

> PM10 und PM2.5 Immissionen in der Schweiz

Ergebnisse der Modellierung für 2005, 2010 und 2020

*Zusammenfassung der Publikation «PM10 and PM2.5 ambient concentrations in Switzerland»
www.bafu.admin.ch/uw-1304-e*

> Zusammenfassung

Ausgangslage

Gemäss Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985 müssen der Stand und die Entwicklung der Luftverunreinigung überwacht werden. Ausserdem schreibt die Verordnung Anforderungen an die Luftqualität (Immissionsgrenzwerte) vor.

Der zulässige Jahresmittelwert für Staubpartikel mit einem Durchmesser von weniger als 10 Tausendstelmmillimeter (PM10) beträgt $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Als kurzfristiger Grenzwert, der jedoch nur einmal pro Jahr überschritten werden darf, gilt der 24-Stunden-Mittelwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Für PM2.5 ist in der Schweiz kein Immissionsgrenzwert festgelegt (WHO-Empfehlung: $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, US-Grenzwert: $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Seit den 1990er-Jahren ist die mittlere PM10-Belastung in der Schweiz rückläufig. Dies ist einer Reihe von Massnahmen zur Verbesserung der Luftqualität zu verdanken, die von Bund, Kantonen und Gemeinden ergriffen wurden. Die PM10-Immissionen werden an über 60 Messstationen in der ganzen Schweiz gemessen. In Ballungsgebieten sowie entlang von Autobahnen wird der zulässige Jahresmittelwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 regelmässig überschritten. Auch der 24-Stunden-Mittelwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird häufig übertroffen (eine Ausnahme bilden die Messstationen oberhalb 1000 m. ü. M.). Aufgrund der höheren Hintergrundbelastung durch Verfrachtungen aus der norditalienischen Poebene werden in der Südschweiz in der Regel höhere PM10-Immissionskonzentrationen gemessen. Darüber hinaus werden an einer begrenzten Zahl von Messstellen im Mittelland PM2.5-Immissionen gemessen und Werte zwischen 10 und $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ verzeichnet.

Ergänzend zu den Immissionsmessungen wurden die Konzentrationswerte von PM10 und PM2.5 bereits in zwei früheren Studien des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) aus den Jahren 1999 und 2003 modelliert. Im Anschluss an die Aktualisierung der Emissionsdaten in den vergangenen Jahren wurde auch die Konzentrationsmodellierung überarbeitet und in methodologischer Hinsicht verbessert. Der vorliegende Bericht enthält neben neuen Werten der PM10- und PM2.5-Immissionskonzentrationen in der Schweiz für die Jahre 2005, 2010 und 2020 auch Daten zu Bevölkerungsexpositionen sowie zu den bevölkerungsgewichteten mittleren Anteilen von primären/sekundären, im Inland ausgestossenen und aus dem Ausland verfrachteten Partikeln.

PM10- und PM2.5-Emissionen

Als Datengrundlage für die Emissionen und die diesbezüglichen Prognosen diente das Emissionsinformationssystem der Schweiz (EMIS), eine umfangreiche, vom BAFU betriebene Datenbank. Die in dieser Untersuchung verwendeten Emissionsdaten wurden nach dem Territorialprinzip berechnet, welches für die Modellierung von Immissionen zweckmässig ist.

Zwischen 2005 und 2020 wird ein Rückgang der PM10-Emissionen von 23 839 t auf 20 229 t prognostiziert. Dies entspricht einer Abnahme um 15 %. Parallel dazu dürften

auch die PM2.5-Emissionen sinken. Allerdings ist der Rückgang bei den PM2.5-Emissionen aufgrund gezielter Bekämpfungsmassnahmen mit 30 % zwischen 2005 und 2020 stärker ausgeprägt. Bei den Verursachern der PM10-Emissionen lässt sich kein dominierender Sektor erkennen: Alle Sektoren emittieren vergleichbare Mengen. Bei den PM2.5-Emissionen ist die Holzverbrennung die wichtigste Partikelquelle in der Schweiz. In diesem Bereich dürften die Emissionen aufgrund neuer Grenzwerte und Vorschriften bis 2020 indessen signifikant sinken.

Tab. 1 > PM10-Emissionen 2005, 2010 und 2020

Übersicht über die PM10-Emissionen in der Schweiz nach den vier wichtigsten Sektoren (Verkehr, Industrie, Haushalte/Gewerbe, Land- und Forstwirtschaft).

Sektor	2005		2010		2020	
	in t	in %	in t	in %	in t	in %
Verkehr	5 599	23 %	5 463	24 %	5 149	25 %
Industrie	5 739	24 %	5 932	26 %	5 501	27 %
Haushalte/Gewerbe	5 873	25 %	4 985	22 %	4 023	20 %
Land- und Forstwirtschaft	6 627	28 %	6 127	27 %	5 557	27 %
TOTAL	23 839	100 %	22 507	100 %	20 229	100 %

BAFU 2011

Tab. 2 > PM2.5-Emissionen 2005, 2010 und 2020

Übersicht über die PM2.5-Emissionen in der Schweiz nach den vier wichtigsten Sektoren (Verkehr, Industrie, Haushalte/Gewerbe, Land- und Forstwirtschaft).

Sektor	2005		2010		2020	
	in t	in %	in t	in %	in t	in %
Verkehr	2 280	18 %	1 866	17 %	1 163	13 %
Industrie	2 882	23 %	3 177	28 %	2 821	32 %
Haushalte/Gewerbe	5 087	40 %	4 148	37 %	3 175	36 %
Land- und Forstwirtschaft	2 339	19 %	2 071	18 %	1 707	19 %
TOTAL	12 588	100 %	11 262	100 %	8 866	100 %

BAFU 2011

Modellierungsansatz

Eine erste Version des dieser Untersuchung zugrunde liegenden Modells wurde bereits 1999 verwendet. Eine zweite, erweiterte Version kam 2003 zum Einsatz. In der vorliegenden Untersuchung wurde die dritte und umfassend erweiterte Version implementiert und auf die Jahre 2005, 2010 und 2020 angewendet. Das Modell und die Ergebnisse werden im vorliegenden Bericht erläutert. Im Modell werden Inventare von Partikelemissionen anhand standardisierter Transferfunktionen in Konzentrationskarten für primäre Partikel umgewandelt. Diese Funktionen werden in einem meteorologischen Vorprozessor mittels Gauss-Verteilung generiert. Emissionen aus benachbarten Ländern werden in der Modellierung berücksichtigt. Die Sekundärpartikel werden mit einem empirischen, durch Messungen kalibrierten Ansatz hinzugefügt. Biogene und geogene Anteile werden ebenfalls auf empirischer Basis berücksichtigt. Ausgehend

von den PM10- und PM2.5-Immissionskarten werden Daten zur Bevölkerungsexposition abgeleitet. Dabei werden die Einwohnerzahlen pro Gitterzelle und pro Konzentrationswert in jeder Gitterzelle ermittelt. Alle Berechnungen basieren auf Jahresmittelwerten und auf einem Gitternetz mit einer räumlichen Auflösung von 200 m x 200 m.

PM10 und PM2.5 haben nachweislich negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und können beispielsweise Atemnot, Bronchitis sowie Asthmaanfälle bei Kindern und Erwachsenen, Atemwegs- und Herzkreislauf-Erkrankungen sowie Lungenkrebs hervorrufen. Die Bevölkerungsexposition ist daher ein wichtiger Indikator für die Luftreinhaltepolitik. Sie lässt sich aus der kartografischen Darstellung der Konzentrationsverteilungen in Kombination mit der Bevölkerungsdichte ableiten.

Modellresultate

Die Immissionskonzentrationen von PM10 und PM2.5 wurden für die Jahre 2005, 2010 und 2020 modelliert. Die Ergebnisse für 2010 und 2020 sind in Abb. 1 abgebildet. Sie entsprechen den Jahresmittelwerten. Zwischen 2005 und 2010 wurde ein Rückgang festgestellt. Dieser Trend dürfte sich – wenn auch in abgeschwächter Form – im Zeitraum 2010–2020 fortsetzen. Aber auch 2020 werden die PM10-Immissionskonzentrationen in einigen Gegenden nach wie vor über dem Immissionsgrenzwert liegen, beispielsweise in den grössten Städten und entlang gewisser Autobahnabschnitte.

Für die Jahre 2005, 2010 und 2020 wurden die bevölkerungsgewichteten mittleren PM10-Immissionen sowie der Anteil der Bevölkerung ermittelt, der einer Belastung über dem Grenzwert ausgesetzt ist. Eine Aufstellung der Ergebnisse findet sich in Tab. 3.

Tab. 3 > Kennzahlen zur Bevölkerungsexposition für die Jahre 2005, 2010 und 2020

Kennzahl	2005	2010	2020
Mittlere PM10-Immissionen (bevölkerungsgewichtet)	21,6 µg/m ³	19,4 µg/m ³	18,2 µg/m ³
Durchschn. Bevölkerungsanteil mit Exposition über Grenzwert sowie Standardabweichung	66 % ± 10 %	43 % ± 11 %	31 % ± 11 %

Modellvalidierung

Ein Vergleich der modellierten mit den gemessenen PM10-Werten für 2010 ergibt eine sehr hohe Korrelation ($R = 0,82$). Dies entspricht einem Bestimmungskoeffizienten von $R^2 = 0,66$. Unter der Annahme, dass die gemessenen Werte exakt sind, wird die Modellunsicherheit auf 12 % geschätzt (Standardabweichung). Die Residuenanalyse ergibt eine leichte systematische Abweichung, die auf zwei Faktoren zurückzuführen ist: 1) Durch den Vergleich lokal gemessener Maximalwerte mit räumlich gemittelten Modellwerten werden im Modell hohe Werte eher unterschätzt (aufgrund der Gitterweite von 200 m werden Maximalwerte in kürzeren Abständen möglicherweise nicht abgebildet); und 2) Standorte in hohen Lagen (oberhalb typischer Inversionshöhen), die nicht allzu weit von bedeutenden Emissionsquellen in tieferen Lagen (unterhalb der Inversionshöhen) entfernt sind, werden im Modell tendenziell überschätzt.

Abb. 1 > PM10-Konzentrationen 2010 (oben) und 2020 (unten). Grenzwert: 20 µg/m³; Gitterweite 200 m

