



Warum es sich lohnt

Feinstaubmessung in Kurorten



Was ist Feinstaub?

Die Luft unserer Atmosphäre enthält neben Stickstoff, Sauerstoff, Argon, Kohlendioxid und verschiedenen Spurengasen auch Partikel (Aerosole). Diese Partikel kommen in der Luft in unterschiedlicher Größe vor, von wenigen Nanometern (nm) bis zu etwa 100 Mikrometern (μm).

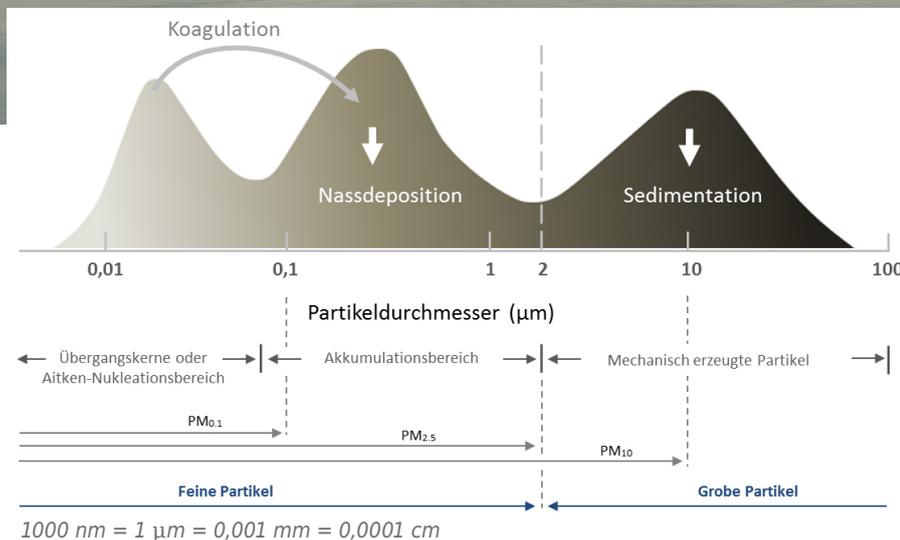


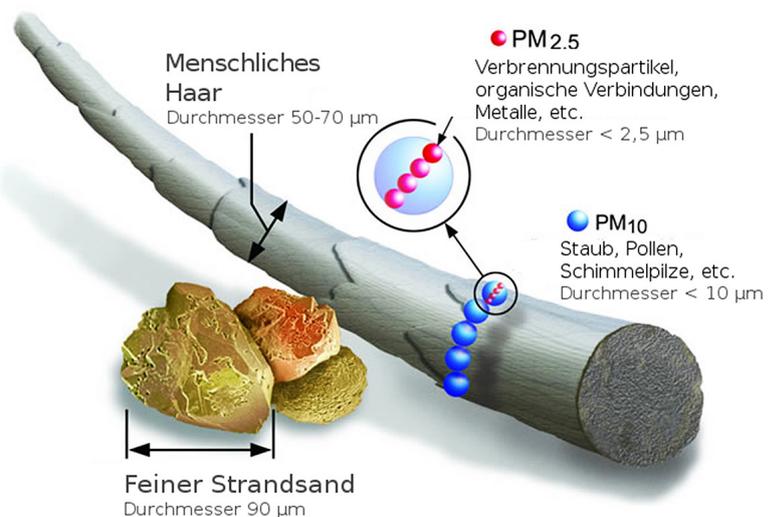
Foto: Panthermedia.net/kptan

◀ Größenverteilung luftgetragener Partikel und ihre Entstehungsprozesse (nach Whitby und Cantrell, 1976)

Es werden drei Partikelgrößenbereiche unterschieden:

- Ultrafeine Partikel mit einem Durchmesser $< 0,1 \mu\text{m}$ (Ultra-Feinstaub $\text{PM}_{0,1}$)
- Feine Partikel mit einem Durchmesser $< 2,5 \mu\text{m}$ (Feinstaub $\text{PM}_{2,5}$)
- Grobe Partikel mit einem Durchmesser $\geq 2,5 \mu\text{m}$ (Grobstaub)

Im allgemeinen Sprachgebrauch sowie historisch bedingt wird unter Feinstaub die Staubfraktion $< 10 \mu\text{m}$ (PM_{10} , PM, engl.: particulate matter) verstanden. Wissenschaftlich gesehen zählen zum Feinstaub Partikel $< 2,5 \mu\text{m}$. Bei dieser Staubfraktion sind im Gegensatz zu Partikeln mit einem Durchmesser von 2,5 bis $10 \mu\text{m}$ andere atmosphärische Entstehungsprozesse vorherrschend (siehe Abbildung).



▲ Partikelgrößen im Vergleich. Mit freundlicher Genehmigung von US. EPA (verändert)

Die Partikel unterscheiden sich nicht nur in ihrer Größe, Form und Gewicht, sondern auch hinsichtlich ihrer chemischen Eigenschaften. Neben Nitrat- und Sulfatpartikeln sowie organischen Verbindungen, Schwermetallen und Ruß können Stäube auch biologisches Material wie Pflanzenbestandteile, Pollen, Sporen, Viren und Bakterien enthalten.

