäre (Abbau- und Umwandlungsprozesse), unterschiedlicher atmosphärischer Verweildauern und anderer Quellenzusammensetzung ist keine ausgeprägte Korrelation zwischen  $\text{NO}_2$  und Feinstaub gegeben. Somit ist es erforderlich, dass auch Feinstaub und Ruß für die Luftqualitätsbeurteilung gemessen werden.

### Grobstaub

Der inhalierbare Grobstaub (2,5 bis 10  $\mu\text{m}$ ) dringt nicht mehr ganz so tief in die Lungen ein, aber immer noch weit genug, um gesundheitsschädlich zu wirken. Er entsteht nicht mehr aus gasförmigen Vorläufern, sondern wird direkt in die Atmosphäre emittiert (primäre Partikel, zum Teil aus ähnlichen Quellen wie die gasförmigen Vorläufer von  $\text{PM}_{2,5}$ ).

Auch größere Partikel (> 10  $\mu\text{m}$ ) besitzen eine gesundheitliche Relevanz. Sie werden zum einen als belästigend empfunden; ein Umstand, dessen psychologische Wirkung auf den Behandlungserfolg einer Kur nicht vernachlässigt werden darf. Zum anderen gelangen Partikel mit der Atemluft in den Atemtrakt. Sie werden zum größten Teil von den Schleimhäuten im Nasen- und Rachenraum abgefangen.

## INFO

### Unterscheidung Feinstaub und inhalierbarer Grobstaub

Vielfach wird  $\text{PM}_{10}$  (alle Teilchen mit einem Durchmesser bis 10  $\mu\text{m}$ ) als Feinstaub bezeichnet. Bei der Fraktion  $\text{PM}_{2,5}$ , die in  $\text{PM}_{10}$  enthalten ist, handelt es sich überwiegend um sekundäre Partikel; also um solche, die aus gasförmigen Vorläufern gebildet werden, während die Fraktion von 2,5 bis 10  $\mu\text{m}$  (inhalierbarer Grobstaub) hauptsächlich aus primären, also direkt emittierten Partikeln besteht. Schon allein durch diese unterschiedlichen Quellen resultiert ein unterschiedliches Verhalten in der Atmosphäre. Aber auch die Wirkung auf den menschlichen Organismus ist eine andere (siehe Text). Deshalb sollten diese Partikelfraktionen auch getrennt gemessen werden.

Sie können aber auch bis in den oberen Bereich der Bronchien vordringen und angelagerte Schadstoffe einbringen. Große Partikel fungieren auch als „Träger“ für kleinere, oft kanzerogene Teilchen.



Bei Grobstaub handelt es sich um eine Mischung von Partikeln unterschiedlicher Herkunft und Beschaffenheit. Anthropogene Quellen sind beispielsweise Verkehr (Reifen- und Straßenabrieb, Verbrennungsrückstände), industrielle Prozesse, Energiege-

winnung, Bauwesen, Schüttgutumschlag und Landwirtschaft. Zu den natürlichen Grobstaubquellen zählen Trocken- und Wüstengebiete, Ackerflächen, Vulkane, Waldbrände, Vegetation und Meeressgisch.

**Pollen:** Die von der Vegetation freigesetzten Pollen gehören mit einem charakteristischen Durchmesser von 15 bis 80 µm zu Grobstaub. Für die Gesundheit sind Pollen insofern relevant, da sie Heuschnupfen, Asthma bronchiale und andere allergisch bedingte Reaktionen auslösen können. Derzeit leiden nach Angaben des Deutschen Allergie- und Asthmabundes e.V. 16 % der deutschen Bevölkerung unter einer Pollenallergie, mit steigender Tendenz. Hervorgerufen



wird diese durch den Blütenstaub (Pollen) von Bäumen, Gräsern, Getreide und Kräutern. Darunter gelten besonders Hasel, Erle, Birke, Esche, Gräser inklusive Roggen sowie Beifuß und Ambrosia als stark allergen. Die in den Pollen enthaltenen Allergene (= Proteine) werden vom Immunsystem als Fremdkörper gesehen und abgewehrt. Das Allergiepotezial nimmt bei Pollen unter Schadstoffeinwirkung zu.

Im Zuge der häufiger auftretenden Allergien steigt der Bedarf an Kurorten mit ausgewiesener Zertifizierung über Allergenfreiheit bzw. -armut.

**Seesalze:** Die von der Meeressgisch und -brandung in die Atmosphäre gebrachten Salze sind ein Beispiel dafür, dass nicht jeder Luftinhaltsstoff schädlich ist. Von der Luft transportierte Seesalz-Aerosole können vor allem bei Atemwegserkrankungen und Hauterkrankungen positiv auf die Gesundheit wirken. An der See und in der Nähe von Gradierwerken wird Seesalz für therapeutische Zwecke eingesetzt.

# Messtechnik des DWD

Im Rahmen der Luftqualitätsmessungen verfügt der Deutsche Wetterdienst über verschiedene Mess- und Analyseverfahren, die nationale und internationale Qualitätsnormen erfüllen. Die Analytik findet im Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung des Deutschen Wetterdienstes in Freiburg statt.

links: Sedimentationssammler Sigma-2 nach VDI 2119 für eine wöchentliche Grobstaubprobenahme. Befestigungsmöglichkeiten von Diffusionsröhrchen für eine Stickstoffdioxidprobenahme im Gehäusekopf



rechts: Diffusionsröhrchen nach PALMES und Ionenchromatograph zur Analyse der exponierten Sammler ▶



## PALMES-Diffusionsröhrchen als Stickstoffdioxid-sammler

**Stickstoffdioxid:** Der Stickstoffdioxidgehalt der Luft wird mittels Diffusionsröhrchen nach PALMES ermittelt. Im Gehäusekopf des Sigma-2-Gerätes können ein oder mehrere Diffusionsröhrchen befestigt werden.

Die Röhrchen sind mit einem Filter versehen, auf dem der Absorber Triethanolamin aufge-

bracht ist. Dieser bindet die  $\text{NO}_2$ -Moleküle aus der Luft. Die Probenahme beginnt, wenn der Verschlussstopfen abgenommen wird.

**Stickstoffdioxid-analyse:** Das gesammelte  $\text{NO}_2$  wird in Form des Nitrit-Ions  $\text{NO}_2^-$  nachgewiesen. Als Analysemethode wird die Ionenchromatographie eingesetzt. Mit Hilfe der Fick'schen Diffusionsgleichung wird das gesammelte Nitrit in

eine  $\text{NO}_2$ -Konzentration umgerechnet.

## Der Mini-Volumensammler (Mini-VS) als Feinstaubsammler

**Feinstaub:** Das Mini-VS saugt aktiv mittels einer Pumpe die Umgebungs-

luft über einen Probenahmekopf an (siehe Abbildung). Ein integrierter Vorabscheider entfernt Partikel mit einem Durchmesser  $\geq 2,5 \mu\text{m}$  aus dem Luftstrom. Dies erfolgt über eine definierte Richtungsänderung des Luftstroms bei

## INFO

### Berechnung der $\text{NO}_2$ -Konzentration

$$C_{\text{NO}_2} = \frac{m_{\text{NO}_2^-} \cdot l}{s \cdot D_{\text{NO}_2} \cdot t}$$

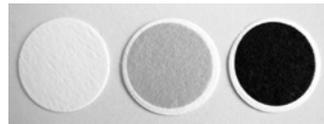
### $\text{NO}_2$ -Bestimmung mit Diffusionssammlern

$C_{\text{NO}_2}$	$\text{NO}_2$ -Konzentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
$m_{\text{NO}_2^-}$	Masse des gesamten Nitrits ( $\text{NO}_2^-$ ) in $\mu\text{g}$
$l$	Länge des Diffusionsröhrchens in mm
$s$	Querschnitt des Diffusionsröhrchens in $\text{mm}^2$
$D_{\text{NO}_2}$	Diffusionskoeffizient für $\text{NO}_2$ ( $0,154 \text{ cm}^2/\text{s}$ bei $20^\circ\text{C}$ )
$t$	Sammeldauer in s

