



Feinstaubbelastung im Winter

Bericht über die Messung in acht Schweizer Städten
im Januar/Februar 2012

Mit Unterstützung der



Verkehrs-Club
der Schweiz

VCS

Für Mensch und Umwelt

Impressum

© VCS, Juni 2012

Text: Fabio Guarneri, Jacques Schiltknecht, Agnes Richard; Infografiken/Illustrationen: Agnes Richard, Fabio Guarneri; Gestaltung: Susanne Troxler; Fotos: Corinna Stich, Fabio Guarneri; Titelbild: © VCS, Bern, Waisenhausplatz, Blick Richtung Bollwerk

Inhalt

Testparcours für die Messung der Feinstaubbelastung in acht Schweizer Städten.....	4
Vorstellung der Kampagne.....	6
Was sind Feinstaubpartikel?.....	7
Technische Realisierung der Messungen, Messgeräte und Analysetechnik	8
Resultate der Messungen, grafische Darstellung.....	9
Luzern – die Messergebnisse.....	10
Basel – die Messergebnisse.....	12
Biel – die Messergebnisse.....	15
Bern – die Messergebnisse.....	17
Genf – die Messergebnisse.....	19
Lugano – die Messergebnisse.....	21
Chiasso – die Messergebnisse.....	24
Lausanne – die Messergebnisse.....	26
Feinstaub-Massenmesswerte PM_{10} , $PM_{2,5}$ und PM_1	28
Anzahlkonzentration der Teilchen im Größenbereich von 10 bis 300 nm.....	30
Gesundheitseffekte.....	32
Wer bezahlt die Zeche?.....	32
Klimaeffekte.....	33
Diskussion.....	33
Unsere Vorschläge.....	34
Literatur.....	35

Testparcours für die Messung der Feinstaubbelastung in acht Schweizer Städten

Eine gemeinsame Aktion des VCS und der Vereinigung «Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz»

Feinstaub und Stickoxide (NO_x) gehören zu den besonders kritischen Schadstoffen in unserer Umgebungsluft bezüglich der Gesundheit. Die eingeatmeten ultrafeinen Schwebestäube (Nanopartikel) können durch das Lungengewebe in den Blutkreislauf gelangen und damit im ganzen Körper verteilt werden; sie stammen grösstenteils aus den Dieselmotoren. Partikelfilter und DeNO_x -Katalysatoren können die entsprechenden Schadstoffe an der Quelle eliminieren; der Härtetest wurde beim Neatbau erbracht.

Umfangreiche wissenschaftliche Studien, zu welchen die Schweiz einen namhaften Beitrag geleistet hat, lassen keinen Zweifel, dass die Schadstoffbelastung der Luft reduziert werden kann und muss. Mit moderner, global verstandener Logistik, v. a. verkehrsberuhigenden und reduzierenden Massnahmen, neuer Motorentechnik (Hybrid-, Elektromotoren) und dank der ebenfalls in unserem Land entwickelten Partikelfiltertechnologie ist dies in greifbarer Nähe.

Seit Jahrzehnten warnen Präventivmediziner vor den schädlichen Folgen der Luftverschmutzung. Das gesundheitliche Risiko durch Feinstaub – besonders durch die kleinsten Partikel (unter $2,5 \mu\text{m}$), ganz besonders aber durch die Nanopartikel unter $0,1 \mu\text{m}$ d. h. $<100 \text{ nm}$ – steigt proportional zur Belastung der Individuen.

Die stationären Messorte des nationalen Beobachtungsnetzes NABEL und die kantonalen Messorte für die Feinstaubbelastung erfassen summarisch Feinstaubteilchen mit einer Grösse von weniger als $10 \mu\text{m}$ (particulate matter, PM_{10}) und ab dem 1. Januar 2011 $\text{PM}_{2,5}$. Als Ergänzung dieser wertvollen Datenerhebung wollen wir anregen, komplementär die **Schadstoffbelastung der Menschen (in Alltagssituationen)** zu erfassen, wenn sie sich im Verkehr bewegen, z.B. wenn sie zur Arbeit gehen, einkaufen, einen Spaziergang machen oder ihre Kinder zur Schule bringen, wobei wir uns auf die Feinstaubbelastungen beschränkt haben, denen einzelne Personen ausgesetzt sind. Durch die Entwicklung tragbarer Messgeräte sind solche Untersuchungen sowohl für Massen – als auch für Anzahlmessungen möglich geworden.

In acht Schweizer Städten wurden in diesem Winter Testparcours abgeschritten und dabei simultan PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ und PM_1 im Minutentakt sowie die Anzahl der Partikel in einem Grössenbereich zwischen 10 und 300 nm im Sekundentakt registriert*; die Messdaten wurden unmittelbar mitsamt den GPS-Daten dem Labor der Fachhochschule Nordwestschweiz übermittelt (NO_x , Lärm und Unfallgefahr wurden in dieser Pilotstudie nicht berücksichtigt).

