



Die Luftverschmutzung in der Schweiz – unsere Lungen verstauben!

Otto Brändli¹

Pneumologie, Zürcher Höhenklinik Wald, Faltigberg/Wald

Quintessenz

- Dank gesetzlichen und technischen Massnahmen ist die Luftbelastung durch die Primärschadstoffe Schwefeldioxid (SO₂) und Stickstoffdioxid (NO_x) sowie den Sekundärschadstoff Ozon (O₃) in der Schweiz in den letzten 15 Jahren deutlich zurückgegangen.
- Die von Dieselmotoren ausgestossenen Feinstaubpartikel (PM, particulate matter) nehmen hingegen seit dem Jahr 2000 zu und haben viel dazu beigetragen, dass während der Wintersmogepisoden 2003 und 2006 die Höchstwerte weit über den Kurzzeitgrenzwert von 50 µg/m³ anstiegen.
- Russpartikel können bereits im Kindesalter in alveolären Makrophagen nachgewiesen werden und führen zu Funktionseinbussen, Lungen- und Herzkrankheiten, Krebsleiden und zu einer Zunahme der Todesfälle um 0,5% pro Anstieg der Feinstaubkonzentration um 10 µg/m³ PM10 (Durchmesser <10 µm).
- Dieselmotoren produzieren zwar 12% weniger Kohlendioxid (CO₂) als Benzinmotoren, dafür stossen sie 1000mal soviel lungengängige Russpartikel und fünfmal soviel NO_x aus wie diese! Partikelfilter haben einen Wirkungsgrad von 99% und mehr. Daher sollten diese bereits heute, noch vor der Einführung der entsprechenden Euro-5-Norm im Jahr 2009, bei uns zur Pflicht werden!
- Der Anteil der Holzfeuerungen an der Staubbelastung ist während der Wintersmogepisoden und vor allem bei unvollständiger Verbrennung beträchtlich. Durch technische Massnahmen lässt sich aber auch hier die Partikelemission um das 100 bis 1000fache senken.
- Smogverordnungen mit einem Verbot von Zweitheizungen oder von Feuer im Freien sowie eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 80 km/h auf Autobahnen und Autostrassen ab einem Kurzzeitwert von 100 µg/m³ PM10 sind Notlösungen und weniger wirksam als langfristige Lenkungsmaßnahmen, die Einführung von Grenzwerten für feine Partikel (PM_{2,5}: Durchmesser <2,5 µm) und/oder Russ sowie einer Partikelfilterpflicht.
- Die frühzeitige Einführung von Grenzwerten und deren Durchsetzung kann auch zu neuen Produkten für unsere Exportwirtschaft führen.
- Ärztinnen und Ärzte sollten durch ihr Verhalten im Verkehr, beim Einkaufen, beim Heizen und mit ihrem Einsatz für eine nachhaltige Umweltpolitik ein Vorbild sein.

Summary

Air pollution in Switzerland: filling our lungs with dust!

- *As a result of environmental legislation and technical innovations, ambient air pollution caused by the primary pollutants sulphur dioxide (SO₂) and nitrogen oxide (NO_x) as well as by the secondary pollutant ozone (O₃) has decreased significantly over the past 15 years in Switzerland.*
- *Nevertheless emissions of particulate matter (PM) from diesel engines have been increasing since 2000 and have reached values well above the short-term air quality standard for PM10 (dia. <10 µg) of 50 µg/m³ during the winter-smog periods in 2003 and 2006.*

Die Sichtweite nimmt ab!


Beobachtungen der MeteoSchweiz haben seit dem Jahr 1880 einen Rückgang der Sichtweite als Folge von vermehrtem «Smog», der Kombination von Feinstaubpartikeln («smoke») und feinen Nebeltröpfchen («fog»), dokumentiert. So ist zum Beispiel der Urirotstock in 53 km Entfernung vom Dach der MeteoSchweiz auf dem Zürichberg aus heute nur noch an 20 statt wie 1880 an über 100 Tagen pro Jahr sichtbar [1]. Ein Grund zur Besorgnis für den Schweizer Tourismus, aber auch für die Schweizer Lungen! Die Luftbelastung mit Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxiden (NO_x), flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und dem Sekundärschadstoff Ozon (O₃) konnte zwar in den letzten 15 Jahren dank gesetzlichen («Luftreinhalte-Verordnung [LRV]» von 1985/1998) und technischen Massnahmen wie zum Beispiel der Katalysatorpflicht deutlich reduziert werden, dafür ist aber die Belastung der Luft mit Feinstaubpartikeln (PM, particulate matter) seit dem Jahr 2000 drastisch angestiegen.