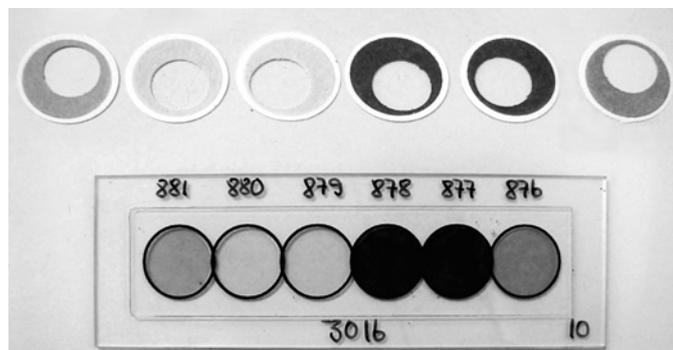
konstanter Strömungsgeschwindigkeit: Die größeren, schwereren Partikel werden aufgrund ihrer Trägheit auf den Boden des Vorabscheiders abgeschieden und bleiben dort haften. Partikel kleiner  $2,5\ \mu\text{m}$  passieren den Vorabscheider ungehindert und werden auf einem Filter gesammelt. Als Filtermaterial eignet sich ein sehr feines Glasfasergeflecht.

Optional können auch andere Staubfraktionen (z. B.  $\text{PM}_{10}$ ) ermittelt werden, indem die entsprechende Düse im Probenahmekopf eingesetzt wird.

**Feinstaubanalyse:** Zur Bestimmung der Feinstaubkonzentration werden die Filter vor und nach der Probenahme mit einer Mikrowaage in einem Wägeraum bei konstanter Lufttemperatur und Feuchte konditio-



◀ Präparation zur Rußanalyse:  
Oben: Filter mit unterschiedlich hohem Rußanteil: unbeprobter Filter, Filter charakteristisch für Kurorte und für städtische Verkehrsstandorte (von links nach rechts)  
Mitte und unten: Stanzung und eingebettete Filterteile



niert und gewogen. Die durch Wägung ermittelte Massendifferenz entspricht der gesammelten Feinstaubmasse.

Unter Berücksichtigung des angesaugten Luftvolumens wird die Feinstaubkonzentration (Staubmasse pro Luftvolumen, Einheit  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) berechnet.

**Analyse von Ruß im Feinstaub:** Für die Rußmessung wird ein optisches Messverfahren eingesetzt, welches vom Deutschen Wetterdienst eigens für Messungen in Kurorten entwickelt wurde. Ein Teilstück des Filters wird dazu in eine Flüssigkeit mit gleichem optischen Brechungsindex eingebettet. Dadurch werden Filtermaterial und Störkomponenten wie Minerale oder biologisches Material optisch ausgelöscht. Lediglich die Rußpartikel bleiben sichtbar. Anschließend wird im Spektrometer bei Licht der Wellenlänge  $650\ \text{nm}$  die Lichtabsorp-

tion ermittelt. Sie stellt ein Maß für den Rußgehalt dar: Je dunkler die Probe, desto stärker die Lichtabsorption und desto höher der Rußgehalt.

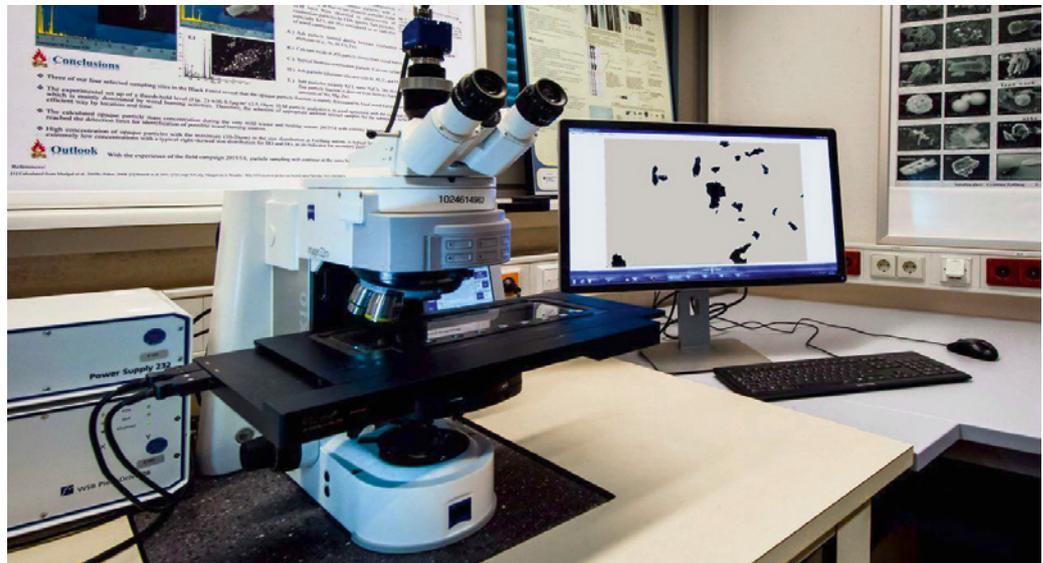
Zurzeit entwickelt das Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung des DWD in Freiburg ein Verfahren, um die Herkunft des Rußes zwischen fossilem (Öl) und rezentem (Holz) Anteil aufzuschlüsseln.

**Seesalz im  $\text{PM}_{10}$ :** Für die Bestimmung von atembaren Seesalzpartikeln (Natriumchlorid,  $\text{NaCl}$ ) wird ein Teil aus der Filterprobe in Wasser gelöst. Die in der Lösung enthaltenen Salze werden anschließend mittels Ionenchromatographie als Anionen (Chlorid, Nitrat, Sulfat) und Kationen (Natrium, Ammonium, Kalium, Calcium, Magnesium) nachgewiesen.



◀ Mini-VS  
für eine wöchentliche Feinstaubprobenahme

Automatische Bildanalyse zur quantitativ-mikroskopischen Auswertung von Grobstaubproben, die mit dem Passivsammler Sigma-2 gesammelt wurden. ►



### Der Passivsammler (Sigma-2) als Grobstaub-sammler

**Grobstaub:** Das Sigma-2 kommt im Vergleich zum Feinststaubsammler ohne eine Pumpe aus und kann daher unabhängig vom Stromnetz betrieben werden. Partikel, die durch die Öffnungen in das windberuhigte und niederschlagsgeschützte Innere des Sammlers gelangen, sinken unter dem Einfluss der Schwerkraft (Sedimentation) auf eine Haftfolie am Boden des Gerätes ab.