Auf den Abbildungen wird sichtbar, welche Feinstaubkonzentrationen die Versuchspersonen während eines Spaziergangs in einem gewissen Moment «t» in ihrer Atemluft hatten. Bei den Testläufen konnten wir feststellen, dass die gesetzlichen PM_{10} -Limiten mehrfach überschritten wurden, vor allem aber, dass die stark invasiven Ultrafeinstäube örtlich bedenkliche und gesamthaft hohe Durchschnittswerte erzielten. Wir registrierten aber **jeweils nur eine Momentaufnahme**. Für eine wissenschaftlich verwertbare Aussage müsste eine Langzeitstudie konzipiert und nach vielen Wiederholungen analysiert werden.

* Gemessen mit dem miniDISC-Gerät, welches von Dr. Martin Fierz an der Fachhochschule Nordwestschweiz entwickelt wurde und vertrieben wird durch Matter Aerosol AG, Dr. Markus Kasper.

Die Daten bieten also **keinen Referenzwert** und zeigen einzig, was an einem bestimmten Tag entlang einer Verkehrsstrasse oder in einer Fussgängerzone eingeatmet wurde.

Die Einleitung

Die Kosten für die Ausrüstung der gesamten Dieselfahrzeugflotte und der stationären Dieselmotoren mit Partikelfiltern sowie für die Umsetzung einer vernünftigen «globalen Logistik» sind zwar beträchtlich, doch wissenschaftliche Studien belegen, dass dies eine äusserst rentable Investition wäre. Sie würde (nach vorsichtigen Schätzungen) eine mindestens zehnfache Rendite abwerfen.

Der Schaden, welcher unserer Volkswirtschaft durch die Luftverschmutzung erwächst, ist nämlich beträchtlich: Krankheitskosten, Verlust an Arbeitstagen bzw. verminderte Leistungsfähigkeit und vorzeitige Todesfälle einerseits, landwirtschaftliche Einbussen an Tieren und Pflanzen andererseits. Doch dieser Schaden ist diffus verteilt und erscheint in keiner Statistik. Denken wir auch an das menschliche Leiden, das ebenso wenig statistisch erfassbar ist und sich nicht abgelten lässt.

Zudem bezeichnet die UNEP Feinstaub als zweitwichtigsten Klimafaktor!

Die vorliegende Arbeit wurde durch den VCS Verkehrs-Club der Schweiz mit einigen seiner Sektionen in Zusammenarbeit mit der Vereinigung «Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz» realisiert, mit der wissenschaftlich-technischen Unterstützung des Instituts für Aerosol und Sensortechnologie der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW). Wir danken den Freiwilligen der Sektionen des VCS für ihren Einsatz bei Kälte und Wind und v. a. Frau Agnes Richard für die Analyse und für die grafische Umsetzung der Daten sowie der FHNW für das kostenlose Überlassen des miniDISC-Geräts zur Messung der Ultrafeinstäube.

Vorstellung der Kampagne

Unter den verschiedenen Luftschaudstoffen sind die kleinsten Feinstaubpartikel besonders tückisch. Teilchen mit einer Grösse unter $2,5 \mu\text{m}$ dringen bis in die Lungenbläschen ein, und noch viel feinere Partikel (sog. Ultrafeine Partikel oder Nanopartikel) gelangen in der Lunge durch die Luft-Blut-Gewebeschranke in den Blutkreislauf. Auf ihrer Oberfläche können diese gefährliche krebserzeugende Substanzen mitbefördern. Auch wenn hier die täglichen Mengen relativ gering sind, muss bedacht werden, dass sie kumulieren können und sich ihre Wirkung ändert, je nach Dauer der Exposition, Alter, genetischer Veranlagung und Höhe der Belastung. Um die Gesundheitsrisiken der Luftverschmutzung zu bewerten, ist es daher besonders wichtig, Informationen zu sammeln, welche **die tatsächliche Belastung im Alltagsleben** belegen. Diese Testparcours zeigen, dass dies möglich ist. Zurzeit ist es aber nur eine «Fotografie», ein Schnappschuss. Wir wollen damit die Behörden einladen, das Monitoring zu vervollständigen und weitere griffige Massnahmen zum Schutz unserer Gesundheit einzuführen.

Die Studie wurde in den folgenden acht Schweizer Städten durchgeführt: Luzern, Basel, Bern, Biel, Lausanne, Genf, Lugano und Chiasso. Dabei sind die verschiedenen Sprachräume und die unterschiedlichen urbanen Gegebenheiten berücksichtigt worden.

Die Messungen erfolgten in den Monaten Januar und Februar 2012, da in den Wintermonaten wegen der Inversionslagen die Feinstaubbelastung des Öfteren besonders hoch ist. Es war jedoch nicht unser Ziel, extreme Situationen nachzuweisen. Es ging darum, unter unterschiedlichen Bedingungen und an verschiedenen Tagen eine Momentaufnahme zu machen. Deshalb wurde bei Sonnenschein, bei Schneefall und auch bei klirrender Kälte gemessen. Zudem wurden nicht Tage ausgewählt, an denen die Luftbelastung besonders hoch war, sondern am vorherfestgelegten Datum, unabhängig von der Immissionsintensität. Die Bedingungen, bei denen die Messungen durchgeführt wurden, erlauben keine Vergleiche unter den verschiedenen Städten, was auch nicht beabsichtigt war. Es wurden sowohl Straßen mit starkem Verkehr wie auch Fussgängerzonen abgeschritten, je nachdem, welche Strecken die Städter normalerweise als Arbeitsweg oder in der Freizeit begehen. Die Zeitpunkte der Messungen verteilen sich über den ganzen Tag und geben somit nicht nur die Situation in besonders verkehrsreichen Momenten wieder, wie sie etwa durch den Pendlerverkehr verursacht werden.

Was sind Feinstaubpartikel?

Die Definition

Unter Feinstaub versteht man Partikel mit einer Grösse von weniger als $10 \mu\text{m}$ im Durchmesser, die in unserer Umgebungsluft schweben. Partikel, die grösser als $10 \mu\text{m}$ sind, werden schon in der Nase abgeschieden. Es werden verschiedene Grössenunterscheidungen gemacht, so z. B. lungengängiger Feinstaub, der eingeatmet werden kann (particulate matter $<10 \mu\text{m}$, als PM_{10} bezeichnet), alveolengängiger Feinstaub ($<2,5 \mu\text{m}$, $\text{PM}_{2,5}$) und ultrafeine Partikel (d. h. Nanopartikel, Durchmesser $<100 \text{ nm}$ $\text{PM}_{0,1}$). Standardmässig werden die beiden Messgrössen PM_{10} und $\text{PM}_{2,5}$ erfasst, hierbei wird die Massenkonzentration der Partikel gemessen, welche einen PM_{10} -Tagesmittelwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschreiten soll (Schweizer Immissionsgrenzwert). Bisher kennt die Schweiz keine Grenzwerte für $\text{PM}_{2,5}$, in Europa beträgt der Grenzwert für den Jahresdurchschnitt $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die WHO schlägt Jahresmittelwerte von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und Tageshöchstwerte von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vor*.

Zwei andere, sehr gesundheitsrelevante und bisher nicht reglementierte Grössen sind jedoch die Konzentration der Anzahl der ultrafeinen Partikel sowie die lungendeponierte Oberfläche (LDSA). Die Nanoteilchen durchdringen nämlich die Wände der Alveolen (Lungenbläschen), überwinden also die Luft-Blut-Schranke und werden über den Blutkreislauf in alle Körperorgane verteilt.

Feinstaubteilchen können aus verschiedenen natürlichen oder vom Menschen verursachten Quellen (z. B. Russ, Abriebpartikel, geologisches und biologisches Material usw.) und sind in ihrer Zusammensetzung sehr vielfältig. Die gröbere Partikelfraktion besteht hauptsächlich aus aufgewirbeltem Staub und Abrieb des Strassenverkehrs, aus landwirtschaftlichen Tätigkeiten und Heizungen, aber auch durch Vulkanaktivität. Feinere Partikel stammen zumeist aus Verbrennungsprozessen der Industrie und vor allem des Verkehrs, aber auch vom Abrieb. Die Russ-Nanopartikel ($10\text{--}80 \text{ nm}$) der Dieselauspuffe transportieren Metalloxide aus Motorabrieb, Additive sowie auf der Oberfläche adsorbierte krebs-erregende organische Stoffe und sind deshalb ganz besonders schädlich.

Im Gegensatz zur PM_{10} -Konzentration, die meist in einem grösseren Gebiet relativ gleichmässig ist, kann sich die Teilchenanzahl-Konzentration der ultrafeinen Partikel rasch ändern. Testparcours durch verschiedene Städte stellen eine gute Möglichkeit dar, Momentaufnahmen von zeitlich begrenzten Situationen zu liefern. Für ein charakteristisches Bild, gemittelt über einen grossen Zeitraum, sind jedoch längere, sich wiederholende Messungen notwendig.

* Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, WHO, 2006

Technische Realisierung der Messungen, Messgeräte und Analysetechnik

Während mehrerer Parcours in Basel, Bern, Biel, Chiasso, Genf, Lausanne, Lugano und Luzern wurden zwei verschiedene mobile Messgeräte mitgeführt, eines für Messungen der Teilchenanzahl-Konzentration ultrafeiner Partikel und eines für die Massenkonzentrationen von PM_{10} , $PM_{2,5}$ und PM_1 . Besondere Beobachtungen, wie zum Beispiel die allgemeine Verkehrssituation, Grösse der Strasse, Staus sowie kreuzende Fahrzeuge und Passanten (z. B. Motorräder, Bus, Schneepflug, Raucher usw.) wurden notiert.

Das miniDISC-Messgerät wurde von Dr. Martin Fierz am Institut für Aerosol und Sensor-technologie der Fachhochschule Nordwestschweiz entwickelt. Es misst die Teilchenanzahl-Konzentration in einem Konzentrationsbereich von 10^3 bis 10^6 Teilchen/cm³ und den mittleren Teilchendurchmesser in einem Bereich von 10 bis 300 nm mit einer Zeitauflösung von einer Sekunde*.

Gleichzeitig wurde auf den Testparcours ein Personal Dust Monit eingesetzt, welcher mit einer Auflösung von einer Minute die Massenkonzentrationen von PM_{10} , $PM_{2,5}$ und PM_1 misst.

Beide Messinstrumente führen ständig Messungen der in der Luft vorhandenen Partikel durch und zeichnen die Ergebnisse dieser Messungen auf. Die Messmethode des Personal Dust Monit wird als Laser Scattering bezeichnet und ermöglicht es, die Feinstaubpartikel in der Luft zu messen und nach ihrer Grösse einzuteilen. Die erfassbaren Konzentrationen bewegen sich zwischen 1 und 1000 Mikrogramm pro Kubikmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Die Messmethode (Laser Scattering) ergibt einen unmittelbaren Wert und wird laufend fortgeführt (im Minutenrhythmus), wobei sowohl die Konzentration der Feinstaubpartikel in der Luft erfasst wird als auch ihre Grösse.** (Es ist hier zu erwähnen, dass optische Messgeräte einer relativ hohen Messungenauigkeit unterliegen und daher ein direkter Vergleich mit den Messwerten der NABEL-Stationen, wo verlässlichere Messmethoden eingesetzt werden, schwierig ist.)

Die Echtzeitmessung der tatsächlichen Feinstaubbelastung wurde nach der Klassifizierung «OCCUPATIONAL» (UNI-EN 481) vorgenommen.

* www.fierz.ch/minidisc/

** www.conteng.it/Bollettini/PersonalDustMonit_En.pdf

Resultate der Messungen, grafische Darstellung

Die Umsetzung

Die Resultate der verschiedenen Testparcours zeigen «Schnappschüsse» der jeweiligen Orte zu der gewählten Tages- und Jahreszeit. Je nach Saison und Wetterlage (Niederschlag, Windgeschwindigkeit, Temperatur), Uhrzeit (Rushhour oder ruhigere Verkehrslage) und Wochentag resp. Wochenende können die vorhandenen Konzentrationen stark variieren.

Im Gegensatz zum recht milden Januar fanden die Messungen Anfang Februar in einer Kälteperiode statt. Ab Mitte Februar stiegen die Temperaturen wieder an, und ab dem 24. Februar 2012 wurden im Südtessin sogar Temperaturen um die 20 Grad gemessen. Im Februar bis anfangs März 2012 war es sehr sonnig, warm und extrem trocken, die Niederschlagsmengen überstiegen an keinem der Messstandorte 50 % der üblichen Menge. Bei solchen Wetterlagen ist mit örtlichen Akkumulationen der Feinstaubbelastung in der Luft zu rechnen*.

Die erhaltenen Momentaufnahmen zeigen trotz der verschiedenen Wetterverhältnisse allgemeine Trends auf: An grösseren Strassen und besonders an Kreuzungen sind Verkehrsteilnehmer wesentlich höheren Konzentrationen von Feinstaubpartikeln ausgesetzt; einzelne Ereignisse wie beispielsweise das Vorbeifahren eines einzelnen Motorrads können die Anzahlkonzentration der ultrafeinen Partikel sehr schnell stark in die Höhe treiben (s. Abbildung 11). Eine anschauliche Art der Darstellung der Messdaten wird hier durch die Projektion der Teilchenanzahl-Konzentration als rote Kurve über eine Satellitenaufnahme aus Google Earth erreicht (die grauen Gitternetzlinien dienen der besseren Darstellung).

Die Messung der Teilchenanzahl-Konzentration mit dem miniDISC-Gerät in den acht ausgewählten Städten ergab einen Mittelwert von 25 000 Teilchen/cm³ (bei einer mittleren Teilchengrösse im Bereich von 34 bis 64 nm). Entsprechend dem Verkehrsaufkommen fanden sich jeweils höhere Werte am Abend, tiefere am frühen Nachmittag.

* Quelle Klimabulletin MeteoSchweiz

Luzern – die Messergebnisse

Die Messungen erfolgten am 1. Februar 2012 auf zwei Rundgängen, einem am Morgen und einem am Nachmittag, jeweils im Stadtzentrum. Es wurden sowohl Hauptstrassen mit viel Verkehr, die jedoch auch von Fussgängern benützt werden, abgeschritten (z. B. die Pilatusstrasse) als auch Quartierwege sowie die ausgedehnte Fussgängerzone in der Stadtmitte.

An jenem Tag war es bewölkt, zeitweise traten vereinzelte, leichte Schneefällen auf bei einer Temperatur von etwa -3°C . Die Messstation Luzern-Moosstrasse hat während der Stunden, an denen unsere Messungen vorgenommen wurden, Mittelwerte von $44,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ am Morgen und $44,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ am frühen Nachmittag aufgenommen. Der Tagesmittelwert für PM_{10} lag bei $47,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

