



Feinstaub PM₁₀

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 µm in drei Größenkategorien unterteilt:

Feinstaub PM₁₀ oder inhalierbare Feinstaubpartikel:

Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 10 Mikrometer (< 10 µm) ist.

Feinstaub PM_{2,5} oder lungengängige Feinstaubpartikel:

Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als 2,5 Mikrometer (< 2,5 µm).

Ultrafeine Partikel (UFP oder PM_{0,1}):

Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 0,1 Mikrometer oder kleiner als 100 Nanometer (< 0,1 µm entspricht < 100 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 µm (siehe Abbildung 1).

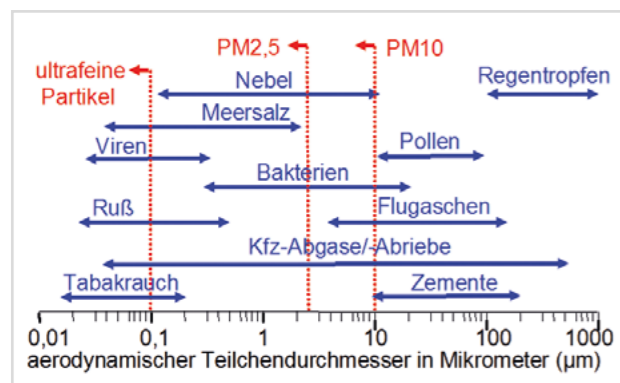


Abb. 1: Größenbereiche von Partikeln in der Atmosphäre

Aerodynamischer Durchmesser:

Berechneter Durchmesser einer Kugel mit der Dichte von 1 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 PM_{10} -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 Inhaltsstoffe 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 (vorwiegend Holzbrennstoffe) sowie Anlagen zum Brechen und Klassieren von Steinen, Eisengießereien und Bitumenmischanlagen.

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 Baustellentätigkeiten 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-Fraktionen:

Die unterschiedlichen Quellen bestimmen auch die Zusammensetzung der einzelnen Partikelfraktionen. Abbildung 2 zeigt in Abhängigkeit der Partikelgröße die relativen Anteile der Quellen an der Gesamtemission von PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ und $\text{PM}_{0,1}$. So kommt es mit abnehmender Partikelgröße zur Verdoppelung des

Anteils des Kraftfahrzeugverkehrs in der $\text{PM}_{0,1}$ -Gesamtstaubfraktion im Vergleich zur PM_{10} -Gesamtstaubfraktion. Gegenläufig verhalten sich hierbei die Anteile der Verbrennungs- und Industrieprozesse.

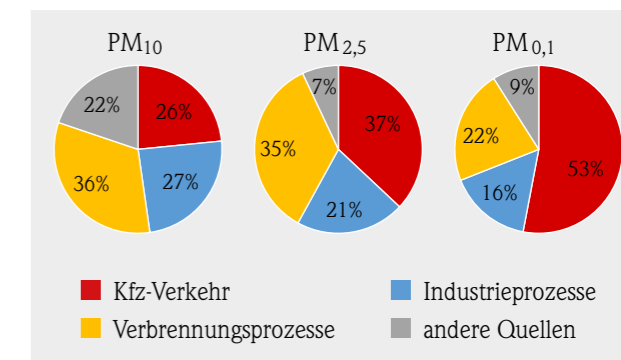


Abb. 2: Aufschlüsselung der Quellenanteile an den Gesamtemissionen von PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ und $\text{PM}_{0,1}$ in Großbritannien (modifiziert nach Veröffentlichung AQEG 2005)

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 PM_{10} -Emissionen nach Emittentengruppen in Hessen

Die in Hessen an den staubförmigen Luftverunreinigungen beteiligten anthropogenen Quellen werden seit Ende der siebziger Jahre durch das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie für ausgewiesene Gebiete in einem Emissionskataster geführt und beurteilt (Emission = Freisetzung). Seit 1990 erfolgt auf den Grundlagen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes eine landesweite Erfassung der Emissionen. Hier wurden neben den anthropogenen Quellen zusätzlich auch natürliche Quellen ergänzt. Die Daten werden je nach Emittentengruppe in der Regel alle vier bis sechs Jahre fortgeschrieben. Das Emissionskataster dient als wichtige Voraussetzung für eine nachhaltige Luftreinhalteplanung.

Die Abschätzung des primär emittierten Feinstaubes PM_{10} erstreckt sich auf die gesamte Landesfläche. Betragen für Hessen im Jahr 2000 die Jahresemissionen an Feinstaub PM_{10} noch 9.535 Tonnen pro Jahr, so verringerte sich diese Menge aktuell auf 8.037 Tonnen pro Jahr.

In der Abbildung 3 sind die hessenweiten Feinstaub PM_{10} -Emissionen der einzelnen Emittentengruppen dargestellt.

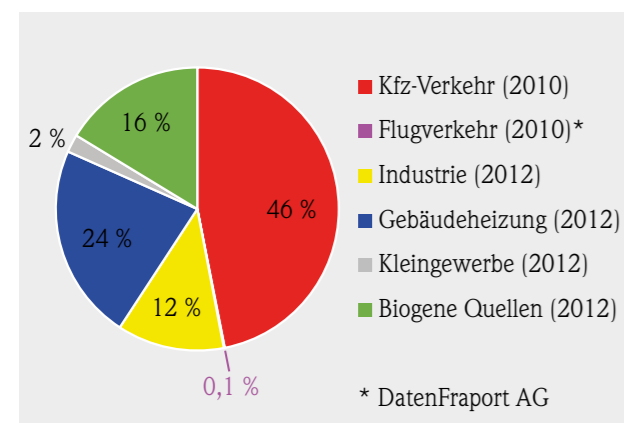


Abb. 3: Relative Anteile an den aktuellen Jahresemissionen für Feinstaub PM_{10} aufgeschlüsselt nach den verschiedenen Emittentengruppen

In der aktuellen Erhebung dominiert der Anteil des Kraftfahrzeugverkehrs mit etwa 46 %. Darauf folgen die Emittentengruppen Gebäudeheizung mit etwa 24 %, die biogenen und nicht gefassten Quellen mit 16 % und die Industrie mit 12 %. Während der Anteil an den Feinstaub PM_{10} -Emissionen der Emittentengruppe Kleingewerbe mit 2 % vergleichsweise gering ausfällt, ist der Flugverkehr mit einem Anteil von 0,1 % fast nicht mehr erkennbar.

Gesundheitliche Wirkungen

Gesundheitliche Wirkungen von Partikeln auf den Menschen sind abhängig von der Partikelmassenkonzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) und der Partikelanzahl (Partikel/ 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 Atemtraktssystem 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 zusätzlich weiterer Faktoren in unterschiedlichen Regionen des Atemtrakts ab (siehe Abbildung 4).

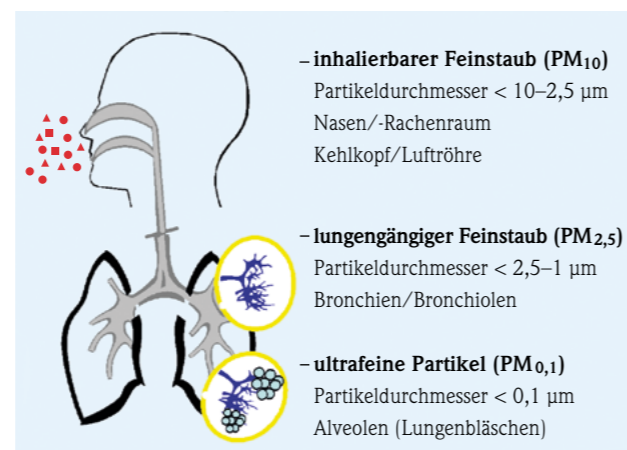


Abb. 4: Belastungen durch Partikel in unterschiedlichen Regionen des Atemtrakts

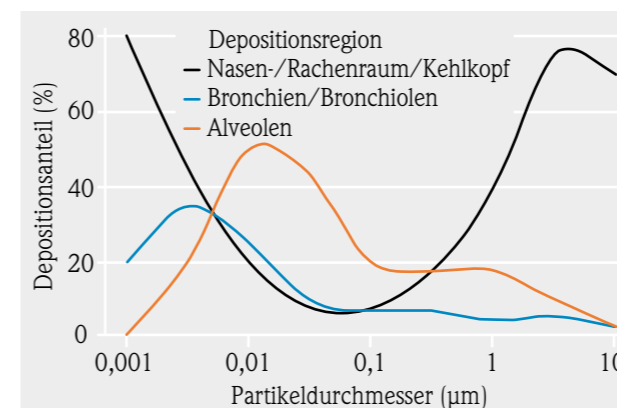


Abb. 5: Partikeldeposition als Funktion des Partikeldurchmessers in bestimmten Regionen des Atemtrakts bei Nasenatmung des Menschen (modifiziert nach Veröffentlichung Oberdörster 2005)

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 inhaled Partikel mit entsprechend unterschiedlich hohen Anteilen (Depositionsraten) in den bestimmten Regionen des Atemtrakts deponiert.

Partikelgrößen von 10 μm bis zu 2,5 μm :

Partikel mit einer Größe von etwa 10 bis 2,5 μm 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 μm bis zu 0,1 μm :

Die noch feineren Partikel mit Größen von kleiner 2,5 μm bis etwa 1 μm 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 μm bis 0,1 μm 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 μm :

Die sehr viel kleineren, die ultrafeinen Partikel mit einem Durchmesser kleiner als 0,1 μm 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 μm eine deutlich höhere Gesundheitsgefährdung auf. Im Lungengewebe abgelagerte Partikel lösen in Abhängigkeit von ihrer Zusammensetzung Reizwirkungen oder entzündliche Prozesse an Geweben 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-Kreislauferkrankungen.

Ein ständiger Entzündungsreiz vermag die Immunabwehr zu mindern, was wiederum zu einer erhöhten Infektanfälligkeit führen kann. Für bestimmte unlösliche ultrafeine Partikel (wie Diesel-, Industrie-ruß) 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 gesundheits-schädliche 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 PM_{2,5} führen bei Erwachsenen und bei Kindern sowohl zu akuten gesundheitlichen Effekten als auch zu chronischen Gesundheitsschäden.

Gesundheitliche Effekte gegenüber Feinstaubexpositionen in der Außenluft	
Kurzzeitexposition	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 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	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 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 PM_{2,5}) 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. 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-Kreislauf-Erkrankungen. Bei einem kurzfristigen Anstieg der PM₁₀-Konzentration um 10 µg pro m³ 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 PM_{2,5} ein stärkerer Beitrag an den beobachteten gesundheitlichen Wirkungen. Bei einer um 10 µg/m³ im Jahresmittel höheren PM_{2,5}-Exposition steigt das Sterblichkeitsrisiko um 6 %. Als Folge der Belastungen durch Feinstaub PM_{2,5} wird für Deutschland eine um etwa 9 Monate verkürzte Lebenserwartung genannt.

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 Spitzenbelastungen 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 PM_{2,5} befürwortet die WHO, zusätzlich PM_{2,5} als Parameter für gesundheitliche Wirkungen zu berücksichtigen. Die Empfehlungen aus dem Jahr 2005 sehen für Partikel PM_{2,5} einen Tagesmittelwert von 25 µg/m³ und einen Jahresmittelwert von 10 µg/m³ 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 µg/m³ und einen Jahresmittelwert von 20 µg/m³.

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 22. BImSchV wurde im Jahr 2004 in die 33. BImSchV und schließlich am 2. August 2010 in die 39. BImSchV überführt.

Die immissionsbezogenen Grenzwerte für Feinstaub PM₁₀ erfassen messtechnisch die Massenkonzentration der inhalierbaren Partikel in Mikrogramm pro Kubikmeter Luft (µg/m³). In die gesundheitsbezogene Beurteilung gehen Langzeitwirkungen mit einem Jahresmittelwert und Kurzzeiteffekte über einen Tagesmittelwert ein. Zusätzlich gilt für den Tagesmittelwert eine Beschränkung der Überschreitungshäufigkeit.

Folgende Grenzwerte sind festgeschrieben:

Immissionsgrenzwerte für Partikel PM ₁₀ * in der 39. Bundes-Immissionsschutz-Verordnung (39. BImSchV)	
Mittelungszeitraum	Grenzwerte für Partikel PM ₁₀
24-Stunden	50 µg/m³ Bei 35 zugelassenen Überschreitungen im Kalenderjahr
Kalenderjahr	40 µg/m³

*Partikel PM₁₀: Die Partikel, die einen gröbselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm einen Abscheidegrad von 50 % aufweist.

Grenzwertüberschreitungen führen nach der 39. BImSchV zur Aufstellung eines Luftreinhalteplans. In dem Plan sind u. a. das betreffende Gebiet auszuweisen, die Feinstaubverursacher zu identifizieren sowie Maßnahmen zur Feinstaubreduzierung festzulegen. Informationen zu den hessischen Luftreinhalteplänen sind auf der Internetseite des HLNUG zu finden.

Luftmessstationen in Hessen

Zur Überwachung der Immissionsituation in Hessen betreibt das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) 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. 39. 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 2017 wurden insgesamt 35 Immissionsmessstationen unterhalten: 13 Stationen in Städten, 11 im ländlichen Raum und 11 Stationen an Verkehrsschwerpunkten. Die Luftmessstationen sind bei unterschiedlicher Bestückung mit Geräten zur Erfassung folgender Komponenten ausgerüstet, welche zur Charakterisierung der Luftqualität notwendig sind: Schwefeldioxid (SO₂), Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂), Benzol, Toluol und m-/p-Xylol (BTX), Ozon (O₃), **Feinstaub PM₁₀** und meteorologische Einflussgrößen. An 7 Messstationen wird auch die Feinstaub-Fraktion PM_{2,5} erhoben.

Die Messungen der Parameter verlaufen kontinuierlich mit in den Messstationen integrierten automatisierten Analysegeräten, die einer ständigen Überprüfung unterliegen. Die Messwerte werden als

Halbstundenmittelwerte an die Messnetzzentrale im HLNUG übertragen und dort auf Plausibilität geprüft.

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

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 39. BImSchV und wird vom HLNUG durchgeführt.

PM₁₀-Jahresmittelwert:

In Abbildung 7 sind die Jahresmittelwerte für den Zeitraum von 1994 bis 2016 dargestellt, wobei diese Werte für den Zeitraum von 1994 bis 1999 durch Umrechnung von Gesamtschwebstaub auf Feinstaub PM₁₀ und ab dem Jahr 2000 durch Feinstaub PM₁₀-Messungen erhalten wurden. Im gesamten Messzeitraum von den 80er Jahren bis heute 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 µg/m³, so bewegt er sich 2016 im Bereich von etwa 20 µg/m³, was der Hälfte des gültigen Grenzwertes 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.

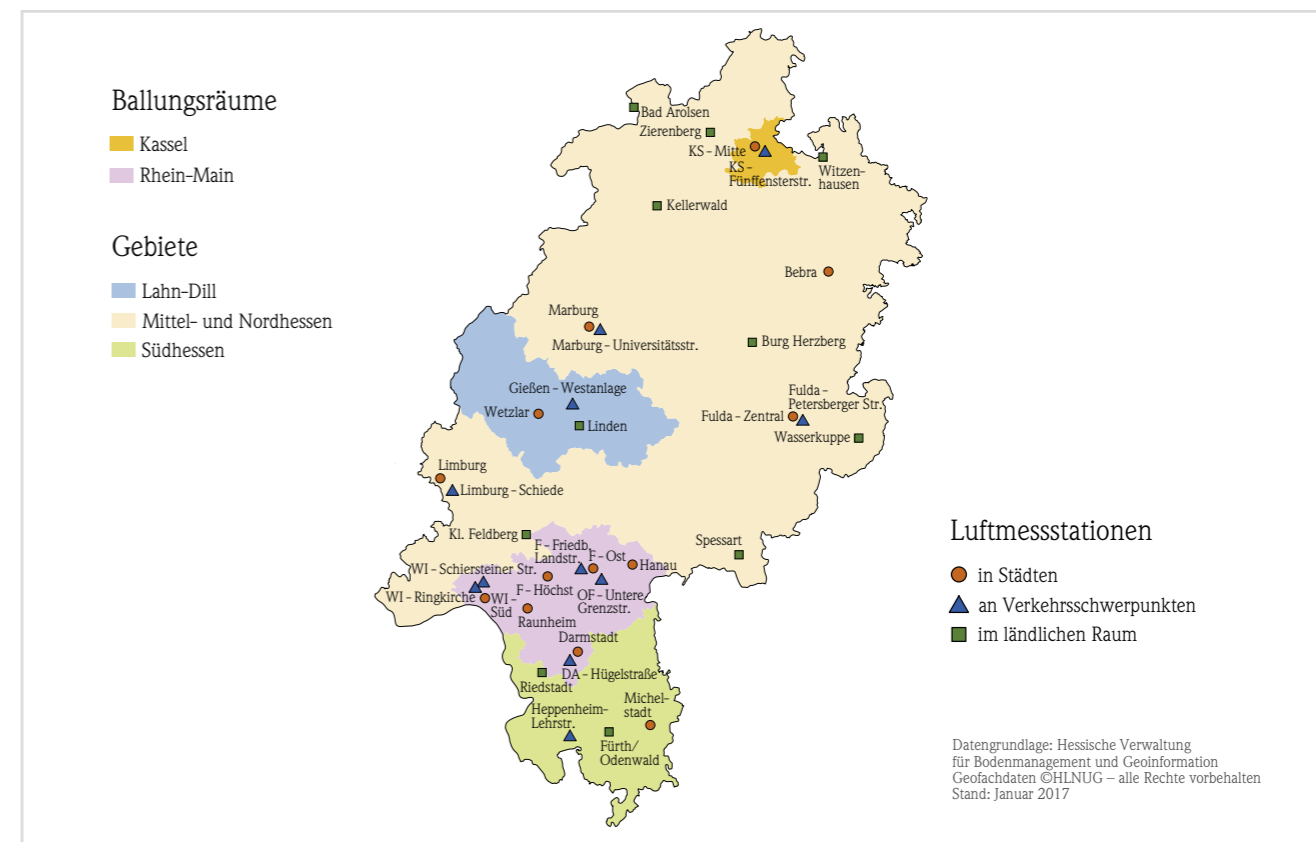


Abb. 6: Luftmessstationen in Hessen

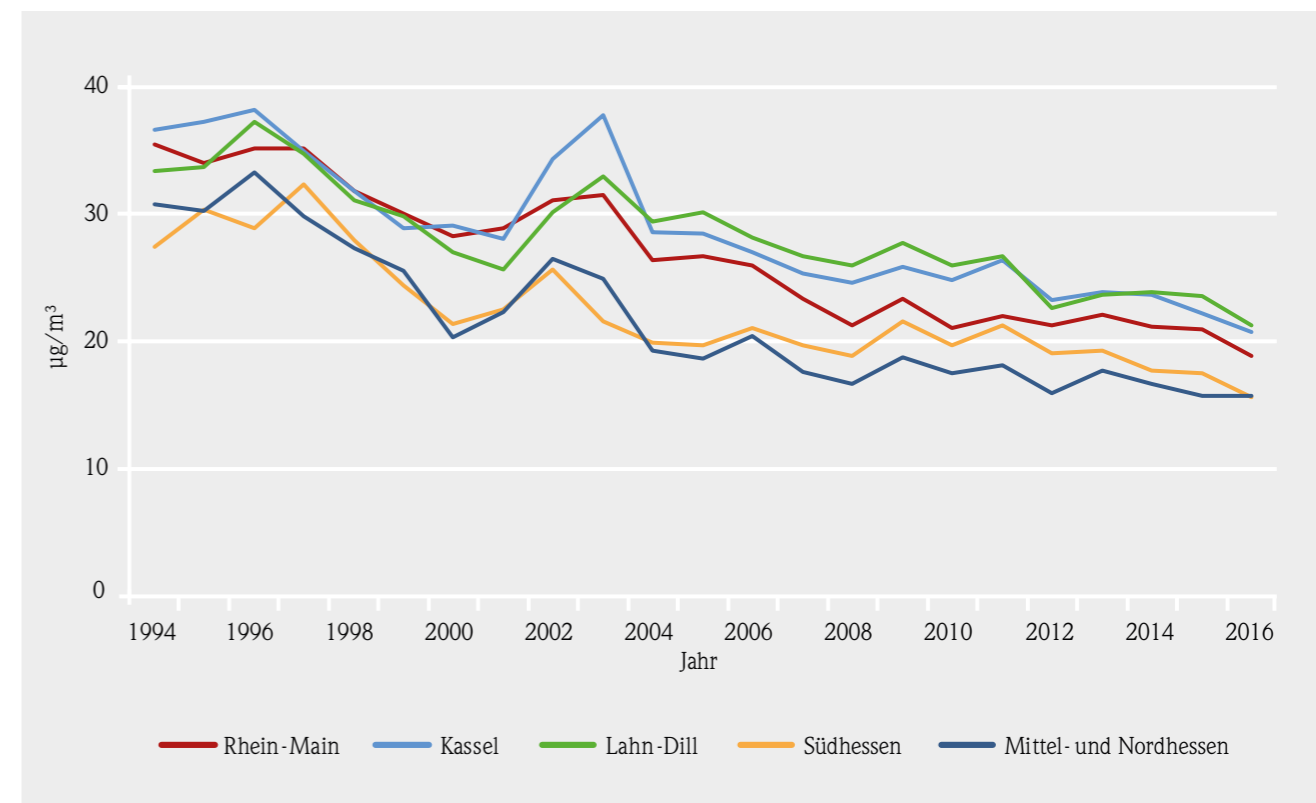


Abb. 7: Jahresmittelwerte*) der PM₁₀-Konzentration in den hessischen Ballungsräumen und Gebieten für den Zeitraum von 1994 bis 2016 in µg/m³

*) die Jahreswerte von 1994 bis 1999 wurden aus den Gesamtschwebstaubwerten errechnet

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 und beständig weiter gesunken.

Der seit 2005 mit der 22. BImSchV für den PM_{10} -Jahresmittelwert festgelegte Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird im Jahr 2016 an allen hessischen Messstationen unterschritten (siehe Abbildung 8). Die Ausschöpfung des Grenzwerts liegt an den höchst belasteten Stationen bei etwa 60 %, dies betrifft die Verkehrsschwerpunkte Frankfurt-Friedberger-Landstraße, Darmstadt-Hügelstraße, Limburg-Schiede und Kassel-Fünffensterstraße. Im Gegensatz dazu wird an den städtischen Stationen der Grenzwert zu etwa 40 % unterschritten, wobei sich im Jahresmittel die Konzentrationen im Bereich von $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bewegen. Die ländlichen Stationen füllen den Grenzwert 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 PM_{10} wird nach den Vorgaben der 39. 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 PM_{10} -Werten können im Winter bei Inversionswetterlagen mit geringem Luftaustausch auftreten. Hierbei verbleiben die emittierten Partikel in bodennahen Luftschichten. Zusätzlich treten in den kälteren Wintermonaten verstärkt Feinstaubbelastungen aus Hausbrand auf.

Im Jahr 2016 weisen die PM_{10} -Tagesmittelwerte in den Monaten von Januar bis März sowie September bis Dezember gegenüber den Sommermonaten allgemein höhere Konzentrationswerte auf

(siehe Abbildung 10). Besonders in den Wintermonaten reichen die PM_{10} -Konzentrationen bis über $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Im Gegensatz dazu liegen die Belastungen von April bis August unterhalb von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die höchsten PM_{10} -Konzentrationen treten allgemein an den Messstationen mit Verkehrsschwerpunkten auf, gefolgt von den städtischen Stationen. Die Luftmessstationen im ländlichen Raum zeigen die geringsten Feinstaubbelastungen mit PM_{10} -Konzentrationen um $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und darunter auf.

PM₁₀-Tagesmittelwertüberschreitungen:

Überschreitungen des PM_{10} -Tagesmittelwerts an den einzelnen Messstationen sowie ihre Anzahl werden durch das HLNUG dokumentiert und auf dessen Internetseite aktuell veröffentlicht und täglich fortgeschrieben. Überschreitungen des durch die 39. BImSchV vorgeschriebenen PM_{10} -Tagesmittelwerts von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ treten an Messstationen sowohl in verkehrsreicher als auch in städtischer und ländlicher Lage auf (siehe Abbildung 11). Die größte Anzahl an Überschreitungen 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 (siehe Abbildung 8).

Im Jahr 2016 wurde die gesetzliche Vorgabe (39. BImSchV), mit im Jahr maximal 35 Überschreitungen des festgelegten PM_{10} -Tagesmittelwerts, an allen Messstationen eingehalten, und zwar das fünfte Jahre in Folge. Mehr als 35 Überschreitungstage gab es zuletzt 2011 an zwei verkehrsbezogenen Messstationen in Frankfurt am Main und Darmstadt.

Nach den Vorgaben der 39. BImSchV waren die mehrmaligen Grenzwertüberschreitungen des PM_{10} -Tagesmittelwerts Anlass zur Aufstellung und Veröffentlichung von Luftreinhalteplänen in den Städten Frankfurt und Darmstadt sowie im Ballungsraum Kassel durch das Hessische Umweltministerium. Diese Pläne sind auf der Internetseite des HLNUG veröffentlicht.

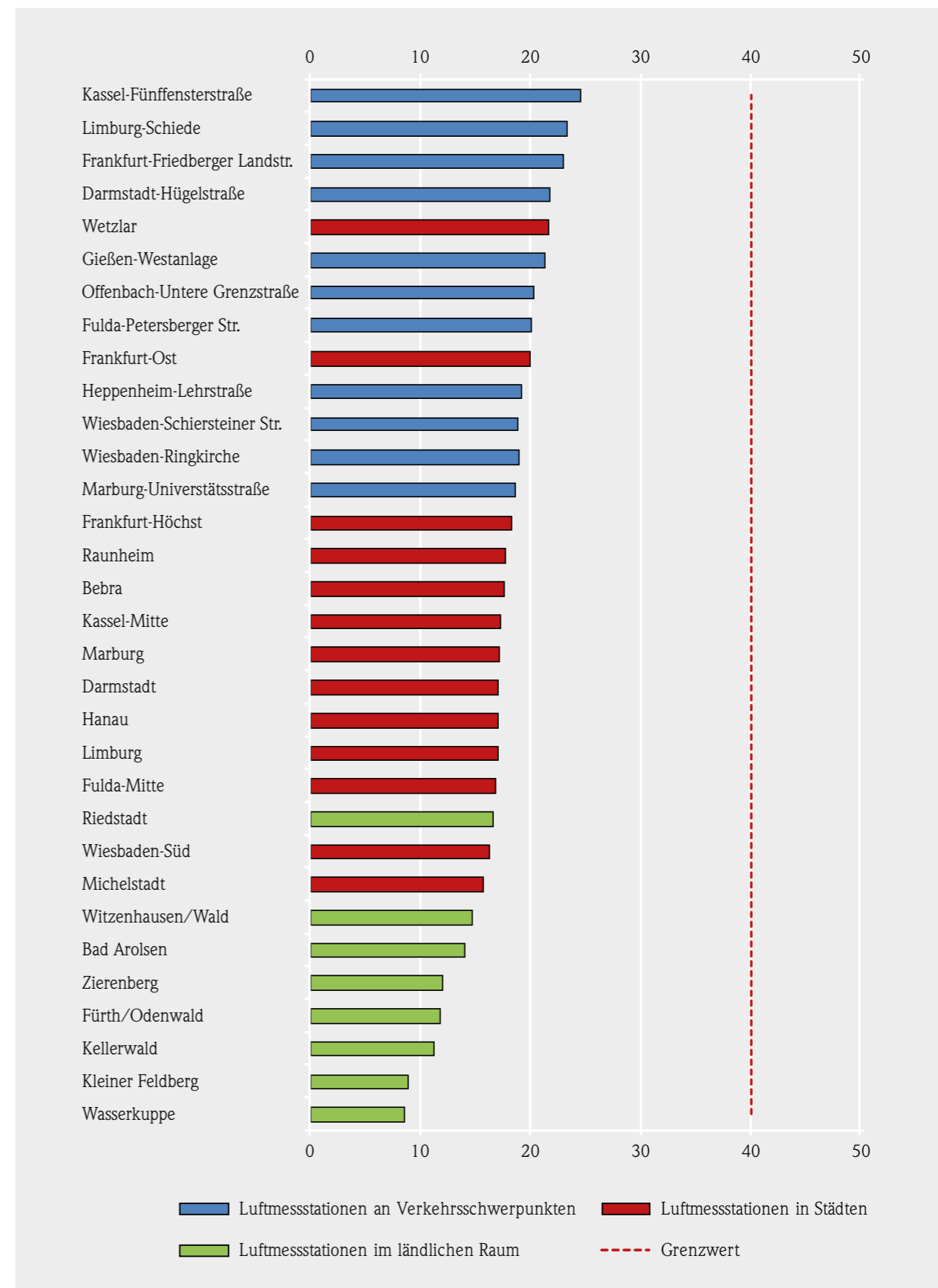


Abb. 8: Jahresmittelwerte der PM_{10} -Konzentration in Hessen für das Jahr 2016 aufgeschlüsselt nach den PM_{10} -Messstationen und absteigend sortiert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

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 Ferntransport von Feinstaub PM_{10} die Partikelbelastung in städtischen Gebieten (siehe Abbildung 9). So entfallen auf diesen Anteil an der Partikelbelastung an den Messstationen an Verkehrsschwerpunkten Frankfurt-Friedberger-Landstraße und Darmstadt-Hügelstraße etwa 44 % bzw. 42 %.

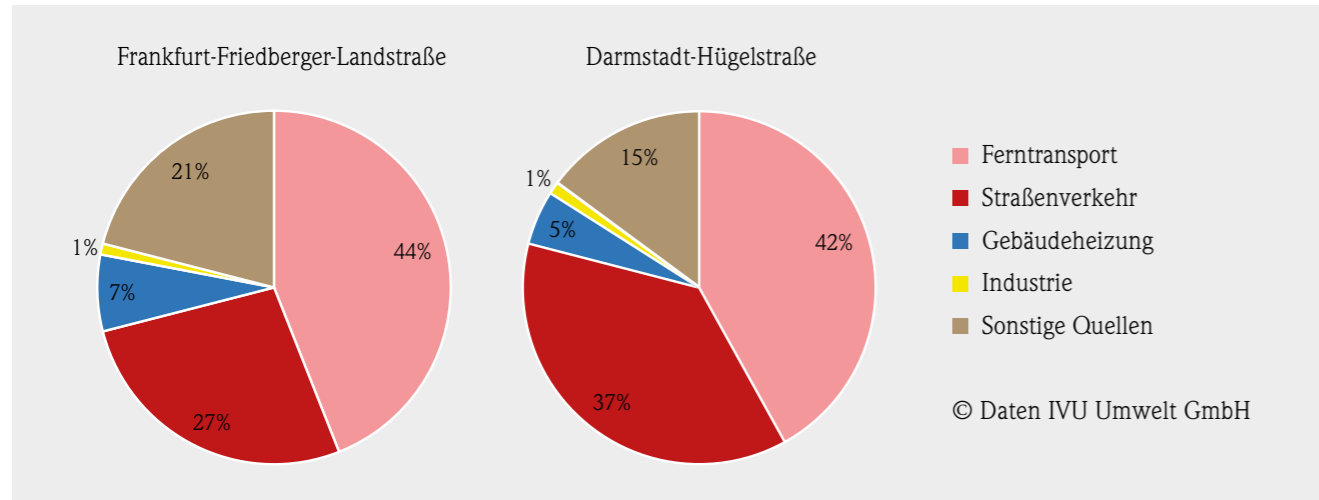


Abb. 9: Anteilige Aufschlüsselung der Verursacheranteile Feinstaub PM_{10} , relativ im Jahr 2013 nach Emittentengruppen an Messstationen mit Verkehrsschwerpunkten (modifiziert nach Fa. IVU GmbH Endbericht „Ausbreitungsberechnungen zur flächendeckenden Ermittlung der Luftqualität in Hessen als Grundlage der Luftreinhalteplanung“ vom 25.01.2017)

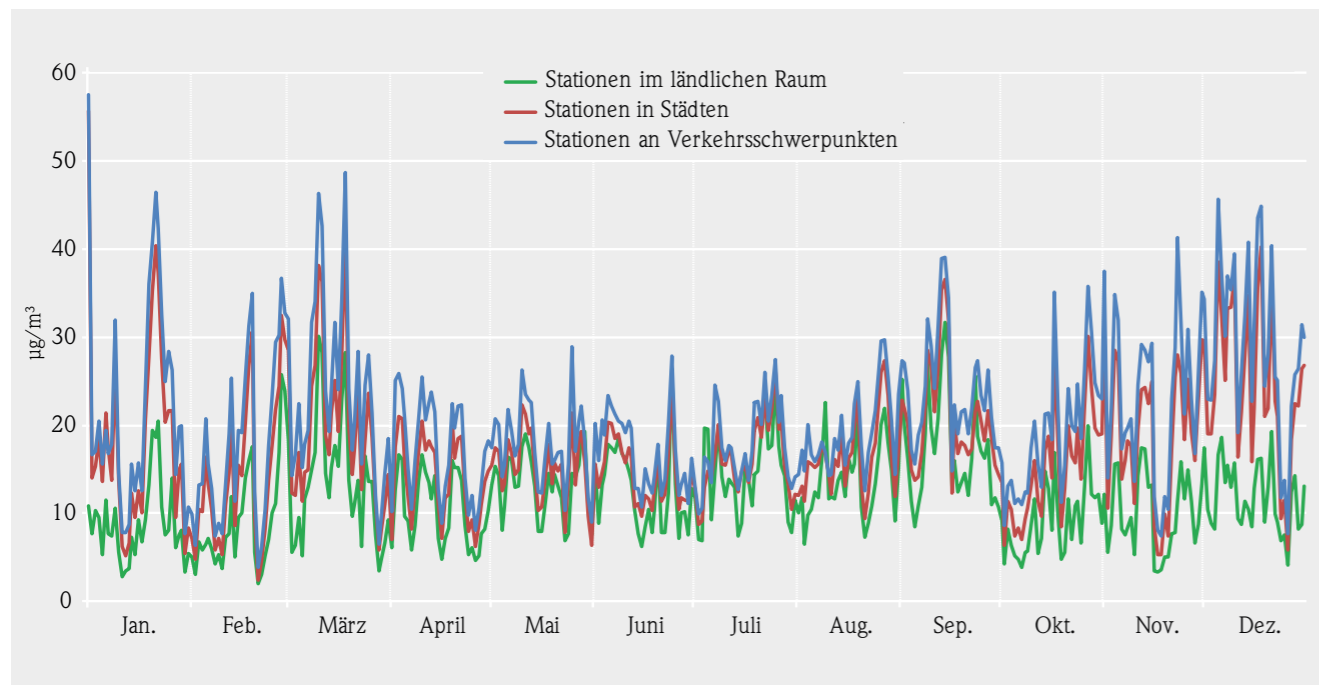


Abb. 10: Aufschlüsselung der Tagesmittelwerte der PM_{10} -Konzentration nach Messstationen im ländlichen Raum, an Verkehrsschwerpunkten und in Städten für das Jahr 2016 in $\mu g/m^3$ (PM_{10} -Werte gemittelt je Stationscharakteristik)

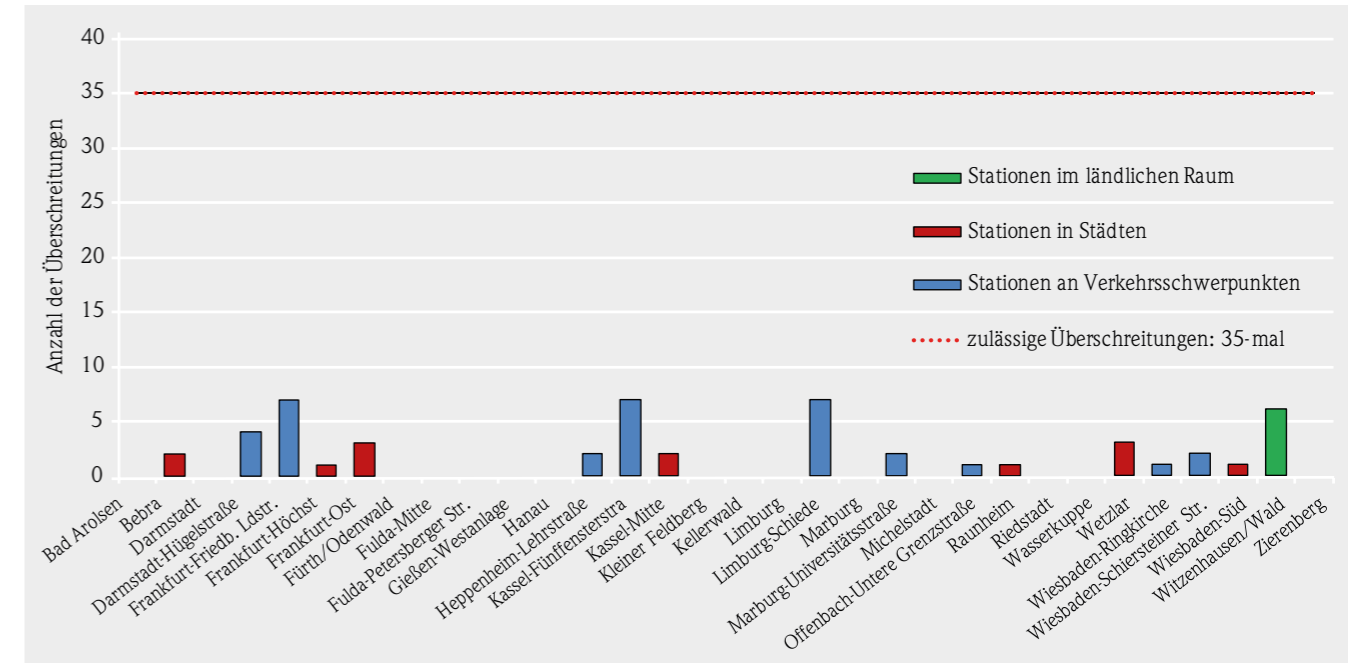


Abb. 11: Anzahl der Überschreitungen des PM_{10} -Tagesmittelwertes von $50 \mu g/m^3$ an den einzelnen hessischen Messstationen im Jahr 2016

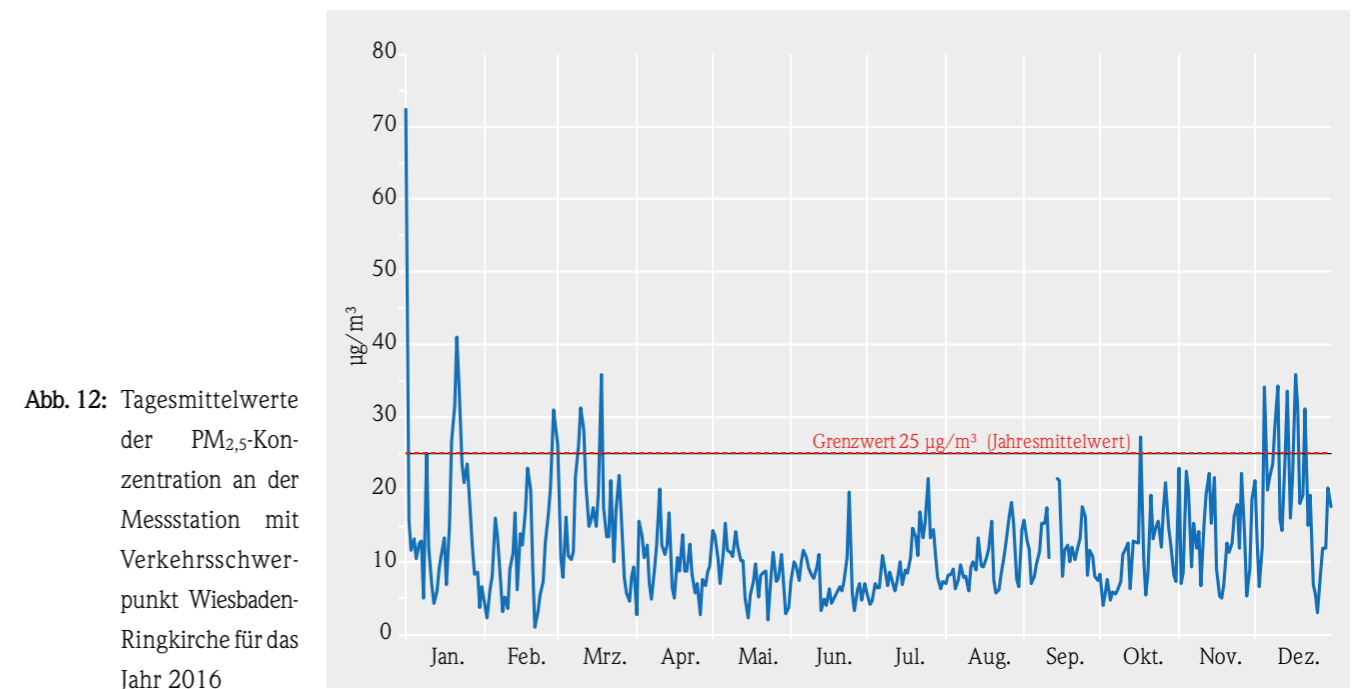


Abb. 12: Tagesmittelwerte der $PM_{2,5}$ -Konzentration an der Messstation mit Verkehrsschwerpunkt Wiesbaden-Ringkirche für das Jahr 2016

$PM_{2,5}$ -Tagesmittelwert:

An der Luftmessstation Wiesbaden-Ringkirche wird seit dem Jahr 2005 – und inzwischen an sechs weiteren Stationen die Feinstaub-Fraktion $PM_{2,5}$ erhoben. Abbildung 12 gibt einen Verlauf der Tagesmittelwerte für Feinstaub $PM_{2,5}$ für das Jahr 2016 an der verkehrsnahen Messstation Wiesbaden-Ringkirche wieder. Im Verlauf eines Jahres schwanken die Konzentrationen nicht unerheblich. Im Vergleich zu den Monaten

April bis September mit $PM_{2,5}$ -Tagesmittelwerten von unterhalb $20 \mu g/m^3$ treten in den Herbst- und Wintermonaten deutlich höhere Konzentrationen auf. Gerade von Dezember bis März treten Belastungswerte auf, die Konzentrationen von $30 \mu g/m^3$ und darüber erreichen. Der als $PM_{2,5}$ -Jahresmittelwert gültige Grenzwert von $25 \mu g/m^3$ wird aber an keiner hessischen Messstation überschritten.

Fragen und Antworten zu Feinstaub PM₁₀

Was ist Feinstaub?

Als Feinstaub gelten feste und 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“ PM_{2,5} 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 µm), PM_{2,5} (kleiner als 2,5 µm) und PM_{0,1} (ultrafeine Partikel kleiner als 0,1 µm) (PM steht für „particulate matter“).

Welche Partikel werden nach Einatmung wo im Atemtrakt deponiert?

Partikel PM₁₀ werden meist im oberen Atemwegsbereich abgelagert. Partikel PM_{2,5} bzw. PM_{0,1} 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 39. BImSchV (2010) gelten: Ein PM₁₀-Tagesmittelwert von 50 µg/m³ mit maximal 35 zulässigen Überschreitungen im Jahr sowie ein PM₁₀-Jahresmittelwert von 40 µg/m³. Überschreitungen der Grenzwerte führen zur Aufstellung eines Luftreinhalteplans. Das gesundheitliche Risiko nimmt bei Überschreitung des Grenzwerts zu.

Wer überwacht und beurteilt die PM₁₀-Messwerte in Hessen?

Von dem Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie werden die PM₁₀-Messstellen nach den Vorgaben der 39. BImSchV (2010) kontinuierlich betrieben sowie die Messergebnisse ausgewertet, beurteilt und veröffentlicht.

Wo erhalte ich Informationen über PM₁₀?

Auskünfte über aktuelle Messwerte

- Internet-Adresse: www.hlnug.de
- Informationstelefon des HLNUG: **0611/6939-666**
- Videotext – Hessischer Rundfunk – Hessentext: **Tafel 160 bis 168 (aktuelle Messwerte)**
Tafel 174 bis 178 (Wetterdaten)

Informationen und Ansprechpartner

Weitere Informationen erhalten Sie beim Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie und bei Ihrem vor Ort zuständigen Gesundheitsamt.

Was kann der Einzelne tun?

- Verringerung der Fahrten mit dem eigenen Pkw
- Fahrzeuge mit geringem Kraftstoffverbrauch und Abgasausstoß benutzen
- Defensiver Fahrstil
- Umsteigen auf den öffentlichen Nahverkehr
- Bildung von Fahrgemeinschaften
- Einsatz energiesparender und emissionsarmer Gebäudeheizungen
- Vermeidung abgasintensiver Maschinen und Geräte

Gesetzliche Grundlagen

- Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) in der Fassung vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 1065)
- 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

Herausgeber: Hessisches Landesamt für Naturschutz,
Umwelt und Geologie
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden
Telefon: (0611) 6939-0 Fax: (0611) 6939-555

Bearbeitung: Dagmar Cornelius, Petra Horlbeck, Bärbel Oehme,
Stefanie Stifter, Stefan Weber;
Dr. Jutta Witten (Hessisches Ministerium für Soziales
und Integration)

Layout: Nadine Senkpiel

Stand: Mai 2017