Wo kommt der Feinstaub her?

Die Feinstaubquellen sind teils natürlichen, überwiegend aber anthropogenen Ursprungs. Natürliche Quellen sind beispielsweise Vulkanausbrüche, Waldbrände, Meeressgicht und Vegetation. Zu den anthropogenen Quellen zählen Verbrennungsprozesse in Motoren und Kraftwerken, Heizungsanlagen, Industrieanlagen sowie Verbrennung von Biomasse und Holz. Auch landwirtschaftliche Aktivitäten wie Ernte, Mäharbeiten oder Düngung sind Quellen von Feinstaub. Von den o.g. Quellen sind der Verkehr (Dieselruß, Reifen- und Bremsenabrieb) und jüngst die Holzfeuerungen (Kamin) Hauptursachen der Feinstaubbelastung.

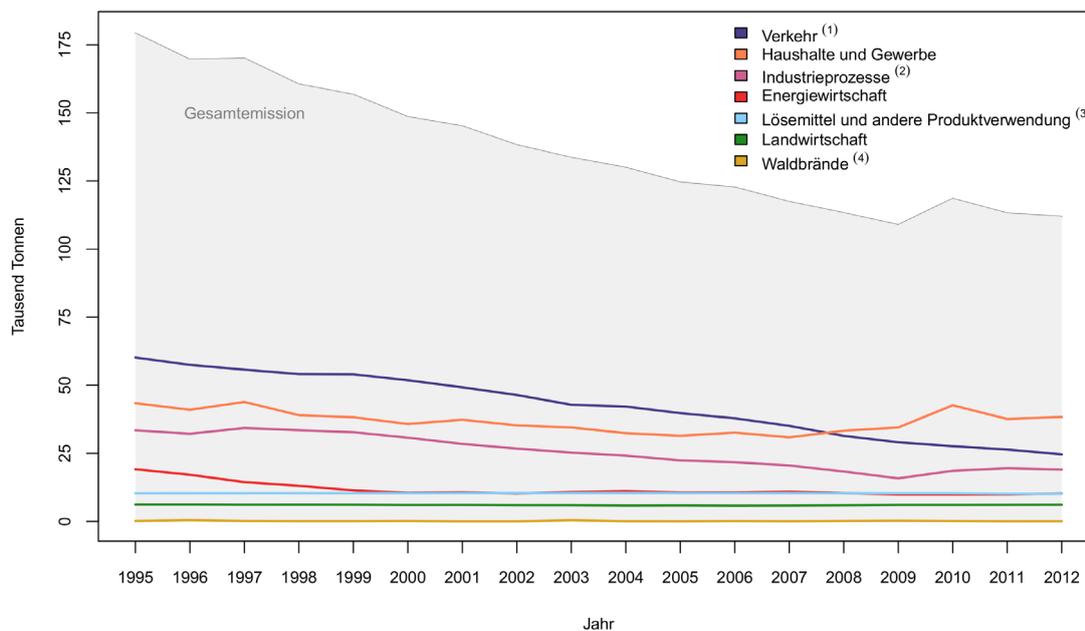


Foto: Panthermedia.net/tatisol



Foto: Panthermedia.net/ssuaphoto

Feinstaubemissionen (PM_{2.5}) nach einzelnen Quellgruppen



(1) einschl. Abrieb von Reifen, Bremsen, Straßen, ohne land- und forstwirtschaftlichen Verkehr
 (2) einschl. der Schüttgutemission
 (3) einschl. der Staubemissionen aus Feuerwerk, Zigaretten und Grillfeuer
 (4) wird nicht in die Berechnung der Gesamtemissionen einbezogen

▲ Entwicklung der PM_{2.5}-Emissionen von 1995 - 2012 für einzelne Quellgruppen (Datenquelle: Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen seit 1990; Umweltbundesamt)



Foto: Michael Kügler

Feinstaub-Monitoring

Um den Menschen vor Gesundheitsgefahren durch Luftschadstoffe zu schützen, wurden von der Europäischen Union u.a. Immissionsgrenzwerte festgelegt (EU-Richtlinie 2008/50/EG), die mit der 39. Bundesimmissionsschutzverordnung (39. BImSchV) vom 2. August 2010 in deutsches Recht umgesetzt wurden.