**Grobstaubanalyse:** Für die mikroskopische Analyse wird als Abscheidefläche eine durchsichtige Plexiglasfolie eingesetzt, wobei die Oberseite der Folie mit einem witterungsbeständigen Kleber beschichtet ist (Haftfolie). Die Sedimentation der Staubpartikel auf dieser Oberfläche erfasst vollständig alle Staubpartikel mit einem

Durchmesser von 2,5 bis 80 µm. Zur Auswertung wird ein vom DWD eigens entwickeltes,

automatisches Verfahren zur digitalen Mikroskopie (Bildanalyse) eingesetzt. Dieses Analyse-

## INFO

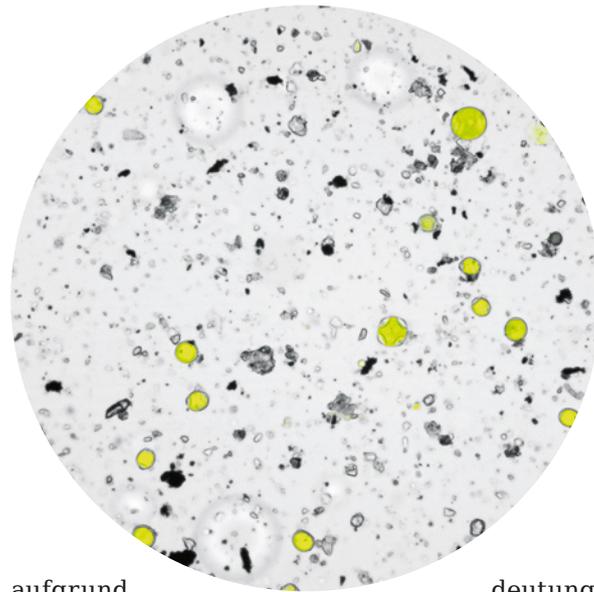
### Berechnung der Grobstaub-Konzentration

$$C_p = \frac{D_p}{V_{TS}} \text{ mit } V_{TS} = \frac{\rho_p d_p^2 g}{18 \eta}$$

$C_p$	Staubkonzentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
$D_p$	Massen-Depositionsrate ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2 \text{ s}$ )
$V_{TS}$	Endsinkgeschwindigkeit nach Stokes ( $\text{cm}/\text{s}$ )
$\rho_p$	Mittlere Dichte der Partikel in $\text{g}/\text{cm}^3$
$d_p$	Partikeldurchmesser in $\mu\text{m}$
$g$	Erdbeschleunigung $981 \text{ cm}/\text{s}^2$
$\eta$	dynamische Viskosität der Luft ( $1,813 \cdot 10^{-4} \text{ g}/\text{cm s}$ bei $20^\circ\text{C}$ )



verfahren erlaubt die Erfassung, Vermessung und Unterscheidung der Grobstaubpartikel nach ihren optischen Eigenschaften. Die Analysewerte liefern eine Partikel-Anzahldepositionsrate (Partikel pro Fläche und Sammelzeitraum). Daraus kann mit Hilfe des Stokes'schen Gesetzes die Partikel-Massenkonzentration (Partikelmasse pro Luftvolumen) berechnet werden. Dazu werden die Partikel nach ihrer Größe vermessen und



100  $\mu\text{m}$

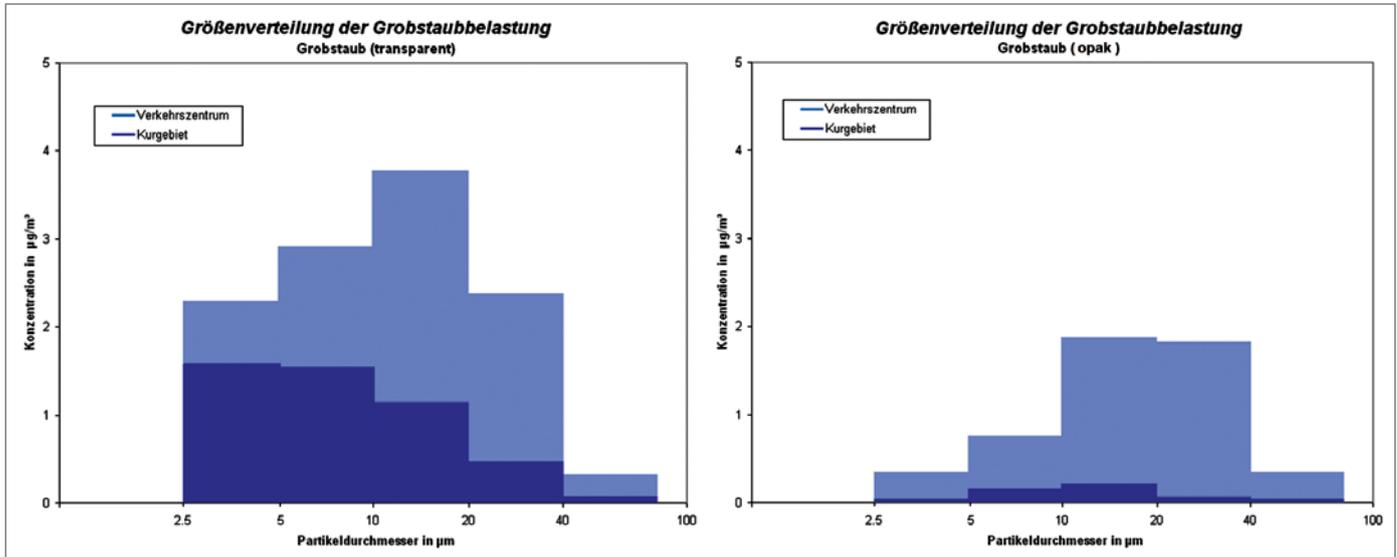
◀ *Grobstaubprobe: Die mikroskopische Staubanlyse kann die Staubbestandteile, z. B. den schwarzen Reifenabrieb, die grün markierten Pollenkörner oder die transparenten, nur schwach gefärbten Mineralpartikel unterscheiden und so die Herkunft einer Staubbelastung belegen.*

aufgrund ihrer optischen Eigenschaften in Partikelklassen einheitlicher Dichte eingeteilt. Darüber hinaus erlaubt die mikroskopische Analyse Aussagen zur möglichen Herkunft, Zusammensetzung und gesundheitlichen Be-

deutung der Staubbelastung. Dadurch ist eine einfache Unterscheidung zwischen weitgehend harmlosen Staubpartikeln, wie z. B. lichtdurchlässigen (transparenten) mineralischen Bodenpartikeln, oder gesundheitlich bedenklichen,

z. B. lichtundurchlässigen (opaken) verkehrsbedingten Abrieb- oder rußhaltigen Verbrennungspartikeln möglich. Ein technisches Regelwerk für die Probenahme und mikroskopische Auswertung liegt mit der VDI-Richtlinie 2119 vor (VDI 2013).





**Größenverteilung:** Die mikroskopische Einzelpartikelanalyse (Partikeldurchmesser 2,5 – 80 µm) an Grobstaubproben der Messungen mit dem Passivsammler Sigma-2 ergibt für die unterschiedlichen Staubkomponenten typische Größenverteilungen in Abhängigkeit vom Standort. Die Größenverteilung der lichtmikroskopisch „transparenten“ Komponente mit ihren mineralischen und biogenen Partikeln (ohne Pollen) unterscheidet sich deutlich von der Verteilung des opaken Anteils (z. B. Abriebpartikel und Verbrennungsrückstände).

Obenstehende Abbildungen zeigen typische Größenverteilungen der Massenkonzentration vom transparenten und opaken Anteil des Grobstaubs an einem stark belasteten Standort

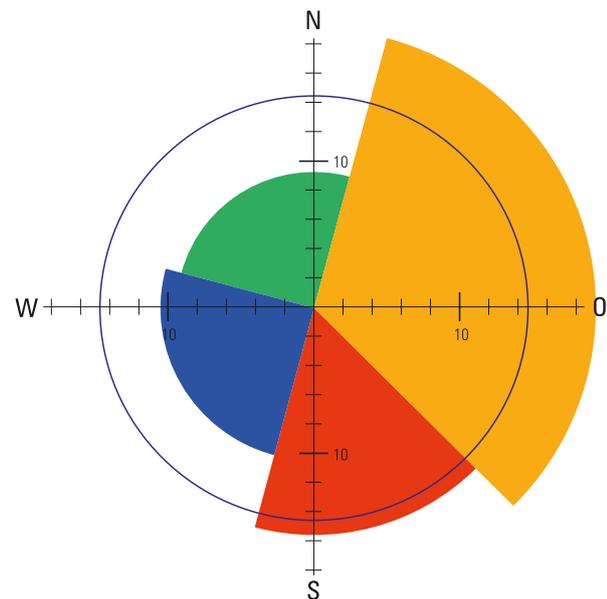
(Verkehrszentrum) und an einem Hintergrundstandort (Kurgebiet). Während im Kurgebiet wenige und kleine Partikel zu finden sind, treten im Verkehrszentrum deutlich mehr und überwiegend große Partikel auf. An Hintergrundstationen zeigt sich bei den transparenten Partikeln im Größenbereich oberhalb von 10 µm ein ausgeprägter Rückgang der Konzentrationen aufgrund fehlender lokaler Quellen. Die Größenverteilung der opaken Partikel mit sehr niedrigen Konzentrationen bestätigt den Hintergrundcharakter.

An einem stark belasteten, verkehrsreichen Standort liegt das Grobstaubmaximum der transparenten Partikel zwischen 10 und 20 µm. Weniger ausgeprägt, aber im gleichen Größenbereich, befindet sich

das Maximum der opaken Partikelkomponente. Sowohl für das Maximum der transparenten als auch der opaken Partikel kann als Verursacher der Straßenverkehr angenommen werden. Die mikroskopische Untersuchung zeigt für den Reifenabrieb eine typische Gestalt in Form kompakter Röllchen, die sich morphologisch deutlich von kohlenstoffhaltigen Verbrennungsprodukten (Ruß, Asche) unterscheidet und zur Partikelerkennung dienen kann.

# Einfluss der Meteorologie auf die Luftqualität

So unterschiedlich Luftbeimengungen sein können, so unterschiedlich sind auch ihre Quellen und Senken, ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften sowie ihre Aufenthaltszeit in der Atmosphäre. Dementsprechend sind sie auch unterschiedlich stark den meteorologischen Bedingungen ausgesetzt. Je nach Art der Luftbeimengung ist sie nur von lokaler (z. B. Grobstaub) oder aber von regionaler oder sogar globaler Bedeutung (z. B. CO<sub>2</sub>).



## Atmosphärische Austauschbedingungen

Die Konzentration von Luftbeimengungen am Immissionsort hängt wesentlich von den atmosphärischen Austauschbedingungen am Emissionsort sowie von Transport- und Umwandlungsprozessen zwischen Emissions- und Immissionsort ab.

Wird z. B. ein wasserlöslicher Stoff emittiert und es regnet kurze Zeit später, wird er recht schnell wieder ausgewaschen, ohne dass er durch den Wind weit transportiert werden konnte. Um also die an einem Ort gemessenen Konzentrationen von Luftbeimengungen richtig interpretieren zu können, sind Kenntnisse der **meteorologischen Bedingungen** von den möglichen Quellen bis zum Messort sehr wichtig. Da die am Messort gesammelten Luftbei-

mengungen „keinen Ab-sender tragen“, und die Messungen über einen bestimmten Zeitraum (z. B. eine Woche) gemittelt werden, ist eine genaue Zuordnung von meteorologischen Bedingungen relativ schwer. Es lässt sich aber aus den Wetterlagen im Mittelungszeitraum der vorherrschende Witterungstyp ableiten.

Die verschiedenen Witterungstypen weisen unterschiedliche Austauschverhältnisse der Luft auf (siehe Tabelle). Wie gut die Luft durchmischt wird, hängt auch davon ab, in welcher Jahreszeit der jeweilige Witterungstyp auftritt: So weisen beispielsweise Nordwest- und Südwestlagen das ganze Jahr gute Austauschbedingungen auf. Während winterlicher Ost-, Süd- und Hochdruckwetterlagen ist der Luftaustausch

Witterungstyp		Typische Austauschverhältnisse	
		Herbst / Winter	Frühjahr / Sommer
<span style="color: green;">■</span>	Nordwestlage	sehr gut	sehr gut
<span style="color: orange;">■</span>	Ostlage	eingeschränkt	gut
<span style="color: red;">■</span>	Südlage	eingeschränkt	ausreichend
<span style="color: blue;">■</span>	Südwestlage	gut	sehr gut
○	Hochdrucklage	stark eingeschränkt	ausreichend

mehr oder weniger stark eingeschränkt. Dies liegt mitunter daran, dass im Winterhalbjahr die Kraft der Sonne nicht mehr ausreicht, die sich über Nacht gebildete bodennahe Kaltluftschicht zu erwärmen. Da die darüber liegende Luft kaum abkühlt, bildet sich zwischen diesen beiden Luftschichten eine Inversion (Sperrschicht). Die Lufttemperatur nimmt mit dem Überschreiten dieser Sperrschicht sprunghaft zu. Die darunter liegende Kaltluftschicht wächst infolge schwacher Sonneneinstrahlung weiter an. Somit verhindert die Sperr-

▲ Die Immissions-Witterungsrose zeigt die mittlere Schadstoffkonzentration in Abhängigkeit von der vorherrschenden Witterung, beispielhaft für Stickstoffdioxid. Die Sektoren kennzeichnen die großräumige Windrichtung des jeweiligen Witterungstypen. Die Hochdruckwetterlagen ohne vorherrschende Windrichtung sind durch einen Kreis um den Mittelpunkt gekennzeichnet. Je höher die Konzentration einer Schadstoff-Komponente, desto größer der Radius des Kreises bzw. der Sektoren. Die Skalierung an den Windrichtungsachsen gibt die jeweilige Konzentration an.

schicht den Austausch und die Reinigung der Luft. Die Folge: Die Luft kann sich bei Vorhandensein entsprechender Quellen mit Schadstoffen anreichern.

Die Witterungstypen erlauben oft Rückschlüsse auf Herkunft und Ursache der beobachteten Luftbeimengungen. Auf dieser Grundlage lassen sich Hinweise entwickeln, wie möglicherweise auftretende Beeinträchtigungen vermindert oder sogar vermieden werden können.

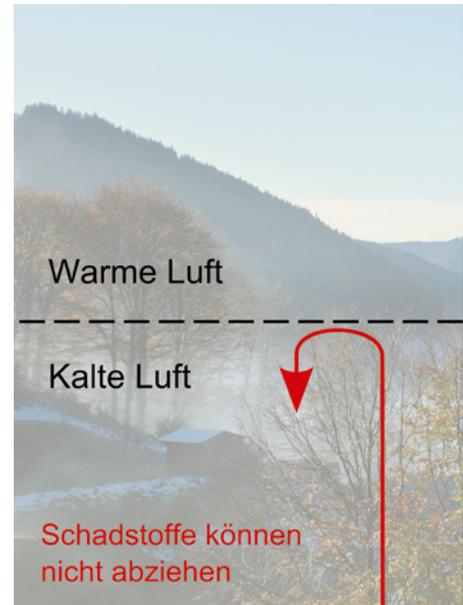
Darüber hinaus werden die Austauschbedingungen auch durch die

lokale und regionale Topografie beeinflusst: So haben im stark gegliederten Gelände der Mittelgebirge und Alpen Berg-/Talwindssysteme einen großen Einfluss auf die lokalen Austauschverhältnisse und demnach auf die örtliche Luftqualität. Diese Winde können aus den höheren Bergregionen trockenere, saubere Luft in die Tallagen führen und dort für eine gute Durchmischung sorgen.

Zusätzlich beeinflusst auch lokale und regionale **Bebauung und Bewuchs** die Konzentrationen von Luftbeimengungen am Messort,

da die Bebauung (z. B. „Straßenschluchten“) den Luftaustausch behindern oder fördern kann. Ein Feld mit offener, vielleicht sogar trockener Erdkruste trägt wesentlich stärker zur lokalen Staubbelastung bei als eine dichte Grasdecke.

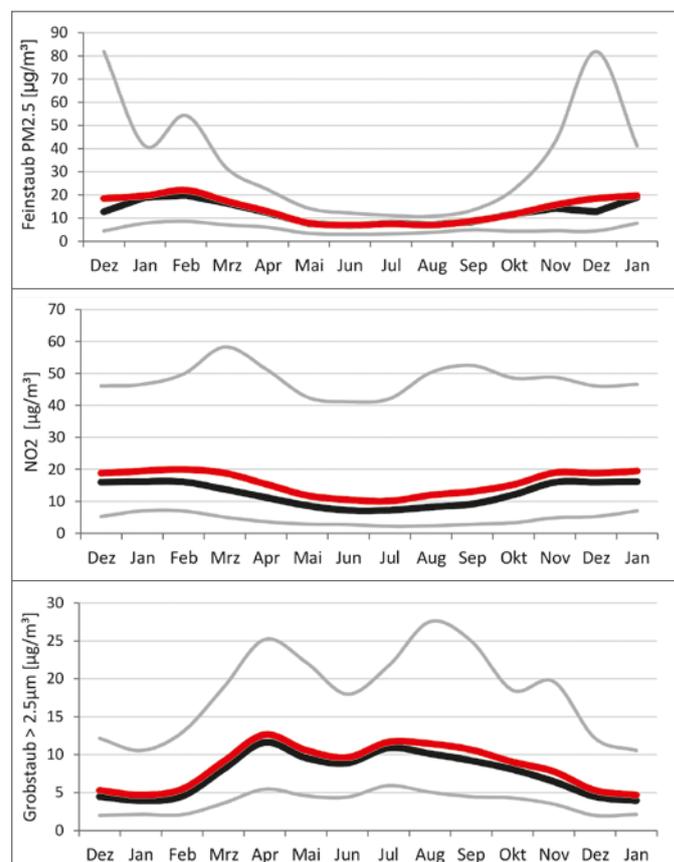
Ein weiterer beeinflussender Faktor ist der **Ferntransport**. Durch spezielle meteorologische Gegebenheiten können Luftbeimengungen, die normalerweise recht schnell wieder sedimentieren, über große Entfernungen transportiert werden, z. B. Saharastaub oder auch



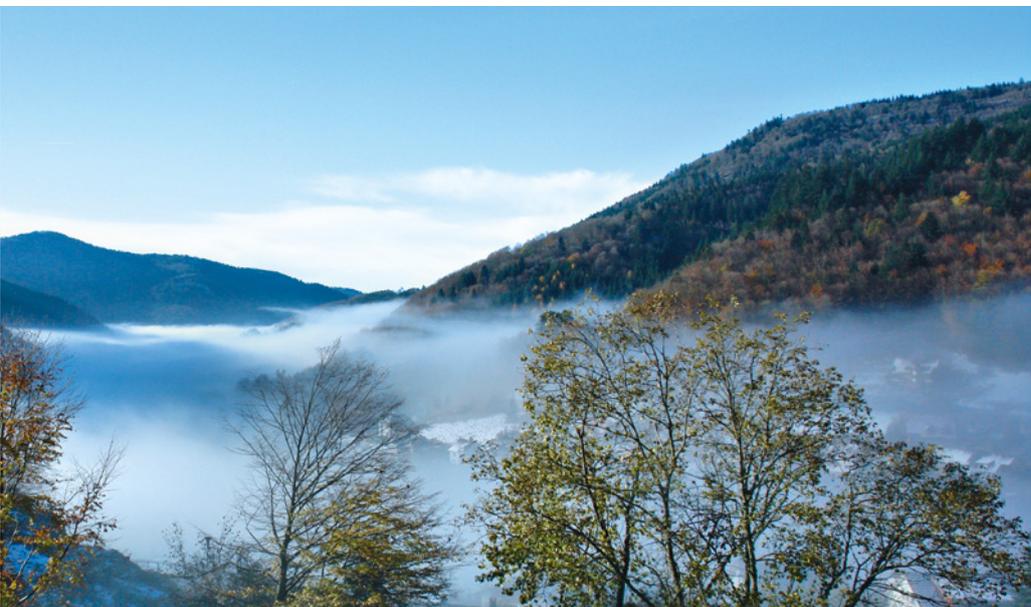
Emissionen von Vulkan- ausbrüchen.

### Charakteristische jahreszeitliche Verläufe

Die einzelnen Luftinhaltsstoffe weisen unterschiedliche jahreszeitliche Variationen auf (siehe Abbildung). So zeigt sich bei Feinstaub und Stickstoffdioxid eine höhere Konzentration in den Wintermonaten infolge eines zusätzlichen Schadstoffeintrags aus



Geglätteter jahreszeitlicher Verlauf der Komponenten Feinstaub (oben), Stickstoffdioxid (Mitte) und Grobstaub (unten) auf Basis der Monatsmittelwerte der Stationen aus dem DWD-Referenzmessnetz für den Zeitraum 2008-2014 mit rot = Mittelwert, schwarz = Median und grau = Minimum und Maximum ►



Heizungsemissionen. Zudem begünstigen die in dieser Jahreszeit häufig auftretenden austauscharmen Wetterlagen (Inversion) die Anreicherung von Schadstoffen, während in den Sommermonaten eine bessere Durchmischung der Luft einen Konzentrationsrückgang bewirkt. Beim  $\text{NO}_2$  kommt zusätzlich im Sommer noch ein verstärkter fotochemischer Abbau dazu.

Die Grobstaubkonzentration verhält sich genau umgekehrt: Sie ist während der Wintermonate relativ gering, da durch feuchte oder schneebedeckte Oberflächen die Staubaufwirbelung reduziert wird. Der Anstieg im Frühjahr und teilweise in den Herbstmonaten ist besonders während trockener Witterungsabschnitte auf eine erhöhte Mobilisierung von Staubpartikeln zurückzuführen.



*Saharastaub aus Nordafrika über dem Mittelmeer. Das Satellitenbild wurde am 29. Mai 2013 mit dem Bildgebungs-Radiospektrometer mittlerer Auflösung (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)) des NASA-Satelliten Terra aufgenommen. ►*

# Beurteilung der Luftqualität

Wie sauber die Luft in einem Kur- oder Erholungsort ist, wird anhand von Qualitätsstandards einzelner Luftbeimengungen (Leitsubstanzen) bewertet. Diese Standards, so genannte Richtwerte, geben vor, wie häufig kurzzeitige Konzentrationspeaks auftreten dürfen und wie hoch die jährliche Schadstoffbelastung maximal sein darf.

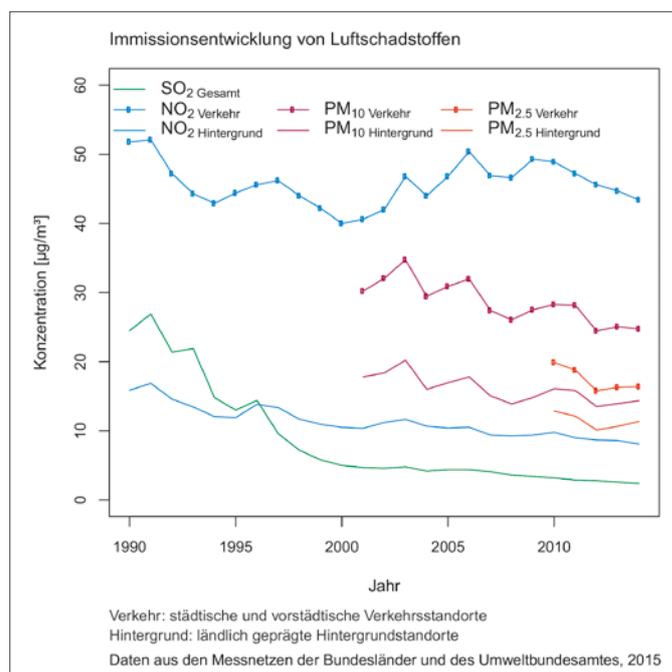
Mit dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) von 1974 wurde in Deutschland erstmalig die Überwachung der Luftqualität festgeschrieben. Seine nachgeordneten Rechtsvorschriften (BImSchV) definieren Qualitätsstandards (Grenz-, Ziel- bzw. Schwellenwerte) für Emission und Immission von Luftschadstoffen und legen damit die Mindestanforderung an die Luftqualität fest.

In Kur- und Erholungsorten wird vorausgesetzt, dass nicht nur diese gesetzlichen Vorgaben eingehalten werden, sondern darüber hinaus der Ort eine Luftqualität nachweisen muss, die eine Entlastung für seine Gäste bedeutet. Mehr noch: Das örtliche Klima und die Luftqualität sollen als „natürliches“ Heilmittel die Kur unterstützen und helfen, ihren Erfolg sicherzustellen. Dazu legt der Deutsche

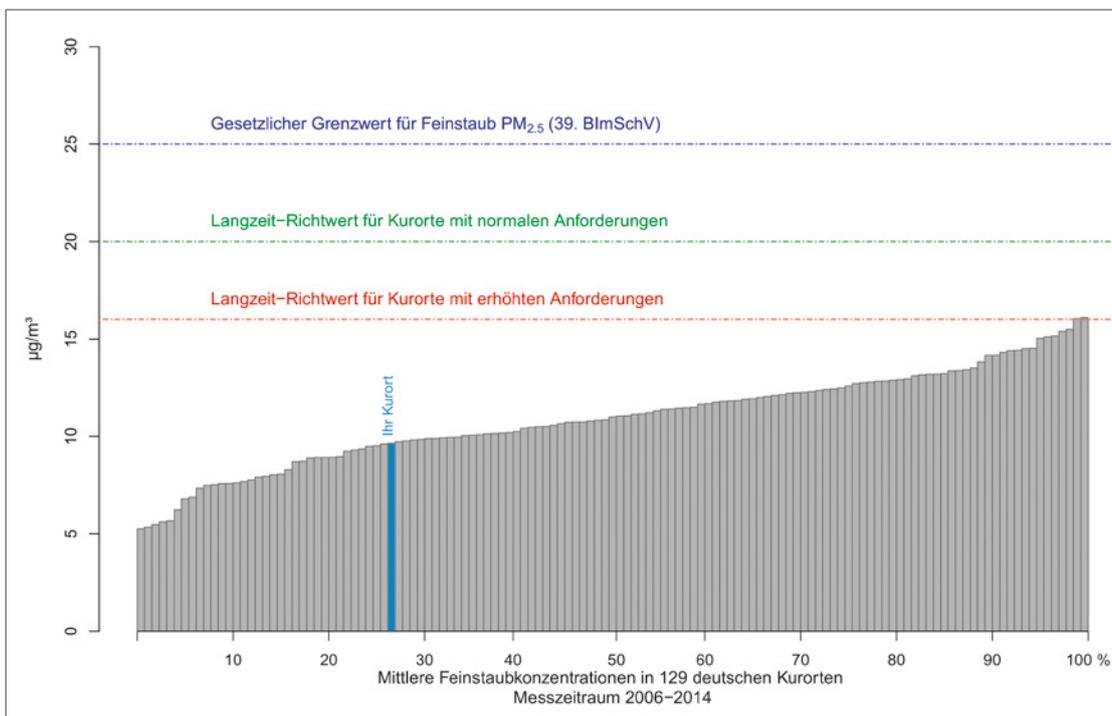
Heilbäderverband e.V. zusammen mit dem Deutschen Tourismusverband e.V. für die Leitsubstanzen verschiedene Qualitätsstandards fest (DHV 2014). Die Standards (Richtwerte) orientieren sich an den gesetzlich gültigen Grenzwerten (39. BImSchV), dem Bericht des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI 2004) und der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 10 (VDI 2010).

Die Richtwerte für die jährlichen Höchstkonzentrationen der einzelnen Luftbeimengungen liegen an Hintergrundstationen um 50 bis 60 %, an Verkehrsstationen um 20 bis 36 % unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte. Damit soll im Sinne eines erweiterten Gesundheitsschutzes (Vorsorge) die menschliche Gesundheit vor Auswirkungen und Belastungen durch Luftbeimengungen dauerhaft geschützt werden.

Immissionsentwicklung verschiedener Luftschadstoffe (Jahresmittelwerte) von 1990 bis 2014 für unterschiedliche Belastungsregime: städtisch/vorstädtisch verkehrsnah und ländlich geprägter Hintergrund ▶



Die Luftqualitätsmessungen werden nicht nur hinsichtlich einer Richtwerteinhaltung analysiert, sondern auch hinsichtlich der Meteorologie. Dabei werden witterungs- und jahreszeitbedingte Einflüsse auf die Immissionsbelastung sowie Standortabhängigkeiten berücksichtigt. Bei den periodischen Überprüfungsmessungen werden zur Interpretation auch Ergebnisse aus früheren Messreihen herangezogen.



◀ Einjährige Feinstaubmessungen in verschiedenen Kurorten im Zeitraum 2006 bis 2014. Die mittlere Belastung ist unterschiedlich stark und liegt zwischen  $5,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $16,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Durch diese umfassende Betrachtung der luft-hygienisch-meteorologischen Situation lassen sich Quellen besser identifizieren, Entscheidungsgrundlagen formulieren und Verbesserungsvorschläge erarbeiten.

Eine regelmäßige Überprüfung der Luftqualität ist insofern sinnvoll, da Gemeinden und Städte einem Wandel unterliegen: Städte und Gemein-

den wachsen, Flächen werden versiegelt, die Mobilität nimmt zu, Städte und Gemeinden werden grüner, erneuerbare Energien und alternative Brennstoffe kommen zum Einsatz und vieles mehr. All das hat einen Einfluss auf das lokale Bioklima und die Luftqualität.

In fast allen Bundesländern wird deshalb der regelmäßige Nachweis

über ausreichende Luftqualität in den jeweiligen Kurortegesetzen oder Verordnungen vorgeschrieben.

Das Messkonzept des Deutschen Wetterdienstes liefert eine mehrschichtige Charakterisierung der Luftqualität, die damit den Anforderungen an die Luftqualitätsuntersuchung in Kurorten bestens gerecht wird.

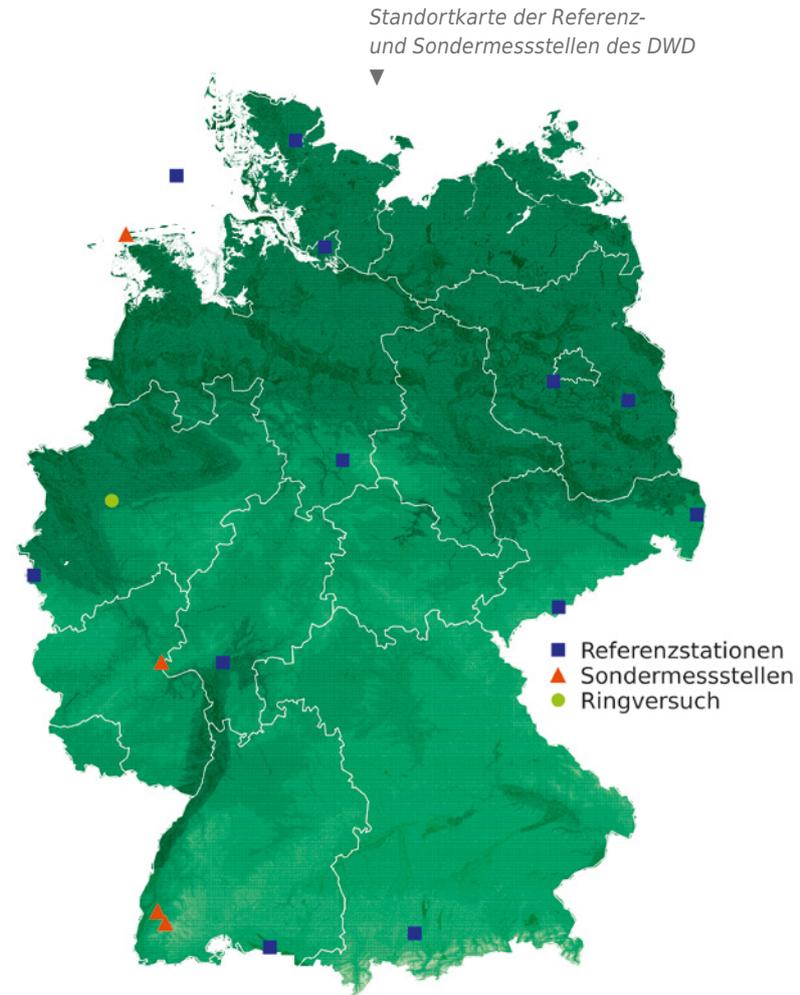
# Qualitätssicherung, Kooperationen und Perspektiven

*Luftqualitätsmessungen, die beim Deutschen Wetterdienst durchgeführt und bewertet werden, erfüllen nationale (VDI, DIN) und internationale (ISO, CEN, WHO) Normen. Im Rahmen von internen und externen Audits wurden stets die Prüfkriterien eingehalten.*

Als bundesweit tätige Fachbehörde arbeitet der DWD objektiv und neutral und garantiert ein hohes Maß an Qualität. Langjährige Messreihen an seinen Referenzstationen dienen dabei der Qualitätssicherung. Zusätzlich leisten die Referenzstationen einen wichtigen Beitrag zur Überwachung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Luftqualität.

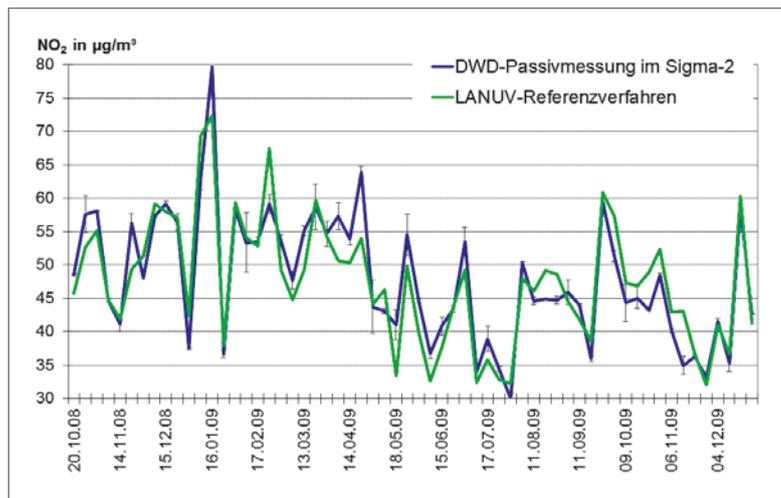
Mit einzelnen Landesumweltämtern und mit dem Umweltbundesamt steht der DWD im engen Wissensaustausch, um seine Messsysteme zu vergleichen. Bei den NO<sub>2</sub>-Ringversuchen der staatlichen Immissionsmessstellen erfüllte der DWD immer alle Leistungskriterien (LANUV 2011).

Ein weiterer Bestandteil zur Qualitätssicherung sind Kooperationen mit nationalen und internationalen Forschungs-



einrichtungen und Universitäten. Zum einen werden Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der Messverfahren getestet, z. B. Nachweis von Staubpartikeln in Reinluftgebieten wie Grönland oder die halbautomatisierte mi-

kroskopische Pollenbestimmung. Zum anderen wird untersucht, wie sich z. B. Staubinhaltsstoffe in Abhängigkeit vom Standort unterscheiden. Damit können Quellen besser identifiziert und Maßnahmen erarbeitet werden.





Folgende Beispiele zeigen nur einen Bruchteil dessen auf, wo die Messtechnik des DWD zum Einsatz kommt: 2008 in Beijing während der Olympischen Spiele. Mit dieser Messkampagne konnte gezeigt werden, dass Maßnahmen, wie die Reduzierung des Verkehrs, verstärkte Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel, Verkehrsumlenkungen, Begrünung und Errichten von Parkanlagen, saubere Produktionstechniken in

Industrieanlagen, kurzzeitige Schließung bzw. Verlegung von Industriestandorten, die Luftqualität nennenswert verbesserten.

Anfang 2013 starteten der DWD und die Bundesanstalt für Straßenwesen zusammen mit den Universitäten Freiburg und Strasbourg ein Langzeitmessprogramm an Verkehrsstandorten. Ein Ziel ist es, den Einfluss des Klimawandels auf die Staubbelastung abzuschätzen. Infolge zunehmender Dürre- und Hitzeperioden nehmen Wissenschaftler an, dass „Nicht-Abgas-Partikel“, vor allem im Größenbereich von 2,5 µm bis 10 µm, zunehmen werden. Dagegen wird der Anteil der „Abgas-Partikel“ aufgrund technischer Verbesserungen tendenziell abnehmen.

Derzeit arbeitet der DWD an einer Methode,

um die Herkunft von Rußpartikeln zwischen fossilem (Öl) und rezentem (Holz) Anteil aufzuschlüsseln. Darüber hinaus werden neuartige, zeitlich hochaufgelöste Messtechniken auf ihre Einsatzfähigkeit bei Luftqualitätsmessungen in Kurorten getestet. Die weitgehend automatisierte Bestimmung von Pollen ist eine weitere Optimierung im Bereich der DWD-Messtechnik. Die zunehmende Sensibilisierung gegenüber Pollen und das wachsende Gesundheitsbewusstsein können den Bedarf an Allergiker-freundlichen Kurorten erhöhen.

Der DWD bietet neben seinen Standardmessungen zur Beurteilung der Luftqualität auch Untersuchungen zur Ursachenforschung an. Mit hochauflösenden Messgeräten und zusätzlichen Messparametern können Fragen beantwortet

werden, wann und warum verstärkt hohe Konzentrationen von Luftschadstoffen auftreten, welche Quellen dafür verantwortlich sind oder warum benachbarte Gemeinden voneinander abweichende Belastungsniveaus aufweisen.

Mit seinen Luftqualitätsmessungen und Gutachten unterstützt der DWD Gemeinden und Städte bei ihrer nachhaltigen Entwicklung. Ob im Sinne der Qualitätssicherung der Kur, der Steigerung der Attraktivität als Urlaubs- und Erholungsziel oder der Erfolgskontrolle umwelttechnischer Maßnahmen, der DWD steht Ihnen zur Seite.

◀ links: NO<sub>2</sub>-Vergleichsmessungen des DWD mit dem Referenzverfahren

rechts: Gestell mit Probenahmevorrichtungen der verschiedenen Teilnehmer am NO<sub>2</sub>-Ringversuch (LANUV 2011)



# Anforderungen an die Luftqualität in Kur- und Erholungsorten

Prädikat	Erstprädikatisierung		Grad und Zyklen der Prüfung	
	Beurteilung Luftqualität (LQB) Bioklima (BioB)	Gutachten Luftqualität (LQ) Klimaanalyse (KA)	Beurteilung Luftqualität (LQB) Bioklima (BioB)	Gutachten Luftqualität (LQ) Klimaanalyse (KA)
<b>Erhöhte Anforderungen an die Luftqualität</b>				
<b>Heilklimatischer Kurort</b>	LQB, BioB	LQ, Erweiterte KA	LQB (5 J), BioB (10 J)	LQ (10 J), Erweiterte KA <sup>(2)</sup>
<b>Seeheilbad</b>	LQB, BioB	LQ, Erweiterte KA	LQB (5 J), BioB (10 J)	LQ (10 J), Erweiterte KA <sup>(2)</sup>
<b>Normale Anforderungen an die Luftqualität</b>				
<b>Heilbad</b> - Schroth - Felke - Kneipp - Moor - Mineral-Thermal	LQB, BioB	LQ, Standard-KA	LQB (10 J), BioB (10 J)	LQ (10 J), Standard-KA <sup>(2)</sup>
<b>Luftkurort</b>	LQB, BioB	LQ, Standard-KA	LQB (5 J), BioB (10 J)	LQ (10 J), Standard-KA <sup>(2)</sup>
<b>Seebad mit Kurmedizin</b>	LQB, BioB	LQ, Standard-KA	LQB (5 J), BioB (10 J)	LQ (10 J), Standard-KA <sup>(2)</sup>
<b>Kurort</b> - Schroth - Felke - Kneipp - mit Peloid-Kurbetrieb - mit Heilquellen-Kurbetrieb - mit Heilstollen-Kurbetrieb (Übertage)	LQB, BioB	LQ, Vereinfachte KA	LQB (10 J), BioB (10 J)	LQ <sup>(1)</sup> , Vereinfachte KA <sup>(2)</sup>
<b>Seebad ohne Kurmedizin</b>	LQB, BioB	LQ <sup>(1)</sup> , Vereinfachte KA	-	-
<b>Erholungsort/Küstenbadeort</b>	LQB, BioB	LQ <sup>(1)</sup> , Vereinfachte KA	-	-
<b>Besondere Anforderungen an die Luftqualität</b>				
<b>Heilstollen (Untertage)</b>	LQB, BioB	LQ	LQB (5 J)	LQ (10 J)

<sup>(1)</sup> Wenn aufgrund der Beurteilung Zweifel an der Eignung bestehen, ist ein Luftqualitätsgutachten erforderlich

<sup>(2)</sup> Wenn aufgrund der Beurteilung Zweifel an der Eignung bestehen, ist eine entsprechende Klimaanalyse (erweitert, Standard oder vereinfacht) erforderlich

Abkürzungen:  
 BioB Bioklimabeurteilung  
 J Jahre  
 KA Klimaanalyse  
 LQ Luftqualitätsgutachten  
 LQB Luftqualitätsbeurteilung

- Referenzen ► **BlmSchG (1974)** Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BlmSchG).
- 39. BlmSchV (2010)** Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes: Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen.
- DHV (2014)** Begriffsbestimmungen/Qualitätsstandards für Heilbäder und Kurorte, Luftkurorte, Erholungsorte – einschließlich der Prädikatisierungsvoraussetzungen – sowie für Heilbrunnen und Heilquellen – 12. Auflage, April 2005, fortgeschrieben am 8.11.2014 und nachfolgende Aktualisierungen. Hrsg. Deutscher Heilbäderverband e.V. und Deutscher Tourismusverband e.V.
- DIN (1996) DIN ISO 7708** Luftbeschaffenheit – Festlegung von Partikelgrößenverteilungen für die gesundheitsbezogene Schwebstaubprobenahme (ISO 7708:1995). Norm. Beuth Verlag GmbH Berlin, 1996-01.
- Dockery DW, Pope CA, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BG, Jr., Speizer FE (1993)** An association between air pollution and mortality in six U.S. cities – *The New England Journal of Medicine* 329:1753-1759.
- LAI (2004)** Bericht des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) „Bewertung von Schadstoffen, für die keine Immissionswerte festgelegt sind – Orientierungswerte für die Sonderfallprüfung und für die Anlagenüberwachung sowie Zielwerte für die langfristige Luftreinhalteplanung unter besonderer Berücksichtigung der Beurteilung krebserzeugender Luftschadstoffe“ vom 21. September 2004.
- LANUV (2011)** Ringversuche der staatlichen Immissionsmessstellen (STIMES). NO<sub>2</sub>-Vergleichsmessungen mit Passivsammlern (10/2008-12/2009). LANUV-Fachbericht 37, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW).
- Pope III CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD (2002)** Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 287:1132-1141.
- Richtlinie 98/70/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 1998 über die Qualität von Otto- und Dieselmotoren und zur Änderung der Richtlinie 93/12/EWG des Rates. Die Richtlinie wurde durch die 10. BlmSchV in Verbindung mit der DIN EN 228 in nationales Recht umgesetzt.
- Thurston GD, Ahn J, Cromar KR, Shao Y, Reynolds HR, Jerrett M, Lim CC, Shanley R, Park Y, Hayes RB (2016)** Ambient particulate matter air pollution exposure and mortality in the NIH-AARP Diet and Health Cohort. *Environmental Health Perspectives* 124:484-490.
- VDI (1999) VDI 2463 Blatt 1** Messen von Partikeln – Gravimetrische Bestimmung der Massenkonzentration von Partikeln in der Außenluft – Grundlagen. Technische Regel. Beuth Verlag GmbH Berlin, 1999-11.
- VDI (2010) VDI 3787 Blatt 10** Umweltmeteorologie – Humanbiometeorologische Anforderungen im Bereich Erholung, Prävention, Heilung und Rehabilitation. Technische Regel. Beuth Verlag GmbH Berlin, 2010-03.
- VDI (2013) VDI 2119** Messen von Immissionen – Probenahme von atmosphärischen Partikeln > 2,5 µm auf einer Akzeptorfläche mit dem Passivsammler Sigma-2 – Lichtmikroskopische Charakterisierung sowie Berechnung der Anzahlsedimentationsrate und der Massenkonzentration. Technische Regel. Beuth Verlag GmbH Berlin, 2013-06.
- Whitby KT, Cantrell B (1976)** Fine particles. *International Conference on Environmental Sensing and Assessment*, Las Vegas, NV, Institute of Electrical and Electronic Engineers.
- WHO (2006)** Air Quality Guidelines, Global Update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. *World Health Organization*, 2006. ISBN 92 890 2192 6.

Bildnachweis ► Titelfoto: Dr. Stefan Gilge

S. 2, *Composing Nase und Wolken*: [lightwise/123rf.com](http://lightwise/123rf.com)

S. 5, *Abbildung „Verdeutlichung von Längenskalen von Nano bis Makro“*: FLAD & FLAD Communication GmbH

S. 7, *Foto „Industrieemissionen“*: Martin Murnsky/[panthermedia.net](http://panthermedia.net)

S. 8, *Foto „blue sky with cloud“*: Siamnugkhathut/[fotolia.com](http://fotolia.com);  
*Foto „Smoke from a chimney“*: marko okjan/[fotolia.com](http://fotolia.com)

S. 9, *Foto „Verkehrsemissionen“*: ssuaphoto/[panthermedia.net](http://panthermedia.net)

S. 10, *Foto „Mähdrescher mäht Feld, Getreidestaub“*: Osterland/[fotolia.com](http://fotolia.com)

S. 11, *Foto „Pollenflug“*: [pixabay.com](http://pixabay.com); *Foto „Gischt“*: irabel8/[panthermedia.net](http://panthermedia.net)

S. 14/15, *Foto „Staubverwehung“*: [dpa picture alliance](http://dpa picture alliance)

S. 19, *Foto „Saharastaub“*: Mit freundlicher Genehmigung von Jeff Schmaltz, Beschreibung von Adam Voiland. Quelle: NASA Earth Observatory

S. 20/21, *Foto „Am Strand von Sankt Peter-Ording, Nordfriesland, Deutschland“*: majonit/[fotolia.com](http://fotolia.com)

S. 24/25, *Foto*: Helga Borgmann

Alle nicht hier aufgeführten Abbildungen: © DWD

## Impressum

Deutscher Wetterdienst (DWD)  
Gestaltung: Borgmann Grafikdesign  
Druck: Druckerei des BMVI

Besuchen Sie uns  
im Internet:



## Deutscher Wetterdienst (DWD)

Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung  
Stefan-Meier-Str. 4-6  
79104 Freiburg  
Telefon: +49 (0) 69 / 8062 - 9630  
Telefax: +49 (0) 69 / 8062 - 9677  
mm.freiburg@dwd.de  
www.dwd.de

Über [www.dwd.de](http://www.dwd.de) gelangen Sie  
auch zu unseren Auftritten in:

