

Luftverschmutzung und Krebs in der Schweiz

Quantitative Abschätzung der krebserregenden Wirkungen und Reduktionsbedarf

Heutzutage besteht kein Zweifel mehr, dass ein Zusammenhang zwischen der Luftverschmutzung und der Gesundheit der Bevölkerung besteht und dass diese Auswirkungen aus Public-Health-Sicht ein bedeutendes Problem darstellen. In diesem Artikel werden die krebserregenden Wirkungen der Luftverschmutzung auf die Gesundheit der Bevölkerung in der Schweiz quantitativ abgeschätzt. Ausserdem werden der Emissions-Reduktionsbedarf und mögliche Massnahmen zur Verminderung des Risikos aufgezeigt.

PETER STRAEHL

Sehr viele Studien (1–10) haben in den letzten Jahren eine Zunahme der Mortalität und Morbidität bei zunehmender Belastung der Luft mit Schadstoffen nachgewiesen. Experten der Weltgesundheitsorganisation haben kürzlich den aktuellen Wissenstand bezüglich der Wirkungen der Luftschadstoffe auf die Gesundheit des Menschen zusammenfassend beurteilt und Luftqualitätsrichtlinien veröffentlicht (11).

Die Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Mortalität und Morbidität der Bevölkerung in der Schweiz wurden bereits quantifiziert (12). Die Frage, wie viele Krebstodesfälle in der Schweiz auf die Luftverschmutzung zurückzuführen sind, wurde aber noch wenig untersucht.

Bevölkerungsexposition

Die Risikoabschätzungen wurden auf der Basis der Exposition der Bevölkerung gegenüber den Luftschadstoffen PM_{2.5} (feine Partikel mit einem Durchmesser $\leq 2,5 \mu\text{m}$) und Benzol vorgenommen. Die Exposition der Bevölkerung wurde mithilfe von empirischen Ausbreitungsmodellen und unter Verwendung typischer schweizerischer Meteorologie bestimmt (13).

Die mittlere Belastung der Bevölkerung der Schweiz durch feine PM_{2.5}-Partikel betrug im Jahr 2000 rund $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die Benzol-Belastung lag im Mittel bei rund $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mit den heute bereits beschlossenen oder im Grundsatz vorgesehenen Massnahmen wird die mittlere Belastung bis ins Jahr 2010 auf zirka $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2.5} und zirka $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Benzol sinken. Mit zusätzlichen, heute noch nicht beschlossenen Massnahmen

könnte die mittlere PM_{2.5} Belastung bis ins Jahr 2010 auf zirka $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gesenkt werden. Primäre und sekundäre Partikelanteile tragen jeweils etwa gleichviel zur mittleren Bevölkerungsbelastung bei.

Expositions-Wirkungs-Beziehungen

Die Lungenkrebsfälle wurden auf der Basis einer linearen Expositions-Wirkungs-Beziehung berechnet, welche die Zunahme der Sterblichkeit an Lungenkrebs mit zunehmender Partikelbelastung oberhalb von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2.5} dokumentiert. Dabei wurden die in einer grossen Kohortenstudie in den USA (14) bestimmten relativen Risiken auf die Bevölkerung der Schweiz (Personen über 30 Jahre) übertragen. Die Kohorte der Amerikanischen Krebsgesellschaft ACS umfasste über 500 000 erwachsene Männer und Frauen, welche zwischen 1979 und 2000 registriert, beobachtet und zum Teil untersucht wurden. Ebenso wurden der Zeitpunkt der Todesfälle und die Todesursachen bestimmt. Zeitgleich wurde die Belastung der Luft mit verschiedenen Schadstoffen in 156 Regionen der USA erhoben. In die Analysen wurden auch über 30 Einflussfaktoren wie Rauchen, Ernährung, Ausbildung, Körpergewicht, Alter, Geschlecht mit einbezogen. Die Auswertung der Daten in Bezug auf Luftverschmutzung und Krebs unter Einbezug aller erhobenen Einflussfaktoren zeigt, dass das Risiko, an Lungenkrebs zu sterben, um 14% steigt, wenn die Feinstaubbelastung (PM_{2.5}) in der Atemluft im Jahresmittel um $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ höher ist.

Die Leukämiefälle wurden mithilfe des WHO Unit Risks für Benzol (6 Fälle pro Million Personen, welche

ein Leben lang $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Benzol einatmen) berechnet. Dabei wurde die gesamte Bevölkerung in die Berechnungen einbezogen und eine lineare Expositions-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellenwert vorausgesetzt.

Krebsrisiko für die Bevölkerung

Gestützt auf die Exposition der Bevölkerung der Schweiz gegenüber dem Schadstoff PM_{2.5} sowie auf signifikante, in grossen epidemiologischen Studien belegte Risikoerhöhungen und die Lungenkrebs-Mortalitätst Statistik der Schweiz der letzten Jahre kann davon ausgegangen werden, dass die übermässige Belastung der Luft mit feinen, lungengängigen Partikeln für rund 270 (100 bis 450) Todesfälle wegen Lungenkrebs pro Jahr verantwortlich gemacht werden kann. Die übermässige Belastung der Luft mit gasförmigen, kanzerogenen Schadstoffen verursacht zusätzlich noch rund 30 Todesfälle. Das bedeutet, dass das Risiko, durch Einatmen von Luftschadstoffen an Krebs zu erkranken, relativ gross ist: Zirka 10% der Lungenkrebstodesfälle in der Schweiz können der übermässigen Luftverschmutzung zugeordnet werden. Nach dem aktiven Rauchen ist die verschmutzte Atemluft ein wichtiger Risikofaktor für den Lungenkrebs. Das luftverschmutzungsbedingte Krebsrisiko ist etwa mit dem Risiko aus der Passivrauch-Exposition vergleichbar. Aus Public-Health-Sicht besteht ein grosser Handlungsbedarf, das Risiko zu reduzieren.

Schadstoffquellen

Im Jahr 2000 wurden in der Schweiz zirka 21 000 Tonnen primäre PM₁₀-Partikel (Partikel mit einem Durchmesser $\leq 10 \mu\text{m}$) emittiert, davon waren rund 10 000 Tonnen feine Partikel mit einem Durchmesser $\leq 2,5 \mu\text{m}$ (PM 2.5). Unter den PM₁₀- und PM_{2.5}-Partikeln befinden sich zirka 4000 Tonnen feinste Partikel aus Verbrennungsprozessen, vor allem Russ aus Dieselmotoren und der schlechten Verbrennung von Holz und Holzabfällen. Es sind vor allem die feinsten Russpartikel, welche für das von Luftschadstoffen ausgehende kanzerogene Risiko verantwortlich gemacht werden (15, 16). Die erwähnten Emissionszahlen beziehen sich auf die gesamte Schweiz. Zur Belastung der Bevöl-

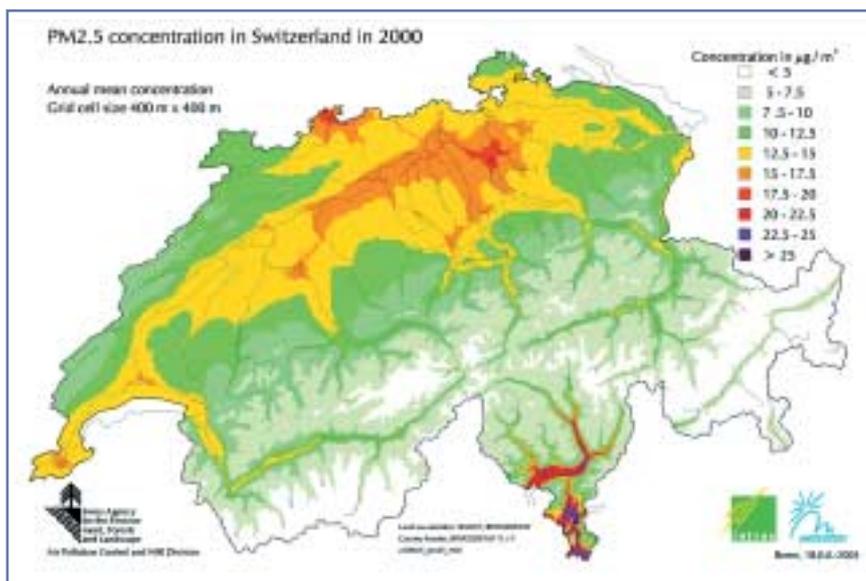


Abbildung 1: Die Karte zeigt die PM_{2.5}-Konzentrationen in der Schweiz im Jahr 2000.

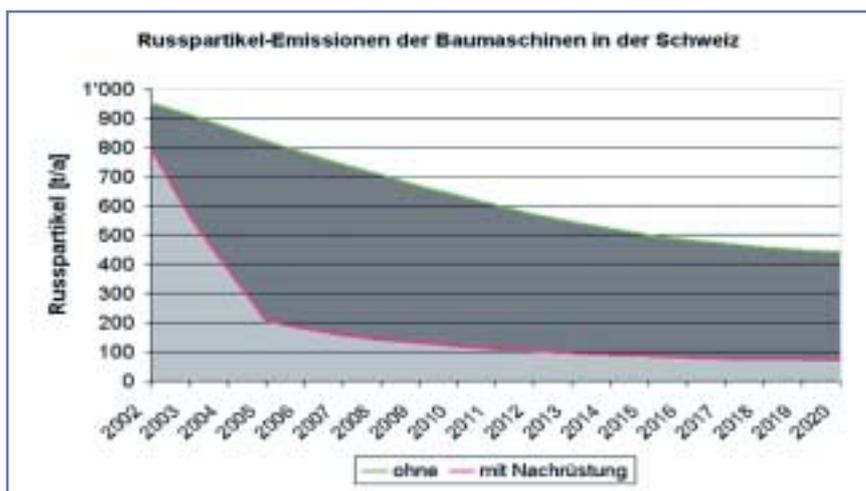


Abbildung 2: Die Grafik zeigt die Russ-Emissionen der Baumaschinen in der Schweiz mit und ohne Partikelfilter.

kerung tragen die Emissionen aus dem Verkehr und den Haushalten eher überdurchschnittlich, die Emissionen aus der Land- und Forstwirtschaft eher unterdurchschnittlich bei.

Im Jahr 2000 wurden rund 33% der feinen PM_{2.5}-Partikel durch die Industrie und das Gewerbe, rund 28% durch die Land- und Forstwirtschaft, rund 25% durch den Verkehr und rund 14% durch die Haushalte emittiert. Im gleichen Bezugsjahr stammten je rund ein Drittel der Russ-Emissionen aus dem Verkehr sowie aus der Land- und Forstwirtschaft, zirka ein Viertel aus Industrie und Gewerbe und der Rest aus den Haushalten. Aus den Auspuffen des Strassenverkehrs entwichen im Jahr 2000 zirka 1700 Tonnen

feinste Partikel, das meiste davon Diesel-Russ. Der Strassenverkehr ist damit der bedeutendste Russ-Emittent in der Schweiz. Bedeutende Beiträge werden durch die Land- und Forstwirtschaft (Traktoren, Maschinen, offene Feuer), den Bausektor (Baumaschinen) und die Haushalte (Holzfeuerungen) emittiert. Die Benzol-Emissionen lagen im Jahr 2000 bei rund 2000 Tonnen pro Jahr. Die Benzol-Belastung der Bevölkerung hängt aber nicht nur von einer mittleren Aus-senluftkonzentration ab; rund die Hälfte der Belastung wird durch die Aufenthaltsdauer an Orten mit Spitzenbelastungen wie Tankstellen oder Tiefgaragen verursacht (17). An solchen Orten können die Belastungen bis zu 2000-mal höher

sein als in der Umgebungsluft. Rund 75% der Benzol-Emissionen stammen aus den Auspuffen des motorisierten Strassenverkehrs (Benzinmotoren von Personen- und Lieferwagen, 2-Takt-Motoren). Bedeutende Beiträge werden beim Umschlag (Betanken der Autos) und der Lagerung von Benzin, durch den Offroad-Bereich (Geräte der Land- und Forstwirtschaft, Gartenpflege und Hobby) und die Feuerungen (Holzfeuerungen) emittiert (Stand 2000).

Reduktionsbedarf

Der verfassungsmässige Schutzanspruch der Bevölkerung wäre bei einem Risiko von einem luftschadstoffbedingten Krebsfall pro Jahr noch gewährleistet (18). Das von der Luftverschmutzung ausgehende Risiko für die Bevölkerung liegt heute aber mehr als 100-mal über einem USG-konformen Risiko. Das Lebenszeitrisiko liegt bei 3/1000 (3.10⁻³) anstatt bei 1/100 000 (10⁻⁵). Die Emissionen der kanzerogenen Luftschadstoffe müssen also deutlich gesenkt werden.

Um den verfassungsmässigen Schutzanspruch der Bevölkerung zu gewährleisten, müssen die jährlichen Russ-Emissionen um zirka den Faktor 30 auf höchstens 100 bis 200 Tonnen pro Jahr gesenkt werden (grobe Schätzung). Um den gesetzlich festgelegten PM10-Immissionsgrenzwert der Luftreinhalte-Verordnung LRV einzuhalten, müssen die PM10-Emissionen gegenüber dem Stand von 2000 noch um zirka 50% auf rund 10 000 Tonnen pro Jahr reduziert werden.

Schliesslich sollten, um die Qualität der Atemluft auf ein USG-konformes Niveau zu bringen, in der Schweiz pro Jahr auch nicht mehr als 100 (50 bis 150) Tonnen Benzol emittiert werden. Wenn die ambitiösen, aber aus Public-Health-Sicht gerechtfertigten Emissionsziele für Russ und Benzol einmal erreicht werden, dürften die Aussenluftkonzentrationen der beiden krebserregenden Schadstoffe 0,1–0,5 µg/m³ im Jahresmittel nicht mehr übersteigen.

Reduktionsmassnahmen

Zur Reduktion der PM- und vor allem der Diesels Russ-Emissionen steht der Partikelfilter klar im Vordergrund. Mit dem Filter können 90% (Masse) bis 99% (Anzahl) der feinsten Partikel aus dem Abgasstrom

herausgefiltert werden. Die kanzerogene Potenz der Abgase nimmt um mehr als 90% ab. Würden alle Lastwagen, Baumaschinen, Traktoren und Dieselpersonenwagen mit Partikelfiltern ausgerüstet, könnten in den nächsten Jahren mehrere hundert Lungenkrebsfälle vermieden werden. Allein mit dem Einbau von Partikelfiltern in alle Lastwagen lassen sich in der Schweiz pro Jahr 15 bis 20 Fälle von Lungenkrebs vermeiden. Im Jahr 2006 haben das Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) und der Bundesrat 14 Massnahmen zur Reduktion der Feinstaub- und insbesondere der besonders gefährlichen und krebserregenden Russ-Partikel aus der Diesel- und Holzverbrennung beschlossen (Aktionsplan Feinstaub). Die Massnahmen sollen baldmöglichst umgesetzt werden.

Auch aus ökonomischer Sicht lohnen sich diese Massnahmen, das Nutzen-Kosten-Verhältnis ist sehr positiv. Durch den Einbau von Partikelfiltern in Baumaschinen gemäss der ab September 2003 in der Schweiz geltenden Baurichtlinie «Luftreinhalte auf Baustellen» beispielsweise lassen sich zwischen 2002 und 2020 rund 3500 Tonnen feinsten Russpartikel reduzieren.

Damit können im gleichen Zeitraum rund 640 vorzeitige Todesfälle, davon 60 Lungenkrebs-Todesfälle, und unzählige Fälle von akuter Bronchitis bei Kindern und Asthma-Anfällen bei Erwachsenen vermieden werden. Etwa 1600 Millionen Franken an Gesundheitskosten lassen sich dadurch einsparen. Die Ausrüstung der Maschinen mit Partikelfiltern nach den Vorgaben der Baurichtlinie kostet insgesamt zirka 300 Millionen Franken (15 000 Baumaschinen x CHF 20 000 pro Filter). Der Nutzen übersteigt die Kosten etwa um den Faktor 5.

Zur Reduktion der Benzol-Belastung sind ebenfalls weitere Massnahmen notwendig. Dazu gehören die weitere Verschärfung der Abgasvorschriften für Personenwagen im Gleichschritt mit der EU und der konsequente Vollzug der Vorgaben der Luftreinhalte-Verordnung, beispielsweise im Bereich der Tankstellen. Bei rund 30% der Tankstellen funktioniert die vorgeschriebene Gasrückführung nur mangelhaft. Die Verwendung von aromatenfreiem Gerätebenzin nach

Schweizer Norm, wenn 2-Takt-Motoren unverzichtbar sind (z.B. bei Kettensägen), die vollständige Fassung und lufthygienisch optimale Ableitung der Abluft besonders bei Einstellhallen und Garagen und der Verzicht auf kurze Autofahrten sind weitere Massnahmen zur Reduktion der Benzol-Belastung. ▲

Dr. pharm. Peter Straehl, MPH
Bundesamt für Umwelt (BAFU)
3003 Bern
E-Mail:
peter.straehl@bafu.admin.ch

Neu bearbeitete, aktualisierte Version der Erstpublikation in «Oekoskop – Fachzeitschrift der Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz» 2005; 1: 19–21 mit freundlicher Genehmigung.

Quellen:

1. Dockery DW, et al.: An association between air pollution and mortality in six U.S. Cities. *N Engl J Med* 1993; 329: 1753–1759.
2. Zemp E, et al. and the SAPALDIA Team: Long-term ambient air pollution and respiratory symptoms in adults (SAPALDIA study). *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 159: 1257–1266.
3. Samet JM, et al.: Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities 1987–1994. *N Engl J Med* 1995; 343: 1742–1749; 1798–1799.
4. Hoek G, et al.: Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet* 2002; 360: 1203–1209.
5. Gauderman WJ, et al.: The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age. *N Engl J Med* 2004; 351: 1057–1067.
6. Samoli E: Estimating the exposure-response relationships between particulate matter and mortality within the APHEA multicity project. *Environ Health Perspect* 2005; 113 (1): 88–95.
7. Dominici F, et al.: Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory disease. *J Am Med Assoc* 2006; 295: 1127–1134.
8. Gehring U, et al.: Long-term exposure to ambient air pollution and cardio-pulmonary mortality in women. *Epidemiology* 2006; 17 (5): 545–551.
9. Laden F, et al.: Reduction in fine particulate air pollution and mortality: extended follow-up of the Harvard Six Cities study. *Am J Respir Crit Care Med* 2006; 173 (6): 667–672.
10. Vineis P, et al.: Air pollution and risk of lung cancer in a prospective study in Europe. *Int J Cancer* 2006; 119 (1): 169–174.
11. WHO: WHO Air Quality Guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide – Global Update 2005. Summary of risk

assessment. WHO Press 2006. www.euro.who.int/Document/E87950.pdf

12. ARE: Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2000. Herausgeber ARE, BAG, BFE, BUWAL 2004. Bezugsquelle: www.are.ch oder www.bbl.admin.ch/bundespublikationen, Art. Nr.: 819.039.d

13. BUWAL: Modelling of PM10 and PM2.5 ambient concentrations in Switzerland 2000 and 2010. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schriftenreihe Umwelt-Materialie, 2003; 169.

14. Pope CA, et al.: Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *J Am Med Assoc*; 2002; 287 (9): 1132–1141.

15. LAI: Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen. (LAI = Länderausschuss für Immissionsschutz. Hrsg.: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf 1992.

16. LAI: Kanzerogene Wirkungen von Partikeln in der Atemluft. Bericht des Ausschusses «Luftqualität/Wirkungsfragen/Verkehr» der Bund/Länder-

Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz LAI. Ergebnisniederschrift über die 11. Sitzung des LAI vom März 2006 in Schwerin, TOP 8.1.3.

17. EKL: Benzol in der Schweiz. Bericht der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene EKL. Hrsg: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. Schriftenreihe Umwelt Nr. 350. Bern, 2003.

18. Brunner: Rechtsgutachten betreffend Grundlagen für die Anordnung verschärfter Emissionsbegrenzungen bei kanzerogenen Luftschadstoffen. Zürich, August 2000.