Gesetzliche Grenzwerte für Staub

Komponente	Einheit	Bezugszeitraum Mittel über ...	Grenzwert nach 39. BImSchV (WHO-Empfehlung)	Maximale Anzahl Tage von Überschreitungen im Kalenderjahr (WHO-Empfehlung)
PM ₁₀ (Partikel < 10 µm)	µg/m ³	1 Kalenderjahr	40 (20)	--
		24 h	50	35 (3)
PM _{2,5} (Partikel < 2,5 µm)	µg/m ³	1 Kalenderjahr ab 1.1.2015	25 (10)	--
		1 Kalenderjahr ab 1.1.2020	20 (10)	--
		24 h	-- (25)	-- (3)

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt einen deutlich niedrigeren Grenzwert (siehe Tabelle), da es bei Feinstaub keine Wirkungsschwelle gibt. Bereits unterhalb der vorgeschriebenen Grenzwerte können Gesundheitsschädigungen auftreten. Die Einhaltung der EU-Grenzwerte zielt auf eine stetige

und nachhaltige Verbesserung der Luftqualität ab. So wird zunächst im Jahr 2020 der gesetzliche Grenzwert für Feinstaub PM_{2,5} von 25 µg/m³ weiter auf 20 µg/m³ gesenkt. Dies setzt voraus, dass die Luftqualität überwacht und kontrolliert wird. In Deutschland ist diese Überwachung Aufgabe der einzelnen Bundesländer.

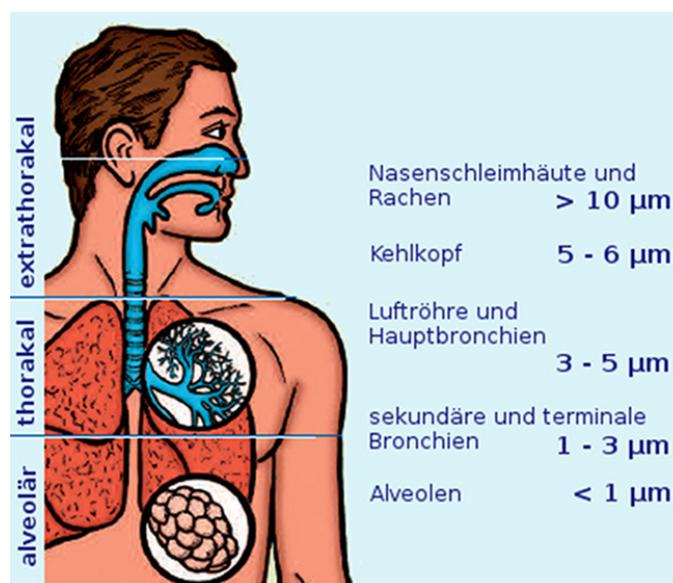
Wie gesundheitsgefährdend sind Staubpartikel?

Da Stäube auch Gefahrstoffe enthalten können, stellen sie für unsere Gesundheit eine erhöhte Gefährdung dar. So lagern sich beispielsweise die als kanzerogen geltenden polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) und Schwermetalle, die bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehen, an Rußpartikel an. Während Staubpartikel $> 2,5 \mu\text{m}$ beim Atmen durch die Nase bereits durch die Nasenschleimhäute gefiltert werden, gelangen diese beim Atmen durch den Mund nahezu ungehindert in den Rachenraum.

Feine Staubpartikel gelangen sowohl über die Nase als auch über den Mund tiefer in den Atemtrakt bis in die Lungenperipherie. Dort können sie sich festsetzen und langfristig deponiert werden. Im Lungengewebe abgelagerte Partikel lösen abhängig von ihren chemisch-physikalischen Eigenschaften Entzündungsreaktionen aus. Durch diesen permanenten Entzündungsreiz kann, auf lange Sicht gesehen, das Immunsystem geschwächt werden. Chronische Lungenerkrankungen wie Bronchitis, Asthma oder COPD (chronisch obstruktive Lungenerkrankung, engl.: chronic obstructive pulmonary disease) können dadurch begünstigt werden, das Risiko für Lungenkrebs steigt. Zudem steigt auch das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Herzinfarkt oder Schlaganfall.

Ultrafeine Partikel können sogar in Bindegewebe, Lymphknoten und in die Blutbahn vordringen. Beispielsweise konnten bei Ratten ultrafeine Partikel in Leber, Herz und Gehirn nachgewiesen werden. Gegenstand aktueller Forschung ist, inwieweit ultrafeine Partikel auch in sekundäre lymphatische Organe* vordringen und sich dort in nennenswerter Konzentration anreichern können.

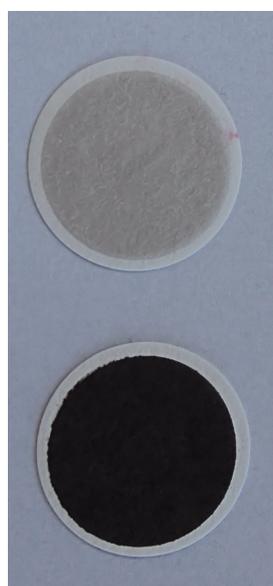
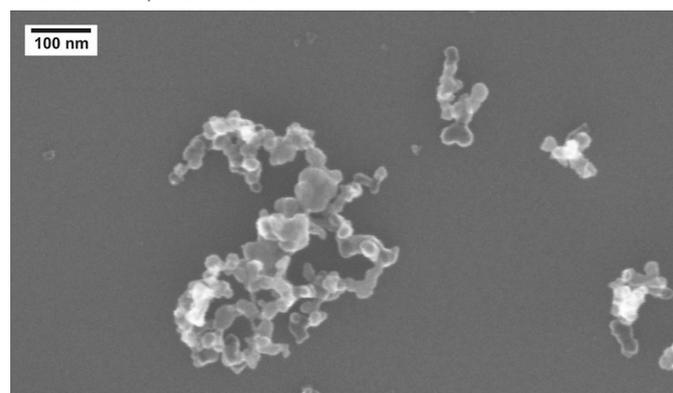
*Sekundäre lymphatische Organe sind für die spezifische Immunabwehr des Körpers verantwortlich.



▲ Lungengängigkeit von Partikeln im menschlichen Atemtrakt und in der Lunge, Abscheidegrad $> 50 \%$ (nach DIN ISO 7708, VDI 2463 Bl. 1)

Agglomerat von Rußpartikeln aus dem Abgas eines Dieselfahrzeugs. Die Agglomerate weisen eine typische verzweigte Form auf, die beim Abkühlen des Abgases durch Zusammenlagerung der kleinen kugelförmigen Primärpartikel entstehen. Mit zunehmender Aufenthaltsdauer in der Atmosphäre werden diese Kettenaggregate zusammengefaltet und nehmen eine rundliche Form an.

Foto: IUTA e.V./B. Stahlmecke ▼



◀ Staubfilter mit geringem Rußanteil, wie er häufig in Kurorten anzutreffen ist

◀ Staubfilter mit hohem Rußanteil, charakteristisch für städtische Verkehrsstandorte

Foto: Hans-Joachim Büttner



Foto: Michael Kügler

Feinstaubmessung in Kurorten

Gesetzliche Grenzwerte stellen eine Mindestanforderung an die Luftqualität und demnach an den Schutz der menschlichen Gesundheit vor Luftschadstoffen dar. In Kurorten wird eine höhere Anforderung an die Luftqualität gestellt. Dabei gelten die in den Begriffsbestimmungen des Deutschen Heilbäderverbandes (DHV) und des Deutschen Tourismusverbandes (DTV) festgesetzten Richtwerte.

Diese Richtwerte lehnen sich an die gesetzlichen Grenzwerte der 39. BImSchV an. Jene Grenzwerte dürfen in Kurorten lediglich zu maximal 80 % ausgeschöpft sein (Vorsorgewert). Unterhalb dieser Schwelle (Langzeit-Richtwert) wird eine Luftqualität

gefordert, die eine gesundheitliche Auswirkung und Belästigung durch Luftbeimengungen noch weiter verringert. Zudem wird die positive Wirkung präventiver bzw. kurmedizinischer Anwendungen zur Linderung bzw. Heilung bestehender Krankheiten sichergestellt.

Richtwerte nach DHV-Begriffsbestimmungen

Komponente	Einheit	Bezugszeitraum Mittel über ...	Richtwert nach DHV (\pm x % vom gesetzlichen Grenzwert)	Maximale Anzahl von Überschreitungen
Kurort mit normalen Anforderungen				
PM _{2.5}	µg/m ³	Langzeit i.d.R. 52 Wochen	20 (80)	--
	µg/m ³	Kurzzeit 1 Woche	35	3
Kurort mit erhöhten Anforderungen (Heilklimatischer Kurort, Seeheilbad)				
PM _{2.5}	µg/m ³	Langzeit i.d.R. 52 Wochen	16 (64)	--
	µg/m ³	Kurzzeit 1 Woche	30	3

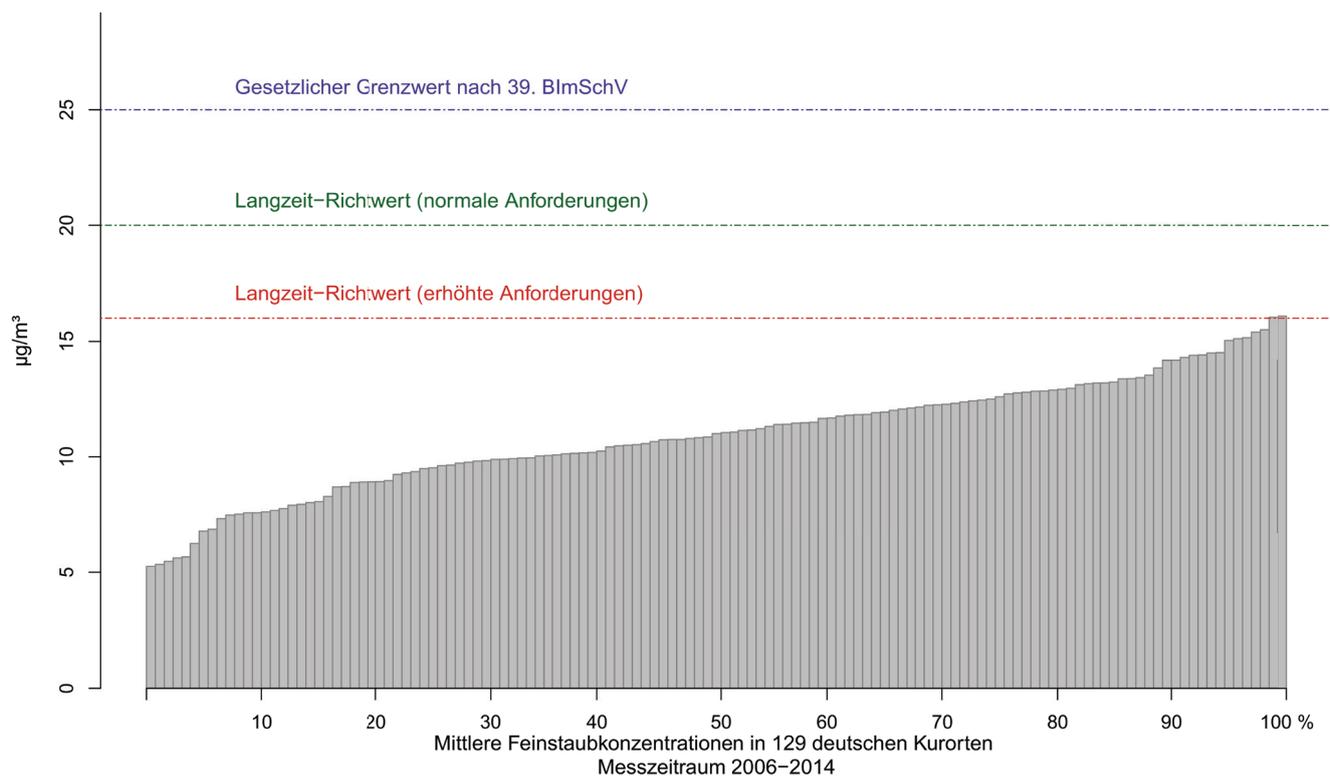
Für die Bewertung der Luftqualität in Kurorten ist die Messung folgender Leitsubstanzen notwendig: Feinstaub (PM_{2,5}) und der darin enthaltene Ruß, Grobstaub und Stickstoffdioxid.

Studien aus INMEKO (Integrierende Messungen in Kurorten (Becker et al. 2007)) haben gezeigt, dass zur Beurteilung der Feinstaubbelastung im Kurort die Messung an einem Standort ausreicht, weil Feinstaubpartikel eine lange Aufenthaltsdauer in der Luft haben und sich dadurch homogener verteilen. Sinnvoll sind dabei Messungen im Verkehrszentrum an einem so genannten „hot-spot“, um auch Empfehlungen für Minderungsstrategien geben zu können. Wenn an diesem Standort die Richtwerte eingehalten werden, dann sicher auch im Kurgebiet.



Foto: Hans-Joachim Büttner

Einjährige Feinstaubmessungen in verschiedenen Kurorten im Zeitraum von 2006 bis 2014. Die Belastung ist unterschiedlich stark und liegt zwischen 5,3 µg/m³ und 16,1 µg/m³ ▼



Einfluss der Witterung auf die Feinstaubbelastung

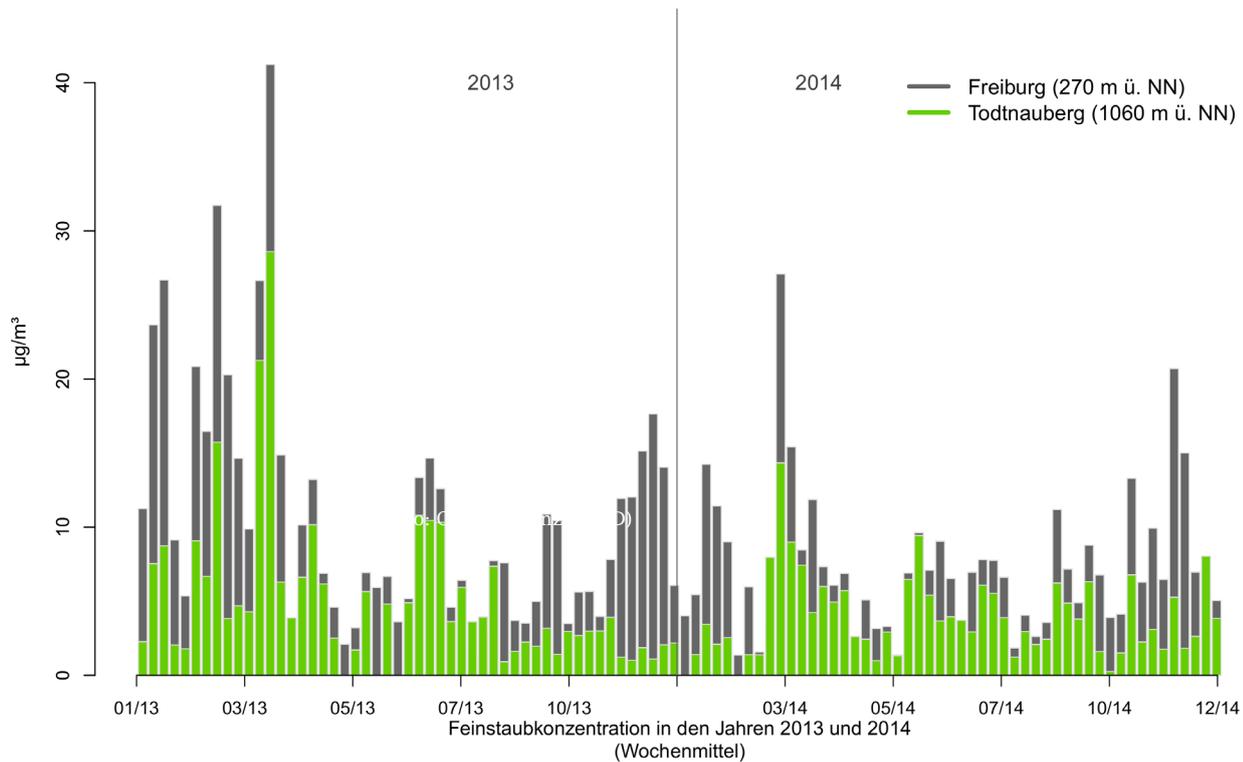
Die Feinstaubbelastung ist neben den lokalen Quellen (z.B. Verkehrs- und Heizungsemissionen) auch wesentlich von der vorherrschenden Witterung abhängig.

Die Witterung fasst den Wetterablauf von mehreren Tagen oder Wochen zusammen. Dabei wird die Witterung bestimmt durch die tägliche Wetterlage bzw. Großwetterlage. Daraus lassen sich verschiedene Witterungstypen ableiten, die unterschiedliche Austauschverhältnisse der Luft aufweisen. Wie gut die Luft durchmischt wird, hängt auch davon ab, in welcher Jahreszeit der jeweilige Witterungstyp auftritt.

So ist beispielsweise während winterlichen Ost-, Süd- und Hochdruckwetterlagen der Luftaustausch (stark) eingeschränkt. In den Sommermonaten sorgen diese Wetterlagen für eine bessere Durchmischung. Nordwest- und Südwestlagen weisen das ganze Jahr gute Austauschbedingungen auf. Sie sorgen für teils kräftige Niederschläge und ausgeprägte Winde.



Foto: Claudia Hinz



▲ DWD-Sondermessstellen mit unterschiedlicher Repräsentanz: städtisch (Freiburg) und ländlich (Todtnauberg)

Eine hohe Feinstaubbelastung zeigt sich vor allem im Winter infolge eines zusätzlichen Feinstaubeintrags (Heizungsemissionen). Zudem treten in dieser Jahreszeit häufig stabile Wetterlagen (Inversionen) auf, die einen Luftaustausch verhindern und somit die Anreicherung von Schadstoffen begünstigen. Solche Witterungsbedingungen traten beispielsweise im Winter 2013/2014 auf (siehe Abbildung).

Dabei wurden hohe Werte an der tiefer gelegenen Messstation Freiburg beobachtet, während in Todtnauberg das Konzentrationsniveau absank.

Hier zeigt sich der positive Effekt der Höhenlage, bei der oberhalb der Inversion eine gute Durchmischung der Luft stattfindet.

Aber auch Staubtransporte aus der Sahara, die zum Beispiel Anfang April 2014 oder im Mai 2014 beobachtet wurden, können kurzzeitig zu einer höheren Belastung führen.

Ferntransporte belasteter Luft aus dem Umland bzw. benachbarten Ländern können ebenfalls einen zusätzlichen Beitrag zur lokalen Immissionsbelastung liefern.

Inversion

Bei einer Inversion ist der Temperaturverlauf mit der Höhe umgekehrt, d.h. die Temperatur nimmt zu. Damit stellt die Inversion eine Sperrschicht dar, die einen Austausch zwischen tiefer und höher liegenden Luftschichten verhindert.

Inversionen können beispielsweise durch

- großräumige Advektion von Warmluft,
- Absinkvorgänge in der Höhe,
- Abkühlung der unteren Luftschichten infolge nächtlicher Ausstrahlung (Strahlungsinversion)

entstehen.

Häufig treten Strahlungsinversionen während wind-

schwachen Hochdruckwetterlagen auf. Aufgrund negativer Strahlungsbilanz im Winter kann sich am Boden eine Kaltluftschicht bilden, die sich mit Nebeltröpfchen und Schadstoffen anreichern kann.

Foto: Hans-Joachim Büttner





◀ links: Magazin zur Konditionierung und Lagerung der Feinstaubfilter im klimatisierten Wägeraum
Foto: Reinhold Mettig

◀ rechts: Stanzen eines Feinstaubfilters für die Bestimmung des Rußgehaltes
Foto: Hans-Joachim Büttner

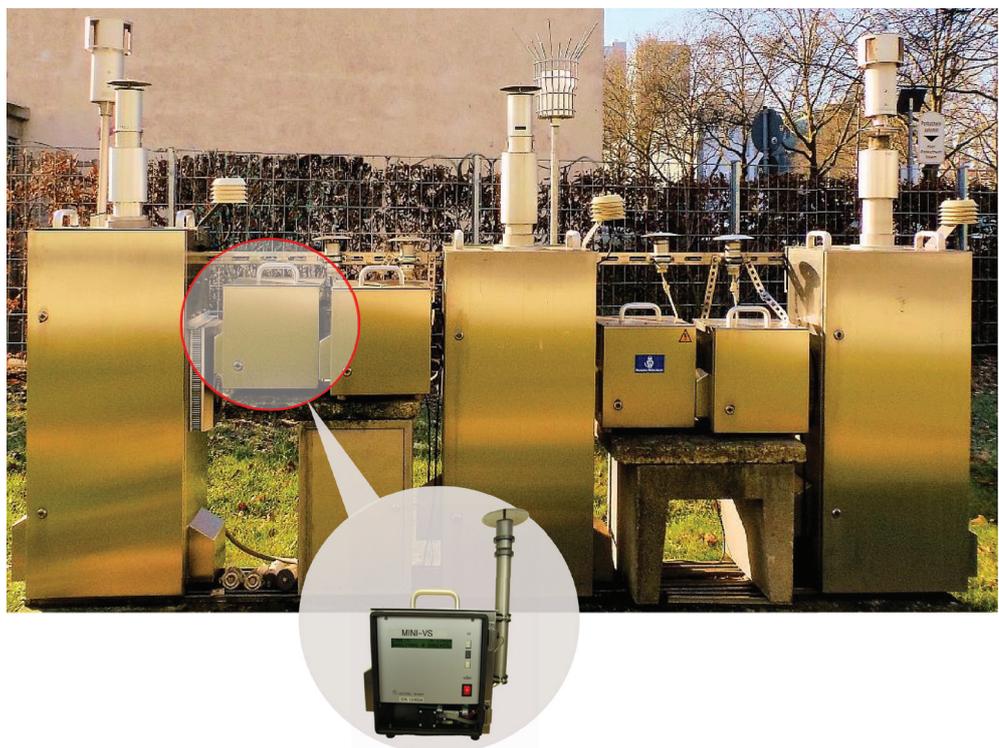
Wie Feinstaub gemessen wird

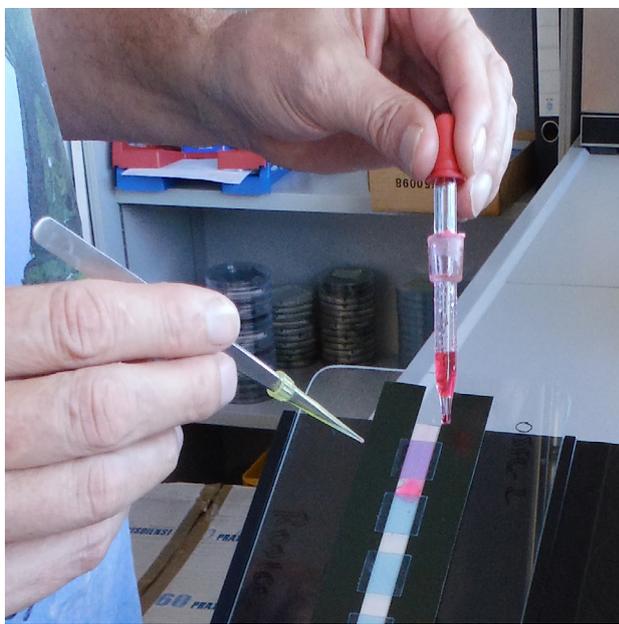
Zur Bestimmung der Feinstaubkonzentration in der Außenluft wendet der Deutsche Wetterdienst ein gravimetrisches Messverfahren an. Zur Probenahme wird ein so genannter Mini-Volumensammler (Mini-VS) eingesetzt.

Das Mini-VS saugt aktiv mittels Pumpe die Umgebungsluft über einen Probenahmekopf an. Hierbei werden größere Partikel ($\geq 2,5 \mu\text{m}$) im integrierten Vorabscheider aus dem Luftstrom entfernt. Der gesundheitlich relevante Feinstaub passiert den Vorabscheider ungehindert und wird auf einem Filter gesammelt. In der Regel findet eine wöchentliche Probenahme statt, bei der die Stationsbetreuer vor Ort den Filterwechsel vornehmen. Die Auswertung der Proben findet im Zentrum für Medizin-Meteorologi-

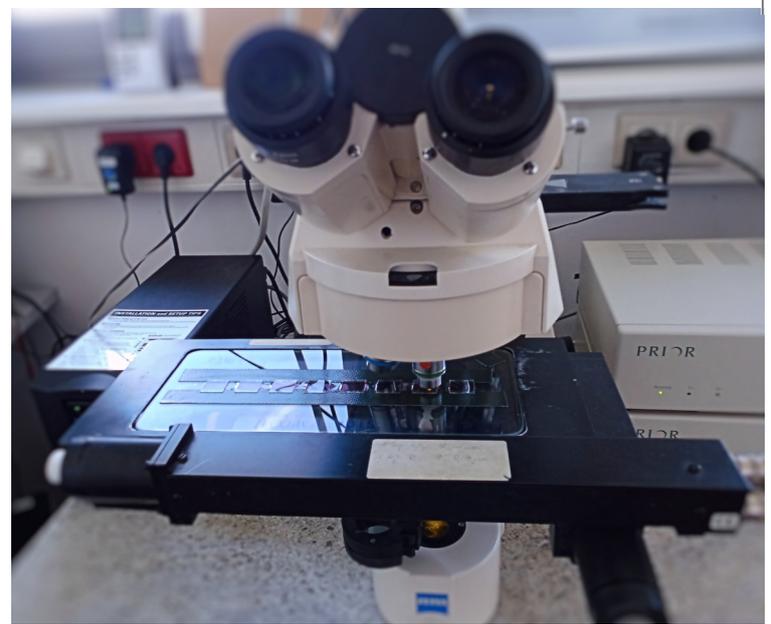
sche Forschung des Deutschen Wetterdienstes in Freiburg statt. Zur Bestimmung der Feinstaubkonzentration werden die Filter vor und nach der Probenahme im Wägeraum bei konstanter Lufttemperatur und Feuchte konditioniert und gewogen. Die durch Wägung (Gravimetrie) ermittelte Massendifferenz entspricht der gesammelten Feinstaubmasse. Unter Berücksichtigung des angesaugten Luftvolumens wird letztendlich die Feinstaubkonzentration berechnet.

Reihe von Feinstaubmessgeräten am DWD-Standort Freiburg zur Qualitätssicherung und Optimierung der Messverfahren in Kurorten
Fotos: Hans-Joachim Büttner, Alexander Zeller





▲ Präparation von Haftfolien mit Grobstaub zur Differenzierung der Partikelzusammensetzung (Partikel $\geq 2,5 \mu\text{m}$)
Foto: Hans-Joachim Büttner



▲ automatisierte mikroskopische Bildanalyse der präparierten Haftfolien
Foto: Hans-Joachim Büttner

Fazit

Neben der Feinstaub- und Rußmessung erfolgt routinemäßig die Messung von Grobstaub und Stickstoffdioxid. Die umfangreiche Mess- und Analysetechnik, die beim Deutschen Wetterdienst dafür eingesetzt wird, erfüllt nationale (VDI 3787 Bl. 10 und VDI 2119 Bl. 4) und internationale (ISO 9001) Qualitätsstandards und befindet sich auf dem neuesten Stand der Technik. Die Verfahren werden in Kooperation mit Universitäten und Forschungseinrichtungen sowie in Zusammenarbeit mit der Industrie weiter entwickelt, beispielsweise im Bereich der mikroskopischen Einzelpartikelanalyse. Sie erlaubt u.a. Aussagen über Herkunft und Zusammensetzung von Grobstaubpartikeln.

Mit den Luftqualitätsmessungen erhält der Kurort umfassende Informationen über das gesamte Spektrum gesundheitsrelevanter Partikel und Gase.

Dadurch kann der Kurort u.a.

- seinen Gästen einen gesundheitsfördernden Aufenthalt ermöglichen,
- sich frühzeitig und aktiv im Rahmen des Immissionsschutzes beteiligen, z.B. durch immissionsmindernde Maßnahmen,
- die Stadt- und Regionalplanung entsprechend mitgestalten,
- seine Wettbewerbsfähigkeit steigern.



▲ Beispiel eines Standortes für die Luftqualitätsmessung im Kurort
Foto: Uwe Marczynski

Darüber hinaus stehen wir Ihnen als kompetenter Partner mit langjähriger Erfahrung bei Beratung und Durchführung individueller Messaufgaben in Ihrem Ort gerne zur Verfügung.

Referenzen

- Becker et al. (2007) *Ergebnisse des INMEKO-II Projektes. Heilbad und Kurort 2*, 44-46.
- Whitby und Cantrell (1976) *Fine particles. International Conference on Environmental Sensing and Assessment, Las Vegas, NV, Institute of Electrical and Electronic Engineers.*

Impressum

Text und Gestaltung: Christina Endler, Michael Kügler (DWD)

Bildrechte: Deutscher Wetterdienst, Panthermedia

Titelbild von Uwe Bachmann (DWD)

Druck: Druckerei des BMVI

Papier: Dieses Produkt stammt aus nachhaltig
bewirtschafteten Wäldern und kontrollierten Quellen



Deutscher Wetterdienst

Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung

Referat Lufthygiene

Stefan-Meier-Str. 4-6

79104 Freiburg

Tel: +49 (0) 69 / 8062 - 9630

Fax: +49 (0) 69 / 8062 - 9622

E-Mail: mm.freiburg@dwd.de

Über www.dwd.de gelangen Sie
auch zu unseren Auftritten in:

