

Feinstaub PM2.5

Fragen und Antworten zu Eigenschaften, Emissionen, Immissionen, Auswirkungen und Massnahmen

Stand im Januar 2019

Inhalt

<i>Eigenschaften</i>	2
<i>Emissionen</i>	4
<i>Immissionssituation</i>	5
<i>Immissionsgrenzwerte</i>	7
<i>Auswirkungen</i>	8
<i>Minderungsmassnahmen</i>	12
<i>Literatur</i>	15

Eigenschaften

- **Wie entstehen Partikel?**

Man unterscheidet primäre, also direkt als Partikel emittierte und sekundäre, aus gasförmigen Vorläufern erst in der Atmosphäre gebildete Teilchen.

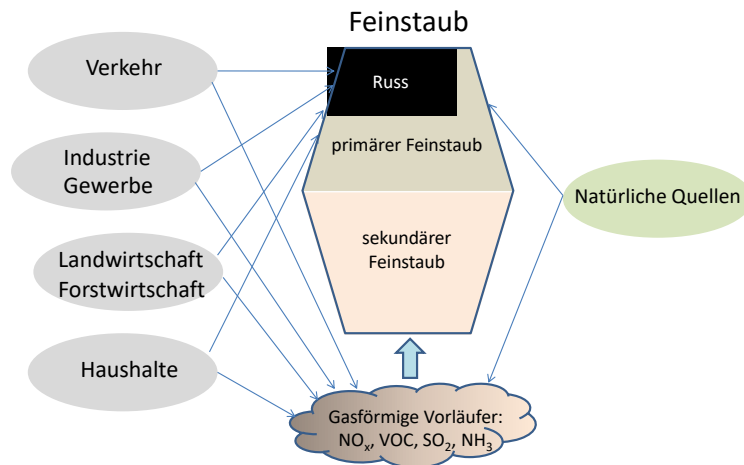


Abbildung 1 Vereinfachte schematische Darstellung des luftgetragenen Feinstaubes in der Schweiz mit primären und sekundären Anteilen und deren Quellen. Russ bildet einen Teil des primären Feinstaubes.

Aus anthropogenen Quellen entstehen primäre Teilchen bei Verbrennungsprozessen, vor allem als ultrafeine und feine Teilchen mit einem Durchmesser unter etwa $0.3 \mu\text{m}$ (z.B. Russ). Teilchen, die durch Abrieb oder Aufwirbelung entstehen, sind meist grösser als $1\text{-}2 \mu\text{m}$. Als natürliche Quellen kommen Pollen, Meeressgisch, Winderosion und Vulkane in Frage. Teilchen im mittleren Grössenbereich (zwischen 0.1 und $1 \mu\text{m}$) sind zum überwiegenden Teil sekundären Ursprungs und bilden sich durch Gas-Partikelkonversion aus den Vorläufern SO_2 , NO_x , NH_3 und NMVOC.¹

¹ **aerodynamischer Durchmesser:** Da luftgetragene Partikel sehr unterschiedliche Formen und Dichte aufweisen können, ist es nicht trivial, ihnen einen Durchmesser zuzuordnen. Der aerodynamische Durchmesser ist eine geeignete Grösse, um eine Reihe von Prozessen zu beschreiben. Er entspricht demjenigen Durchmesser, den ein kugelförmiges Teilchen der Dichte 1 g/cm^3 haben müsste, damit es die gleiche Sinkgeschwindigkeit in Luft aufweisen würde wie das betrachtete Teilchen.

- **Wie ist die chemische Zusammensetzung von PM2.5²?**

Staub ist ein physikalisch-chemisch komplexes Gemisch. PM2.5 besteht aus primärem Verbrennungsaerosol und aus gasförmigen Vorläufern sekundär gebildeten Komponenten. Aufgewirbelter Staub, Abrieb und biologisches Material bestehen hauptsächlich aus groben Partikeln und spielen im PM2.5 eine untergeordnete Rolle. Folgende wichtige Komponenten können unterschieden werden:

	Komponente	Vorläufer / Ursache
Primäre Komponenten	Russ (EC und primärer OC)	Verbrennungsprozesse
	Schwermetalle	Verbrennung, Produktion
Sekundäre Komponenten	Sulfat	Schwefeldioxid SO ₂
	Nitrat	Stickoxide NO _x
	Ammonium	Ammoniak NH ₃
	Organisches Material (OM)	Gasförmige organische Verbindungen wie NMVOC

Tabelle 1 Zusammensetzung und Quellen von PM2.5

² **PM2.5:** Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser $\leq 2.5 \mu\text{m}$ (genauer: Partikel, die einen Einlass mit einer 50 % Abscheideeffizienz bei $2.5 \mu\text{m}$ aerodynamischem Durchmesser passieren)

Emissionen

- **Wie viel primäres PM_{2.5} emittieren die verschiedenen Quellen in der Schweiz?**

Die Emissionen³ von primärem PM_{2.5} in der Schweiz betragen im Jahr 2016 etwa 7'000 Tonnen (BAFU, UNECE Submission 2018-19). Die folgende Abbildung zeigt die Anteile der verschiedenen Quellengruppen an diesen Emissionen. Neben Industrie und Verkehr hat auch die Land- und Forstwirtschaft einen beträchtlichen Anteil an den Emissionen. Bei den Haushalten fällt auf, dass Holzfeuerungen, welche nur einen geringen Teil des Wärmebedarfs abdecken, sehr viel höhere Emissionen aufweisen als die Öl- und Gasfeuerungen, welche den Löwenanteil der Wärmeenergie liefern.



Abbildung 2 Anteile der verschiedenen Quellen an den primären PM_{2.5}-Emissionen (ohne Kondensate) in der Schweiz im Jahr 2016 (Quelle: BAFU, UNECE Submission 2018-19).

³ Grundsätzlich gilt es zu beachten, dass diese Daten auf Erhebungen, Annahmen und komplexen Modellrechnungen basieren. Diese sind naturgemäss mit zum Teil grossen Unsicherheiten verbunden, was bei der Verwendung der Daten und bei deren Interpretation zu berücksichtigen ist. Viele Bereiche werden regelmässig aktualisiert, sodass auch Daten aus früheren Jahren nicht als definitiv betrachtet werden können.

Immissionssituation

- **Wie sieht die PM_{2.5}-Belastung im Jahresmittel aus?**

Die Messstationen des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL) weisen im Mittelland sehr ähnliche Jahresmittelwerte für PM_{2.5} im Bereich von 8 - 11 µg/m³ auf. Nur am verkehrsbelasteten Standort in der Strassenschlucht wird ein höheres Jahresmittel von 14 µg/m³ gemessen. Im Tessin werden höhere PM_{2.5}-Werte im Bereich von 14 - 15 µg/m³ gemessen. Das Verhältnis von PM_{2.5} zu PM₁₀ beträgt im langjährigen Mittel rund 0.75, ausser in der Strassenschlucht.

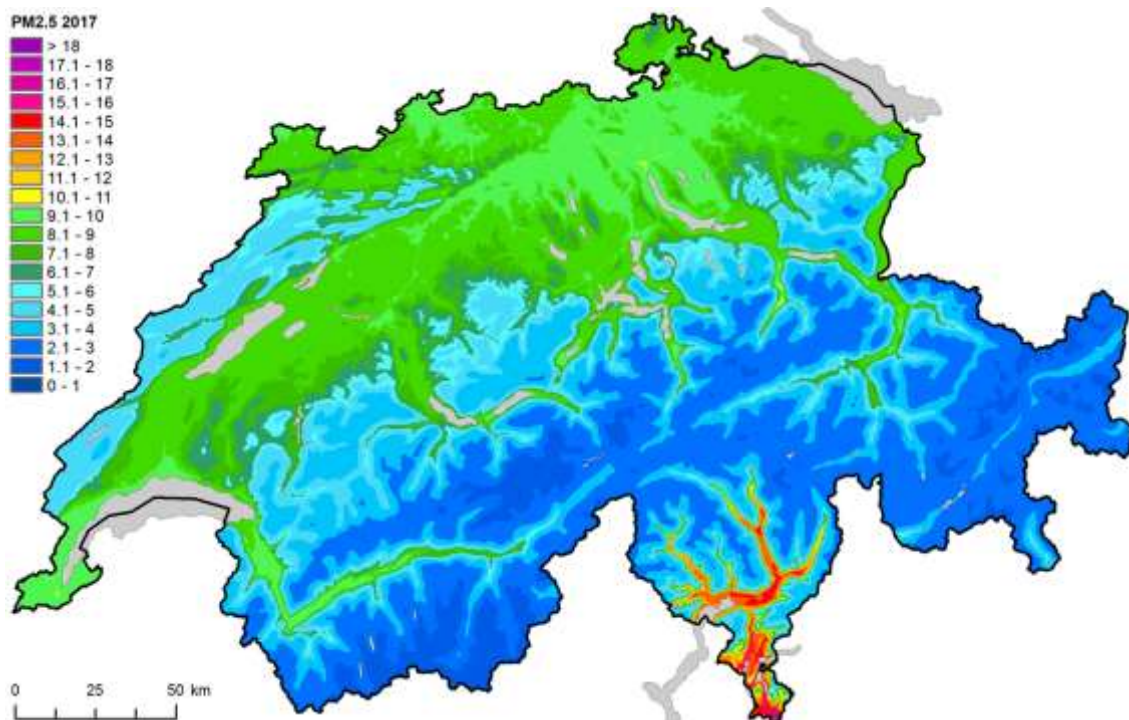


Abbildung 3 Jahresmittel 2017 von PM_{2.5}, berechnet aus einer Kombination von Messwerten und Modelldaten.

- **Wie hat sich PM2.5-Belastung in den letzten Jahren entwickelt?**

Im NABEL wird PM2.5 seit 1998 gemessen. Die Grafik zeigt die Abnahme der Feinstaubbelastung. Die Schwankungen von Jahr zu Jahr sind auf die Witterung der einzelnen Jahre zurückzuführen. In den NABEL-Monatsberichten werden die gleitenden Mittelwerte der letzten 12 Monate dargestellt.

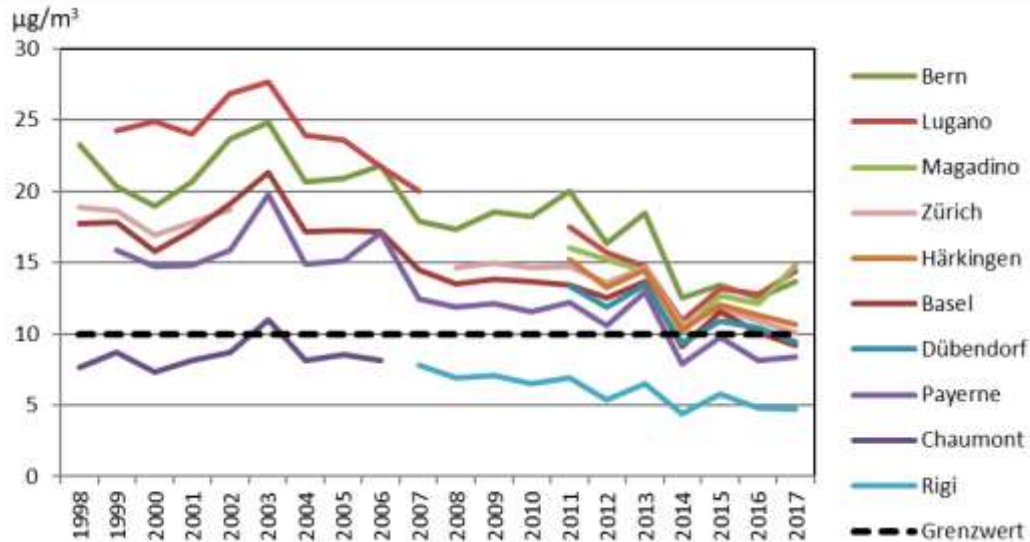


Abbildung 4 Zeitliche Entwicklung der PM2.5-Belastung aus Messungen des NABEL.

- **Wie ist die chemische Zusammensetzung der PM2.5-Belastung in der Schweiz?**

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Ammonium, Nitrat und Sulfat etwa die Hälfte, am Strassenstandort und in der Südschweiz etwa ein Drittel von PM2.5 ausmachen. Wird das sekundäre organische Material (Teil von OM) dazu gezählt, so resultiert ein Anteil an sekundärem Aerosol von bis zu drei Viertel. EC und OM machen zusammen einen Anteil von etwa einem Drittel aus, am Strassenstandort und in der Südschweiz die Hälfte. Der Massenanteil der übrigen untersuchten Inhaltsstoffe ist sehr gering.

Die Konzentration der sekundären Komponenten ist im ganzen Mittelland ähnlich. In der Südschweiz sind die Konzentrationen von Ammonium und Nitrat tiefer als auf der Alpennordseite. Gemäss Untersuchungen im Tessin und den Bündner Südtälern (Hüglin 2012; Baltensperger 2013) könnte jedoch die Holzverbrennung bei der Feinstaubbelastung und dem OM eine deutlich grössere Rolle spielen.

- **Wie verbreiten sich die Luftschadstoffe?**

Die Luft ist ständig in Bewegung. Das lokal emittierte oder in der Atmosphäre gebildete PM2.5 wird aufgrund seiner Langlebigkeit auch über die Grenzen hinweg transportiert. Feinstaub aus Nachbarländern gelangt in die Schweiz, die Schweiz „exportiert“ aber auch PM2.5. Um diesen Aspekten Rechnung zu tragen werden im Rahmen des UNECE-Abkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung internationale Protokolle ausgehandelt und die Schadstoffemissionen europaweit vermindert. Der Anteil des in die Schweiz importierten PM2.5 ist je nach Region unterschiedlich.

Immissionsgrenzwerte

- **Welches sind die Grundlagen zur Grenzwertfestlegung?**

Die Schweiz legt Immissionsgrenzwerte in der LRV⁴ nach den Kriterien des Umweltschutzgesetzes⁵ fest. Sie berücksichtigt den Stand des Wissens und die Empfehlungen von Fachorganisationen, insbesondere der Weltgesundheitsorganisation WHO. Die **WHO** stellt fest, dass klare Zusammenhänge zwischen der Feinstaubbelastung und einer ganzen Palette von gesundheitlichen Auswirkungen, hauptsächlich Atemwegs- und Herz-Kreislaufkrankungen, bestehen. Der Bundesrat wird bei der Grenzwertfestlegung auch von der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene EKL unterstützt, welche ihm Empfehlungen unterbreitet. Der Bundesrat hat deshalb die Luftreinhalte-Verordnung mit einem Immissionsgrenzwert für Feinstaub PM_{2.5} ergänzt. Der Grenzwert von 10 µg/m³, für das Jahresmittel entspricht den Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation, ergänzt die bestehenden Grenzwerte für PM₁₀ und gilt ab dem 1. Juni 2018.

- **Welche PM_{2.5}-Grenzwerte für das Jahresmittel gelten in anderen Ländern?**

Die **EU** anerkennt, dass angemessene Luftqualitätsziele die einschlägigen Normen, Leitlinien und Programme der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zu berücksichtigen haben. Im Gegensatz zur Schweiz hat die EU für Feinstaub aber keine wirkungsorientierten Werte gesetzt, sondern innerhalb eines bestimmten Zeitraums zu erreichende, rechtlich einklagbare Grenzwerte. Sie werden durch ein komplexes System von Zielwerten, Verpflichtungen und Zielen zur Expositionsreduktion ergänzt. In der EU ist ab 2015 ein Jahresmittelgrenzwert für PM_{2.5} von 25 µg/m³ einzuhalten.

In **Kanada** gilt ab 2015 ein Jahresmittelgrenzwert von 10 µg/m³ für PM_{2.5}. Er wird im Jahr 2020 auf 8.8 µg/m³ gesenkt. Der Wert darf im Mittel über 3 Jahre nicht überschritten werden.

Die **USA** haben einen Jahresmittelgrenzwert von 12 µg/m³ festgelegt. Er darf im Mittel über 3 Jahre nicht überschritten werden.

- **Wie werden krebserregende Inhaltsstoffe begrenzt?**

Im Jahr 2012 hat die WHO-Kommission IARC Dieselruß als erwiesenermassen krebserregend beim Menschen (Kanzerogen der Klasse 1) eingestuft. Dieselbe Einteilung gilt seit Oktober 2013 auch für die Feinstaubmischung im Allgemeinen. Die Eidgenössische Kommission für Lufthygiene empfiehlt als Zwischenziel, die Belastung durch krebserregenden Ruß, der hauptsächlich aus ultrafeinen Partikeln besteht, innerhalb der kommenden 10 Jahre auf einen Fünftel (20 %) der heutigen Belastung zu senken. Die Konzentration der krebserregenden Schadstoffe muss aus Sicht des Gesundheitsschutzes so tief wie möglich gehalten werden.

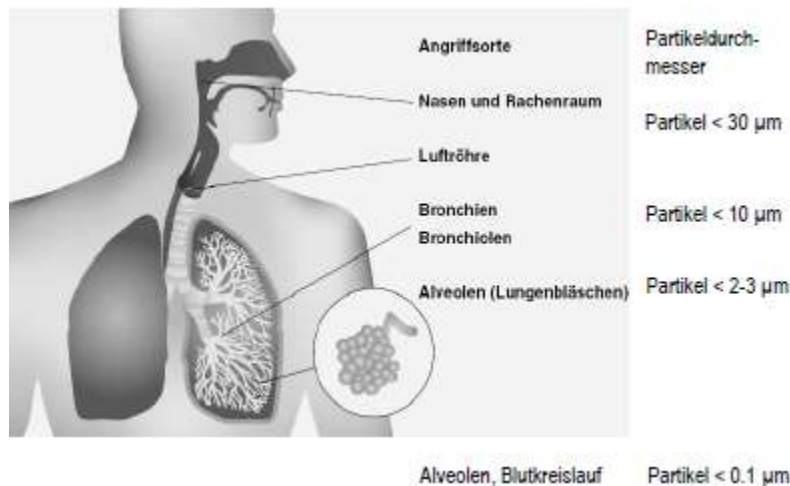
⁴ **LRV:** Luftreinhalte-Verordnung SR 814.318.142.1

⁵ **USG:** Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz) SR 814.01

Auswirkungen

- **Wie gelangt Feinstaub in den Körper?**

Mit jedem Atemzug gelangen Tausende von Partikeln in unsere Atemwege. Ein Teil der Partikel wird wieder ausgeatmet, der Rest wird im Atemtrakt abgelagert und kann Beschwerden hervorrufen und die Gesundheit beeinträchtigen. Im Unterschied zu grösseren Partikeln können PM2.5 in die kleinen Atemwege und Alveolen eindringen, auf deren Oberfläche sie sich ablagern.



[aus: Feinstaub in der Schweiz, EKL 2007]

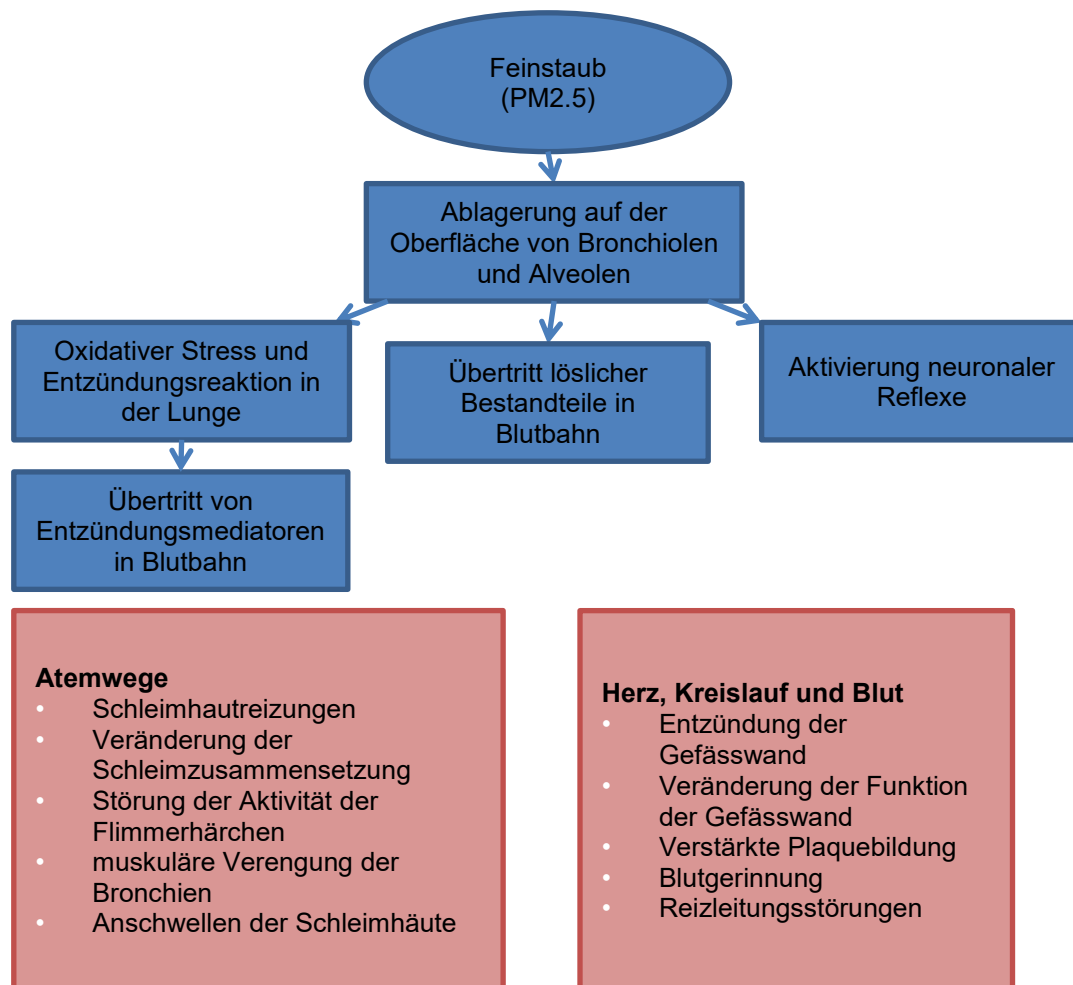
- **Wie reagiert der menschliche Organismus auf Feinstaub?**

In den Atemwegen führen die feinen Partikel kurzfristig zu Reizungen der Schleimhaut und einer entzündlichen Abwehrreaktion mit vermehrter Schleimbildung. Atembeschwerden wie Husten, Bronchitis oder vermehrte Atemnotanfälle bei Asthmatikern sind die Folgen. Die Schleimhaut der Bronchien und Bronchiolen enthält Flimmerzellen, deren Oberfläche mit Härchen bedeckt ist, welche die eingedrungene Partikel abtransportieren. In den Alveolen gibt es keine Flimmerzellen mehr. Die kleinsten Staubteilchen, welche diese Lungenbläschen erreichen, müssen dort durch Reinigungszellen, sogenannte Makrophagen, aufgelöst oder entfernt werden. Ultrafeine Partikel werden durch diese Mechanismen schlecht erfasst und können bis ins Blut und andere Körperorgane gelangen, bei Schwangeren auch in den Blutkreislauf des ungeborenen Kindes.

In den Atemorganen gebildete Entzündungsmediatoren lösen im Blut und den Gefässwänden Vorgänge aus, die zu Thrombosen, Arteriosklerose und erhöhtem Blutdruck führen können. An Tagen mit erhöhter PM2.5-Konzentration ist so die Lungenfunktion der Menschen vermindert, es gibt mehr Spitaleintritte und es sterben mehr Personen an Krankheiten der Lungen, des Herzens oder des Kreislaufes. Aus gesundheitlicher Sicht fällt jedoch die langfristige Exposition der Bevölkerung mit hohen PM2.5-Werten noch stärker ins Gewicht. Unzählige Studien weltweit konnten den Zusammenhang zwischen kurz- und langfristig erhöhter PM2.5-Konzentration und dem vermehrten Auftreten gesundheitlicher Beschwerden, insbesondere von Herz- und Kreislaufkrankheiten, in der Bevölkerung belegen.

Zu den Auswirkungen der Anzahl der ultrafeinen Partikel auf die Gesundheit gibt es noch zu wenige Studien, um zuverlässige Aussagen zu machen. Insbesondere Studien zu Wirkungen einer langfristig zu hohen Belastung sind praktisch nicht vorhanden.

Kürzlich hat die Weltgesundheitsorganisation WHO die gesundheitlichen Wirkungen von Russpartikeln (Black Carbon, BC) umfassend beurteilt (Health Effects of Black Carbon, WHO 2012). Der Bericht kommt zum Schluss, dass es genügend Evidenz für Wirkungen von Black Carbon auf die Lunge und das Herzkreislaufsystem gibt. Die Datenlage ist aber noch nicht ausreichend, um die Wirkungen von BC von den Wirkungen anderer PM Komponenten quantitativ zuverlässig zu unterscheiden.



- **Mögliche Folgen eines kurzfristigen Anstiegs der Feinstaub-Belastung:**

- erhöhte Sterblichkeit
- Husten, Auswurf, Atemnot
- Chronische Bronchitis
- Asthmaanfälle
- Verschlechterung der Lungenfunktion
- Thrombose
- Erhöhter Blutdruck
- Herzrhythmusstörungen
- Angina pectoris
- Herzinfarkt
- Herzinsuffizienz
- Hirnschlag

- **Mögliche Folgen einer ständig zu hohen Feinstaubbelastung:**

- Verkürzung der Lebenserwartung
- Husten
- Chronische Bronchitis
- Asthma
- Verschlechterung der Lungenfunktion
- Lungenkrebs
- Thrombose
- Erhöhter Blutdruck
- Arteriosklerose
- Herzrhythmusstörungen
- koronare Herzkrankheit
- Herzinfarkt
- Hirnschlag

Wenn die Luftverschmutzung dank der getroffenen Luftreinhalte-Massnahmen sinkt, lassen sich auch Verbesserungen bei der Gesundheit beobachten (ERS 2010).

- **Gibt es Personen, die stärker auf die Luftverschmutzung reagieren?**

Nicht alle Personengruppen reagieren gleich empfindlich auf die Luftschadstoffbelastung: Kinder, ältere und kranke Personen sind einem erhöhten Risiko ausgesetzt. Auch die genetische Veranlagung spielt eine Rolle, wie empfindlich jemand auf die Luftverschmutzung reagiert.

- **Welches sind die Folgen der Luftverschmutzung für die Bevölkerung in der Schweiz und was wäre der Nutzen einer Reduktion der PM2.5-Konzentration?**

In einer von Lufthygienikern, Epidemiologen und Ökonomen durchgeführten Studie wurden die Wirkungen der Luftverschmutzung auf die Gesundheit der Bevölkerung in der Schweiz ermittelt (Basisjahr 2010). Der in dieser Studie massgebende Schadstoffindikator PM10 berücksichtigt auch die Wirkungen der Stickoxide, nicht aber die Wirkungen von Ozon. Jährlich sterben in der Schweiz knapp 2'200 Menschen frühzeitig an den Folgen der Luftverschmutzung, dabei gehen rund 25'000 Lebensjahre verloren (ARE 2018). In der Studie werden die jährlichen Gesundheitskosten auf rund 6.5 Milliarden Franken beziffert.

Gemäss einer Schweizer Studie (Röösli 2014) hätte eine Reduktion des PM2.5-Jahresmittelwertes auf 10 µg/m³ folgende positive Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung in der Schweiz (im Vergleich zur Situation im Jahr 2010):

- 1'900 vermiedene frühzeitige Todesfälle
 - 13'500 vermiedene Spitaltage wegen Herz-/Kreislauf- oder Atemwegserkrankungen
 - 2.7 Mia. CHF vermiedene Gesundheitskosten
- **Ist die Luftverschmutzung in der Innenstadt gleich gefährlich für die Gesundheit wie an anderen Standorten?**

Grundsätzlich gilt, dass die gesundheitlichen Auswirkungen mit der Höhe der Feinstaubbelastung zunehmen. In der Innenstadt ist die Feinstaubbelastung in der Regel höher als auf dem Land, weshalb dort auch vermehrte Auswirkungen auf die Gesundheit zu erwarten sind.

Die WHO hält fest, dass die Verbrennungsaerosole eine sehr wichtige Rolle spielen. Partikel aus der Verbrennung von Biomasse (z.B. Holz) haben ein ähnliches toxisches Potential wie Partikel, welche bei der Verbrennung fossiler Treibstoffe (z.B. Diesel) entstehen.

- **Wie kann man sich vor den negativen gesundheitlichen Auswirkungen von Feinstaub in der Atemluft schützen?**

Da PM2.5 sowohl zeitlich wie auch räumlich relativ homogen verteilt ist, muss die Prävention von gesundheitlichen Auswirkungen bei der Reduktion der Emission von Luftschadstoffen an der Quelle ansetzen.

- **Was bedeuten diese Erkenntnisse für die Luftreinhalte-Politik?**

Massnahmen zur Verminderung der Feinstaub-Belastung lohnen sich: Sie führen zu einer Verbesserung der Gesundheit der Bevölkerung. Die Massnahmen sollten alle Grössenklassen vermindern, also sowohl grobe als auch feine und ultrafeine Partikel. Besonderes Augenmerk ist den krebserregenden Russpartikeln zu widmen (EKL 2007).

- **Wo lassen sich detailliertere Angaben zu den gesundheitlichen Auswirkungen finden?**

Weitere Informationen zum Thema finden sich auf folgender Internetseite des Bundesamtes für Umwelt

<http://www.bafu.admin.ch/luft/10804/index.html?lang=de>

Minderungsmaßnahmen

Neben Massnahmen auf kantonaler, nationaler und internationaler Ebene trägt das Mobilitäts- und Konsumverhalten jedes Einzelnen zur Reduktion der Feinstaubbelastung bei.

- **Welche Strategie verfolgt die Schweiz bei der Verminderung des Feinstaubes?**

Die Reduktion der Feinstaubbelastung erfordert eine Emissionsminderung sowohl beim primär emittierten Feinstaub als auch bei den Vorläuferschadstoffen - Schwefeldioxid, Stickoxide, Ammoniak, flüchtige organische Verbindungen.

Im Luftreinhalte-Konzept (Schweizerischer Bundesrat 2009) wurde für die folgenden Luftschadstoffe abgeschätzt, welche Emissionsreduktionen in der Schweiz zur Einhaltung der Schutzziele notwendig sind. Beim Feinstaub bezieht sich das Ziel auf PM₁₀, da bisher in der LRV nur Immissionsgrenzwerte für dieses Feinstaubmass bestehen.

Schadstoff	notwendige Emissionsreduktion gegenüber 2005
Schwefeldioxid SO ₂	Wiederanstieg verhindern, vorsorgliche Massnahmen
Stickoxide NO _x	ca. 50%
Flüchtige organische Verbindungen NMVOC	ca. 20-30%
Feinstaub PM ₁₀ (primär)	ca. 45%
Ammoniak NH ₃	ca. 40%
kanzerogene Stoffe (z.B. Dieseleruss)	so weit wie technisch möglich und verhältnismässig

Tabelle 2 Zur Einhaltung der Gesundheits- und Umweltziele nötige Emissionsreduktion

In der Schweiz sind die Immissionen PM_{2.5} und PM₁₀ eng korreliert. Die Abnahme der Immissionen von PM_{2.5} und PM₁₀ während der letzten Jahre verlief an fast allen Standorten der Schweiz parallel. Somit waren die Schweizer Luftreinhaltemassnahmen insgesamt von ähnlicher Bedeutung und Wirkung für PM_{2.5} und PM₁₀. Im Durchschnitt betragen die Immissionen von PM_{2.5} etwa 75% der Immissionen von PM₁₀.

Es braucht weitergehende Massnahmen bei den relevanten Emissionsquellen von primärem Feinstaub, insbesondere bei Holzheizungen und Dieselmotoren. Die gasförmigen Vorläuferschadstoffe (NO_x, NMVOC, SO₂) werden im Rahmen der bestehenden Strategien gegen Ozon, Versauerung und Überdüngung vermindert.

Besonderes Gewicht wird auf die Verminderung des Russes gelegt, der einerseits zu PM_{2.5} beiträgt, andererseits wegen seiner krebserregenden Eigenschaften so weit wie möglich vermindert werden muss. Zudem ist wichtig, dass die in den Umweltzielen Landwirtschaft (BAFU / BLW 2008.) festgelegten Emissionsreduktionen für Dieseleruss von landwirtschaftlichen Maschinen und für Ammoniak umgesetzt werden.

Beim sekundären Feinstaub spielt der Schadstofftransport über die Grenzen hinaus eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Neben den Emissionsreduktionen in der Schweiz sind deshalb auch beträchtliche Schadstoffverminderungen im Ausland Voraussetzung für die Einhaltung der Immissionsgrenzwerte.

- **Welche Strategie zur Verminderung des Feinstaubes wird auf internationaler Ebene verfolgt?**

Im Rahmen der UNECE-Konvention über grossräumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (CLRTAP) wurde 2012 eine Revision des Protokolls von Göteborg beschlossen, mit der sich die Protokollparteien durch Anwendung des besten Standes der Technik zu weitergehenden Reduktionen der Emissionen von Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxiden (NO_x), flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), Ammoniak (NH₃) und primärem Feinstaub (PM_{2.5}) bis 2020 verpflichten (Tabelle 3). Die Inkraftsetzung des revidierten Protokolls kann jedoch erst nach Ratifizierung durch mindestens zwei Drittel der Protokollparteien erfolgen.

	SO ₂	NO _x	VOC	NH ₃	PM _{2.5}
Schweiz	21%	41%	32%	8%	26%
Europäische Union (EU27)	59%	40%	28%	6%	22%

Tabelle 3 Verpflichtungen zur Schadstoffreduktion zwischen 2005 und 2020 gemäss revidiertem Göteborg-Protokoll

Bei konsequenter Umsetzung des revidierten Göteborg-Protokolls ist somit davon auszugehen, dass bis 2020 weitere wesentliche Verbesserungen der Luftqualität erzielt werden. Die beabsichtigten Verpflichtungen sind jedoch nur als Zwischenziel zu betrachten, da die international durch die WHO festgelegten Schutzziele eine weitergehende Minderung erfordern. Insbesondere die NH₃-Emissionen müssen durch zusätzliche Massnahmen in der Landwirtschaft weiter gesenkt werden.

- **Welche Massnahmen hat die Schweiz bisher getroffen und zu welchen Emissionsreduktionen führten diese Massnahmen?**

Seit dem Inkrafttreten der Luftreinhalte-Gesetzgebung haben Bund, Kantone und Gemeinden eine Vielzahl von Massnahmen getroffen, um den Ausstoss von Feinstaub und seinen Vorläuferschadstoffen zu vermindern, wie z.B.:

- Die Reduktion des Schwefelgehaltes in Brenn- und Treibstoffen (Diesel und Benzin), sowie die Minimierung des Bleigehalts im Benzin.
- Die Einführung der Katalysatoren und Dieselpartikelfilter für Strassenfahrzeuge sowie verschärfte Abgas- und Emissionsgrenzwerte für andere Fahrzeuge und Maschinen, Heizungen, Industrie und Gewerbe.
- Die Emissionsgrenzwerte für Anlagen sowie die im Jahr 2000 eingeführte Abgabe auf VOC haben Industrie und Gewerbe veranlasst, ihre Emissionen zu verringern, namentlich auch durch die Entwicklung von Produkten, die wenig Lösungsmittel enthalten (z.B. Farben und Lacke).
- Aktionsplan Feinstaub: Partikelfilter oder äquivalente Massnahmen für Maschinen auf Baustellen, Schiffe, Eisenbahnen; verschärfte Emissionsvorschriften für Partikelemissionen von stationären Anlagen der Industrie und von Holzfeuerungen, finanzielle Anreize zur Nachrüstung von Lastwagen und Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs.

Zwischen 1990 und 2016 ist in der Schweiz der Ausstoss von Schwefeldioxid um 83%, von flüchtigen organischen Verbindungen um 75%, von Stickoxiden um 55%, und von Ammoniak um 17% gesunken. Beim primären PM2.5 betrug der Rückgang 57%.

- **Welche Massnahmen hat die EU bisher getroffen?**

Die EU hat Abgasvorschriften für verschiedene Kategorien von Fahrzeugen festgelegt und schrittweise verschärft. Die Vorschriften werden von der Schweiz jeweils zeitgleich übernommen. Die Emissionsvorschriften für Industrieanlagen und Grossfeuerungsanlagen sind verschärft worden bzw. verlangen die beste verfügbare Technik. Alle diese Massnahmen werden in den kommenden Jahren zu einer weiteren wesentlichen Verminderung sowohl der partikulären als auch der gasförmigen Schadstoffemissionen führen.

- **Welche weiteren Massnahmen sind erforderlich?**

Für eine weitergehende Reduktion der Luftbelastung durch PM2.5 müssen in erster Linie folgende Massnahmen umgesetzt werden:

- Strenge Vorschriften für Holzfeuerungen nach dem besten Stand der Technik bezüglich Schadstoffemissionen und Wirkungsgrad. Ältere Feuerungen mit hohen Schadstoffemissionen sollten durch moderne Anlagen ersetzt werden, die einen hohen Wirkungsgrad und tiefe Schadstoffemissionen aufweisen.
- Vollständige Einführung von Partikelfiltern oder gleichwertigen Technologien bei allen Dieselmotoren im Offroad-Bereich. Dazu gehören insbesondere auch Landwirtschaftsfahrzeuge, Schiffe und stationäre Motoren.
- Reduktion der landwirtschaftlichen Ammoniak-Emissionen (Verbesserung der Stallkonstruktionen/Abluftreinigung, Abdeckung Güllelager, emissionsarme Ausbringung von Hofdünger mittels Schleppschläuchen oder Injektion).

Literatur

- ARE, Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs in der Schweiz, Methodische Grundlagen und Zahlen für das Jahr 2015 (Infras, Ecoplan), Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2018).
- BAFU, Luftqualität 2017. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1825: (2018).
- [BAFU / BLW 2008, Umweltziele Landwirtschaft Umweltwissen Nr. 0820, Bundesamt für Umwelt, Bern, \(2008\).](#)
- [BAFU, Switzerland's Informative Inventory Report, UNECE Submission 2018.](#)
- [BAFU; PM10 und PM2.5 Immissionen in der Schweiz \(Zusammenfassung\). Ergebnisse der Modellierung für 2005, 2010 und 2020. Bern 2013.](#)
- Baltensperger, U. et al., „Holzfeuerungen: eine bedeutende Quelle von Feinstaub in der Schweiz“, Schweiz Z Forstwes 164 (2013) 420-427
- [EKL \(Eidgenössische Kommission für Lufthygiene\), Feinstaub in der Schweiz, Bern \(2013\).](#)
- [ERS \(European Respiratory Society\), Luftverschmutzung und Gesundheit, Lausanne \(2010\).](#)
- [Hüglin, C., Gianini, M., Gehrig, R. „Chemische Zusammensetzung und Quellen von Feinstaub“, EMPA, Dübendorf 2012.](#)
- IIASA (international Institute for Applied Systems Analysis): Scope for further environmental improvements in 2020 beyond the baseline projections, CIAM Report 1/2010, Laxenburg (2010).
- [Luftreinhalte-Verordnung \(LRV\) vom 16. Dezember 1985 \(Stand am 11. Dezember 2018\).](#)
- Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project. World Health Organization 2013.
- Rösli, M., Abschätzung der Gesundheitskosten für verschiedene PM2.5-Konzentrationsszenarien, Basel 2014.
- [Schweizerischer Bundesrat, Bericht Konzept betreffend lufthygienische Massnahmen, BBI 2009 6585.](#)
- [WHO 2006: WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide - Global update 2005. World Health Organization 2006.](#)