



# Feinstaub (PM10)

## Eigenschaften - Quellen - gesundheitliche Bewertung - Immissionen

### Was sind Feinstaubpartikel?

Stäube gehören zu den traditionellen Luftschadstoffen, die unsere Luftqualität bestimmen. Feinstaub steht für die Verschmutzung der Atmosphäre durch feine Partikel. Für den Menschen ist die Aufnahme der feinen und sehr kleinen Staubteilchen über die Atmung von besonderer Relevanz. Feinstäube können zu einer Belastung unserer Atemwege werden und zu lokal begrenzten oder systemischen (den gesamten Körper betreffenden) Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit führen.

Typischerweise werden unter Staub die großen sichtbaren und festen Partikel, wie sie im Hausstaub oder Straßenstaub vorliegen, verstanden. Jedoch kommen auch sehr viel winzigere Staubteilchen vor. Für diese kleinen mit bloßem Auge nicht sichtbaren Feinstaubteilchen wird häufig der Ausdruck Feinstaubpartikel gebraucht. Solche Feinstaubpartikel liegen in der Atmosphäre als Bestandteile von Aerosolen vor. Als Aerosol wird ein Gemisch bestehend aus Luft sowie festen und flüssigen Schwebeteilchen bezeichnet. Die im Aerosol enthaltenen Feinstaubpartikel sind sowohl in Form und Größe als auch in ihren Inhaltsstoffen verschieden. Als Bestandteile werden häufig identifiziert:

- Salze wie Sulfate, Nitrate, Chloride oder Ammoniumverbindungen u. a.;
- elementarer Kohlenstoff als Ruß aus unvollständigen Verbrennungsprozessen;
- Kohlenwasserstoff-Verbindungen (u. a. PAK = polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe);
- Metalle wie Arsen, Blei, Cadmium, Natrium, Magnesium, Eisen u. a.;
- verschiedene Mineralien.

Auch können an den Teilchen Pollen, Pilzsporen, Bakterien oder Viren angelagert sein.

Die Größe eines Partikels wird üblicherweise durch seinen aerodynamischen Durchmesser (siehe Abbildung 1) bestimmt. Dieser kann von über 100 Mikrometer bis in den Bereich von wenigen

Mikrometern und Nanometern reichen. Anhand des aerodynamischen Durchmessers werden Partikel – abgekürzt PM (im englischen Sprachgebrauch „particulate matter“) – unterhalb von 10  $\mu\text{m}$  in drei Größenkategorien unterteilt:

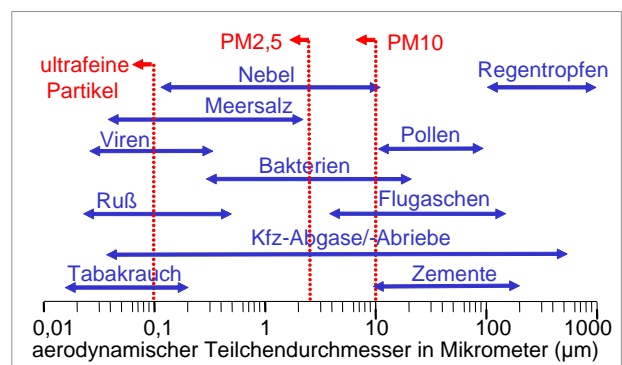
**Feinstaub (PM10) oder inhalierbare Feinstaubpartikel:** Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 10 Mikrometer ( $<10 \mu\text{m}$ ) ist;

**Feinstaub (PM2,5) oder lungengängige Feinstaubpartikel:** Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als 2,5 Mikrometer ( $<2,5 \mu\text{m}$ );

**Ultrafeine Partikel (UFP oder PM0,1):** Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 0,1 Mikrometer oder kleiner als 100 Nanometer ( $<0,1 \mu\text{m}$  entspricht  $<100 \text{ nm}$ ) ist.

In der Atmosphäre liegen die unterschiedlichen Partikel in einer sehr breiten Größenverteilung vor. Diese erstreckt sich von Größen von einigen wenigen Molekülen bis hin zu Partikeln mit Durchmessern größer als 100  $\mu\text{m}$  (siehe Abbildung 1).

Abb. 1: Größenbereiche von Partikeln in der Atmosphäre



Aerodynamischer Durchmesser: Berechneter Durchmesser einer Kugel mit der Dichte von  $1 \text{ g/cm}^3$ , die die gleiche Sinkgeschwindigkeit in der Luft aufweisen würde wie das betrachtete Partikel.

1 Mikrometer =  $1 \mu\text{m} = 0,000\,001 \text{ m} = 10^{-6} \text{ m}$

1 Nanometer =  $1 \text{ nm} = 0,001 \mu\text{m} = 10^{-9} \text{ m}$

Nicht nur die Größe und Gestalt eines Partikels sondern auch meteorologische Einflüsse bestimmen dessen Bewegungen und Aufenthaltsdauer in der Atmosphäre. Teilchen mit einer Größe bis zu etwa  $1\ \mu\text{m}$  schweben mehrere Tage in der Luft. Sie sind dabei ständig in Bewegung, werden hin und her gestoßen und an andere Partikel angelagert. Auf diese Weise fangen größere Teilchen kleinere Partikel weg (scavenging effect).

In der Vergangenheit führten technische Verbesserungen wie der Einbau von Filteranlagen bei industriellen Prozessen dazu, dass sich der Anteil an größeren Staubpartikeln in der Atmosphäre erheblich reduzierte. Jedoch stehen damit für die verbleibenden kleineren Teilchen größere Partikel für eine Anlagerung in einem wesentlich geringeren Ausmaß zur Verfügung. Als Folge hat der PM10-Partikelanteil in der Atmosphäre relativ zugenommen.

**Partikeltransport und -niederschlag:** In Abhängigkeit von Partikelgröße und meteorologischen Einflüssen werden Feinstäube über weite Entfernungen nicht nur innerhalb des Landes Hessen, sondern auch über die Grenzen von Deutschland und Europa hinaus transportiert. So gelangt Saharastaub innerhalb einiger Tage über mehrere tausend Kilometer zu uns und findet sich als Staubniederschlag etwa auf unseren Autos wieder. Ist die Größe eines Partikels ausreichend, meist sind es Teilchen größer als  $30\ \mu\text{m}$ , dann sinken (sedimentieren) diese als Staubniederschlag zu Boden. Der Anteil der Niederschlagspartikel (größer als  $30\ \mu\text{m}$  Durchmesser) an der Gesamtmasse aller in der Außenluft vorhandenen Partikel liegt ohne unmittelbar staubemittierende Quellen in städtischen Gebieten bei etwa 5 - 10 %. Über die unterschiedlichen Inhaltstoffe im Staubniederschlag können sich im Boden und auf Pflanzen potenziell schädliche Stoffe wie etwa Schwermetalle oder organische Verbindungen (u. a. PAK) anreichern.

Häufig führen Tiefdruckwetterlagen zu einer Reduzierung der Partikelkonzentration in der Atmosphäre. Gründe hierfür sind ein erhöhter Luftaustausch sowie Regen, der zur Auswaschung der Teilchen beiträgt. Dagegen kommt es bei austauscharmen Wetterlagen, die bei Hochdruckwetter im Winter oftmals vorherrschen, zu einem Anstieg der Partikelkonzentration in der Luft. Solche auch als Inversionswetterlagen bezeichneten Situationen hindern Feinstaubpartikel daran, in die oberen, kühleren Luftschichten aufzusteigen.

Dies hat in den unteren, bodennahen Luftschichten eine Aufkonzentrierung der Partikel zur Folge.

## Quellen für Feinstaubpartikel

Partikel besitzen ihren Ursprung in natürlichen und anthropogenen (durch den Menschen verursachten) Quellen.

**Natürliche Quellen:** Zu ihnen zählen u. a. Vulkanausbrüche, Waldbrände, Meeressgisch, Bodenverwitterungen sowie biologisches Material wie Pollen, Pilzsporen, Bakterien oder Viren.

**Anthropogene Quellen:** Derartige Quellen sind ortsfeste technische Anlagen für Verbrennungsprozesse etwa zur Energieherstellung (Kraftwerke) oder Gebäudeheizungen (Öl, Gas, Kohle, Holz) sowie Anlagen von Industrieprozessen, die etwa zur Stahl- und Metallherzeugung oder dem Schüttgutumschlag dienen.

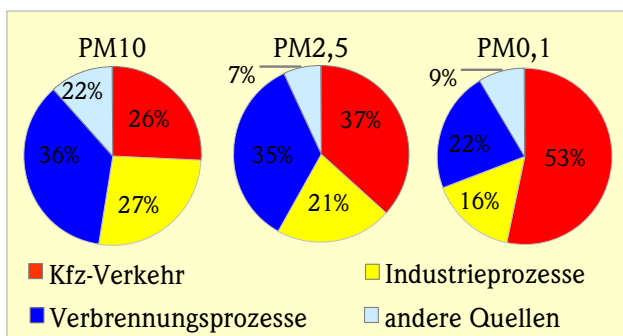
Eine sehr wichtige und mobile Quelle stellt der Kraftfahrzeugverkehr dar. Denn durch ihn kommt es nicht nur zum Ausstoß von Dieselrußpartikeln, sondern zusätzlich werden Partikel aus Abriebvorgängen von Reifen und Bremsen sowie durch den Kupplungsbetrieb freigesetzt (emittiert). Weitere bedeutende Quellen sind Staubaufwirbelungen im Bodenbereich, die ursächlich auf die Landwirtschaft, den Straßenverkehr oder auf Baustellenaktivitäten zurückzuführen sind. Darüber hinaus gelten der Schiffs-, Bahn- und Flugverkehr als Quellen für Partikelemissionen (Freisetzungen).

**Sekundäre Partikel aus anthropogenen Vorläufersubstanzen:** Großen Einfluss auf Partikelemissionen haben auch diejenigen anthropogenen Quellen, die gasförmige Vorläufersubstanzen freisetzen. Zu den hauptsächlichen Emittenten zählen hier der Straßenverkehr, Verbrennungsprozesse und die Landwirtschaft. Aus diesen Quellen werden als relevante Gase Stickstoffoxide und Schwefeldioxid, Ammoniak sowie flüchtige organische Verbindungen (VOC) emittiert. In der Atmosphäre gehen diese Gase komplex verlaufende chemische Reaktionen (wie etwa die Oxidation von Stickstoffdioxid zu Nitrat) ein. Als Reaktionsprodukte entstehen wiederum winzige Teilchen, die als sekundäre Partikel bezeichnet werden. Es handelt sich dabei um ultrafeine Partikel, die in ihrer chemischen Zusammensetzung u. a. Salze wie Ammoniumnitrat oder -sulfat und organische Verbindungen aufweisen. Durch diesen Prozess werden in der Atmosphäre fortlaufend Teilchen neu gebildet.

Auch diese sekundären Partikel verfügen über die Eigenschaften, mit der Luftströmung teilweise über sehr weite Entfernungen transportiert zu werden, sich zu größeren Teilchen zusammenzulagern und am Boden zu sedimentieren.

**Quellenanteile verschiedener Feinstaub-Frak-tionen:** Die unterschiedlichen Quellen bestimmen auch die Zusammensetzung der einzelnen Partikel-fractionen. Abbildung 2 zeigt in Abhängigkeit der Partikelgröße die relativen Anteile der Quellen an der Gesamtemission von PM10, PM2,5 und PM0,1. So kommt es mit abnehmender Partikelgröße zur Verdoppelung des Anteils des Kraftfahrzeugverkehrs in der PM0,1-Gesamtstaubfraktion im Vergleich zur PM10-Gesamtstaubfraktion. Gegenläufig verhalten sich hierbei die Anteile der Verbrennungs- und Industrieprozesse.

Abb. 2: Aufschlüsselung der Quellenanteile an den Gesamtemissionen von PM10, PM2,5 und PM0,1 in Großbritannien (modifiziert nach Veröffentlichung AQEG 2005)



Auch die Inhaltsstoffe der Partikel (siehe oben) weisen in Abhängigkeit der Quelle Unterschiede auf. Im Vergleich zu mehr ländlich geprägten Quellen überwiegen an verkehrsnahen Quellen die Anteile an Ruß und an schwerflüchtigen organischen Verbindungen (z. B. PAK).

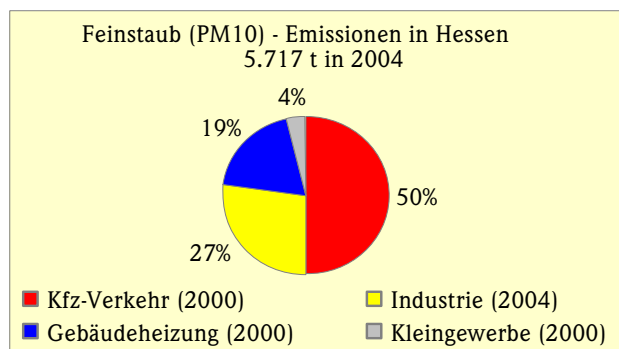
## Feinstaub (PM10)-Emissionen nach Quellengruppen in Hessen

Die in Hessen an den staubförmigen Luftverunreinigungen beteiligten anthropogenen Quellen werden seit Ende der siebziger Jahre durch das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie in einem Emissionskataster geführt und beurteilt (Emission = Freisetzung). Das Emissionskataster, dessen rechtliche Grundlage das Bundes-Immis-

sionsschutz-Gesetz ist, dient als wichtige Voraussetzung für eine nachhaltige Luftreinhalteplanung.

Die Abschätzung des dabei primär emittierten Feinstaub (PM10) erstreckt sich auf die gesamte Landesfläche. Betragen für Hessen im Jahr 2000 die Jahresemissionen an Feinstaub (PM10) noch 6.393 t, so verringerte sich diese Menge für das Jahr 2004 auf 5.717 t.

Abb. 3: Feinstaub (PM10) - Emittentengruppen für Hessen im Jahr 2004



Dominierender Anteil (siehe Abbildung 3) bleibt auch im Jahr 2004 der Kraftfahrzeugverkehr mit etwa 50 %, gefolgt von den Emittentengruppen Industrie mit 27 % und der Gebäudeheizung mit etwa 19 %. Der Anteil der Emittentengruppe Gebäudeheizung wird dabei eher unterschätzt, da nach neueren Erkenntnissen der Holzeinsatz in Kleinf Feuerungsanlagen zu relevanten Mengen an Feinstaubemissionen geführt hat. Der Anteil an den Feinstaub (PM10) - Emissionen der Quellengruppe Kleingewerbe fällt mit 4 % vergleichsweise gering aus.

## Gesundheitliche Wirkungen

Gesundheitliche Wirkungen von Partikeln auf den Menschen sind abhängig von der Partikelmassenkonzentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und der Partikelanzahl (Partikel/ $\text{m}^3$ ) sowie den physikalischen und chemischen Eigenschaften der Partikel. Einflussreiche Faktoren sind Partikelgröße und -masse sowie Partikeloberfläche und -struktur. Darüber hinaus können an die Teilchen verschiedene Gase, anorganische und organische Stoffe wie Metalle oder polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sowie komplexe chemisch-biologische Systeme wie etwa Pilzsporen, Pollen, Bakterien oder Viren angelagert sein. Einfluss auf das Ausmaß gesundheitlicher Wirkungen haben auch die Wasserlöslichkeit und elektrische Ladung der Partikel. Infolge der im

Atemtrakt herrschenden Luftfeuchte können Partikel gelöst werden, wodurch sich ihre Ausscheidung aus dem Atemtrakt erleichtern kann. Als wichtige Aspekte beim Menschen gelten sein Atemmuster, die Lungenanatomie und bestehende Atemwegserkrankungen. In welchem Ausmaß die gesundheitlichen Wirkungen der Partikel von den vorgenannten Punkten im Einzelnen beeinflusst werden, ist wissenschaftlich noch nicht abschließend geklärt.

Mit der Atmung nehmen wir Millionen von Partikeln unterschiedlicher Größe und Art in unser Atemtraktsystem auf, das eine Oberfläche von insgesamt etwa 140 Quadratmetern aufweist. Werden mit der Atmung (inhalativ) Partikel aufgenommen, so lagern sich diese in Abhängigkeit ihres aerodynamischen Partikeldurchmessers und

Abb. 4: Belastungen durch Partikel in unterschiedlichen Regionen des Atemtrakts

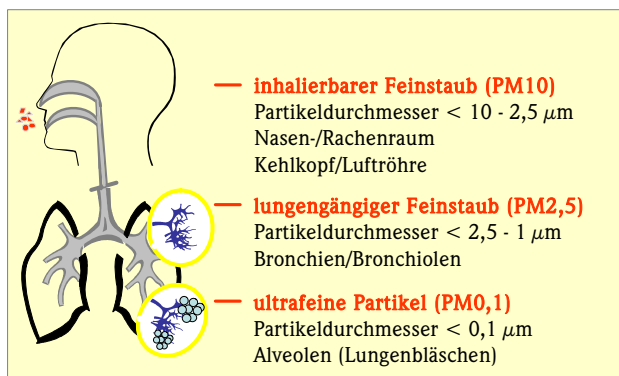
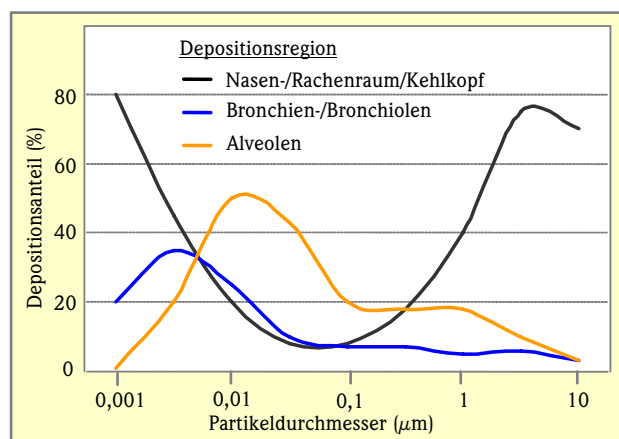


Abb. 5: Partikeldeposition als Funktion des Partikeldurchmessers in bestimmten Regionen des Atemtrakts bei Nasenatmung des Menschen (modifiziert nach Veröffentlichung Oberdörster 2005)



zusätzlich weiterer Faktoren in unterschiedlichen Regionen des Atemtrakts ab (siehe Abbildung 4). Abbildung 5 stellt bei Nasenatmung des Menschen die Kurvenverläufe der unterschiedlichen Depositionen im Atemtrakt in Abhängigkeit des Partikeldurchmessers dar. Je nach Größe des Durchmessers werden inhalede Partikel mit entsprechend unterschiedlich hohen Anteilen (Depositionsraten) in den bestimmten Regionen des Atemtrakts deponiert.

**Partikelgrößen von 10  $\mu\text{m}$  bis zu 2,5  $\mu\text{m}$ :** Partikel mit einer Größe von etwa 10 bis 2,5  $\mu\text{m}$  Durchmesser verbleiben bereits im Nasen- und Rachenraum oder dringen bis in den oberen Bereich der Bronchien vor. Werden in diesen Bereichen Partikel abgelagert, so erfolgt bereits innerhalb von wenigen Tagen über Schleimsekretionen und mit Hilfe von Flimmerhaaren ein Abtransport der Teilchen in Richtung Kehlkopf. Von dort werden sie ausgehustet oder durch Verschlucken in den Magen-Darm-Trakt überführt.

**Partikelgrößen von 2,5  $\mu\text{m}$  bis zu 0,1  $\mu\text{m}$ :** Die noch feineren Partikel mit Größen von kleiner 2,5  $\mu\text{m}$  bis etwa 1  $\mu\text{m}$  dringen wesentlich tiefer in die Lunge bis in die Regionen der stärker und feiner verästelten Bronchien und Bronchiolen vor. Dort beträgt ihre Aufenthaltsdauer bereits bis zu mehreren Wochen, bevor auch sie über Schleimsekretionen und durch die Flimmerhaare abtransportiert werden. Partikel mit Durchmessern von etwa 1  $\mu\text{m}$  bis 0,1  $\mu\text{m}$  werden aufgrund ihrer geringen Eigenbeweglichkeit nur zu etwa 20 % im Atemtrakt abgelagert. Im Vergleich zu den größeren oder kleineren Teilchen verbleiben diese Partikel eher im Luftstrom der ein- und ausgeatmeten Luft.

**Partikelgrößen unterhalb von 0,1  $\mu\text{m}$ :** Die sehr viel kleineren, die ultrafeinen Partikel mit einem Durchmesser kleiner als 0,1  $\mu\text{m}$  oder kleiner als 100 Nanometer (nm) strömen bis in die Lungenperipherie (Gasaustauschbereich) ein. Dort treffen sie auf die gut durchbluteten Lungenbläschen (Alveolen). Im Alveolenbereich können sich die ultrafeinen Partikel am Gewebe festsetzen und langfristig über Jahre deponiert werden. Im Vergleich zu den größeren Partikeln weisen diese kleineren Teilchen mit Durchmessern kleiner 0,1  $\mu\text{m}$  eine deutlich höhere Gesundheitsgefährdung auf. Im Lungengewebe abgelagerte Partikel lösen in Abhängigkeit von ihrer Zusammensetzung Reizwirkungen oder entzündliche Prozesse an Gewe-

ben und Zellen aus. Ultrafeine Partikel vermögen auch in die Blutbahn überzugehen und können dann zu unterschiedlichen Organen unseres Körpers transportiert werden. So werden ultrafeine Partikel in Leber, Herz und Gehirn nachgewiesen. Vor allem werden ultrafeinen Partikeln, wenn sie ins Blut übergegangen sind und sich im Körper verteilt haben, Effekte wie Herz-Rhythmusstörungen, Verengungen von Gefäßen, Zunahme der Blutgerinnung und das Auftreten von Entzündungsfaktoren im Blut zugeschrieben. Diese Wirkungen gelten als Risikofaktoren für die Entstehung von Herz-Kreislaferkrankungen.

Ein ständiger Entzündungsreiz vermag die Immunabwehr zu mindern, was wiederum zu einer erhöhten Infektanfälligkeit führen kann. Für bestimmte unlösliche ultrafeine Partikel (wie Diesel-, Industrieruß) wurde in Tierversuchen eine Krebs erzeugende Wirkung nachgewiesen.

Partikelablagerungen im Alveolenbereich können auch zur Aktivierung der alveolaren Makrophagen, den so genannten Fresszellen des Immunsystems, führen. Diese Zellen sind in der Lage, die Partikel zu deaktivieren und zu zersetzen.

An der Oberfläche ultrafeiner Teilchen können verschiedene Stoffe wie Metalle oder organische Verbindungen (siehe oben) angelagert vorkommen. Gesundheitlich bedeutsam ist dies etwa für Partikel, die aus Verbrennungsprozessen stammen. Zum Beispiel bestehen Dieselrußpartikel überwiegend aus ultrafeinen Kohlenstoffteilchen, an deren Oberfläche Verbrennungsprodukte wie gesundheitsschädliche PAK-Verbindungen haften. In Abhängigkeit von der Löslichkeit der angelagerten Bestandteile können potenziell gesundheitsschädliche Stoffe freigesetzt werden.

**Erkenntnisse aus bevölkerungsbezogenen Studien:** Studien aus Deutschland und weiteren europäischen Ländern sowie aus den USA und von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) an gegenüber Partikeln exponierten Bevölkerungsteilen untersuchten, ob zwischen der Partikelbelastung in der Außenluft und gesundheitlichen Parametern ein Zusammenhang besteht. Die Daten zeigen eindeutige Zusammenhänge zwischen Partikelbelastungen der Außenluft und gesundheitlichen Effekten. Über die Atmung aufgenommene Feinstäube der Größe PM10 und PM2,5 führen bei Erwachsenen und bei Kindern sowohl zu akuten gesundheitlichen Effekten als auch zu chronischen Gesundheitsschäden.

## Gesundheitliche Effekte gegenüber Feinstaubexpositionen in der Außenluft

### *Kurzzeitexposition*

- Atemwegsbeschwerden und -entzündungen
- Effekte auf Herz- und Kreislaufsystem
- Anstiege von Medikamenteneinnahmen, Arztbesuchen und Krankenhauseinweisungen
- Anstieg der Sterblichkeitsrate besonders infolge von Herz-, Kreislauf- und Atemwegserkrankungen

### *Langzeitexposition*

- Zunahme von Atemwegssymptomen
- Verschlechterung der Lungenfunktion bei Kindern und Erwachsenen
- Zunahme chronischer Bronchitis
- Anstieg der Sterblichkeit an Herz- und Kreislauf-erkrankungen und an Lungenkrebs
- Verringerung der Lebenserwartung

Relevante Auswirkungen der Feinstaubbelastungen (PM10 und PM2,5) finden sich auf die Sterblichkeit (Mortalität) und Erkrankungsrate (Morbidität), wobei die Effekte durch aktuell kurzfristig hohe Partikelkonzentrationen oder langfristig niedrige Konzentrationen bestimmt werden. Im Vordergrund gesundheitlicher Effekte durch Feinstaubpartikel stehen Todesfälle als Folgen von Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen sowie durch Lungenkrebs. Auch kommt es in der Bevölkerung zu einer Verkürzung der Lebenserwartung. Von der WHO wird für Deutschland für das Jahr 2000 eine um etwa 10 Monate verkürzte Lebenserwartung genannt. Bei akut erhöhten Feinstaubbelastungen werden Verschlechterung der Lungenfunktion, häufigere Einnahmen von Medikamenten bei Asthmatikern und erhöhte Anzahlen von Arztbesuchen und Einweisungen in Krankenhäuser aufgrund von Erkrankungen der Atemwege berichtet.

Besondere Aufmerksamkeit kommt den Auswirkungen ultrafeiner Partikel zu. So gibt es Hinweise, dass diese zu Schädigungen an Herz und Gefäßen führen. Als besonders empfindlich gegenüber den gesundheitsschädlichen Effekten gelten hierbei Menschen mit bereits bestehenden Atemwegs- und Herz-Kreislaferkrankungen.

Bei einem kurzfristigen Anstieg der PM10-Konzentration um  $10 \mu\text{g}$  pro  $\text{m}^3$  Außenluft und Tag schätzt die WHO die in der Bevölkerung zusätzlich auftretenden Todesfälle auf etwa 0,6 % sowie die Zunahme der Einweisungen ins Krankenhaus wegen Atemwegserkrankungen bei älteren Menschen auf etwa 0,7 %. Leben Menschen an verkehrsreichen Straßen, sind sie langfristig stärker von den gesundheitlichen Wirkungen betroffen.

Im Vergleich mit Feinstaub (PM10) findet sich für Feinstaub (PM2,5) ein stärkerer Beitrag an den beobachteten gesundheitlichen Wirkungen. Bei einer um  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel höheren PM2,5-Exposition steigt das Sterblichkeitsrisiko um 6 %. Als Folge der Belastungen durch Feinstaub (PM2,5) wird für Deutschland eine um etwa 9 Monate verkürzte Lebenserwartung genannt.

**Kinder:** Kinder stellen eine Risikogruppe gegenüber Feinstaubbelastungen in der Außenluft dar. Besonders Kleinkinder und Säuglinge scheinen stärker empfindlich zu reagieren. Als gesundheitliche Effekte werden vermehrt chronische Atemwegserkrankungen (Bronchitis), atopische (allergische) Erkrankungen sowie die Abnahme der Lungenfunktion und ein vermindertes Lungenwachstum beschrieben. Wohnen Kinder an stärker befahrenen Straßen, besteht für sie nicht nur ein höheres Risiko der Sensibilisierung gegenüber Inhalationsallergenen, sondern auch bereits bestehende allergische Reaktionen können sich verstärken. Beispielhaft verschlimmern sich Heuschnupfensymptome. Für Dieselrußpartikel konnte im Tierexperiment eine allergisierende Wirkung belegt werden.

## Gesundheitliche Bewertung

Derzeit lässt sich keine Konzentrationsschwelle für Feinstäube benennen, unterhalb derer eine gesundheitliche Wirkung nicht auftritt. Sowohl Konzentrationsspitzen als auch relativ niedrigere Konzentrationen führen zu gesundheitlichen Effekten. Je länger eine Feinstaubexposition zeitlich andauert und je höher die Konzentrationen steigen, desto stärker sind die gesundheitlichen Wirkungen und desto mehr Menschen sind betroffen. Umgekehrt führt eine Reduzierung der Feinstaubexposition, wie internationale bevölkerungsbezogene Studien zeigen konnten, auch zu einer Verringerung gesundheitlicher Auswirkungen.

Aus gesundheitlicher Sicht gilt es sowohl Spitzen-

belastungen als auch höhere durchschnittliche Belastungen zu reduzieren, um das gesundheitliche Risiko nachhaltig zu mindern.

**Risikogruppen:** Als Risikogruppen gelten besonders ältere Menschen, Kinder sowie Personen mit bestehenden Atemwegs- und Herz-Kreislauf-erkrankungen sowie Asthmatiker.

**WHO-Empfehlungen:** Aufgrund der Erkenntnisse über die gesundheitlichen Wirkungen durch Feinstaub (PM2,5) befürwortet die WHO, zusätzlich PM2,5 als Parameter für gesundheitliche Wirkungen zu berücksichtigen. Die Empfehlungen aus dem Jahr 2005 sehen für Partikel (PM2,5) einen Tagesmittelwert von  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und einen Jahresmittelwert von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vor. Da hiervon unabhängig auch durch PM10-Partikelbelastungen erhebliche gesundheitliche Risiken bestehen, begründet die WHO in ihrer Empfehlung für Partikel (PM10) einen Tagesmittelwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und einen Jahresmittelwert von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## Rechtliche Grundlagen

Die Erkenntnisse über die gesundheitlichen Effekte aus den bevölkerungsbezogenen Studien führten zur Festlegung von Grenzwerten für die Feinstaub (PM10) - Belastung in der Außenluft. Im Rahmen der europäischen Luftqualitätsrahmenrichtlinie zur Kontrolle und Bewertung der Luftqualität wurden durch die Europäische Gemeinschaft mit der ersten Tochterrichtlinie des Rates vom 22. April 1999 (1999/30/EG) Grenzwerte für Feinstaub (PM10) in der Außenluft erlassen. Die Übernahme der ersten Tochterrichtlinie in deutsches Recht erfolgte mit der 22. Bundes-Immissionsschutz-Verordnung (BImSchV) vom 11. September 2002. Schutzziel der 22. BImSchV ist die Vermeidung, Verhütung und Verringerung schädlicher Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit.

Die immissionsbezogenen Grenzwerte für Feinstaub (PM10) erfassen messtechnisch die Massenkonzentration der inhalierbaren Partikel in Mikrogramm pro Kubikmeter Luft ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). In die gesundheitsbezogene Beurteilung gehen Langzeitwirkungen mit einem Jahresmittelwert und Kurzzeiteffekte über einen Tagesmittelwert ein. Zusätzlich gilt für den Tagesmittelwert eine Beschränkung der Überschreitungshäufigkeit. Seit dem 1. Januar 2005 sind durch die 22. BImSchV für Feinstaub (PM10) folgende Grenzwerte festgeschrieben:

Immissionsgrenzwerte für Partikel (PM10)* in der 22. Bundes-Immissionsschutz-Verordnung (22. BImSchV)	
Mittelungs- zeitraum	Grenzwerte für Partikel (PM10)
24-Stunden	50 µg/m <sup>3</sup> Bei 35 zugelassenen Überschreitungen im Kalenderjahr
Kalenderjahr	40 µg/m <sup>3</sup>

\*Partikel (PM10): Die Partikel, die einen gröbselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm einen Abscheidungsgrad von 50 Prozent aufweist.

Grenzwertüberschreitungen oder auch, wenn diese zu befürchten sind, führen nach der 22. BImSchV zur Aufstellung eines Maßnahmen- bzw. Aktionsplans. In dem Plan sind u. a. das betreffende Gebiet auszuweisen, die Feinstaubverursacher zu identifizieren sowie kurzfristige Maßnahmen zur Feinstaubreduzierung festzulegen. Nach Umsetzung des Aktionsplans wird eine Erfolgskontrolle der Maßnahmen erforderlich.

## Luftmessstationen in Hessen

Zur Überwachung der Immissionssituation in Hessen betreibt das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) ein landesweit ausgerichtetes Messnetz mit kontinuierlich arbeitenden Luftmessstationen. Die Verpflichtung zur landesweiten Immissionsüberwachung ergibt sich aus den EG-Luftqualitätsrichtlinien, die durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz und seine Verordnungen in deutsches Recht (z. B. 22. BImSchV) umgesetzt sind.

Die Standorte der Luftmessstationen sind der Übersichtskarte Abbildung 6 zu entnehmen. Die Standorte sind so gewählt, dass eine flächendeckende Immissionsüberwachung gewährleistet werden kann. Der Abstand zwischen den einzelnen Luftmessstationen liegt zwischen 40 und 60 km; dies reicht aus, um die Entwicklung der Schadstoffkonzentrationen in Hessen zu erfassen. Im Jahr 2006 wurden insgesamt 31 Immissionsmessstationen unterhalten: 13 Stationen in Städten, 10 im ländlichen Raum und 8 Stationen an Verkehrsschwerpunkten. Die Luftmessstationen sind bei

unterschiedlicher Bestückung mit Geräten zur Erfassung folgender Komponenten ausgerüstet, welche zur Charakterisierung der Luftqualität notwendig sind: Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), Benzol, Toluol und m/p-Xylol (BTX), Ozon (O<sub>3</sub>), **Feinstaub (PM10)** und meteorologische Einflussgrößen. An einer Messstation in Wiesbaden wird seit 2005 auch die Feinstaub-Fraktion (PM<sub>2,5</sub>) erhoben.

Die Messungen der Parameter verlaufen kontinuierlich mit in den Messstationen integrierten automatisierten Analysegeräten, die einer ständigen Überprüfung unterliegen. Die Messwerte werden als Halbstundenmittelwert an die Messnetzzentrale im HLUG übertragen und dort auf Plausibilität geprüft.

Die im Luftmessnetz für das Land Hessen erhobenen Immissionskenngrößen werden vom Informationsdienst des HLUG regelmäßig veröffentlicht. Die aktuellen Messergebnisse sind über verschiedene Medien (Internet, Videotext-Dienst, Informationstelefon, Fax-auf-Abruf-Service, Mobilfunk) verfügbar. Über die erhobenen Messdaten und ihre Bewertungen werden durch das HLUG lufthygienische Tages-, Monats- und Jahresberichte erstellt.

Abb. 6: Luftmessstationen in Hessen

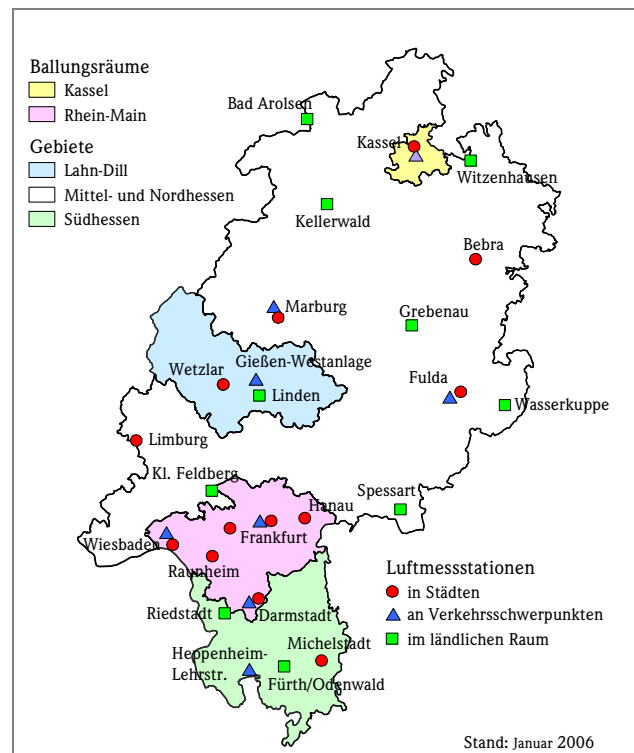


Abb. 7: Jahresmittelwerte\*<sup>1)</sup> der PM10-Konzentration in den hessischen Ballungsräumen und Gebieten für den Zeitraum von 1984 – 2006

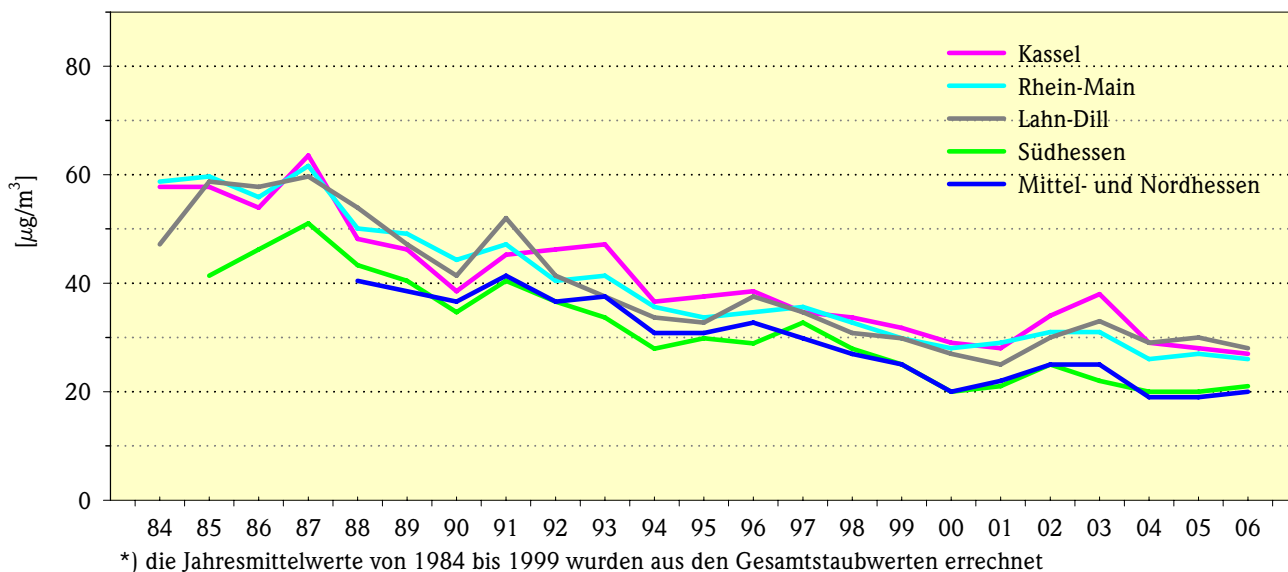
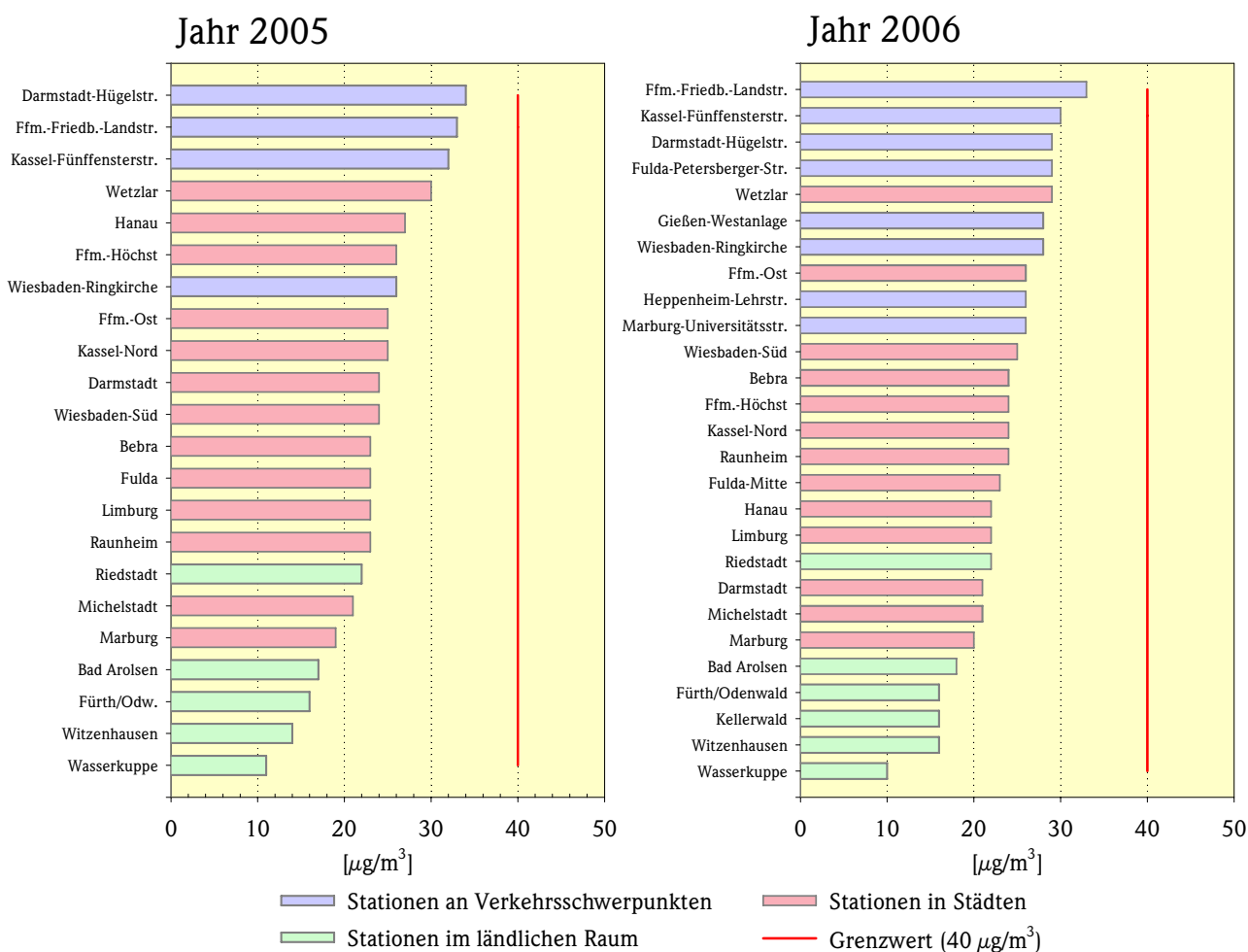


Abb. 8: Jahresmittelwerte der PM10-Konzentration in Hessen für die Jahre 2005 und 2006 aufgeschlüsselt nach den PM10-Messstationen und absteigend sortiert





## Immissionsbelastung durch Feinstaub (PM10) in Hessen

Immissionen sind auf Menschen, Tiere und Pflanzen, auf den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie auf Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen. Die Überwachung der Immissionsituation gegenüber Feinstaub (PM10) erfolgt nach den rechtlichen Vorgaben der 22. BImSchV und wird vom HLUG durchgeführt.

**PM10-Jahresmittelwert:** In Abbildung 7 sind die Jahresmittelwerte für den Zeitraum von 1984-2006 dargestellt, wobei diese Werte für den Zeitraum von 1984 bis 1999 durch Umrechnung von Gesamtschwebstaub auf Feinstaub (PM10) und ab dem Jahr 2000 durch Feinstaub (PM10)-Messungen erhalten wurden. In den Jahren von 1984 bis 2006 sind in Hessen die Jahresmittelwerte für die Feinstaub (PM10)-Konzentration erheblich zurückgegangen. Dazu beigetragen haben erfolgreiche Maßnahmen zur Minderung der Industrieemissionen, insbesondere von relevanten Gasen als Vorläufer der Sekundärpartikelbildung (siehe oben). Lag der PM10-Jahresmittelwert in den Jahren 1984 und 1985 noch bei etwa  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , so bewegt er sich im Zeitraum von 2000 bis 2006 im Bereich von etwa  $20$  bis  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , was in etwa einer Halbierung der Konzentrationswerte gleichkommt. Über den betrachteten Zeitraum fallen die Belastungen durch Feinstaub (PM10) in den Gebieten Mittel- und Nordhessen sowie in Südhessen im Vergleich zu den Ballungsräumen Rhein-Main und Kassel sowie zum Gebiet Lahn-Dill generell niedriger aus.

Auffallend sind die Jahre 2001 bis 2003. Hier kam es gegenüber den Vorjahren zu einem Anstieg des Jahresmittelwerts sowohl in den Ballungsräumen als auch in den übrigen Gebieten. In den Jahren 2004 bis 2006 ist der Jahresmittelwert auf das niedrigere Niveau der Jahre 2000 und 2001 wieder zurückgefallen.

Der seit 2005 mit der 22. BImSchV für den PM10-Jahresmittelwert festgelegte Grenzwert von  $40 \mu\text{g}$  pro  $\text{m}^3$  wird in den Jahren 2005 und 2006 an allen hessischen Messstationen unterschritten (siehe Abbildung 8). Die Ausschöpfung des Grenzwerts liegt an den höchst belasteten Stationen bei etwa 75 %, dies betrifft die Verkehrsschwerpunkte Frankfurt-Friedberger-Landstraße, Darmstadt-Hügelstraße und Kassel-Fünffensterstraße. Im Gegensatz dazu wird an den städtischen Stationen der

Grenzwert zu etwa 50 % unterschritten, wobei sich im Jahresmittel die Konzentrationen im Bereich von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bis  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bewegen. Die ländlichen Stationen füllen den Grenzwert der 22. BImSchV nur bis zu etwa 35 % aus. Eine Ausnahme stellt die am südlichen Rand zum Ballungsraum Rhein-Main und im Rheintal gelegene ländliche Messstation Riedstadt dar, deren Jahresmittelwert ungefähr auf dem Niveau der städtischen Stationen liegt.

**PM10-Tagesmittelwert:** Für Feinstaub (PM10) wird nach den Vorgaben der 22. BImSchV der Tagesmittelwert an den hessischen Luftmessstationen (siehe Abbildung 6) kontinuierlich erhoben. Die Höhe des Tagesmittelwerts wird auch durch die Lage der Messstation und die meteorologischen Bedingungen bestimmt. Im Tagesmittel niedrigere Feinstaubkonzentrationen kommen häufiger in ausgeprägten Sommermonaten vor. Episoden mit erhöhten PM10-Werten können im Winter bei Inversionswetterlagen mit geringem Luftaustausch auftreten (siehe unten). Hierbei verbleiben die emittierten Partikel in bodennahen Luftschichten. Zusätzlich treten in den kälteren Wintermonaten verstärkt Feinstaubbelastungen aus Hausbrand auf.

Im Jahr 2006 weisen die PM10-Tagesmittelwerte in den Monaten von Januar bis etwa April sowie Oktober bis Dezember gegenüber den Sommermonaten allgemein höhere Konzentrationswerte auf (siehe Abbildung 9). Besonders im Monat Februar reichen die PM10-Konzentrationen von  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bis über  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Im Gegensatz dazu liegen die Belastungen von Mai bis August unterhalb von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die höchsten PM10-Konzentrationen treten allgemein an den Messstationen mit Verkehrsschwerpunkten auf, gefolgt von den städtischen Stationen. Die Luftmessstationen im ländlichen Raum zeigen die geringsten Feinstaubbelastungen mit PM10-Konzentrationen um  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und darunter auf.

**PM10-Tagesmittelwertüberschreitungen:** Überschreitungen des PM10-Tagesmittelwerts an den einzelnen Messstationen sowie ihre Anzahl werden durch das HLUG dokumentiert und auf dessen Internet-Seite aktuell veröffentlicht und täglich fortgeschrieben. Überschreitungen des durch die 22. BImSchV vorgeschriebenen PM10-Tagesmittelwerts von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  treten an zahlreichen Messstationen sowohl in verkehrsreicher als auch in städtischer und ländlicher Lage auf (siehe Abbildung 10). Die größte Anzahl an Überschreitungen

Abb. 9: Aufschlüsselung der Tagesmittelwerte der PM10-Konzentration nach Messstationen im ländlichen Raum, an Verkehrsschwerpunkten und in Städten für das Jahr 2006 (PM10-Werte gemittelt je Stationscharakteristik)

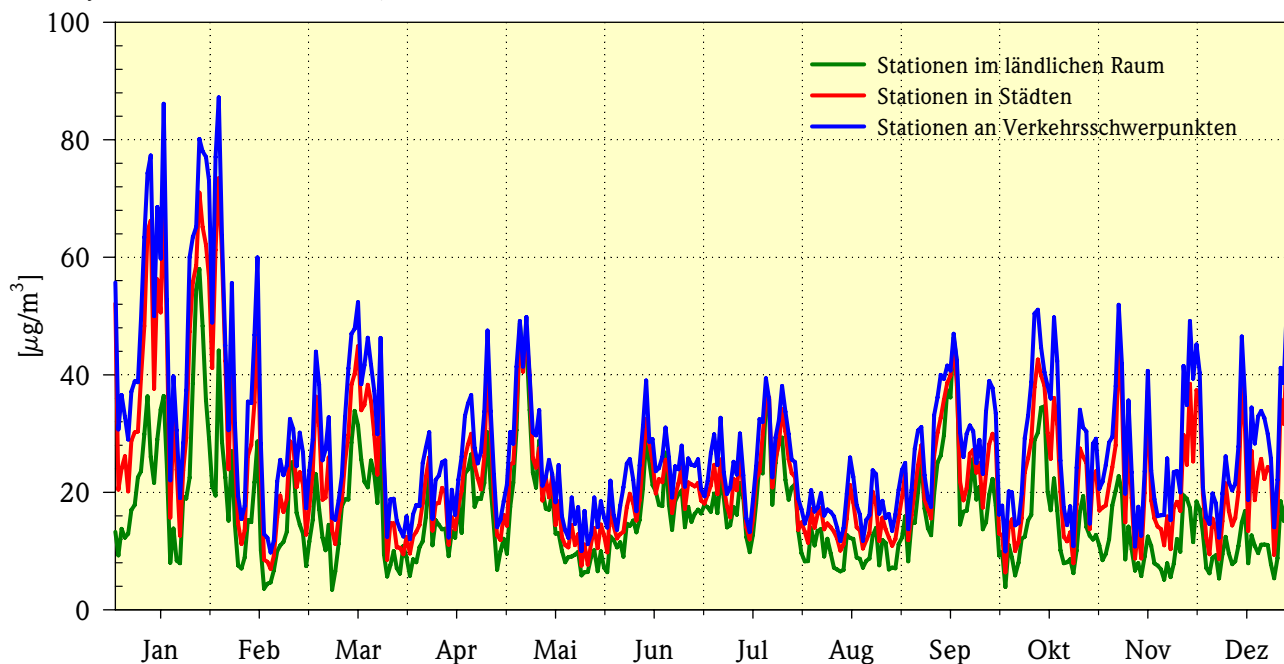
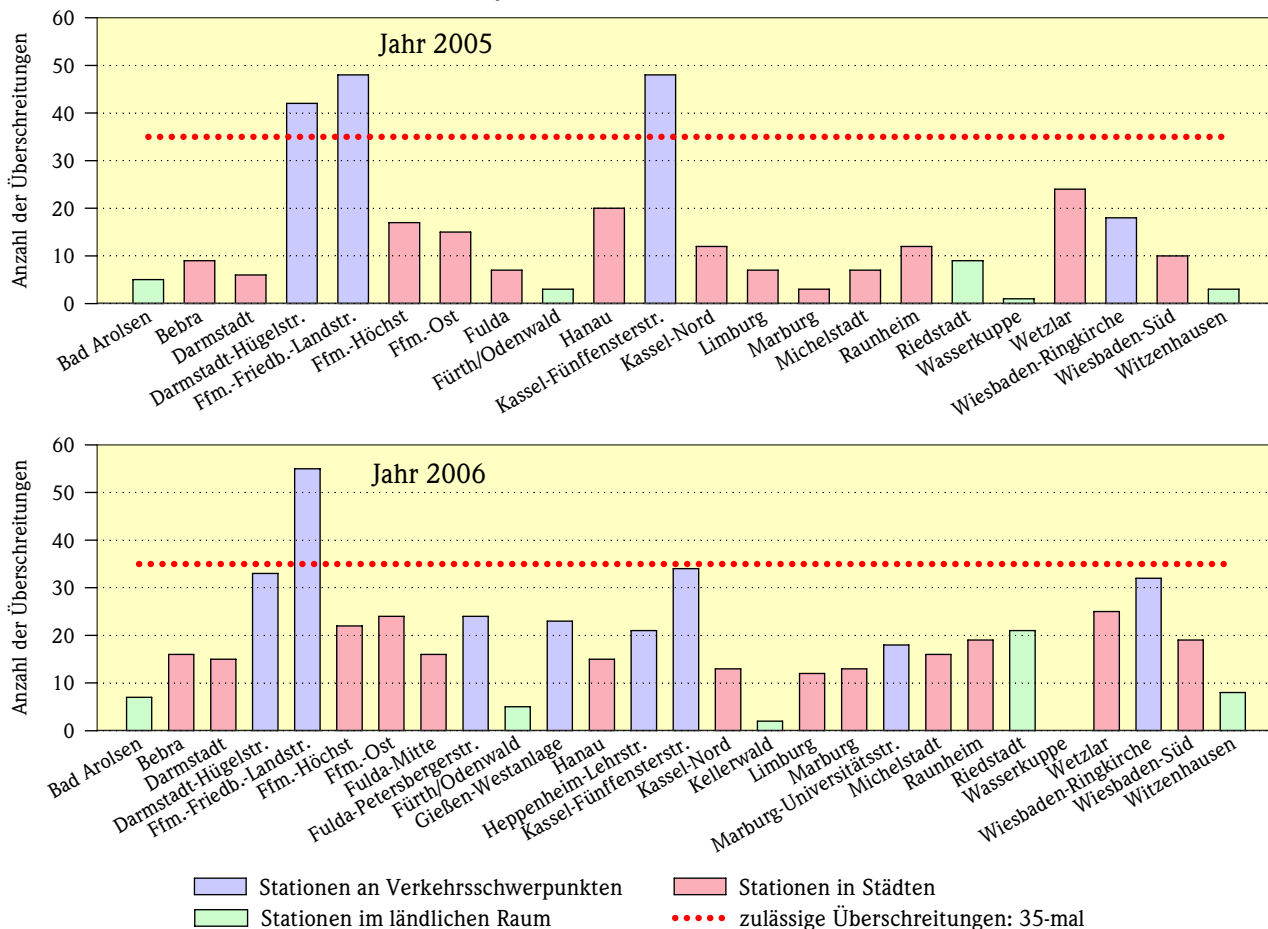


Abb. 10: Anzahl der Überschreitungen des PM10-Tagesmittelwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an den einzelnen hessischen Messstationen in den Jahren 2005 und 2006



kommt dort vor, wo besonders der Kraftfahrzeugverkehr eine der Hauptemissionsquellen darstellt. Hiervon betroffen sind die Ballungsräume Rhein-Main und Kassel sowie im Gebiet Lahn-Dill die Station Wetzlar, wobei an letzterer sich die Emissionen der örtlichen Industrie und die des Kraftfahrzeugverkehrs überlagern. Hervorzuheben ist die am südlichen Rand zum Ballungsraum Rhein-Main und im Rheintal gelegene ländliche Messstation Riedstadt. Im Vergleich zu den übrigen ländlichen Stationen weist diese eine etwa dreifach höhere Anzahl an Überschreitungen auf und liegt damit ähnlich hoch wie die städtischen Messstationen. Entsprechend fällt auch der PM10-Jahresmittelwert an der Messstation Riedstadt höher aus (siehe Abbildung 8).

Auffallend ist, dass im Vergleich zum Jahr 2005 in 2006 die Anzahl der Überschreitungen allgemein deutlich zugenommen hat. Eine mögliche Ursache sind die Anfang des Jahres 2006 aufgrund von Inversionswetterlagen aufgetretenen Feinstaub-Episoden (siehe unten), die durch hohe Feinstaub (PM10) - Belastungen mit mehrmaligen Überschreitungen des Tagesmittelwerts von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gekennzeichnet waren.

Im Jahr 2005 wurde die gesetzliche Vorgabe (22. BImSchV), mit im Jahr maximal 35 Überschreitungen des festgelegten PM10-Tagesmittelwerts, an drei Messstationen mit Verkehrsschwerpunkten nicht eingehalten. Hierzu gehörten Darmstadt-Hügelstraße mit 42, Kassel-Fünfensterstraße und Frankfurt-Friedberger-Landstraße mit jeweils 48 Überschreitungen. Diese Überschreitungshäufigkeiten liegen damit doch deutlich oberhalb der nach der 22. BImSchV maximal zulässigen Häufigkeit. Für das Jahr 2006 zeigt sich im Vergleich zu 2005 eine ähnliche Verteilung der Überschreitungshäufigkeiten. Jedoch hebt sich die verkehrsnahen Station Frankfurt-Friedberger-Landstraße mit einer Anzahl von 55 Überschreitungen deutlich ab. Dabei hatten die Feinstaub-Episoden von Anfang des Jahres 2006 (siehe unten) bereits bis Mitte Februar 2006 an dieser Messstation zu 29 Überschreitungen geführt. Allerdings liegen an den Stationen Darmstadt-Hügelstraße und Kassel-Fünfensterstraße die Überschreitungen mit 33 bzw. 34 nur geringfügig unterhalb der gesetzlichen Vorgabe. Ein ähnliches Bild zeigt sich an der Messstation Wiesbaden-Ringkirche, die als verkehrsnahen Station eine Anzahl von 32 Überschreitungen für

das Jahr 2006 aufweist. Im Vergleich zum Jahr 2005 hat sich an dieser Station die Anzahl der Überschreitungen etwa verdoppelt.

Nach den Vorgaben der 22. BImSchV waren die mehrmaligen Grenzwertüberschreitungen des PM10-Tagesmittelwerts Anlass zur Aufstellung und Veröffentlichung von Maßnahmen- bzw. Aktionsplänen in den Städten Frankfurt und Darmstadt sowie im Ballungsraum Kassel durch das Hessische Ministerium für Umwelt, ländlicher Raum und Verbraucherschutz. Diese Pläne sind auf der Homepage des HLUG im Internet veröffentlicht.

Die Partikelbelastungen an verkehrsbezogenen Messstationen werden durch Emissionen der Dieselmotoren sowie durch Reifen- und Bremsabrieb und Aufwirbelungen von Straßenstaub geprägt. Oftmals treten dort erhöhte Feinstaubbelastungen auf, wo in Abhängigkeit von der örtlichen Umgebung eine zu geringe Durchlüftung von verkehrsreichen Straßenschluchten mit hohen und beidseitig geschlossenen Randbebauungen vorherrscht. Allerdings bestimmt auch erheblich der Ferneintrag von Feinstaub (PM10) die Partikelbelastung in städtischen Gebieten (siehe Abbildung 11). So entfallen auf diesen Anteil an der Partikelbelastung an den Messstationen an Verkehrsschwerpunkten Frankfurt-Friedberger-Landstraße und Darmstadt-Hügelstraße etwa 55 % bzw. 43 %.

Abb. 11: Anteilige Aufschlüsselung der Feinstaub (PM10) - Immissionsbelastung nach Emitterengruppen an Messstationen mit Verkehrsschwerpunkten (modifiziert nach Veröffentlichungen der Maßnahmen- bzw. Aktionspläne für Frankfurt 2005 und Darmstadt 2005)

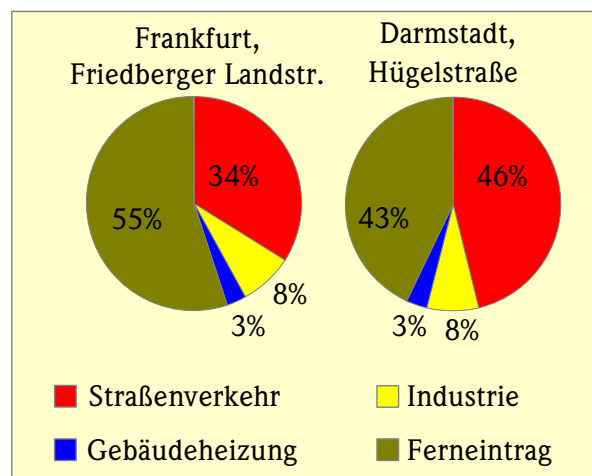
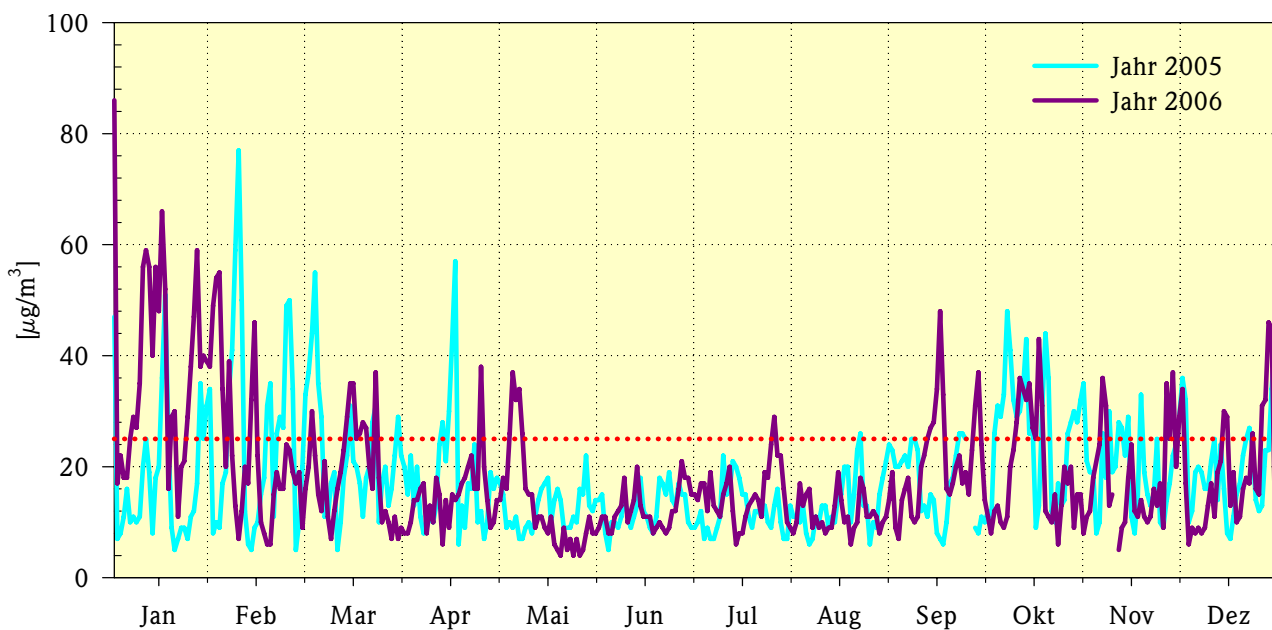


Abb. 12: Tagesmittelwerte der PM<sub>2,5</sub>-Konzentration an der Messstation mit Verkehrsschwerpunkt Wiesbaden-Ringkirche für die Jahre 2005 und 2006



**PM<sub>2,5</sub>-Tagesmittelwert:** An der Luftmessstation Wiesbaden-Ringkirche wird seit dem Jahr 2005 die Feinstaub-Fraktion PM<sub>2,5</sub> erhoben. Da die EG-Luftqualitätsrichtlinien künftig auch die Messung dieser Feinstaubfraktion verlangen, ist es wichtig, rechtzeitig eine Einschätzung der Belastungssituation zu erlangen.

Abbildung 12 gibt einen Verlauf der Tagesmittelwerte für Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>) für das Jahr 2005 und 2006 an der verkehrsnahen Messstation Wiesbaden-Ringkirche wieder. Im Verlauf eines Jahres schwanken die Konzentrationen nicht unerheblich. Im Vergleich zu den Monaten Mai bis August mit PM<sub>2,5</sub>-Tagesmittelwerten von unterhalb 20 µg/m<sup>3</sup> treten in den Herbst- und Wintermonaten deutlich höhere Konzentrationswerte auf. Gerade im Januar und Februar treten Belastungswerte auf, die Konzentrationen von 40 µg/m<sup>3</sup> und bis zu 60 µg/m<sup>3</sup> und darüber erreichen. Werden die Empfehlungen der WHO aus dem Jahr 2005 mit einem PM<sub>2,5</sub>-Tagesmittelwert von 25 µg/m<sup>3</sup> herangezogen, so kommt es eher in den Wintermonaten zu Überschreitungen.

## Zwei Episoden hoher Feinstaubbelastungen in Hessen Anfang des Jahres 2006

Zu Beginn des Jahres 2006 im Zeitraum von Januar

bis Anfang Februar kam es zu zwei Episoden mit ungewöhnlich hohen Feinstaubbelastungen in Hessen sowie in weiten Teilen von Deutschland und von Europa. Ein ausschlaggebender Einflussfaktor für diese Ereignisse war die zu dieser Zeit in Deutschland herrschende meteorologische Situation. Das Wettergeschehen war durch einen strengen Winter mit zwei kurz hintereinander folgenden stabilen Hochdruckwetterlagen maßgeblich geprägt und wurde nur kurzzeitig durch ein Tiefdruckgebiet unterbrochen. Die Hochdruckgebiete erstreckten sich über weite Teile Deutschlands und Europas. Vorherrschend war trockenes, kaltes, teilweise frostiges Wetter mit ausgeprägten schwachen Winden.

Die Lage der Hochdruckgebiete führte zur Ausbildung von Inversionswetterlagen. Zudem verhinderten die eher schwachen Winde eine Luftdurchmischung und damit auch einen Staubaustrag. Zusätzlich fiel innerhalb dieser Zeit die Niederschlagsrate relativ niedrig aus, so dass die Auswaschung von Stäuben aus der Luft nur gering war. Als Folge wurde in den Monaten Januar bis Februar nicht nur in Hessen, sondern auch in vielen Teilen von Deutschland mehrfach der PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwert von 50 µg/m<sup>3</sup> überschritten. Die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen erreichten in dieser Zeit in Hessen und in weiteren Gebieten von Deutschland und von Europa Werte von über 100 µg/m<sup>3</sup>. Allein

an der Messstation Frankfurt-Friedberger-Landstraße wurden bereits von Januar bis Mitte Februar 29 Überschreitungen des PM10-Tagesmittelwerts registriert. Nach den Vorgaben der 22. BImSchV sind im Jahr 35 Überschreitungen zugelassen.

Die hohen Feinstaubbelastungen waren die Folge von Überlagerungen regionaler und lokaler Belastungen mit Staubbelastungen aus Ferntransporten. Im Zusammenwirken dieser Belastungen mit den meteorologischen Bedingungen ergaben sich diese hohen Konzentrationen an Feinstaub. Umso wichtiger erscheinen in diesem Zusammenhang großräumige, regionale sowie lokale Maßnahmen für eine erfolgreiche Feinstaubreduzierung.

**Inversionswetterlagen:** In der Regel wird die Luft mit zunehmender Höhe immer kälter. Da wärmere Luft leichter ist als kalte, steigt diese nach oben auf. Kalte Luft sinkt dagegen zu Boden, erwärmt sich dort und steigt wiederum auf. Durch diesen Prozess werden die Luftmassen ständig bewegt und ausgetauscht.

Die Entstehungsursache für eine Umkehr der vertikalen Temperaturschichtung (Inversion) steht häufig im Zusammenhang mit einem Absinken und damit einer Erwärmung von Luftmassen von oben (Absinkinversion) her oder mit einer kräftigen Abkühlung am Erdboden in klaren Nächten (Strahlungsinversion). Dieses hat zur Folge, dass die Lufttemperatur im Übergangsbereich von der kalten bodennahen Luft zur wärmeren Höhenluft (in der Inversionsschicht) zunimmt. Man spricht in dieser Situation von einer Inversionswetterlage. Zu erkennen sind solche Wetterlagen daran, dass an hochgelegenen Messstationen eine höhere Temperatur im Vergleich zu geografisch tiefer liegenden Messstationen herrscht.

Abb. 13: Inversionswetterlage in Lochcarron (Quelle Wikipedia / Foto by S/V Moonrise)



Die sich bei einer Inversionswetterlage ausbil-

dende Grenzschicht oder auch Inversionsschicht wirkt wie eine Sperrschicht. Damit wird nicht nur der Auftrieb der von unten kommenden Warmluft verhindert, sondern auch der Aufstieg von Abgasen unterbunden. In Abbildung 13 ist diese Sperrschicht gut erkennbar. Die sichtbare weiße Rauchfahne durchdringt die Inversionsschicht nicht und knickt ab.

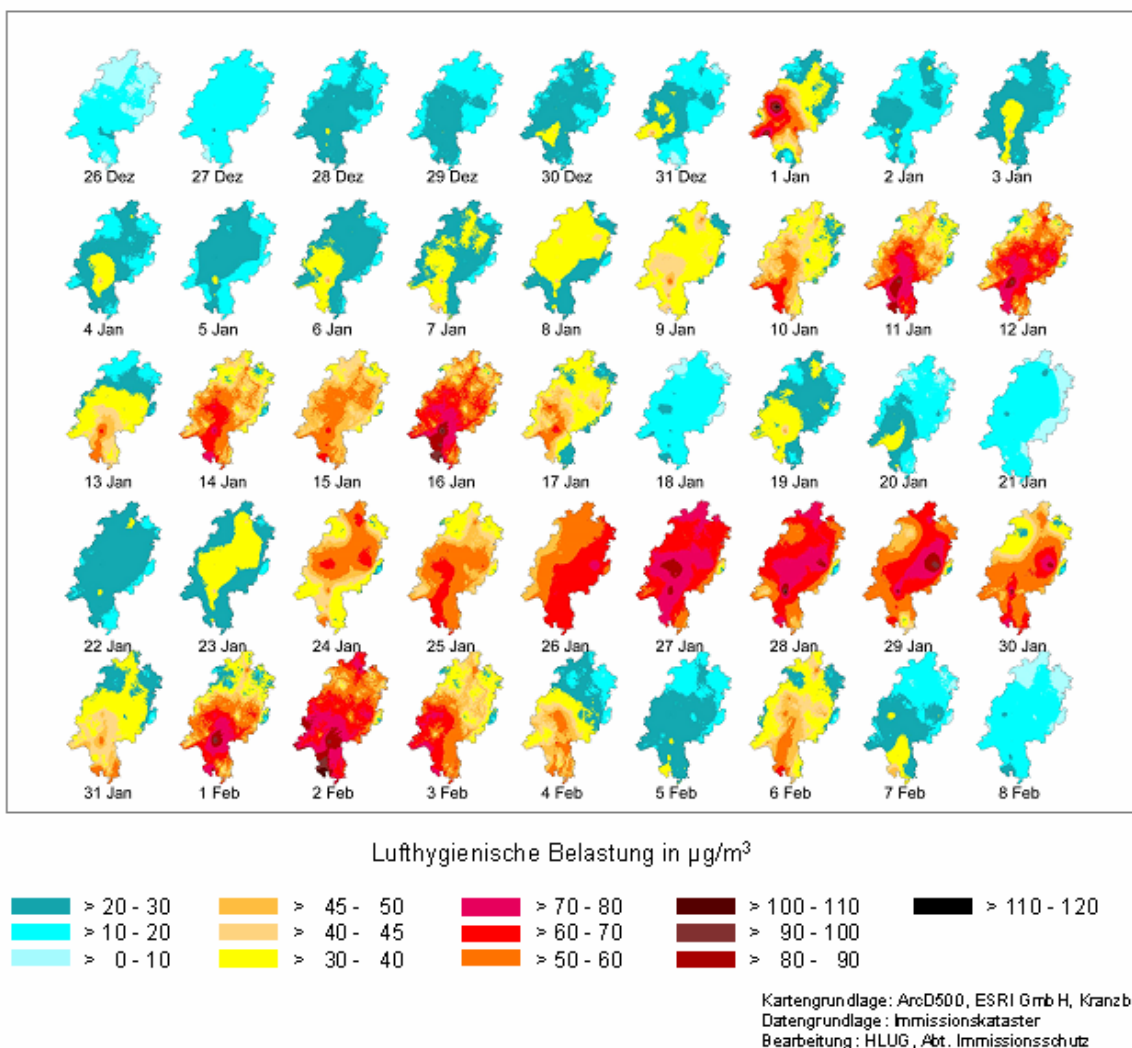
Insbesondere sehr feine Partikel verhalten sich quasi gasförmig und sind denselben turbulenten Austausch- und Transportbedingungen unterworfen wie die Luft selbst. Kommt es nun zur Ausbildung einer bodennahen Inversionsschicht, werden auch Feinstaubpartikel am weiteren Aufsteigen gehindert und reichern sich in der Kaltluftschicht am Boden an. Liegt diese Sperrschicht sehr niedrig, kann in unmittelbarer Bodennähe die Staubbelastung sehr stark ansteigen.

**Inversionswetterlagen im Zeitraum Januar bis Februar 2006:** Auswertungen des HLUK zu Temperaturverhältnissen an geografisch unterschiedlich hoch gelegenen Messstationen wiesen für die Zeiträume 10. bis 16. Januar 2006 und 24. Januar bis 3. Februar 2006 Inversionswetterlagen aus. Hierbei traten auch an den höher gelegenen Messstationen gegenüber den niedriger liegenden höhere Temperaturwerte auf. (Verglichen wurden Kassel-Nord (169 m ü. NN) mit Witzenhausen (600 m ü. NN), Frankfurt-Höchst (101 m ü. NN) mit Kleiner Feldberg (810 m ü. NN), Fulda-Mitte (310 m ü. NN) mit Wasserkuppe (938 m ü. NN) und Riedstadt (89 m ü. NN) mit Fürth/Odenwald (475 m ü. NN)).

**Zeitlicher Verlauf der Feinstaub (PM10) - Episoden in Hessen:** In Abbildung 14 ist für Hessen der zeitliche Verlauf der zwei PM10-Episoden zu Beginn des Jahres 2006 wiedergegeben. Hierzu wurden für den aufgeführten Zeitraum die an den hessischen Luftmessstationen punktuell erhobenen PM10-Tagesmittelwerte mittels des Computerprogramms FLADIS in eine flächenhafte Immissionsdarstellung überführt.

**Erste Feinstaub (PM10) - Episode:** Der Beginn der ersten Feinstaub-Episode ist am 9. Januar 2006 in Südhessen und endet dort am 17. Januar 2006. Innerhalb dieses Zeitraums ergibt sich für die Höhe der PM10-Belastungen ein geografisches Nord-Süd-Gefälle. Dominierend sind die Staubbelastungen in Südhessen mit Tagesmittelwerten von maximal über  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die niedrigsten Belastungen mit

Abb. 14: Verlauf der Feinstaub (PM10) - Belastung in Hessen vom 26.12.2005 bis 08.02.2006

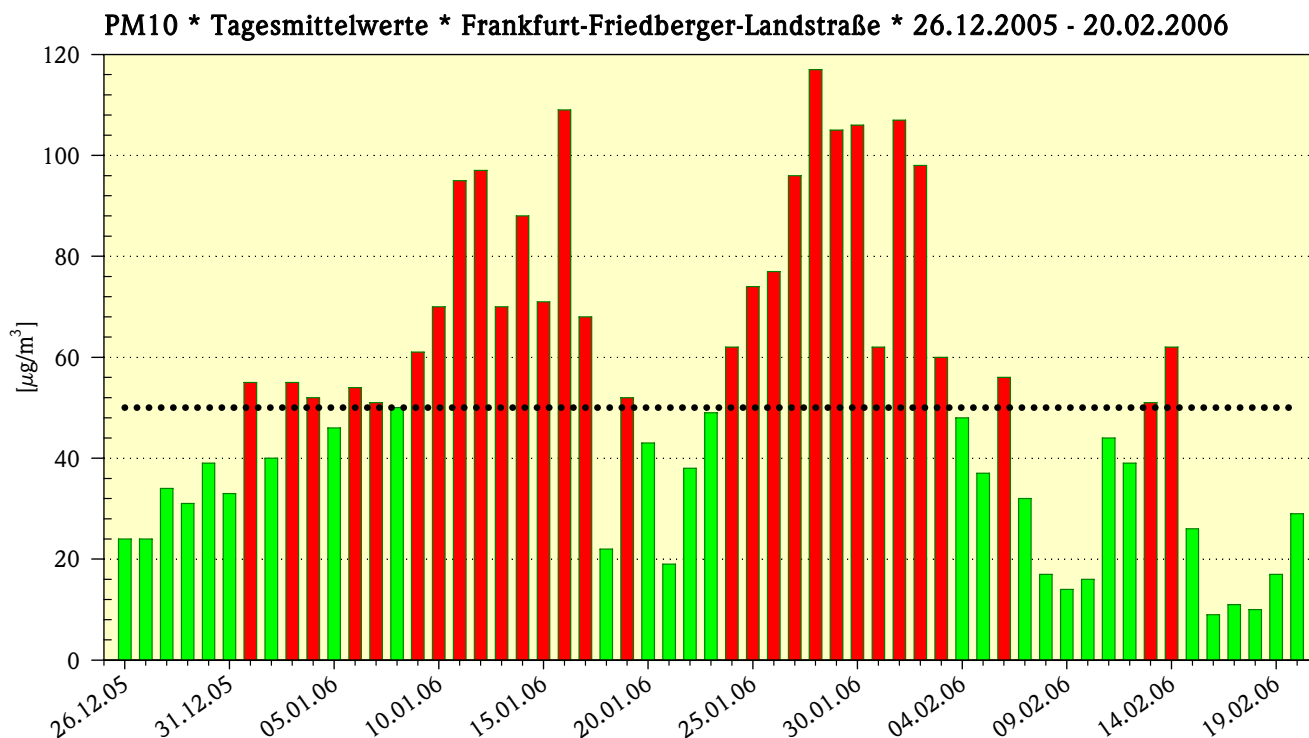


Werten bis zu  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  treten in Nordhessen auf. Am Ende der Feinstaub-Episode sinken in fast allen Regionen die PM10-Belastungen auf etwa 10 bis  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ab. Im Vergleich von städtischen und ländlichen Messstationen (hier nicht abgebildet) fällt auf, dass während der Feinstaub-Episode an den städtischen Stationen ein durchweg ähnlicher Verlauf der Belastungen durch Feinstaub (PM10) vorherrscht. Dagegen kommt es in den ländlichen Gebieten zu unterschiedlichen Verläufen der PM10-Belastungen, die sich über Konzentrationsbereiche von unter  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Messstation Wasserkuppe) bis zu  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Messstation Riedstadt) erstrecken. An den städtischen und auch an den ländlichen Messstationen kommt es gegenüber den sonst gemessenen Belastungen zu deutlichen Er-

höhungen um das Mehrfache der PM10-Konzentrationen.

**Zweite Feinstaub (PM10) - Episode:** Die zweite Feinstaub-Episode verläuft vom 24. Januar 2006 bis 3. Februar 2006. Sie beginnt in Mittelhessen und endet in Südhessen. Innerhalb der ersten Episodenhälfte treten in Süd-, Mittel- und Nordhessen ähnlich hohe PM10-Tagesmittelwerte auf. Die höchsten PM10-Konzentrationen erreichen Werte oberhalb von  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Zum Ende der zweiten Episode fallen die Belastungen mit Werten im Bereich von 10 bis  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auf ähnliche hohe Konzentrationswerte wie am Ende der ersten Feinstaub-Episode ab. Der Verlauf der Feinstaubbelastungen innerhalb der zweiten Episode ist an den städtischen und ländlichen Messstationen ähnlich.

Abb. 15: PM10-Tagesmittelwerte an der Messstation in Frankfurt in der Friedberger Landstraße im Zeitraum vom 26.12.2005 bis 20.02.2006 (Grenzwertüberschreitung des PM10-Tagesmittelwerts rot markiert)



**Überschreitungen des PM10-Tagesmittelwerts während der Feinstaub (PM10) - Episoden:** Nach der 22. BImSchV darf für Feinstaub (PM10) ein Tagesmittelwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Kalenderjahr maximal 35mal überschritten werden. Innerhalb der beiden Feinstaub-Episoden traten die häufigsten Überschreitungen des Tagesmittelwerts an der Verkehrsmessstation Frankfurt-Friedberger-Landstraße auf. Dort kam es von Januar 2006 bis Mitte Februar 2006 zu insgesamt 29 Überschreitungen, davon entfielen auf die erste Feinstaub-Episode neun und auf die zweite mit allgemein

höheren Feinstaubbelastungswerten elf Überschreitungen.

Abbildung 15 zeigt für den Zeitraum der beiden Feinstaub (PM10) - Episoden die an dieser Messstation erhobenen Tagesmittelwertkonzentrationen. Deutlich heben sich die Verläufe der Episoden ab. Innerhalb der beiden Episoden erreichen die Feinstaubbelastungen PM10-Konzentrationswerte von etwa  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bis  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und darüber. Während des Verlaufs beider Episoden wird der Tagesmittelwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an keinem Tag eingehalten.

### Was kann der Einzelne tun?

- ⊗ Verringerung der Fahrten mit dem eigenen PKW
- ⊗ Umsteigen auf den öffentlichen Nahverkehr
- ⊗ Bildung von Fahrgemeinschaften
- ⊗ Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit
- ⊗ Ausrüstung des Dieselfahrzeugs mit Partikelfilter
- ⊗ Vermeidung abgasintensiver Maschinen und Geräte
- ⊗ Verminderung von emissionsintensivem Holzeinsatz in Kleinfeuerungsanlagen

## Fragen und Antworten zu Feinstaub (PM10)

**Was ist Feinstaub?** Als Feinstaub gelten feste und flüssige feine Partikel, die luftgetragen in der Atmosphäre (Aerosol) vorliegen. Partikel unterscheiden sich in ihren physikalischen (z. B. Größe, Masse, Oberfläche, Struktur) und chemischen (z. B. Löslichkeit, Inhaltsstoffe) Eigenschaften. An Feinstaubpartikel können auch beispielhaft Pollen, Pilzsporen, Bakterien angelagert sein. Der Begriff Feinstaub wird üblicherweise zur Bezeichnung der Feinstaub-Fraktion (PM10) und der „feinen Staubfraktion“ PM2,5 verwendet.

**Wie entstehen Partikel?** Der Quellenursprung ist natürlich (Vulkanausbruch) oder anthropogen (Verbrennungsprozesse). Primäre Partikel werden direkt aus einer Quelle (z. B. Kfz-Verkehr) freigesetzt. Sekundäre Partikel werden aus gasförmigen Vorläufersubstanzen (z. B. Schwefeldioxid, Stickstoffoxiden, Ammoniak) in der Atmosphäre erst gebildet.

**Welche Partikelgrößen sind relevant?** Die Größe des aerodynamischen Partikeldurchmessers bestimmt sowohl für die Partikel in der Atmosphäre relevante Prozesse als auch beim Menschen gesundheitliche Wirkungen im Atemtrakt. Relevante Partikeldurchmesser sind: PM10 (kleiner als 10  $\mu\text{m}$ ), PM2,5 (kleiner als 2,5  $\mu\text{m}$ ) und PM0,1 (ultrafeine Partikel kleiner als 0,1  $\mu\text{m}$ ) (PM steht für „particulate matter“).

**Welche Partikel werden nach Einatmung wo im Atemtrakt deponiert?** Partikel (PM10) werden meist im oberen Atemwegsbereich abgelagert. Partikel (PM2,5) bzw. (PM0,1) dringen tiefer in die Bronchien bzw. bis in die Alveolen vor. Dort können sie deponiert als auch in die Blutbahn gelangen und im Organismus verteilt werden.

**Welches sind die gesundheitlichen Auswirkungen bei einer Feinstaubexposition?** Langfristig als auch kurzfristig können erhöhte Expositionen zu gesundheitlichen Effekten führen. Im Vordergrund stehen Erkrankungen der Atemwege und des Herz-Kreislaufsystems, Lungenfunktionsverschlechterungen, Todesfälle durch Herz-Kreislaufkrankungen und Lungenkrebs. Eine Konzentrationsschwelle, unterhalb derer keine gesundheitlichen Wirkungen auftreten, ist nicht erkennbar.

**Gibt es Risikogruppen?** Als Risikogruppen gelten ältere Menschen, Kinder, Asthmatiker und Personen mit Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen.

**Welche Immissionsgrenzwerte gelten?** Nach der 22. BImSchV (2002) gelten: Ein PM10-Tagesmittelwert von 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mit maximal 35 zulässigen Überschreitungen im Jahr sowie ein PM10-Jahresmittelwert von 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Überschreitungen der Grenzwerte führen zur

Aufstellung eines Maßnahmen- bzw. Aktionsplans. Das gesundheitliche Risiko nimmt bei Überschreitung des Grenzwerts zu.

**Wer überwacht und beurteilt die PM10-Messwerte in Hessen?** Von dem Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie werden die PM10-Messstellen nach den Vorgaben der 22. BImSchV (2002) kontinuierlich betrieben sowie die Messergebnisse ausgewertet, beurteilt und veröffentlicht.

**Wo finde ich Informationen und Ansprechpartner?** Im Informationsdienst des Hessischen Landesamts für Umwelt und Geologie (HLUG) und bei Ihrem vor Ort zuständigen Gesundheitsamt.

- Internet-Adresse <http://www.hlug.de>
- Informationstelefon des HLUG: 0611/6939-666
- Videotext – Hessischer Rundfunk – Hessentext: Tafel 178 bis 182 (aktuelle Messwerte) Tafel 174 bis 177 (Wetterdaten)
- Fax-auf-Abruf-Service des HLUG: 0611/18061-000 bis 009 (Übersicht unter 0611/18061-000)
- Mobilfunk: <http://wap.hlug.de>

## Gesetzliche Grundlagen

- Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft – 22. BImSchV) vom 11. September 2002 (BGBl. I S. 3626) – (BGBl. III 2129-8-22-1) –
- Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität (Luftqualitäts-Rahmenrichtlinie)
- Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft (1. Tochterrichtlinie)

### Impressum

Bearbeiter: Dr. J. Witten  
Dipl.-Ing. W. Stec-Lazaj  
Layout: Dr. J. Witten  
Dipl.-Ing. W. Stec-Lazaj

Herausgeber:  
Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Postfach 3209, 65022 Wiesbaden  
Telefon: 0611/6939-0      Telefax: 0611/6939-555

Vertrieb:      Telefon: 0611/6939-111  
E-Mail: [vertrieb@hlug.de](mailto:vertrieb@hlug.de)  
Telefax: 0611/6939-113