



Feinstaub PM2.5

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

Oktober 2024

Inhalt

Eigenschaften	2
Emissionen	5
Immissionen.....	6
Immissionsgrenzwerte.....	8
Auswirkungen.....	10
Minderungsmassnahmen	14
Literatur	18



• Eigenschaften

• Wie entstehen Partikel?

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

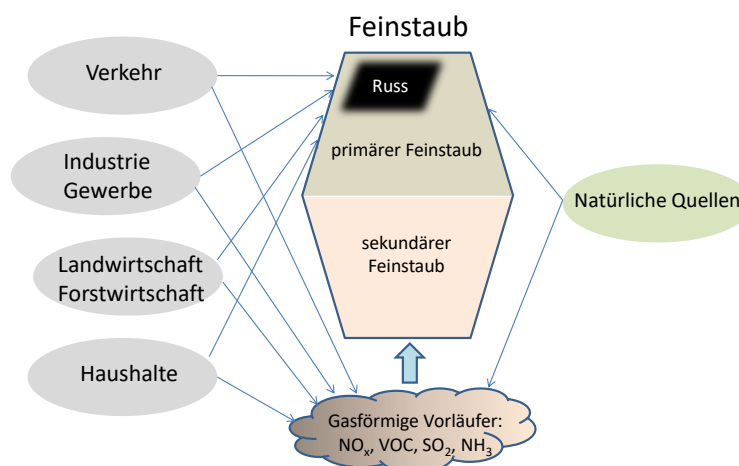


Abbildung 1 Vereinfachte schematische Darstellung des luftgetragenen Feinstaubes in der Schweiz mit primären und sekundären Anteilen und deren Quellen. Russ bildet einen Teil des primären Feinstaubes.

Aus anthropogenen Quellen entstehen primäre Teilchen bei Verbrennungsprozessen, vor allem als ultrafeine und feine Teilchen mit einem Durchmesser¹ unter etwa 0.3 µm (z.B. Russ). Teilchen, die durch Abrieb oder Aufwirbelung entstehen, sind meist grösser als 1-2 µm. Als natürliche Quellen kommen Pollen, Meeresgisch, Winderosion und Vulkane in Frage. Teilchen im mittleren Grössenbereich (zwischen 0.1 und 1 µm) sind zum überwiegenden Teil sekundären Ursprungs und bilden sich durch Gas-Partikelkonversion aus den Vorläufern SO₂, NO_x, NH₃ und NMVOC (flüchtige organische Verbindungen ohne Methan).

• Wie ist die chemische Zusammensetzung von PM_{2.5}²?

Feinstaub ist ein physikalisch-chemisch komplexes Gemisch. PM_{2.5} besteht aus primärem Verbrennungsaerosol, Abrieb und sekundär aus gasförmigen Vorläufern gebildeten Komponenten. Aufgewirbelter Staub, Meeresgisch und biologisches Material bestehen hauptsächlich aus groben Partikeln und spielen im PM_{2.5} eine

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/cm³ haben müsste, damit es die gleiche Sinkgeschwindigkeit in Luft aufweisen würde wie das betrachtete Teilchen.

² **PM_{2.5}:** Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser ≤ 2.5 µm (genauer: Partikel, die einen Einlass mit einer 50 % Abscheideeffizienz bei 2.5 µm aerodynamischem Durchmesser passieren)

untergeordnete Rolle. Auch viele Abriebsprozesse generieren vorwiegend gröbere Partikel.

Folgende wichtige Komponenten können unterschieden werden:

	Komponente	Vorläufer / Ursache
Primäre Komponenten	Russ (EC) und primäres organisches Material OM	Verbrennungsprozesse, Reifenabrieb
	Schwermetalle	Verbrennung, Produktion, Brems- und Reifenabrieb
	Mineralstaub	Strassenabrieb, Baustellen, Aufwirbelung durch Fahrzeuge und Wind, Saharastaub
Sekundäre Komponenten	Sulfat	Schwefeldioxid SO ₂
	Nitrat	Stickoxide NO _x
	Ammonium	Ammoniak NH ₃
	Organisches Material (OM)	Gasförmige organische Verbindungen, NMVOC

Tabelle 1 Zusammensetzung und Quellen von PM_{2.5}

An einigen Standorten des NABEL werden kontinuierlich oder projektweise gewisse Inhaltsstoffe des Feinstaubs bestimmt (vgl. Hüglin and Grange 2021). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Ammonium, Nitrat und Sulfat knapp die Hälfte, am Strassenstandort und in der Südschweiz knapp ein Drittel von PM_{2.5} ausmachen. Wird das sekundäre organische Material (Teil von OM) dazu gezählt, so resultiert ein Anteil an sekundärem Aerosol von bis zu 70 %. Russ (EC) und das OM machen zusammen einen Anteil von gut einem Drittel aus, am Strassenstandort und in der Südschweiz bis fast die Hälfte. Der Massenanteil der übrigen untersuchten Inhaltsstoffe (z. B. Mineralstaub, Schwermetalle) ist sehr gering.

Die Konzentration der sekundären Komponenten ist im ganzen Mittelland ähnlich. Gemäss Untersuchungen im Tessin und den Bündner Südtälern (Hüglin 2012; Baltensperger 2013, Dällenbach 2017) scheint jedoch die Holzverbrennung bei der Feinstaubbelastung und dem darin enthaltenen OM auf der Alpensüdseite eine deutlich grössere Rolle zu spielen.

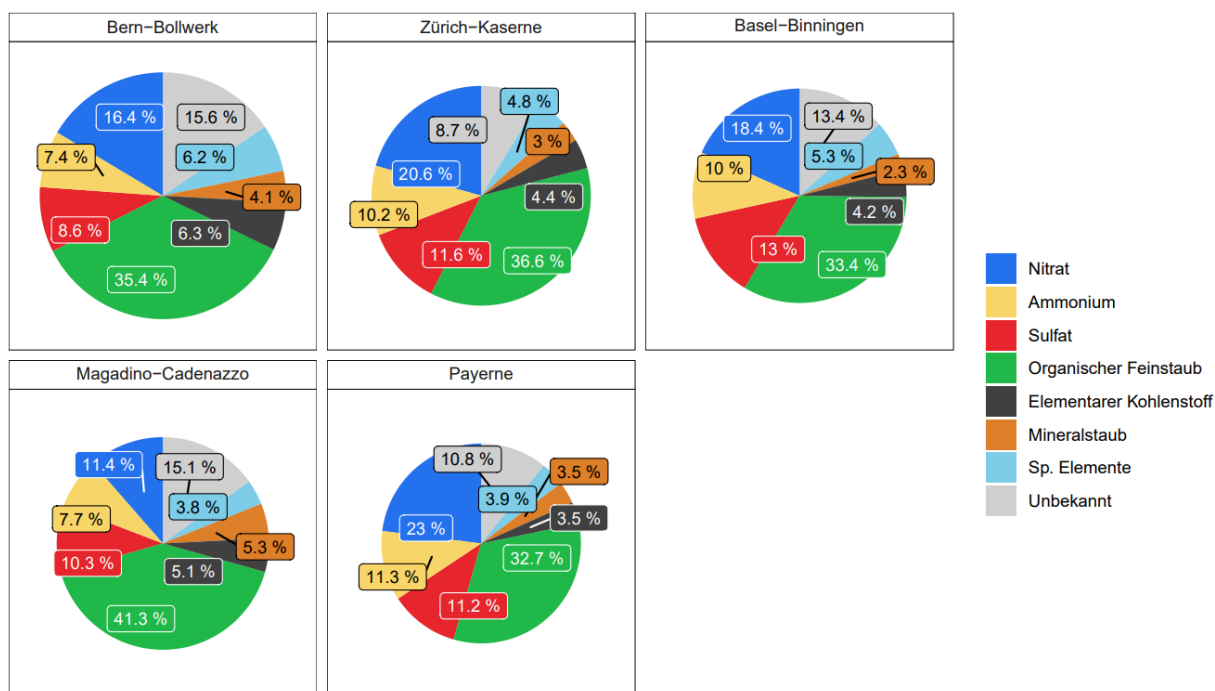


Abbildung 2 Mittlere chemische Zusammensetzung von PM_{2.5} von 2018–2019 an fünf Messstationen des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Die Fläche der Kreise ist proportional zur gesamten Konzentration von PM_{2.5} an den unterschiedlichen Standorten: Bern-Bollwerk 14.0 µg m⁻³, Zürich-Kaserne 11.1 µg m⁻³, Basel-Binningen 10.6 µg m⁻³, Magadino-Cadenazzo 10.4 µg m⁻³, Payerne 9.2 µg m⁻³.

Grafik aus Hüglin and Grange 2021

• Emissionen

- **Wie viel primäres PM2.5 emittieren die verschiedenen Quellen in der Schweiz?**

Die Emissionen von primärem PM2.5 in der Schweiz betrugen im Jahr 2022 knapp 7'000 Tonnen³ (BAFU, UNECE Submission 2024). Die folgende Abbildung zeigt die Anteile der verschiedenen Quellengruppen an diesen Emissionen. Neben Industrie und Verkehr hat auch die Land- und Forstwirtschaft einen 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. In der Abbildung nicht dargestellt sind die Emissionen durch Waldbrände, welche von Jahr zu Jahr sehr variabel sind.

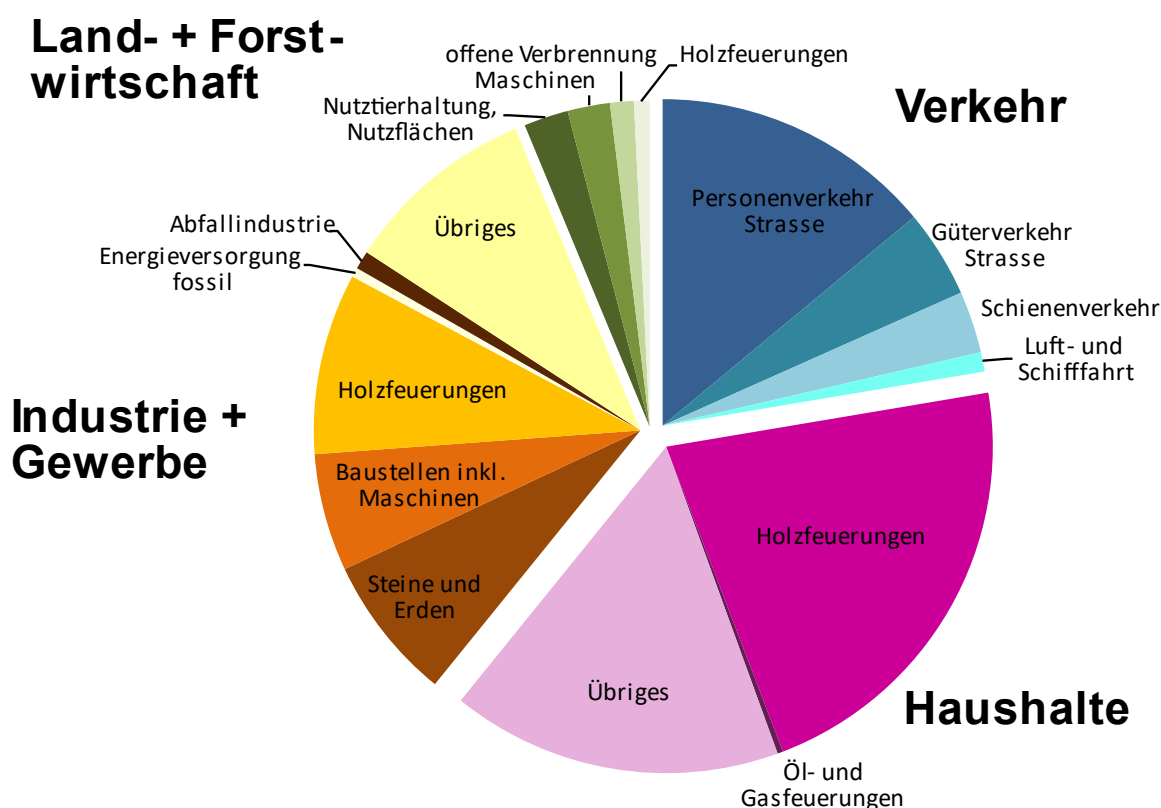


Abbildung 3 Anteile der verschiedenen Quellen an den primären PM2.5-Emissionen in der Schweiz im Jahr 2022
(Quelle: BAFU, UNECE Submission 2024).

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.

• Immissionen

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

Die Messstationen des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL) wiesen in den Jahren 2021-2023 im Mittelland sehr ähnliche Jahresmittelwerte für PM_{2.5} auf. An ländlichen Standorten lagen sie im Bereich von 6-9 µg/m³, an städtischen oder verkehrsbeeinflussten Stationen bei 8-10 µg/m³. Im Tessin werden höhere PM_{2.5}-Werte im Bereich von 9-12 µg/m³ gemessen. Das Verhältnis von PM_{2.5} zu PM₁₀ beträgt im langjährigen Mittel rund 0.7, ausser in der Strassenschlucht und im trockeneren Wallis.

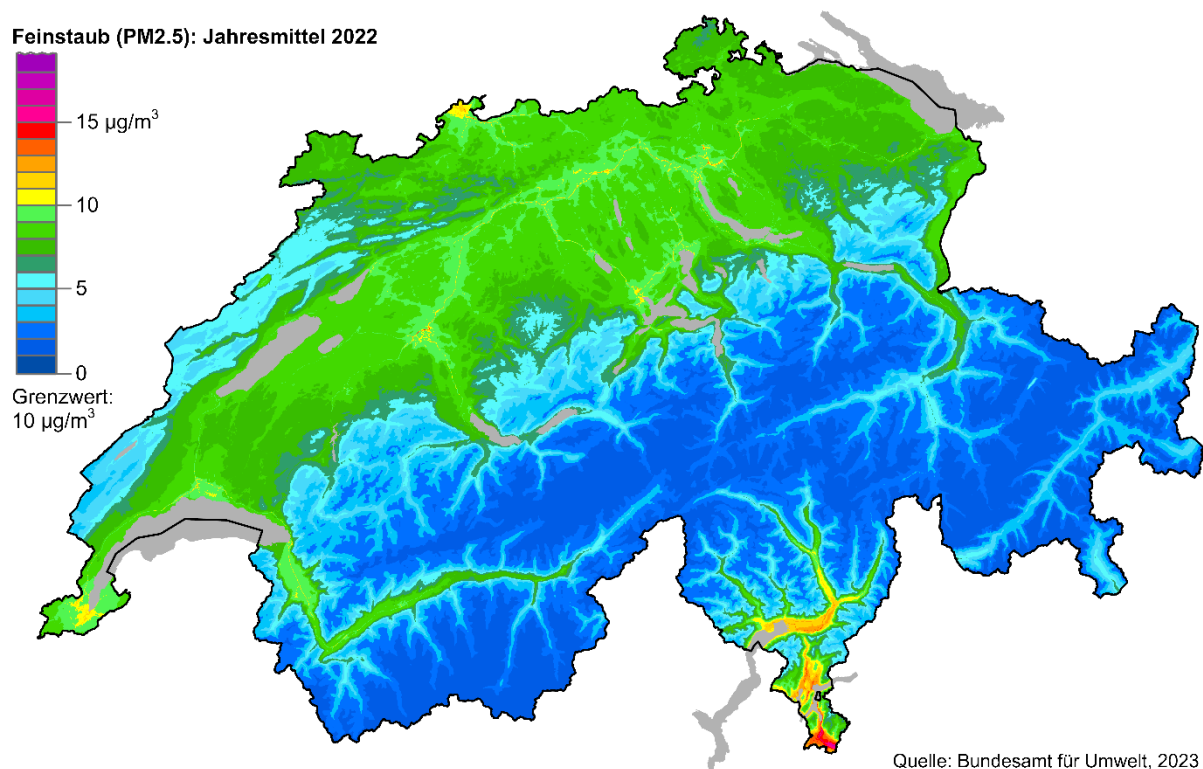


Abbildung 4 Jahresmittel 2022 von PM_{2.5}, berechnet aus einer Kombination von Messwerten und Modelldaten.

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

Dank der Luftreinhalte-Massnahmen von Bund, Kantonen und Gemeinden und der Anwendung des fortschreitenden Standes der Technik konnte der Luftschadstoffausstoss stark vermindert werden. 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. Weitere Informationen sind in den [Jahres- und Monatsberichten NABEL](#) und auf den Webseiten des BAFU zu finden.

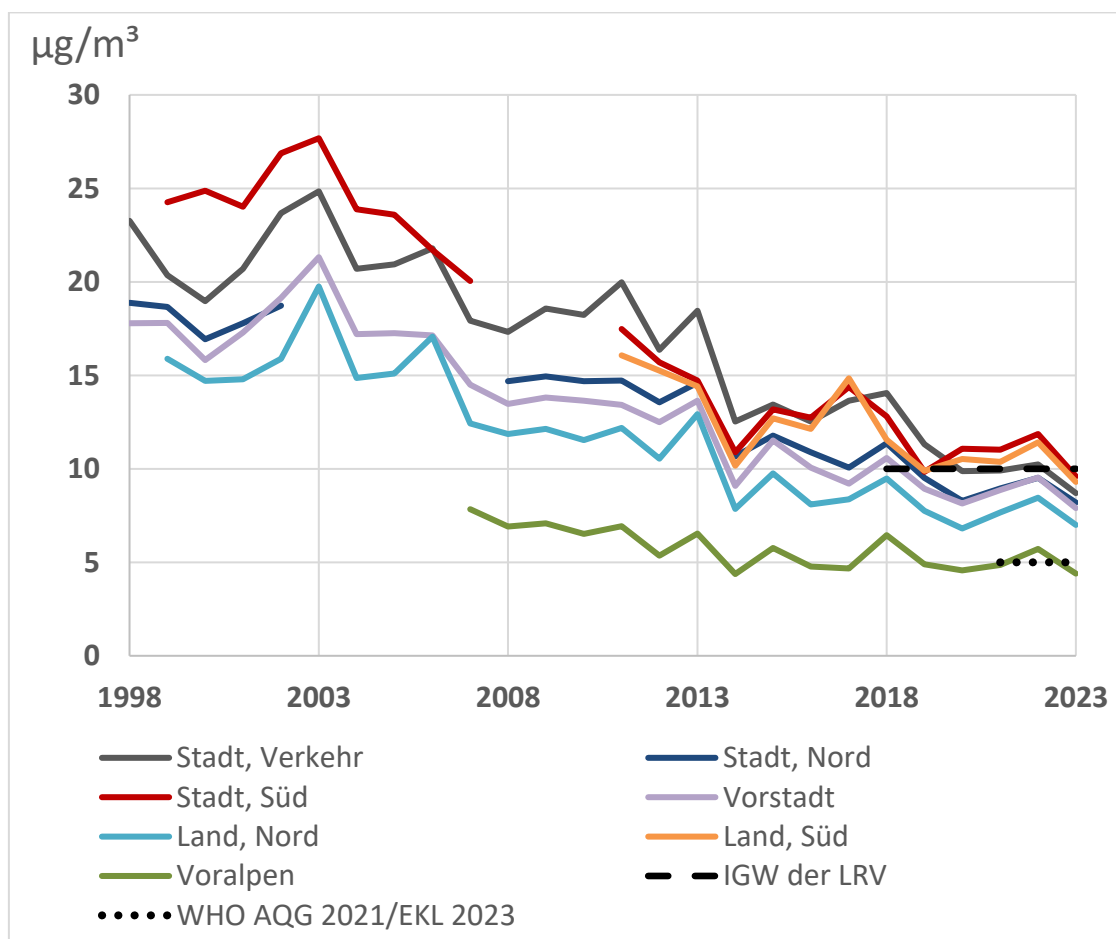


Abbildung 5 Zeitliche Entwicklung der PM2.5-Belastung (Jahresmittel) aus Messungen des NABEL. Eingezeichnet sind auch der aktuell gültige Immissionsgrenzwert (IGW) der Luftreinhalteverordnung (LRV) und der von der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene EKL empfohlene Wert, welcher dem Luftqualitätsrichtwert (AQG) der Weltgesundheitsorganisation WHO entspricht.

- **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 Luftreinhalte-Verordnung (LRV)⁴ nach den Kriterien des Umweltschutzgesetzes (USG)⁵ 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 im Jahr 2018 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 aus dem Jahr 2005 (WHO 2006) und ergänzt die bereits länger bestehenden Grenzwerte für PM₁₀.

Aufgrund einer umfassenden Analyse der wissenschaftlichen Grundlagen hat die WHO im Jahr 2021 ihre Richtwerte für mehrere Luftschadstoffe, unter anderem Feinstaub PM_{2.5}, gesenkt (WHO 2021). Die Eidgenössische Kommission für Lufthygiene empfiehlt die Anpassung der Luftreinhalte-Verordnung unter Berücksichtigung der WHO-Richtwerte 2021 und damit eine Senkung des Jahresmittelgrenzwertes von PM_{2.5} auf 5 µg/m³ und die Einführung eines Tagesmittelgrenzwertes von 15 µg/m³, der dreimal pro Jahr überschritten werden darf (EKL 2023). Zurzeit prüft das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK die Empfehlungen der EKL.

• 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. Sie will bis 2050 Schadstofffreiheit von Luft, Wasser und Boden erreichen (Europäische Kommission 2021). 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. Im Jahr 2024 hat die EU den Jahresmittelgrenzwert für PM_{2.5} auf 10 µg/m³ gesenkt. Die Mitgliedstaaten haben bis 2030 Zeit, diese strengeren Grenzwerte zu erreichen. Unter bestimmten Bedingungen besteht die Möglichkeit eine Fristverlängerung zu beantragen.

In **Kanada** gilt seit 2020 ein Jahresmittelgrenzwert von 8.8 µg/m³. Der Wert darf im Mittel über 3 Jahre nicht überschritten werden.

Die **USA** haben 2023 einen Jahresmittelgrenzwert von 9 µg/m³ festgelegt. Er darf im Mittel über 3 Jahre nicht überschritten werden.

Australien hat als Jahresmittelgrenzwert 8 µg/m³. Er soll im Jahr 2025 weiter gesenkt werden.

⁴ Luftreinhalte-Verordnung [SR 814.318.142.1](#)

⁵ USG: Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz) [SR 814.01](#)

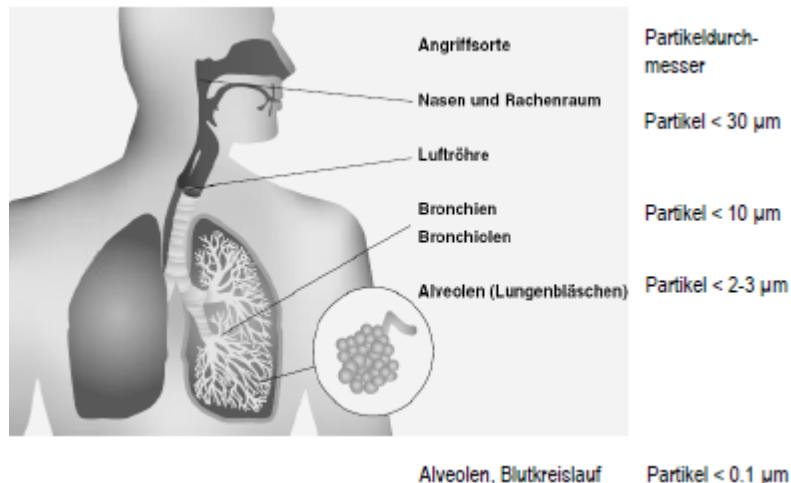
- **Wie werden krebserregende Inhaltsstoffe begrenzt?**

Im Jahr 2012 hat die WHO-Kommission IARC Dieselschluss als erwiesenermassen krebserregend beim Menschen (Kanzerogen der Klasse 1) eingestuft. Dieselbe Einteilung gilt seit Oktober 2013 auch für die Feinstaubmischung im Allgemeinen. Die Konzentration der krebserregenden Schadstoffe muss aus Sicht des Gesundheitsschutzes so tief wie möglich gehalten werden. Die Eidgenössische Kommission für Lufthygiene hat 2013 als Zwischenziel empfohlen, die Belastung durch krebserregenden Russ, der hauptsächlich aus ultrafeinen Partikeln besteht, innerhalb von 10 Jahren auf einen Fünftel (20 %) zu senken (EKL 2013). Insbesondere an verkehrsbelasteten Standorten hat die Russkonzentration inzwischen stark abgenommen (vgl. BAFU, [NABEL-Bericht](#)).

• 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 PM_{2.5} in die kleinen Atemwege und Alveolen eindringen, auf deren Oberfläche sie sich ablagern.



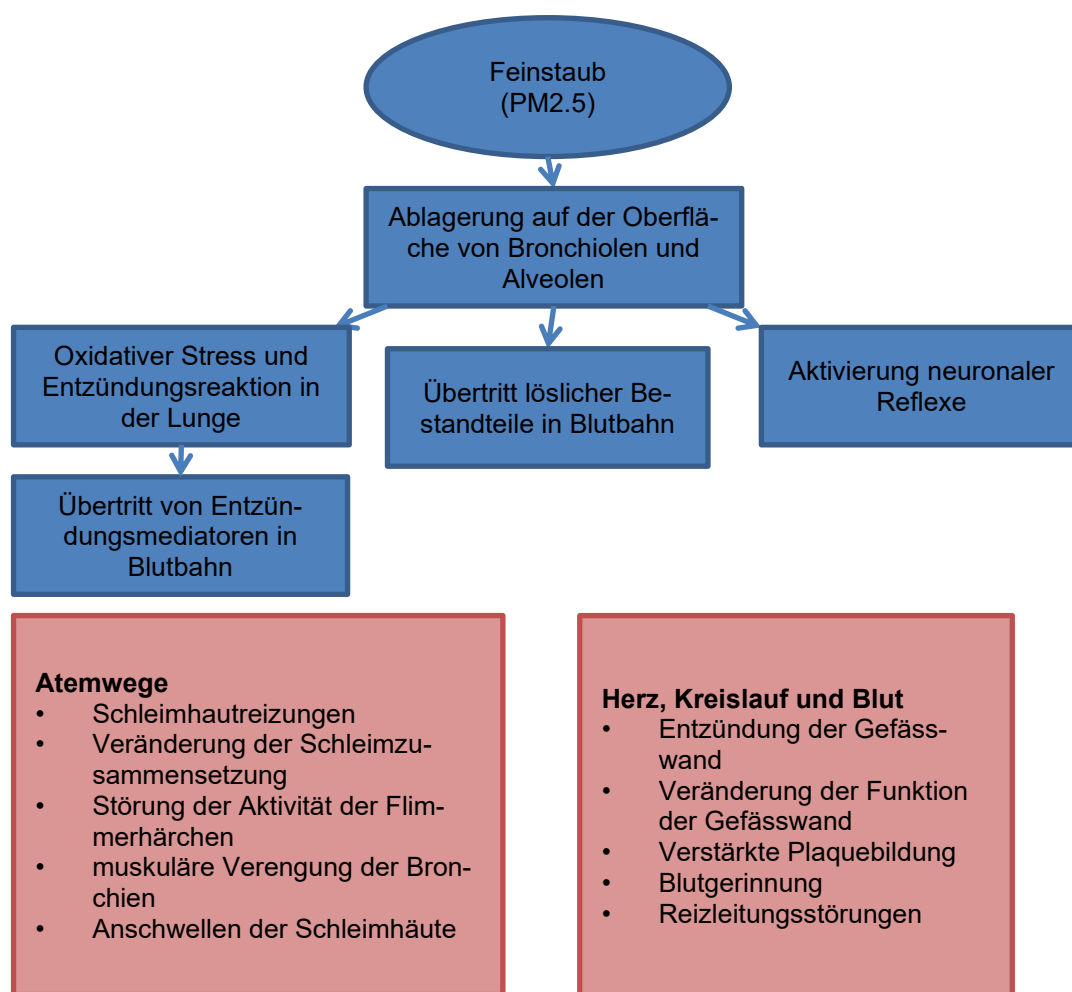
[aus: Feinstaub in der Schweiz, EKL 2007]

• 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 eingedrungenen 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 PM_{2.5}-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 PM_{2.5}-Werten noch stärker ins Gewicht. Unzählige Studien weltweit konnten den Zusammenhang zwischen kurz- und langfristig erhöhter PM_{2.5}-Konzentration und dem vermehrten Auftreten gesundheitlicher Beschwerden, insbesondere von Herz- und Kreislaufkrankheiten, in der Bevölkerung belegen.

Die Weltgesundheitsorganisation WHO hat 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. Auch die Hinweise, dass ultrafeine Partikel einen schädlichen Einfluss auf die Gesundheit haben, verdichten sich. Die WHO hat in ihren Luftqualitätsleitlinien 2021 (WHO global air quality guidelines, WHO 2021) jedoch die Datenlage als nicht ausreichend beurteilt, um Richtwerte für Russ (Black Carbon) und ultrafeine Partikel festzulegen. Sie empfiehlt jedoch, deren Konzentration in der Luft zu messen und Massnahmen zur Reduktion der Belastung zu ergreifen.



- **Folgen eines kurzfristigen Anstiegs der Feinstaub-Belastung und einer langfristig zu hohen Belastung**

Die [interaktive Grafik](#) der Dokumentationsstelle Luftverschmutzung und Gesundheit (LUDOK) gibt einen Überblick über kurz- und langfristige Folgen der Luftbelastung.

Zu den Folgen einer kurzfristig hohen Belastung zählen erhöhte Sterblichkeit an Herz-/Kreislauf- und Atemwegserkrankungen, Bluthochdruck, Verschlechterung

des Zustands von Patienten mit Asthma und Chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD), mehr Notfälle wegen Herz-/Kreislauf-, COPD- und Atemwegserkrankungen, Verschlechterung der Lungenfunktion, Herzrhythmusstörungen.

Folgen einer ständig zu hohen Feinstaubbelastung sind eine Erhöhung der Sterblichkeit an Herz-/Kreislauf- und Atemwegserkrankungen, Lungenkrebs, COPD und Asthma, Entstehung von Lungenkrebs, schädliche Wirkungen auf das Herz-/Kreislaufsystem (Arteriosklerose, Bluthochdruck, Herzrhythmusvariabilität, Blutgerinnung), auf das Nervensystem und die Atemwege (Asthma, Bronchitis, Entzündungen der Atemwege, verringerte Lungenfunktion).

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 PM_{2.5}-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 rund 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 neuen Schweizer Studie (Castro 2023) hätte eine Reduktion des PM_{2.5}-Jahresmittelwertes auf 5 µg/m³ - entsprechend dem Richtwert der WHO 2021 und den Empfehlungen der EKL 2023 - folgende positive Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung in der Schweiz (im Vergleich zur Situation im Jahr 2019):

- rund 2'200 vermiedene frühzeitige Todesfälle
- rund 9'000 vermiedene COPD-Erkrankungen
- rund 5'000 vermiedene Demenzerkrankungen pro Jahr

- **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 stark besiedelten Gebieten ist die Feinstaubbelastung in der Regel höher, 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 2013, EKL 2023).

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

Weitere Informationen zum Thema finden sich auf der Internetseite des Bundesamtes für Umwelt [Auswirkungen der Luftverschmutzung](#) und bei der Dokumentationsstelle Luftverschmutzung und Gesundheit [LUDOK](#).

• 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 (Immissionsgrenzwerte und kritische Eintragswerte) notwendig sind. Beim Feinstaub bezieht sich das Ziel auf PM₁₀, da damals in der LRV nur Immissionsgrenzwerte für dieses Feinstaubmass bestanden.

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 2009 bestehenden 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 Luftreinhalte-massnahmen insgesamt von ähnlicher Bedeutung und Wirkung für PM_{2.5} und PM₁₀. Im Durchschnitt betragen die Immissionen von PM_{2.5} etwa 70 % der Immissionen von PM₁₀.

Es braucht weitergehende Massnahmen bei den relevanten Emissionsquellen von primärem Feinstaub, insbesondere bei Holzheizungen und Einzelraumfeuerungen wie Cheminées. 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 Schadstoffvermindierungen im Ausland Voraussetzung für den Schutz der Gesundheit und der Umwelt.

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

Im Rahmen der UNECE-Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (CLRTAP) ist 2019 das revidierte Göteborg-Protokoll (SR [0.814.327](#)) in Kraft getreten, 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}) verpflichten (Tabelle 3).

	SO ₂	NO _x	VOC	NH ₃	PM _{2.5}
Schweiz	21 %	41 %	30 %	8 %	26 %
Europäische Union (EU27) + Grossbritannien	59 %	42 %	28 %	6 %	22 %

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

Durch die Umsetzung des revidierten Göteborg-Protokolls konnten weitere wesentliche Verbesserungen der Luftqualität erzielt werden. Die Verpflichtungen sind jedoch nur als Zwischenziel zu betrachten, da die international durch die WHO festgelegten Schutzziele eine weitergehende Minderung aller Schadstoffe erfordern.

Insbesondere die NH₃-Emissionen konnten erst in geringem Mass vermindert werden. Sie sind durch zusätzliche Massnahmen in der Landwirtschaft weiter zu senken.

- **Welche zusätzlichen internationalen Emissionsminderungsverpflichtungen sind von Bedeutung?**

Die EU-Staaten haben sich durch die NEC-Direktive⁶ (EU 2016) verpflichtet, ihre Schadstoffemissionen bis 2030 weiter stark zu vermindern. Somit ist davon auszugehen, dass die EU weitere wesentliche Verbesserungen der Luftqualität erzielt, welche auch der Schweiz zugutekommen werden.

	SO ₂	NO _x	VOC	NH ₃	PM _{2.5}
Deutschland	58 %	65 %	28 %	29 %	43 %
Frankreich	77 %	69 %	52 %	13 %	57 %
Italien	71 %	65 %	46 %	16 %	40 %
Österreich	41 %	69 %	36 %	12 %	46 %
EU (27) + Grossbritannien	79 %	63 %	40 %	19 %	49 %

Tabelle 4 Verpflichtungen der EU und der Nachbarstaaten der Schweiz zur Schadstoffreduktion zwischen 2005 und 2030 gemäss NEC-Richtlinie

⁶ [Richtlinie \(EU\) 2016/2284](#)

- **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 von Abgasreinigungssystemen wie Katalysatoren, Dieselpartikelfilter und SCR (selective catalytic reduction) für Strassenfahrzeuge sowie verschärfte Abgas- und Emissionsgrenzwerte für weitere Fahrzeuge und Maschinen, Heizungen, Industrie und Gewerbe
- die Emissionsgrenzwerte für Feuerungen und weitere stationäre Anlagen in Industrie, Gewerbe und Haushalten nach dem aktuellen Stand der Technik.
- Die im Jahr 2000 eingeführte Lenkungsabgabe auf VOC veranlasst Industrie und Gewerbe, ihre Emissionen zu verringern, namentlich auch durch die Entwicklung von Produkten, die wenig Lösungsmittel enthalten (z. B. Farben und Lacke).
- Die leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe mit Differenzierung nach Luftschadstoffemissionen, der Ausbau und die Förderung des öffentlichen Verkehrs und der Elektromobilität tragen zur emissionsärmeren Mobilität bei.
- Vorschriften zur emissionsarmen Ausbringung flüssiger Hofdünger und der Abdeckung von Güllelagern sowie stallbauliche Massnahmen nach dem Stand der Technik tragen zur Verminderung der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen bei.

Zwischen 1990 und 2022 ist in der Schweiz der Ausstoss von Schwefeldioxid um 91 %, von flüchtigen organischen Verbindungen um 75 %, von Stickoxiden um 62 %, und von Ammoniak um 22 % gesunken. Beim primären PM_{2.5} betrug der Rückgang 76 %.

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

Die EU hat Abgasvorschriften für verschiedene Kategorien von Fahrzeugen und Maschinen 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. Für das Inverkehrbringen von Feuerungsanlagen aller Brennstoffarten bestehen Energieeffizienz- und Luftreinhaltevorschriften. Der Schadstoffgehalt von Kraft- und Brennstoffen wurde begrenzt. Die Decopaint-Richtlinie beschränkt den Lösemittelgehalt von Produkten. Die Nitratrichtlinie vermindert die landwirtschaftlichen Stickstoffemissionen. Deren Umsetzung in Deutschland erfolgt durch die Düngeverordnung, welche die Stickstoffgaben begrenzt und emissionsarme Ausbringungsmethoden zur Verminderung der Ammoniakemissionen verlangt. 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 in der Schweiz erforderlich?**

In vielen Bereichen bestehen bereits strenge Luftreinhaltevorschriften. Deren konsequentem Vollzug ist grosse Aufmerksamkeit zu widmen. Potentiale bestehen vorab in folgenden Bereichen:

- allmählicher Ersatz von älteren Holzfeuerungen mit hohen Schadstoffemissionen durch moderne Anlagen, die einen hohen Wirkungsgrad und tiefe Schadstoffemissionen aufweisen
- Ersatz von fossilen und von Biomassefeuerungen durch Wärmepumpen
- allmählicher Ersatz von Dieselmotoren im Offroad-Bereich durch neuere Motoren mit Partikelfiltern und SCR oder gleichwertigen Technologien. Dazu gehören insbesondere auch Landwirtschaftsfahrzeuge, Schiffe und stationäre Motoren.
- Elektromobilität und deren Förderung, Ausbau der Ladeinfrastruktur
- Einführung der geplanten Abgasstufe Euro-7
- Reduktion der landwirtschaftlichen Ammoniak-Emissionen (konsequente Umsetzung der Vorschriften zur Güllelagerabdeckung und emissionsarmen Gülleausbringung, emissionsmindernde Massnahmen im Stallbau, proteinreduzierte Nutztierfütterung)
- regelmässige Nachführung der Luftreinhaltevorschriften nach dem aktuellen Stand der Technik bei allen Luftschadstoffquellen.

• Literatur

- ARE, Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs in der Schweiz, Methodische Grundlagen und Zahlen für das Jahr 2015 (Infras, Ecoplan), Bundesamt für Raumentwicklung, Bern (2018).
- BAFU, [Jahres- und Monatsberichte NABEL](#)
- [BAFU / BLW, Umweltziele Landwirtschaft Umweltwissen Nr. 0820, Bundesamt für Umwelt, Bern, \(2008\).](#)
- BAFU, [Emissionsinformationssystem der Schweiz](#) und [UNECE Submission \(2024\)](#)
- Baltensperger, U. et al., „Holzfeuerungen: eine bedeutende Quelle von Feinstaub in der Schweiz“, Schweiz Z Forstwes 164 (2013) 420-427
- [Castro, A., Quantifizierung des Gesundheitsnutzens der neuen Luftqualitätsleitlinien der Weltgesundheitsorganisation in der Schweiz, Swiss TPH, Allschwil \(2023\).](#)
- [Dällenbach, K., Quellenzuordnung von organischem Aerosol mit massenspektrometrischen Filteranalysen, Paul Scherrer Institut, Villigen \(2017\)](#)
- [EKL \(Eidgenössische Kommission für Lufthygiene\), Feinstaub in der Schweiz, Bern \(2013\).](#)
- [EKL \(Eidgenössische Kommission für Lufthygiene\), Die neuen WHO-Luftqualitätsrichtwerte 2021 und ihre Bedeutung für die Schweizer Luftreinhalte-Verordnung, Bern \(2023\)](#)
- ERS (European Respiratory Society), [Air Quality and Health](#), Lausanne (2010)
- Europäische Kommission, Mitteilung der Kommission, EU-Aktionsplan «Schadstofffreiheit von Luft, Wasser und Boden», COM(2021) 400 final [resource.html \(europa.eu\)](#)
- EU, Richtlinie (EU) 2016/2284 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2016 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe <http://data.europa.eu/eli/dir/2016/2284/oj>
- [Hüglin and Grange, S., Chemical characterisation and source identification of PM10 and PM2.5 in Switzerland, Empa, Dübendorf \(2021\)](#)
- [Hüglin, C., Gianini, M., Gehrig, R. Chemische Zusammensetzung und Quellen von Feinstaub, Empa, Dübendorf \(2012\).](#)
- [Luftreinhalte-Verordnung \(LRV\)](#) vom 16. Dezember 1985 (SR 814.318.142.1) Stand am 1. Januar 2024).
- [Schweizerischer Bundesrat, Bericht Konzept betreffend lufthygienische Massnahmen, BBl 2009 6585.](#)
- [Umweltschutzgesetz](#) (USG) vom 7. Oktober 1983 (SR 814.01) Stand am 1. Januar 2024
- [WHO Air Quality Guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide – Global update 2005.](#) World Health Organization 2006
- WHO, [Health Effects of Black Carbon](#), World Health Organization (2012)

- [WHO Global air quality guidelines 2021. World Health Organization \(2021\)](#)

1