

**Zeitschrift:** Horizonte : Schweizer Forschungsmagazin  
**Herausgeber:** Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung  
**Band:** - (2006)  
**Heft:** 71

**Artikel:** Titel : Probleme mit dem Feinstaub  
**Autor:** Müller, Thomas / Meili, Erika / Schindler, Christian  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-557272>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

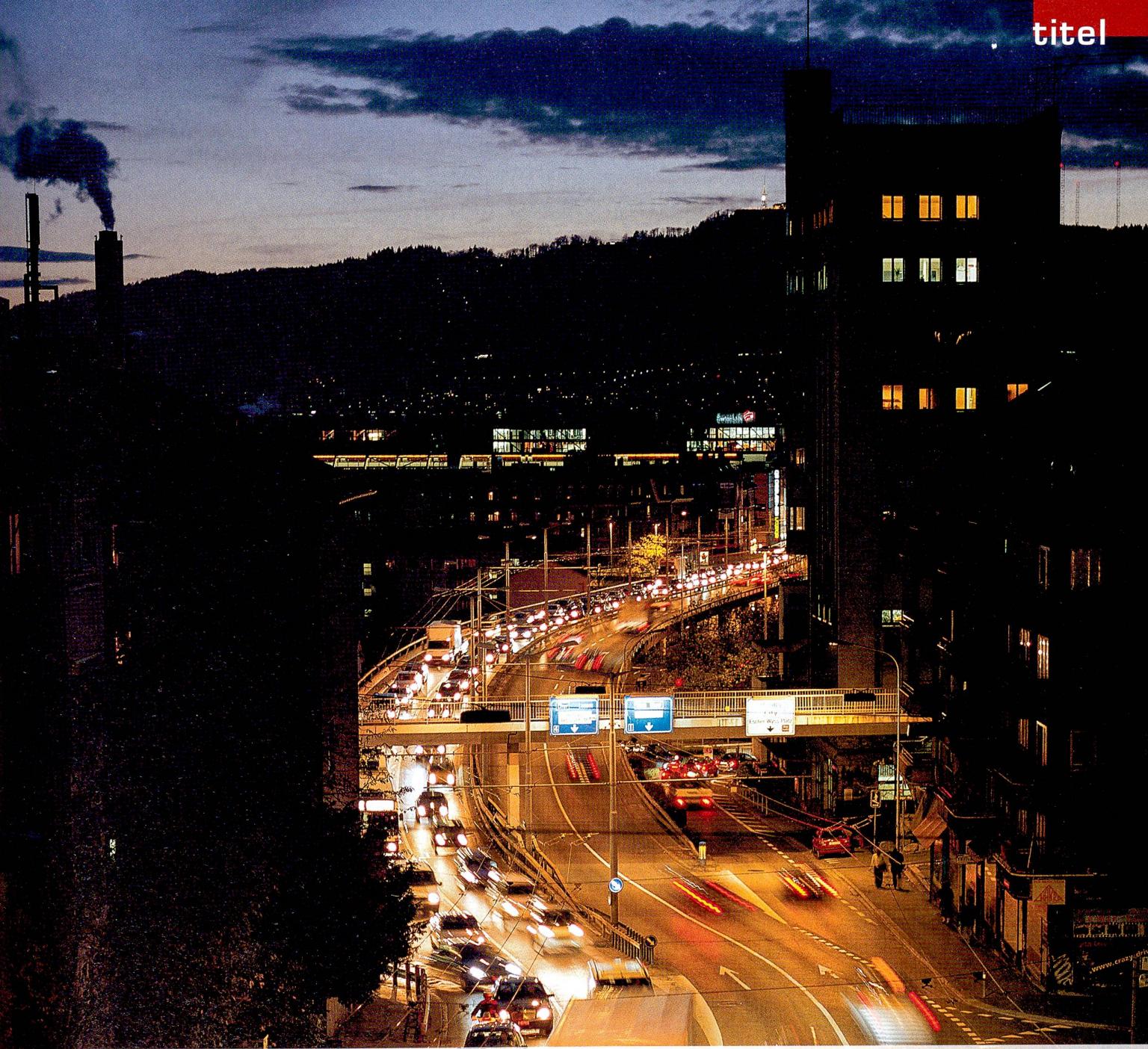
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

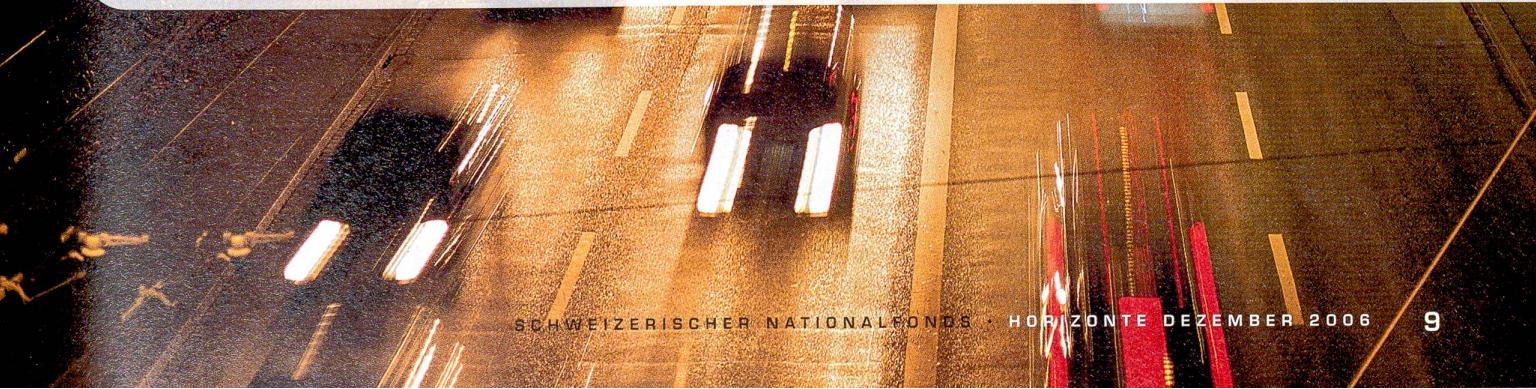
**Download PDF:** 27.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**



## Probleme mit dem Feinstaub

Die Schweizer Feinstaubgrenzwerte sind relativ streng, werden aber regelmässig überschritten. Zwar ist die Forschung noch nicht sicher, welche Quellen am gefährlichsten sind und wie sich die winzigen Partikel im Körper verhalten. Doch Langzeitstudien zeigen: Feinstaub macht krank. Experten fordern deshalb strengere Massnahmen. **Bild Hans-Christian Wepfer/Studio25, LoD**



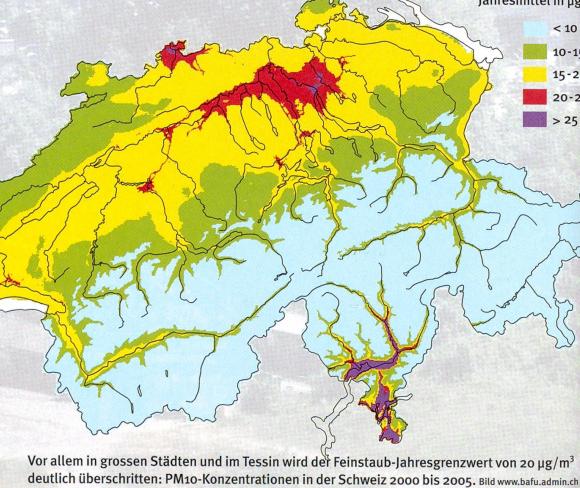


Jedes Jahr reisst Feinstaub **3700 Menschen vorzeitig aus dem Leben**. Seit Beginn des Jahrzehnts stagnieren die Immissionen auf zu hohem Niveau. Die in diesem Jahr von Bund und Kantonen ergriffenen **Massnahmen** erachten Fachleute als **ungenügend**. Von Thomas Müller, Hintergrundbild Heinz Leuenberger/Desair

## Eine Halbierung tut not

Als Januar und Februar 2006 während Wochen der Smog über dem Mittelland hing und die Feinstaubkonzentrationen manchorts bis zum Vierfachen des Grenzwerts stiegen, herrschte auch in Amtsstuben, Gemeinde- und Kantonsparlamenten dicke Luft. Schliesslich verordneten elf Kantone Anfang Februar während fünf Tagen eine allgemeine Temporeduktion auf 80 Kilometer pro Stunde. Inzwischen ergaben Untersuchungen des Paul-Scherrer-Instituts, dass Holzfeuerungen aller Art, vor allem aber schlecht befeuerte Kleinöfen und Cheminées einen grossen, bisher unterschätzten Anteil an der Feinstaubproduktion während dieser Episode hatten.

Entsprechend hielt sich die Wirkung der Temporeduktionen in Grenzen. Um fünf bis zehn Prozent sei die Feinstaubbelastung an Autobahnstandorten stärker zurück-



gegangen als an andern Orten, zogen die beteiligten Kantone Bilanz. Wichtiger sei jedoch gewesen, dass nicht wenige das Auto stehen liessen und das Verkehrsaufkommen um

14 Prozent gesunken war. Das lasse auf eine gewisse Sensibilisierung der Bevölkerung schliessen, kommentiert Urs Baltensperger, Leiter des Labors für Atmosphärenchemie am Paul-Scherrer-Institut, die umstrittene Massnahme.

Einmal mehr zeigte sich, dass Feinstaub ähnlich wie Ozon ein grossräumiges Problem darstellt. Wann immer sich im Winter über dem Mittelland eine anhaltende Inversionslage aufbaut, bildet sich ein Kaltluftsee, in dem sich die Luftschaadstoffe zu einem komplexen Cocktail anreichern. Da solche Wetterlagen immer wieder auftreten, bleibt nichts anderes übrig, als den Ausstoss von Feinstaub und seinen Vorläufersubstanzen systematisch auf die Hälfte der heutigen Emissionen zu senken, darin sind sich die Fachleute einig.

### Was ist Feinstaub?

Feinstaub besteht aus kleinen, tief in die Lunge eindringenden Partikeln mit einem Durchmesser von weniger als 10 Tausendstel Millimetern (Mikrometer). Zum Vergleich: Ein menschliches Haar ist zehn Mal so dick. Partikelgrössen werden mit dem PM-Standard beschrieben. PM10 steht für Partikel, die kleiner sind als 10 Mikrometer, PM2,5 für Feinstaubteile von weniger als 2,5 Mikrometer Grösse.

Etwas mehr als die Hälfte des Feinstaub in der Schweizer Luft stammt aus industriellen Prozessen, von mechanischem Abriss aus dem Strassen- und Schienenverkehr oder ist aufgewirbelter Staub. Etwas weniger als die Hälfte entsteht durch die unvollständige Verbrennung von Treib- und Brennstoffen, darunter auch Holz. 17 Prozent des Feinstaub wird von Dieselmotoren verursacht. Die Verbrennung von Holz schlägt mit 15 Prozent zu Buche. Natür-

liche Quellen wie Saharastaub oder Meersalz machen nur einen kleinen Teil der Belastung aus. In Innenräumen sind vor allem Rauchen oder Kochen wichtige Quellen für Feinstaub. Neben diesen Primärquellen entsteht Feinstaub auch durch chemische Reaktionen von Luftschaadstoffen wie Ammoniak, Schwefeloxid, Stickoxiden oder gasförmigen Kohlenwasserstoffen (VOC). Daraus bilden sich sekundäre Feinstaubpartikel wie Nitrate, Sulfate oder Ammonium, die in städtischen Umgebungen etwa die Hälfte der Immissionen ausmachen. In der Schweiz darf der Tagesmittelwert 50 Mikrogramm PM10-Partikel pro Kubikmeter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Luft nicht überschreiten. Der Jahresmittelwert liegt bei  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (EU:  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Der Jahresmittelwert wird in weiten Teilen der Schweiz verfehlt, ebenso wird der Grenzwert des Tagesmittelwerts (CH und EU:  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) immer wieder überschritten.



Der Durchmesser eines *menschlichen Haares* beträgt etwa 60 Mikrometer (500-fache Vergrösserung).



Diese *Pollenkörner* sind etwa 0,2 Mikrometer gross, das ist etwa ein Drittel einer Haarsbreite (500-fache Vergrösserung).



Dieser *Dieselsootpartikelklotzen* ist etwa 0,2 Mikrometer gross, also 10 mal kleiner als die Pollenkörner (10000-fache Vergrösserung).



Sichtbar hohe Feinstaubbelastung im Dorf Roveredo an der San-Bernardino-Achse. Hauptverursacher sind Holzfeuerungen und Strassenverkehr, wie Messungen des Paul-Scherrer-Instituts ergeben haben. Bild PSI

Dass dieses Unterfangen keineswegs hoffnungslos ist, zeigt die langfristige Entwicklung der Feinstaubkonzentrationen. Seit Beginn der Messungen im Jahr 1988 bis ins Jahr 2000 sind die Jahresmittelwerte zum Teil beträchtlich gesunken. Seither stagniert der Ausstoss bei etwa 21000 Tonnen Feinstaub jährlich. 3700 vorzeitige Todesfälle und Gesundheitskosten von 4,2 Milliarden Franken pro Jahr sind die Folgen, schätzt das Bundesamt für Umwelt.

### WHO fordert PM2,5-Grenzwert

Besonders gefährlich sollen die Partikel mit weniger als 2,5 Mikrometer Durchmesser sein (PM2,5). Ihre Konzentration in der Außenluft sei klar mit der Sterbehäufigkeit korreliert, sagt Urs Baltensperger. Die Weltgesundheitsorganisation WHO hat aus diesen Gründen kürzlich die Einführung eines PM2,5-Grenzwertes vorgeschlagen. Obwohl PM2,5-Werte in der Schweiz an sechs Standorten bereits gemessen werden (für PM10 sind es 14), ist zurzeit offen, ob die Schweiz einen solchen einführen wird.

Um Smogepisoden wie letzten Winter auf lange Sicht zu verhindern, hat der Bundesrat einen

Aktionsplan beschlossen, der neben der Reduktion der Emissionen aus Holzfeuerungen die Prüfung einer möglichst raschen und gegenüber der EU vorzeitigen Einführung der Euro-5-Norm (Grenzwert 0,005 Gramm Feinstaub pro Kilowattstunde) für Dieselfahrzeuge bis 3,5 Tonnen vorsieht. Von den bis August 2006 verkauften Dieselpersonenwagen erfüllen 57 Prozent diese Norm bereits heute. Bis allerdings der gesamte Personenwagenpark verabschiedet, der bei anhaltender zweifacher Überschreitung des Tagesmittelwerts Geschwindigkeitsreduktionen und das Verbot von Feuern im Freien und in Cheminées vorsieht. Bei dreifacher Überschreitung müssten auch Bau-, Landwirtschafts- und Forstmaschinen ohne Partikelfilter den Betrieb einstellen.

Kein Thema für den Bund ist die vorgezogene Euro-5-Norm bei Lastwagen. Seit dem 1. Oktober 2006 gilt für die Zulassung neuer Lastwagentypen die Euro-4-Norm (0,025 Gramm Feinstaub pro Kilowattstunde). In Diskussion ist jedoch, dass Halter von Lastwagen mit nachgerüsteten Partikelfiltern ab 2008 in den Genuss einer reduzierenden Grenzwerts sämtliche Massnahmen zu ergreifen. Nur so könne das Ziel, bei akuten Wintersmogsituationen möglichst viele Menschen zu schützen, erreicht werden.

Der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene ist diese Abstufung zu zögerlich. Sie fordert, bereits bei Überschreitung des doppelten Grenzwerts sämtliche Massnahmen zu ergreifen. Nur so könne das Ziel, bei akuten Wintersmogsituationen möglichst viele Menschen zu schützen, erreicht werden.

Tagesaktuelle Werte von Luftschaadstoffen: [www.umwelt-schweiz.ch/buwi/de/fachgebiete/fg\\_luft/luftbelastung/aktuell/index.html](http://www.umwelt-schweiz.ch/buwi/de/fachgebiete/fg_luft/luftbelastung/aktuell/index.html)



Aus der Land- und Forstwirtschaft stammen etwa 20 Prozent der Feinstaubemissionen.



Der Verkehr ist für etwa 20 Prozent der Feinstaubemissionen verantwortlich.



Industrie und Gewerbe, beispielsweise Zementwerke (im Bild), tragen etwa 27 Prozent zu den Feinstaubemissionen bei.



Im Winter sind in den Alpentälern Holzfeuerungen die Hauptverursacher von Feinstaub. Der Anteil der Haushalte ist etwa sieben Prozent.



Etwas 21 Prozent der Dieselrussemissionen stammen von Baumaschinen, 35 Prozent aus der Land- und Forstwirtschaft.



Eine *Messstation* saugt Luft durch einen Feinstaubfilter. Täglich wird die Größe der abgelegten Feinstaubmenge gemessen.





Dank der **Langzeitstudie Sapaldia** hat die Schweiz den tiefsten Feinstaubgrenzwert Europas. Die Studie hat erstmals gezeigt, dass Feinstaub auch **gesunde Erwachsene belastet**.

Nun gilt es herauszufinden, welche Quellen am gefährlichsten sind. **Von Erika Meili, Bilder Derek Li Wan Po**

## «Frühmerkmale schwerer Krankheiten»

Effekt der Luftverschmutzung nachzuweisen. Dieser Frage werden wir erst in etwa fünf Jahren nachgehen. **Liu:** Mit der Lungenfunktion und Herz-Kreislauf-Eigenschaften untersucht Sapaldia Frühmerkmale von schweren Krankheiten. Dies ist wichtig für die Prävention. Zudem haben mehrere Studien gezeigt, dass eine schlechte Lungenfunktion mit erhöhter Sterblichkeit verbunden ist.

**Es heisst, Feinstaub sei für den frühzeitigen Tod von jährlich 3700 Menschen in der Schweiz verantwortlich. Wie kommt man auf diese Zahl?**

**Schindler:** Sie beruht hauptsächlich auf den Resultaten dreier amerikanischer Kohortenstudien, die unter Berücksichtigung eines detaillierten Modells der Feinstaubbelastung auf die Schweiz übertragen wurden. Inzwischen haben Untersuchungen aus den Niederlanden, Norwegen und Schweden bestätigt, dass die Zahlen auch für Europa gültig sind. Die Schätzung von 3700 Menschen stammt von einem Forschungsteam unter der Leitung von Nino Künzli, der auch an Sapaldia beteiligt war.

**Welches sind die Folgen der ultrafeinen Partikel?**

**Liu:** Dazu haben wir keine Resultate. Es ist schwierig, die Belastung einzelner Personen mit PM0,1 (ultrafeine Partikel) zu messen, da es nur sehr wenige Messstationen gibt. Es gibt zwar Hinweise, dass ultrafeine Partikel Nervenkrankheiten und

Arteriosklerose begünstigen können, aber wirklich gesichert ist dies noch nicht.

**Die Feinstaubbelastung hat von 1991 bis 2000 deutlich abgenommen. Hat sich damit auch die Gesundheit der Menschen verbessert?**

**Schindler:** Vor allem in Gebieten mit starker Belastung, also in den Städten, hat die Feinstaubbelastung deutlich abgenommen. Dies hatte einen positiven Effekt auf die Lungenfunktion. Das bedeutet, dass sich die Leute teilweise erholen können – eine gute Nachricht!

**Welche Massnahmen gegen Feinstaub sind am vielfversprechendsten?**

**Liu:** Das hängt davon ab, welche Quellen am meisten Gesundheitsprobleme verursachen, und dazu gibt es kaum Studien. Sapaldia versucht hier eine Lücke zu schließen. Innerhalb unseres Teams entwickeln wir ein Modell für die individuelle Belastung der Kohortenteilnehmenden. So lässt sich unterscheiden, ob jemand stärker von Verkehrs-, Industrie-, Haushaltsemissionen oder weiträumig transportierten Partikeln betroffen ist. Dies wird ein wertvolles Werkzeug sein, um die schädlichsten Quellen zu identifizieren.

**Gibt es noch keine Hinweise?**

**Liu:** Es gibt Hinweise, dass Feinstaub aus dem Straßenverkehr die Lungenfunktion stärker belastet als



Der doktorierte Mathematiker Christian Schindler ist Statistiker am Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Basel und seit Beginn der Sapaldia-Studie für die statistische Auswertung der Daten verantwortlich.

L.-J. Sally Liu ist Forschungsprofessorin am Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Basel sowie Professorin an der Universität Washington und befasst sich mit dem Monitoring und der Modellierung der Luftschadstoffbelastung.

jener anderer Quellen. Wir haben beispielsweise herausgefunden, dass Leute, die in der Nähe (bis 20 Meter) von grossen Strassen wohnen, 35 Prozent häufiger Atmungsstörungen wie Husten oder Kurzatmigkeit aufweisen. Eine holländische Studie hat zudem ergeben, dass die Nähe zum Strassenverkehr die Empfindlichkeit für gewisse Allergene erhöht. **Schindler:** Ähnliches haben wir auch in einer Teilstudie in Basel herausgefunden: Personen, die näher bei stark befahrenen Strassen wohnten, waren häufiger an Pollen sensibilisiert.

einander zu halten. Dafür bräuchte man genauere Messungen und spezifische Marker für einzelne Quellen.

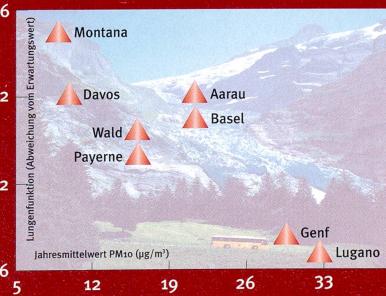
**Welche neuen Resultate erwarten Sie von der Auswertung der zweiten Sapaldia-Befragung?**

**Schindler:** Neben der Entwicklung des individuellen Belastungsmodells analysieren wir weiterhin die Gesundheitsveränderungen zwischen

gramm aufgezeichnet. Die Herzfrequenzvariabilität ist ein bekannter Risikofaktor für Herz-Kreislauf-Komplikationen und gemäss Kurzzeitstudien durch die Luftverschmutzung beeinträchtigt. Außerdem untersuchen wir die Bedeutung genetischer Veranlagungen und anderer Risikofaktoren wie Diabetes, Allergien, Passivrauchen, Ernährung, Übergewicht, Bewegungsmangel oder

### Kohortenstudie Sapaldia

#### Feinstaub senkt die Lungenfunktion



Untersuchung eingeladen. 83 Prozent nahmen erneut teil. Es gibt in Europa keine andere Kohortenstudie, welche die Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Gesundheit der Allgemeinbevölkerung über mehr als 10 Jahre mit einer vergleichbaren Datenbasis untersuchen kann. [www.ispm-unibasel.ch](http://www.ispm-unibasel.ch)

Sapaldia 1 (Swiss Study on Air Pollution and Lung Diseases in Adults) hat 1991 im Nationalen Forschungsprogramm «Mensch, Gesundheit, Umwelt» begonnen. Die Studie untersucht den Zusammenhang zwischen Luftverschmutzung und Lungenerkrankungen. Acht Standorte mit unterschiedlich starker Luftschadstoffbelastung – Aarau, Basel, Davos, Genf, Lugano, Montana, Payerne und Wald (ZH) – haben insgesamt 9651 Erwachsene im Alter zwischen 18 und 61 Jahren teilgenommen, die mit Hilfe einer Zufallsauswahl angefragt wurden waren. Elf Jahre später wurde die Kohorte – mit einer über längere Zeit mehrmals befragte oder untersuchte Personengruppe bezeichnet – in der Nachfolgestudie Sapaldia 2 wieder zu einer

1991 und 2002. Außerdem haben wir 2002 erstmals Herz-Kreislauf-Eigenschaften gemessen: Bei fast 2000 Personen über 50 Jahren wurde die Herzfrequenzvariabilität mit einem 24-Stunden-Elektrokardiographen aufgezeichnet. Schliesslich möchten wir in einigen Jahren eine dritte Befragung durchführen, um insbesondere die Langzeitfolgen von Luftverschmutzung auf das Herz-Kreislauf-System zu analysieren. ■

### Welche Auswirkungen hat Feinstaub gemäss Sapaldia auf die menschliche Gesundheit?

**Christian Schindler:** Erstens gibt es einen linearen Zusammenhang zwischen der jährlichen Belastung mit Feinstaub und der Lungenfunktion (siehe Grafik). Zweitens führt die längerfristige Belastung mit Feinstaub – auch in kleineren Mengen – zu einer Zunahme von Krankheitssymptomen wie Kurzatmigkeit, Husten und Bronchitis. Und drittens haben wir herausgefunden, dass sich auch in der normalen Bevölkerung tägliche Schwankungen der Luftverschmutzung auf die Lungenfunktion auswirken. Mit diesen Resultaten hat Sapaldia den tiefen Feinstaub-Grenzwert in der Schweiz bewirkt.

**L.-J. Sally Liu:** Dass Kinder unter der Luftverschmutzung leiden, war schon länger bekannt. Sapaldia hat erstmals gezeigt, dass auch die Lungenfunktion gesunder Erwachsener betroffen ist.

### Hat sich die Luftverschmutzung auch auf die Sterblichkeit ausgewirkt?

**Schindler:** Bis jetzt ist die Anzahl Todesfälle in Sapaldia noch nicht ausreichend, um statistisch einen



Feinstaub belastet Lunge, Kreislauf sowie Nervensystem und verursacht Krebs. Wie die **Kleinstpartikel** jedoch genau in die Zellen eindringen und sie schädigen, ist noch wenig bekannt. Ultrafeine Teilchen scheinen allerdings ganz **neuartige Eigenschaften** zu besitzen. Von Ruth Jahn, Bilder Institut für Anatomie Universität Bern

## Ultrafeinstaub überwindet alle Grenzen

**N**och weiss die Forschung erst wenig darüber, was mit eingetaetmetem Feinstaub im Körper passiert. Während Epidemiologen schon mit ersten Langzeitstudien zu den Gesundheitsrisiken aufwarten und bei erhöhten Feinstaubkonzentrationen mehr Herz-Kreislaufbedingte Todesfälle zu beobachten sind, versuchen Biologen aufzuzeigen, wie sich der inhalierte Feinstaub überhaupt im Körper verteilt und was er dort anrichtet. Nur zu gerne würden die Wissenschaftler verstehen, wie Feinstaub die Atemwege, das Herz-Kreislauf- und das Nervensystem schädigt und Krebs auslöst. «Zellbiologie und Epidemiologie zum Thema Feinstaub zu verheiraten ist einer unserer sehnlichsten Wünsche», sagt etwa Peter Gehr, Professor für Histologie an der Universität Bern und Experte für die Partikel-Lungen-Interaktion.

### Selbstreinigung versagt

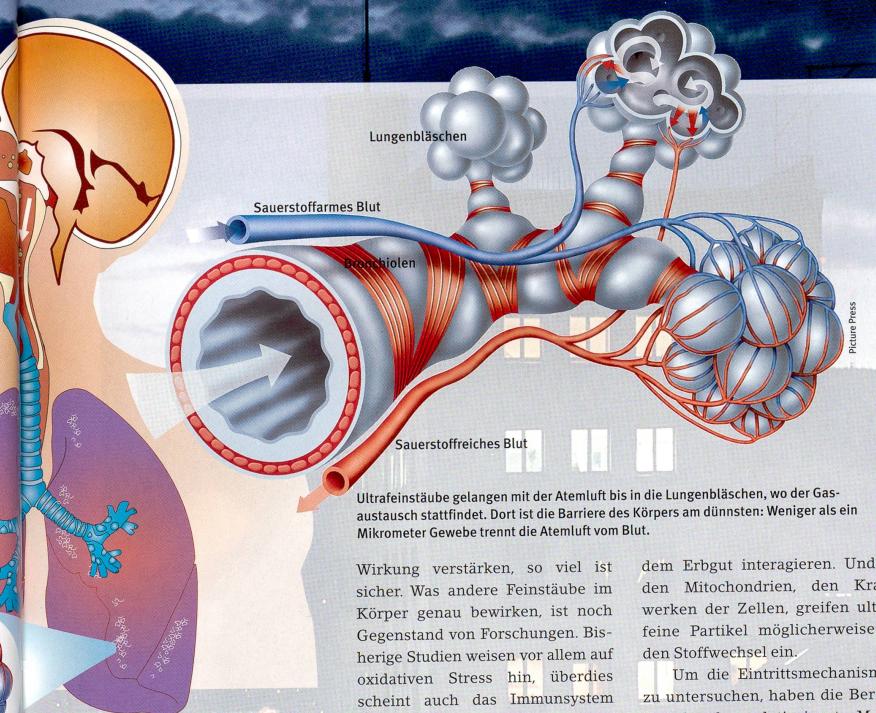
«Zwar verfügt der menschliche Atemtrakt über zwei äusserst effiziente Abwehrmechanismen gegen Feinstaub», sagt die Biologin und Dozentin für Histologie Marianne Geiser von der Universität Bern. Flimmerhaare reinigen die luftleitenden Atemwege, indem sie die Partikel in einem Flüssigkeitsstrom wieder hinaufbefördern. In den Lungenbläschen räumen Fresszellen (Makrophagen) auf, indem sie sich Partikel einverleiben und diese entweder zersetzen oder nach oben Richtung Flimmerhaare befördern. «Doch Makrophagen versagen bei Feinstaub unter 0,1 Mikrometer Durchmesser: Auf die feinsten der Feinen ist die Lungensestreichung offensichtlich nicht eingestellt», hat Marianne Geiser – zumindest in Versuchen mit Ratten, die ultrafeinen Titanoxidstaub einatmen – festgestellt.

Auch im Reagenzglas bringen die Feinstäube mit Nanodimensionen (0,1 Mikrometer) Erstaunliches zustande: So können etwa kleinste

bläschen findet der Gasaustausch statt. Hier befindet sich nicht nur die grösste Oberfläche des menschlichen Körpers – von der Grösse eines Tennisplatzes, wie Peter Gehr als Erster vor bald dreissig Jahren ausgemessen hat –, sondern gleichzeitig auch die dünnste Barriere des Körpers: Weniger als ein Mikrometer Gewebe trennt hier die Atemluft vom Blut. Für ultrafeine Staubpartikel die Eintrittspforte in den Körper.

fluoreszierende Polystyrolkugelchen in rote Blutkörperchen eindringen, wie eine Studie vom Institut für Anatomie der Uni Bern gezeigt hat. Wie das vonstatten geht, gibt den Forschern allerdings ein Rätsel auf: «Rote Blutkörperchen sind zu einer Aufnahme von Partikeln eigentlich gar nicht befähigt! Ultrafeine Stäube überwinden also Zellgrenzen ganz anders, als wir es uns in der Biologie sonst gewöhnt sind», sagt Peter Gehr.

Eine von Marianne Geiser geleitete Studie, in der Ratten Titanoxidstaub inhalierten, wie auch ähnliche Versuche in Deutschland, in denen die Forscher radioaktiv markierte ultrafeine Teilchen verschiedener Materialien benutzt haben, zeigen zudem: Ein kleiner Prozentsatz der ultrafeinen Partikel gelangt ins Blut und lässt sich in Niere, Leber und Milz sowie im Herz und im Gehirn nachweisen. Einen Weg ins



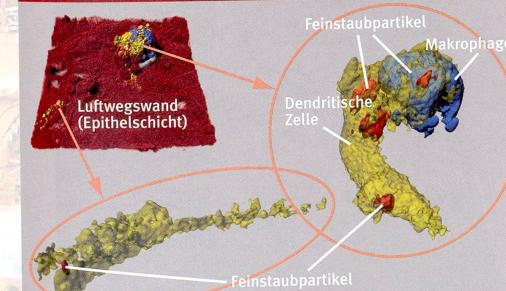
Ultrafeinstäube gelangen mit der Atemluft bis in die Lungenbläschen, wo der Gasaustausch stattfindet. Dort ist die Barriere des Körpers am dünnsten: Weniger als ein Mikrometer Gewebe trennt die Atemluft vom Blut.

Wirkung verstärken, so viel ist sicher. Was andere Feinstäube im Körper genau bewirken, ist noch Gegenstand von Forschungen. Bis herige Studien weisen vor allem auf oxidativen Stress hin, überdies scheint auch das Immunsystem vielfältig betroffen. Dass ultrafeine Partikel oxidative Stress und Entzündungsreaktionen verursachen können, hat auch Peter Gehr mit Hilfe eines Drei-Zellen-Modells aus Makrophagen, Zellen der Luftwegswand sowie speziellen Immunzellen herausgefunden: Ultrafeine Partikel wandern in den Zellkern und können dort allenfalls mit

dem Erbgut interagieren. Und in den Mitochondrien, den Kraftwerken der Zellen, greifen ultrafeine Partikel möglicherweise in den Stoffwechsel ein.

Um die Eintrittsmechanismen zu untersuchen, haben die Berner Forschenden relativ inerte Materialien ohne eigentliche Schadstoffwirkung – wie Titanoxid oder Silber – verwendet. Und Wechselwirkungen mit anderen Partikelarten oder Luftschadstoffen wie Ozon oder Stickoxiden, wie sie etwa im Cocktail «Stadtluft» vorkommen, wurden zumeist bewusst ausser Acht gelassen.

### Wie Partikel des Feinstaub durch die Luftwegswand transportiert werden



Zum Studium von Feinstaubteilchen hat das Forschungsteam um Peter Gehr ein Modell der Luftwegswand entwickelt. Das kleine Bild links oben zeigt einen Ausschnitt des Modells mit Epithelzellen (rot), einer dendritischen Zelle (gelb) auf der Unterseite und einem Makrophagen (blau) auf der Oberseite der Epithelschicht. Die Forschenden machen zwei interessante Entdeckungen (grosses Bild unten rechts): Erstens bildet die dendritische Zelle einen Ausläufer durch die Epithelschicht hindurch und tritt mit dem Makrophagen in Kontakt. Zweitens gibt der Makrophag Feinstaubteilchen (hellrot) an die dendritische Zelle weiter, die diese durch die Epithelschicht hindurch auf deren Unterseite schleust. So könnten Feinstaubteilchen vom Körper aktiv aufgenommen werden.