Vor allem in den beiden Jahren 2003 und 2006 wurden in unseren Agglomerationen während winterlichen Inversionslagen Feinstaubhöchstwerte gemessen, die weit über dem Kurzzeitgrenzwert von 50 µg/m³ lagen (aktuelle Werte im Internet unter www.bafu.admin.ch/luft/luftbelastung/aktuell/index.html?lang=de). Dieser Anstieg ist höchstwahrscheinlich eine Folge der massiven Zunahme von Dieselfahrzeugen ohne Filterpflicht, die auch nach der seit dem 1. Januar 2005 geltenden Euro-4-Norm immer noch 25 mg Feinstaubpartikel pro gefahrenen Kilometer produzieren dürfen! Dabei erfolgt die Testmessung in einem künstlichen Fahrzyklus, der das reale Fahrverhalten auf der Strasse nur ungenügend wiedergibt.

Messungen der Partikelzahl auf Kopfhöhe am Rand vielbefahrener Strassen ergeben deshalb regelmässig Werte von bis zu 100 000 Feinstaubpartikeln pro cm³! Dies kann eindrücklich anhand einer vom Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL) an einer Bushaltestelle im Zürcher Oberland durchge-

¹ Präsident der Lungenliga Zürich.

- Carbon particles are already found in alveolar macrophages in children. They are associated with diminished lung function as well as with pulmonary and heart diseases and cancer in children and adults. An increase of $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of PM10 leads to a 0.5% increase in the daily number of deaths.
- Although diesel engines produce 12% less carbon dioxide (CO_2) than engines running on petrol, they also produce 1000 times more ultrafine particles and five times more NO_x . Particulate filters have an efficiency of over 99% and should be made compulsory in Switzerland even before implementation of the equivalent Euro-5 standard in 2009.
- Residential wood smoke makes a large contribution to the PM concentrations during winter-smog episodes. This is especially due to incomplete combustion; these emissions could be decreased to one-hundredth and even one-thousandth of their present value via technical measures.
- Anti-smog orders prohibiting secondary heating and outdoor fires as well as 80 km/h speed limits on motorways during periods with PM10 short-term values above $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ are only emergency measures and are less effective than long-term regulation measures such as the introduction of a new standard for PM2.5 (dia. $<2.5 \mu\text{m}$) or soot as well as the introduction of compulsory particulate filters.
- The early introduction of more stringent air quality standards and their implementation not only protect the public's health. It can also generate new products for our export industry.
- Doctors should act as role models of sustainable environmental behaviour in such areas as transportation, shopping and heating.

fürten Messreihe gezeigt werden (Abb. 1 ). Wer in Strassennähe lebt, atmet pro Tag bis zu 1000 Staubpartikel in jede seiner 300 Millionen Alveolen ein. Russpartikel lassen sich mit zunehmender Aussenluftbelastung in den alveolären Makrophagen von gesunden Kindern nachweisen. Sie können von unseren normalen Abwehrmechanismen, der mukoziliären Clearance und den alveolären Makrophagen, nicht mehr voll-

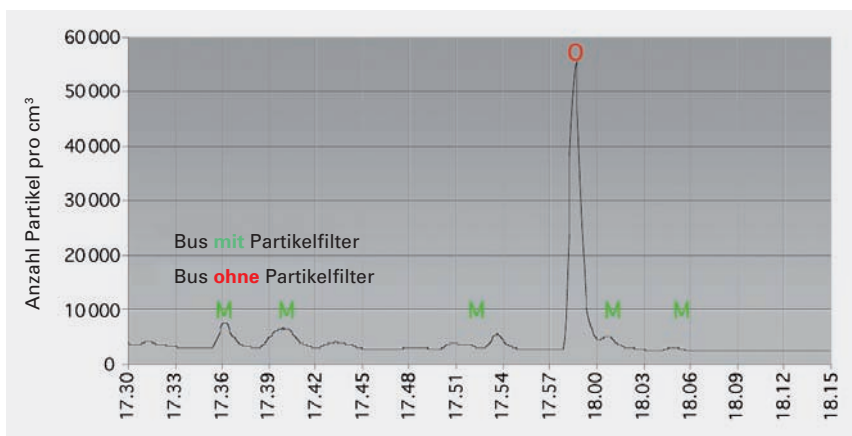



Abbildung 1

Dieselsrusspartikel gemessen auf Kopfhöhe an einer Busstation in Grüningen (ZH) am 4. April 2005 von 17.30 bis 18.15 Uhr: Während ein kurzer Halt der VZO-Busse mit Dieselpartikelfilter kaum zu einer Staubbelastung führt, lässt ein noch nicht mit Filter ausgerüsteter Bus die Werte bis auf 60000 Partikel pro cm^3 ansteigen! (Messungen des Amts für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich [AWEL].)

ständig abtransportiert werden (Tab. 1 ). Parallel dazu nimmt auch die Lungenfunktion ab [2]. Heute weiss man zudem, dass Feinstaubpartikel (PM10: Durchmesser $<10 \mu\text{m}$; PM2,5: Durchmesser $<2,5 \mu\text{m}$) durch die Epithelzellen hindurch in den Körper eindringen und auf dem Blutweg weitertransportiert werden können. Inhalierte ultrafeine Partikel (UFP: Durchmesser $<0,1 \mu\text{m}$) sind bereits auch in den Erythrozyten und im Hirngewebe mikroskopisch nachgewiesen worden [3, 4].

Feinstaub macht krank!

Seit der Londoner Smogkatastrophe von 1952 wissen wir, dass Luftverschmutzung nicht nur krank macht, sondern auch tödlich ist! Die Gefährlichkeit von Feinstaub ist wissenschaftlich seit Jahren erwiesen. Es gibt keinen Schwellenwert, unterhalb dessen Luftschadstoffe keine akuten oder chronischen Auswirkungen mehr zeigen.

Die Schweizer Umweltstudie SAPAPLDIA hat gezeigt, dass Teilnehmer, die näher als 20 Meter von einer Hauptstrasse entfernt wohnen, deutlich mehr Atembeschwerden haben also solche, die weiter entfernt leben [5]. Auch andere epidemiologische Studien haben ergeben, dass in der Nähe vielbefahrener Strassen zu leben ein Gesundheitsrisiko darstellt. Die Lungenfunktion von Jugendlichen ist weniger gut, wenn sie in Gebieten mit hohen Schadstoffkonzentrationen aufwachsen müssen [6]. Koronare Ereignisse wie eine instabile Angina pectoris und Herzinfarkte korrelieren mit der gleichzeitig gemessenen Feinstaubkonzentration [7].

Der eindrücklichste Beweis ist die akute Zunahme der Todesfälle um 0,5% pro Anstieg der Feinstaubkonzentration um $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 [8]. Mehrere Hochrechnungen kommen deshalb für die Schweiz auf 3000 bis 4000 vorzeitige Todesfälle als Folge der Luftverschmutzung pro Jahr. Oft wird jedoch argumentiert, dass früher, also noch verbreitet mit Kohle geheizt wurde, die Feinstaubbelastung höher und die gesundheitlichen Risiken gravierender gewesen seien. Leider gibt es dazu keine älteren Messdaten. Wahrscheinlich waren vor 50 Jahren die in die Luft abgegebenen Staubmassen tatsächlich erheblich. Da die feineren Russpartikel jedoch vor allem in modernen, hochverdichteten Dieselmotoren entstehen, ist ihre Anzahl heute in der Aussenluft höher als je zuvor.

Die feinen Partikel dringen aber auch in die Häuser ein, wo die Konzentration von PM2,5 etwa 80% der im Freien gemessenen Werte betragen kann [9]. In den Innenräumen kommt dann noch die Belastung durch andere Schadstoffe wie zum Beispiel Tabakrauch dazu. Im Gegensatz zur Ozonbelastung bei Sommersmog, die einen deutlichen Tagesgang mit Höchstwerten am frühen

Nachmittag zeigt, kann der Dauerbelastung mit Feinstaub nicht einfach mit der Empfehlung, im Haus zu bleiben, begegnet werden.

Je feiner, desto gefährlicher!

Während im Tierversuch und auch im Labor-experiment mit Menschen die Toxizität von Feinstaubpartikeln klar erwiesen ist, zeigen Zwischenfälle mit neu entwickelten sogenannten «Nanoprodukten» erst ansatzweise das grosse Schädigungspotential für unsere Bevölkerung: So wurden in der Schweiz zwischen Oktober

Tabelle 1. Die Partikelgrösse entscheidet über die Eindringtiefe in die Lungen und den dadurch trotz der guten Klärfunktion der Lungen verursachten Gesundheitsschaden.

Partikel	Ultrafeine Nanopartikel (UFP)	Feine Partikel (PM _{2,5})	Grobe Partikel (PM ₁₀)	Sichtbarer Staub
Durchmesser (µm)	bis 0,1 (bis 100 nm)	0,1–2,5	2,5–10	>10
Eindringtiefe	Alveolen (Herz, Gehirn)	Bronchien Alveolen	Bronchien	Nasenrachenraum
Klärfunktion	Makrophagen	Makrophagen Zilien	Mukoziliärer Apparat	Husten Niesen Schlucken
Beispiel	Viren Dieselpartikel	Russ	Bakterien Sekrettröpfchen	Pollen
Möglicher Gesundheitsschaden	Lungenödem Herz-Kreislauf-Störung Plötzliche Todesfälle	Alveolitis COPD Lungenkrebs Bronchitis	Bronchitis	Rhinitis Laryngitis

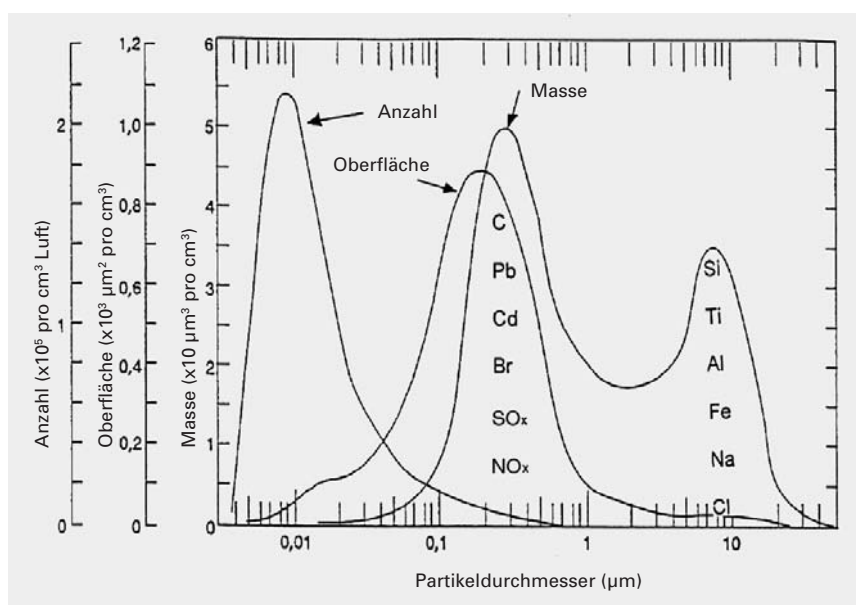


Abbildung 2

Viel schädlicher für die Gesundheit als die heute leider ausschliesslich als PM₁₀ bestimmte Partikelmasse sind die riesige Partikelanzahl und deren Oberfläche. Die Partikelmasse besteht vor allem aus mineralischen, groben Partikeln aus aufgewirbeltem Strassenstaub und Bremsabrieb und nur zu einem geringen Teil aus den schädlichen, feinen und ultrafeinen Dieselpartikeln [12].

2002 und März 2003 akute Atembeschwerden nach der Benützung eines Imprägniersprays beobachtet [10]. Dabei zeigten sich bezüglich der Empfindlichkeit bei den 102 Exponierten grosse Unterschiede (Husten, Atemnot und Allgemeinsymptome wie Fieber). Symptome traten sogar auf, wenn man das Produkt im Freien verwendete, woraufhin es vom Markt genommen wurde. Der Mechanismus bleibt unklar. Im März 2006 musste in Deutschland der Verkauf eines Nanosprays zur Reinigung von Glas- und Keramikflächen innert drei Tagen eingestellt werden, nachdem bei 110 Personen zum Teil schwere Erkrankungen mit toxischen Lungenödemen aufgetreten waren [11]. Die Dunkelziffer ist hoch und zeigt, wie schwierig es ist, die Langzeitfolgen der vielen neu entwickelten Substanzen abzuschätzen, die täglich in die Luft ausgestossen werden. Feine und ultrafeine Partikel – letztere werden auch als Nanopartikel bezeichnet – machen zwar nur einen verschwindend kleinen Anteil der mit der heute üblichen Messmethode bestimmten Feinstaubmasse aus. Hierbei wird durch Auffangen und Wägen auf Filterpapier zum Beispiel die Masse (in µg/m³) aller Partikel, die kleiner als 10 µm (PM₁₀) sind, bestimmt. Die ultrafeinen Partikel bilden jedoch den Hauptanteil der Partikelanzahl und vor allem der für die schädlichen Reaktionen mit dem menschlichen Organismus entscheidenden Partikeloberfläche. So entspricht etwa für Partikel von 2,5 µm Durchmesser eine Partikelmasse von 10 µg/m³ einer Partikelanzahl von 1/cm³, für Partikel mit 0,02 µm Durchmesser hingegen einer solchen von 2 000 000/cm³! (Abb. 2 [10]).

Bei den gröberen, massenmässig bedeutenderen Partikeln handelt es sich um mineralische Staubteilchen aus dem Abrieb von Bremsbelägen und der Aufwirbelung von Strassenstaub, um Pollenbestandteile, Eisen aus dem Abrieb der Bahngleise, organische Polymere, Salze sowie Aerosole wie etwa Ammoniumnitrat aus atmosphärenchemischen Prozessen. Alle diese Staubanteile können mit den körpereigenen Mechanismen aus den Atemwegen wieder entfernt werden und sind klar weniger toxisch als Russ.

Deshalb sollte besser die für die Schädlichkeit relevantere Anzahl der feinen und ultrafeinen Partikel und nicht nur die Partikelmasse routinemässig bestimmt werden. Dies ist jedoch technisch aufwendiger.

Dieselpartikel und Holzfeuerrauch!

Dieselmotoren werden heute als Lösung des Klimaproblems angepriesen, weil sie einen etwas günstigeren Wirkungsgrad erreichen. Sie produzieren zwar pro Kilometer etwa 12% weniger Kohlendioxid (CO₂) als Benzinmotoren. Dafür stossen sie 1000mal soviel lungengängige Feinstaubpartikel aus und produzieren fünfmal

mehr Stickstoffoxide (NO_x)! Dieselpartikel sind zusätzlich mit Schwermetallen und polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen wie zum Beispiel Benzo(a)pyren beladen und deshalb auch krebserregend. Es wird angenommen, dass Luftschadstoffe für die Entstehung von mindestens 300 Krebsfällen pro Jahr in der Schweiz verantwortlich sind!

Dieselpartikel werden in so grosser Zahl ausgestossen, dass für Fussgänger in Strassennähe bis 100 000 Partikel/cm³ gezählt werden können (Abb. 1)! Die für Arbeiten im Tunnelbau als Höchstwert zugelassenen 100 µg/m³ wurden während Wintersmogepisoden tagelang überschritten. Gemäss der seit dem 1. Januar 2005 gültigen Euro-4-Norm dürften pro gefahrenen Kilometer heute immer noch 25 mg solcher Feinstaubpartikel ausgestossen werden! Die EU plant die Einführung der Euro-5-Norm erst auf September 2009. Die dann noch tolerierten 5 mg pro km sind nur mit Partikelfiltern zu erreichen. Diese haben auch für die ultrafeinen Partikel einen Wirkungsgrad von bis zu 99% und sind mehr und mehr technisch ausgereift. Nicht umsonst werden bereits heute drei Viertel aller Dieselaautos mit Partikelfiltern angeboten, die meisten serienmässig.

Genauso wie der Katalysator für den Benzinmotor sollte der Partikelfilter für den Dieselmotor Pflicht werden! Und zwar nicht nur bei den Personenwagen, wo das Umdenken bereits eingesetzt hat, sondern endlich auch bei Liefer- und Lastwagen, wo man immer noch nach Ausweichlösungen sucht, anstatt endlich funktionierende Filtersysteme einzubauen. Dass es geht, beweisen die vielen öffentlichen Busunternehmen, die ihre Fahrzeuge bereits umgerüstet haben. Auch die SBB wollen bis zum Jahr 2008 keine Diesellokomotiven mehr ohne Filter fahren lassen.

Demgegenüber ist die Technik der Rauchgasreinigung bei Holzfeuerungen und Cheminées noch im Anfangstadium. Die dabei produzierten Partikel sind durchschnittlich gröber als die Dieselpartikel, und ihre Toxizität wird unterschiedlich beurteilt [13]. Ihr Anteil an der Luftbelastung ist jedoch vor allem während Wintersmogepisoden und bei unvollständiger Verbrennung bei niedrigen Ofentemperaturen (Schwelbrand) beträchtlich und erfordert deshalb ebenfalls neue technische Massnahmen und Vorschriften. Wenn ein Ofen nach neuesten Erkenntnissen konstruiert ist und fachmännisch befeuert wird, lässt sich die Partikelemission um das 100- bis 1000fache senken, was mit Messungen eindrücklich nachweisbar ist.

Strengere Grenzwerte fördern die Innovation!

Während hohe Ozonwerte, obwohl sie nur einige Tage im Jahr über dem Grenzwert liegen, sofort ein grosses Medienecho auslösen, werden die

Grenzwerte für Feinstaub in weiten Teilen der Schweiz fast das ganze Jahr hindurch überschritten! Mehr als 40% der Schweizer Bevölkerung leben in Agglomerationen mit Feinstaubkonzentrationen über dem Langzeitgrenzwert von 20 µg/m³. Auch der Kurzzeitgrenzwert von 50 µg/m³ wird vor allem im Winter während sogenannter Inversionslagen tagelang überschritten. Im Februar/März 2006 wurden in Zürich und Bern sogar Werte von gegen 200 µg/m³ erreicht.

Mit Smogverordnungen sollen als Notfallkonzepte in diesen Situationen kurzfristige Massnahmen ausgelöst werden:

- >75 µg/m³: «Verhaltensempfehlungen für besonders gefährdete Menschen» (Informationsstufe);
- >100 µg/m³: Verbot von Zweitheizungen (Cheminées) oder von Feuer im Freien sowie Tempo 80 auf Autobahnen und Autostrassen (Interventionsstufe 1);
- >150 µg/m³: zusätzlich ein Verbot von Dieselmotoren ohne Partikelfilter auf Baustellen und in der Landwirtschaft (Interventionsstufe 2).

Experten sind aber der Ansicht, dass nur durch langfristige Lenkungsmassnahmen und Verbote die Schadstoffbelastung nachhaltig gesenkt werden kann. Dazu sind auch eine Einführung von Grenzwerten für feine Partikel (PM_{2,5}) oder von Russ sowie die Messung der Partikelanzahl in Strassennähe nötig.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) fordert einen Jahresgrenzwert für Feinstaub PM_{2,5} von 10 µg/m³, die amerikanischen Lungenärzte verlangen einen solchen von 12 µg/m³, beide streben einen Kurzzeitgrenzwert von 25 µg/m³ an. Diese Werte lassen sich nur mit einer Partikelfilterpflicht und weiteren technischen Neuerungen auch im Heizungsbereich erreichen. Die frühzeitige Einführung und Durchsetzung dieser Grenzwerte könnte zu neuen Produkten für unsere Exportwirtschaft führen. Als Beispiel dafür haben die aufgrund der «Luftreinhalte-Verordnung (LRV)» seit 1992 geforderten Öl- und Gasbrenner mit reduzierten Stickstoffoxidemissionen (sog. Low-NO_x-Brenner) später einen Siegeszug durch ganz Europa angetreten.

Ärztinnen und Ärzte sollten zudem durch ihr Verhalten im Verkehr, beim Einkaufen, beim Heizen und mit ihrem Einsatz für eine nachhaltige Umweltpolitik ein Vorbild sein (Tab. 2 ↻).

Danksagung

Für seine Mitarbeit bedanke ich mich herzlich bei Herrn Dr. sc. techn. Hansjörg Sommer vom Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL).

Tabelle 2. Was können Sie als Ärztin/Arzt tun, damit die Luft wieder sauberer wird?

Im Verkehr
Kurze Distanzen zu Fuss oder mit dem Fahrrad zurücklegen, auch der Fitness zuliebe, dabei stark befahrene Strassen meiden, besonders mit Kleinkindern
Fahrverbote in der Nähe von Schulhäusern und Kindergärten fordern
Für längere Distanzen auf den öffentlichen Verkehr umsteigen
Fahrgemeinschaften bilden, anstatt allein im Auto zu fahren
Unnötige Autofahrten vermeiden, Tempo drosseln (Energieverbrauch bei 120 km/h um 30% höher als bei 80 km/h)
Pneudruck kontrollieren und ohne Klimaanlage fahren
Keine Dieselfahrzeuge ohne Partikelfilter mehr benutzen!
Im Haushalt
Regionale und saisonale Produkte in der Nähe einkaufen
Weniger Abfall produzieren
Spraydosen gar nicht oder nur im Freien benutzen
Keine Abfallverbrennung im Cheminée oder im Garten
Beim Heizen
Raumtemperatur senken (1 °C weniger spart 6% Energie)
Thermostatventile einbauen lassen
Zweimal täglich kurz lüften, anstatt die Kippfenster immer geöffnet zu lassen!
Heisswassertemperatur kontrollieren (auf 50 bis 60 °C senken)
Energieverbrauch anhand der Benzin-, Heizöl- und Stromrechnungen kontrollieren und vergleichen
Passivrauchen
Bestehen Sie darauf, dass in Ihrer Umgebung und an Ihrem Arbeitsplatz nicht geraucht wird! – Sie haben ein Recht darauf!
Versuchen Sie den Wirt Ihres Lieblingslokals vom rauchfreien Essen zu überzeugen oder wechseln Sie in ein anderes Lokal (Adressen unter www.rauchfreiessen.ch).

Literatur

- Schweizerische Kommission für Klima- und Atmosphärenforschung. Klima – unsere Zukunft? Bern: Kümmerly und Frey; 1987. S. 34 / MeteoSchweiz; 2006.
- Kulkarni N, Pierse N, Rushton L, Grigg J. Carbon in airway macrophages and lung function in children. *N Engl J Med*. 2006;355:21–30.
- Rothen-Rutishauser BM, Schürch S, Hänni B, Kapp N, Gehr P. Interaction of fine particles and nanoparticles with red blood cells visualized with advanced microscopic techniques. *Environ Sci Technol*. 2006;40:4353–9.
- Calderon-Garciduenas L, et al. Brain inflammation and Alzheimer's like pathology in individuals exposed to severe air pollution. *Toxicol Pathol*. 2004;32:650–8.
- Bayer-Oglesby L, Schindler C, Hazenkamp ME, Braun-Fahrlander C, Keidel D, Rapp R, et al. Living near main streets and respiratory symptoms in adults. The Swiss Cohort Study on Air Pollution and Lung Diseases in Adults. *Am J Epidemiol*. 2006;164:1190–8.
- Gauderman WJ, Avol E, Gilliland F, et al. The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age. *N Engl J Med*. 2004;351:1057–67.
- Pope CA, Muhlestein JB, May HT, Renlund DG, Anderson JL, Horne BD. Ischemic heart disease events triggered by short-term exposure to fine particulate air pollution. *Circulation*. 2006;114:2443–8.
- Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gryparis A, La Tetre A, Monopoli Y, et al. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA 2 project. *Epidemiology*. 2001;121:521–31.
- Janssen NHA, Lanki T, Hoek G, Vallius M, de Hartog JJ, et al. Associations between ambient, personal and indoor exposure to fine particulate matter constituents in Dutch and Finnish panels of cardiovascular patients. *Occup Environ Med*. 2005;62:868–77.
- Vernez D, Bruzzi R, Kupferschmidt H, De-Batz A, Droz P, Lazor R. Acute respiratory syndrome after inhalation of waterproofing sprays. *J Occupational Environ Hyg*. 2006;3:250–61.
- Persönliche Mitteilung von Prof. Dr. sc. nat. Wendelin J. Stark, Leiter des Functional Materials Laboratory an der ETH Höggerberg, Zürich. Weitere Informationen unter www.fml.ethz.ch.
- Brändli O. Sind inhalierte Staubpartikel schädlich für unsere Lunge? *Schweiz Med Wochenschr*. 1996;126(50):2165–74.
- Kochbach A, Yanjun L, Yttri KE, Cassee FR, Schwarze PE, Namork E. Physicochemical characterisation of combustion particles from vehicle exhaust and residential wood smoke. *Part Fibre Toxicol*. 2006;3:1.

Korrespondenz:

Dr. med. Otto Brändli
 Chefarzt der Abteilung
 Pneumologie
 Zürcher Höhenklinik Wald
 CH-8639 Faltigberg/Wald
otto.braendli@zhw.ch