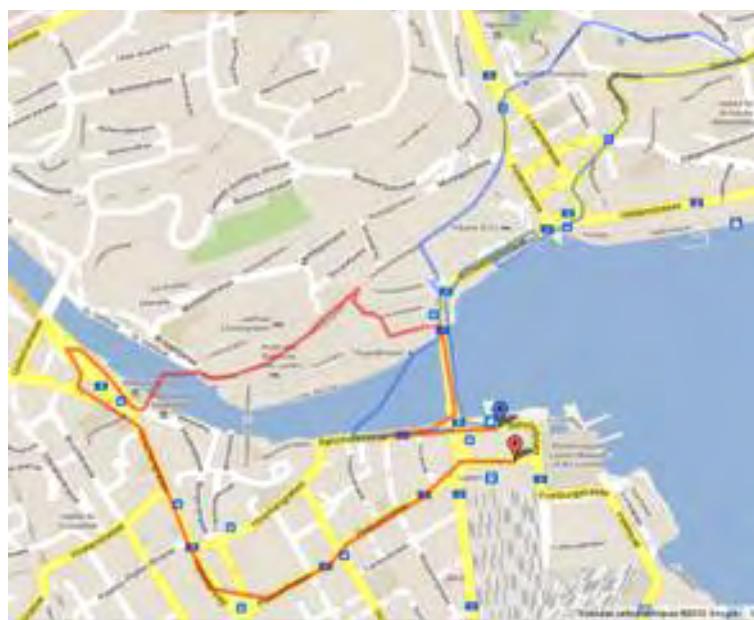


Abbildung 1:
Testparcours in der
Stadt Luzern

Rote Linie: am Morgen absolviert Rundgang; blaue Linie: am Nachmittag begangener Weg

Karte: Google Map

Feinstaub-Massenmesswerte PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ und PM_1

Die beiden nachfolgenden Abbildungen zu den Feinstaubmessungen weisen hohe Grundpegel für $\text{PM}_{2,5}$ und PM_1 auf. Der Durchschnittswert liegt in beiden Fällen über $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Auch für PM_{10} sind die Werte eher hoch, vor allem längs den Strassen mit viel Verkehr. Die höchsten Werte (um die $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wurden entlang dem Hirschengraben, beim Portal des Zubringertunnels zur Autobahn, und beim Schweizerhofquai gemessen. In der grossen Fussgängerzone sowie auf den am Hang gelegenen Quartierstrassen bewegten sich die Werte zwischen 40 und $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

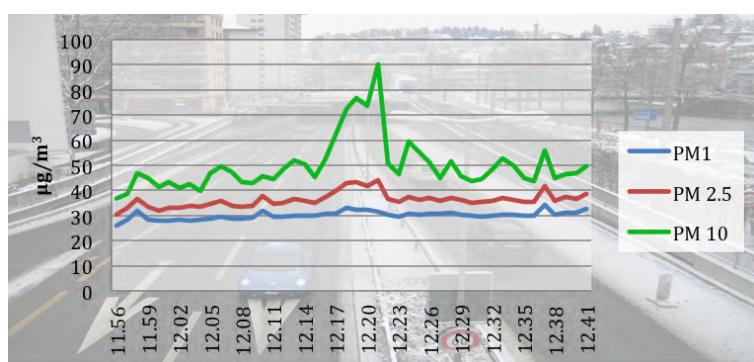


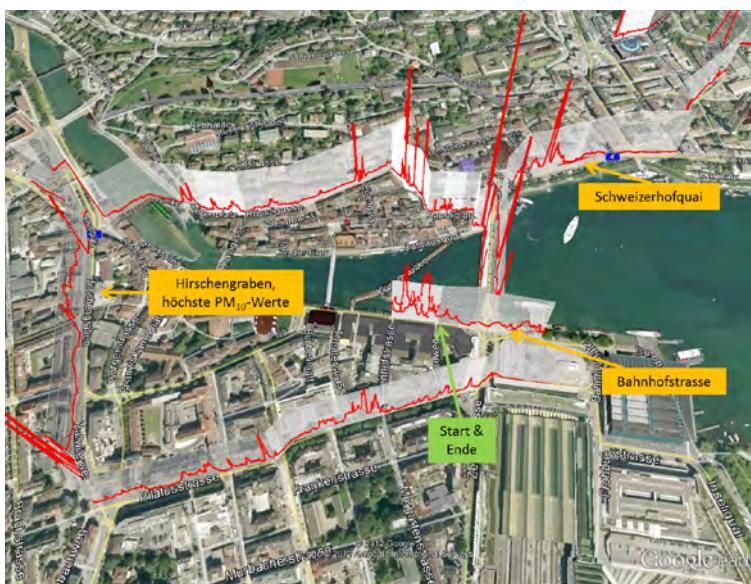
Abbildung 2:
Messungen PM_{10} ,
 $\text{PM}_{2,5}$ und PM_1

Parcours am Morgen
Hintergrundbild: VCS



Anzahlkonzentration der Teilchen im Größenbereich von 10 bis 300 nm

Die Anzahlkonzentration der ultrafeinen Partikel war am Pilatusplatz mit einigen momentanen Spitzenwerten (bis zu 600 000 Teilchen/cm³) am höchsten und entlang des Hirschengrabens konnte eine konstant hohe Konzentration beobachtet werden. Zeitlich schnell veränderliche Ausschläge deuten auf eine momentan hohe Belastung durch den Verkehr hin, also entweder Stausituationen an Kreuzungen und Ampeln oder auf einzelne Fahrzeuge mit hohen Emissionen (Pilatusplatz). Am Hirschengraben war die Konzentration einheitlich hoch, was auf den konstanten Verkehr am Portal des Tunnels zurückzuführen ist. Nahe dem Bahnhof, auf der Seebrücke, sowie entlang des Schweizerhofquais lagen die Teilchenanzahl-Konzentrationen ebenfalls sehr viel höher als in den danach abgeschrittenen Quartierstrassen.



Basel – die Messergebnisse

In Basel wurden die Messungen am 2. Februar 2012 durchgeführt. Der zwischen 11.30 und 14.00 Uhr begangene Weg führte durchs Stadtzentrum, und führte sowohl durch stark befahrene Straßen wie durch solche mit weniger Verkehr, d. h. durch Quartierstrassen und die Fußgängerzone. Die Messungen fanden bei leichtem Schneefall und einer Temperatur von etwa -5°C statt, zeitweise mit Windböen. Die Daten der Messstation NABEL in Basel-Binnigen wiesen für die Zeitspanne des Rundgangs PM_{10} -Werte von $39,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aus, während der Tagesmittelwert bei $41,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lag. Die kantonale Messstation Basel-St. Johannsplatz registrierte einen Tagesdurchschnittswert von $40,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

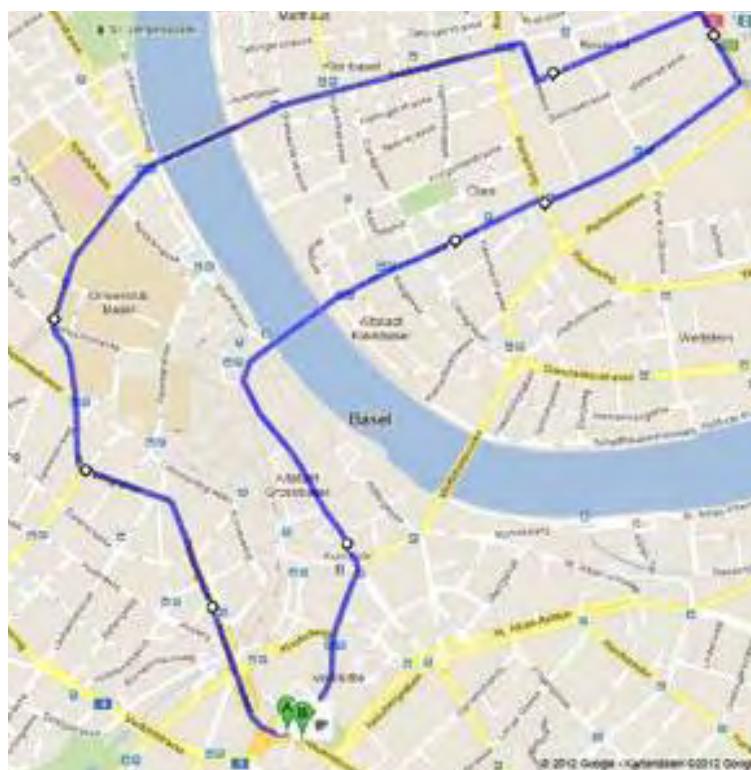


Abbildung 5:
Testparcours
in der Stadt Basel

Karte: Google Map

Feinstaub-Massenmesswerte PM_{10} , $PM_{2,5}$ und PM_1

Die von uns erhobenen Daten zur Feinstaubbelastung (PM_{10} , $PM_{2,5}$ und PM_1) während des Testparcours in der Stadt weisen eher hohe Werte für PM_1 und $PM_{2,5}$ auf, wobei sich Durchschnittswerte bei PM_1 von $28,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und bei $PM_{2,5}$ von $38,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ergaben. In beiden Fällen lagen die Konzentrationen nie unter $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Für PM_{10} wurde ein Durchschnittswert von $53,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erhoben, mit einem Spitzenwert von $99,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und einem niedrigsten Messwert von $37,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die höchsten Werte wurden bei der Heuwaage und an einer Kreuzung mit starkem Verkehr gemessen, während die niedrigeren Messwerte auf Quartierstrassen mit wenig Verkehr entfielen.

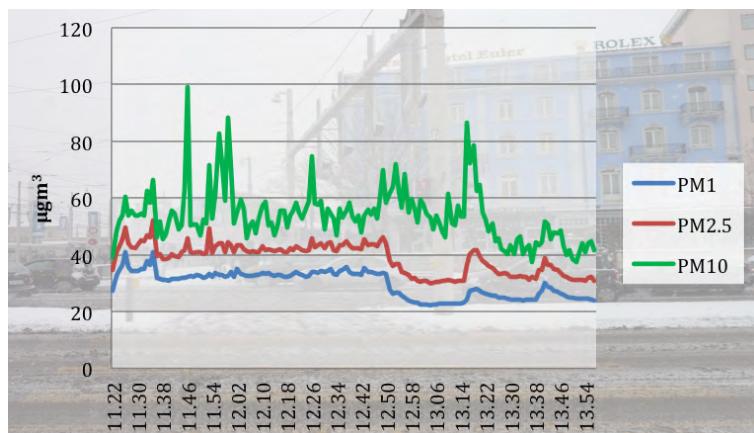


Abbildung 6:
**Messungen PM_{10} ,
 $PM_{2,5}$ und PM_1**

Hintergrundbild: VCS

Anzahlkonzentration der Teilchen im Größenbereich von 10 bis 300 nm

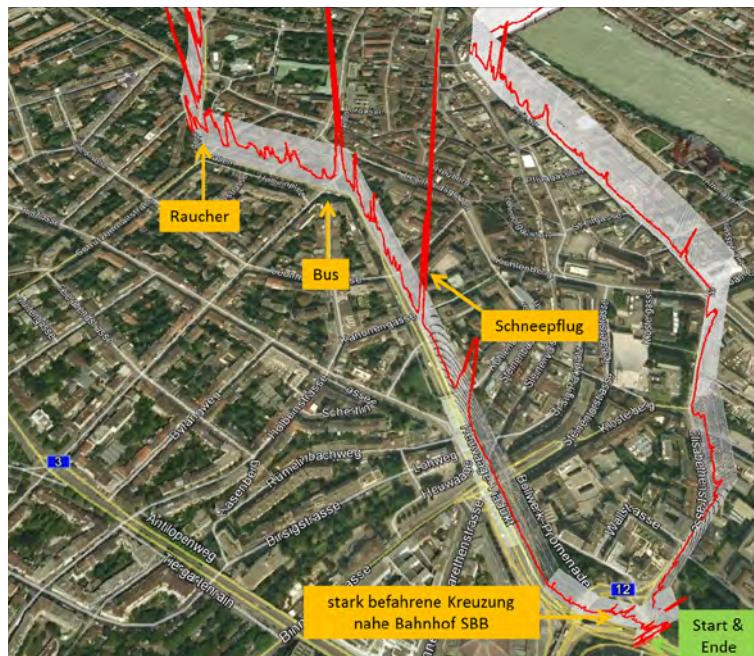
Für die Teilchenanzahl-Konzentration der ultrafeinen Partikel wurden entlang des Heuwaage-Viadukts ebenfalls sehr hohe Werte registriert. Einzelne Ereignisse, wie das Kreuzen eines Schneepflugs, eines Busses oder eines Rauchers zeigen ebenfalls hohe Ausschläge. Auch in Basel zeigten sich in den Quartierstrassen deutlich geringere Konzentrationen, während in der Nähe des Badischen Bahnhofs die Konzentrationen wieder höher waren.



Abbildung 7:
**Messungen PN
(Anzahlkonzentra-
tion) in Basel
am 2. Februar 2012**

Teilchenanzahl-
Konzentration (rote
Kurve) und Zeitreihe
(graue Gitterlinien)

Diagramm auf Google-Earth-Aufnahme



**Abbildung 8: Zoom
des Testparcours
in Basel**

**Beginn am Bahnhof
SBB und Beobach-
tungen anhand des
Protokolls**

Diagramm auf Google-Earth-Aufnahme

Biel – die Messergebnisse

In Biel wurden die Messungen am 3. Februar 2012 über Mittag durchgeführt. Es war ein sonniger Tag mit starkem Westwind und einer Temperatur von etwa -7°C .

Auch hier führte der Testparcours durch das Zentrum der Stadt. Die Messungen wurden um die Mittagszeit gemacht. Der Durchschnittswerte von $\text{PM}_{2,5}$ lag bei $25,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mit einer Spur bei $49,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Für den PM_1 lag der Durchschnittswert bei $16,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für PM_{10} bei $73,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die höchsten Werte wurden an Kreuzungen mit starkem Verkehr – auch LKWs – sowie bei einem Kreisel an der Zukunftstrasse gemessen.

Die Bewertung
der Messdaten
der acht Schweizer
Städte

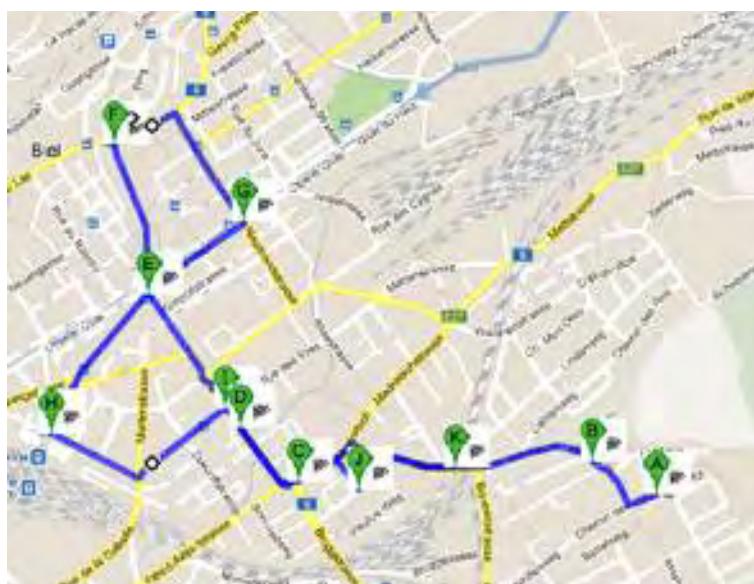


Abbildung 9:
Testparcours
in der Stadt Biel

Karte: Google Map

Feinstaub-Massenmesswerte PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ und PM_1



Abbildung 10:
Messungen PM_{10} ,
 $\text{PM}_{2,5}$ und PM_1

Hintergrundbild: VCS

Anzahlkonzentration der Teilchen im Grössenbereich von 10 bis 300 nm

In Abbildung 11 ist die Teilchenanzahl-Konzentration der ultrafeinen Partikel dargestellt. Gestartet wurde von rechts in ruhigeren Quartierstrassen (Beundenweg, Möqliquartier) und nach Überqueren der Bahnschienen wurde ein Motorrad beobachtet, was sich deutlich im Diagramm der Teilchenanzahl-Konzentration niederschlägt. An Kreuzungen, bei Kreiseln und auf stark befahrenen Strassen sind ebenfalls deutliche Erhöhungen festzustellen. In der Bahnhofstrasse, wo nur mit Partikelfiltern ausgestattete Busse verkehren, sind die Konzentrationen deutlich geringer.

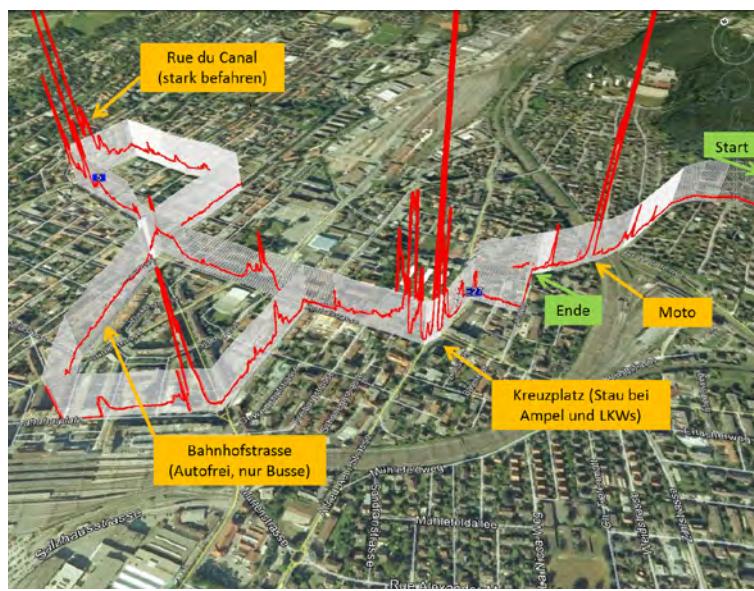


Abbildung 11:
Messwerte PN
(Anzahlkonzentra-
tion) in Biel
am 3. Februar 2012

Teilchenanzahl-
Konzentration (rote
Kurve) und Zeitreihe
(graue Gitterlinien);
zusätzliche Beobach-
tungen anhand des
Protokolls

Diagramm auf Google-Earth-Aufnahme

Bern – die Messergebnisse

Die Messungen erfolgten am 15. Februar 2012 zwischen 9.45 und 11.00 Uhr. Das Wetter war veränderlich, zum Teil sonnig, zum Teil mit leichten Schneefällen, bei einer Temperatur um die null Grad und Wind.

Die NABEL-Messstation in Bern-Bollwerk* hat in den Stunden des Testparcours einen Durchschnittswert für PM₁₀ von 15,9 µg/m³ gemessen, während der Tagesdurchschnittswert bei 13,7 µg/m³ lag.

Die Bewertung
der Messdaten
der acht Schweizer
Städte

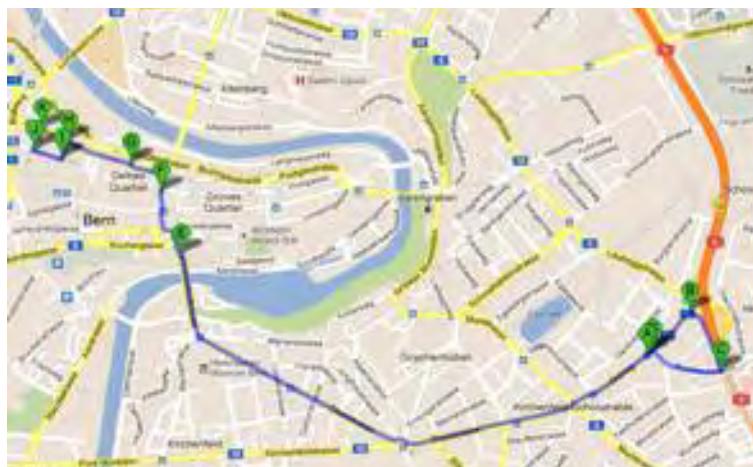


Abbildung 12:
Testparcours
in der Stadt Bern

Karte: Google Map

Feinstaub-Massenmesswerte PM₁₀, PM_{2,5} und PM₁

Der von uns gemessene Mittelwert für PM_{2,5} war mit 7,3 µg/m³ ebenfalls relativ tief, ebenso jener für PM₁ mit 2,6 µg/m³. Für PM₁₀ ergab sich ein Mittelwert von 21,5 µg/m³, mit einem Tiefstwert von 6,6 µg/m³, jedoch einem Höchstwert von 276,5 µg/m³ entlang des Sonnenhofwegs, vom Ostring in Richtung Buchserstrasse, im Abschnitt, der an der Autobahn vorbeiführt.

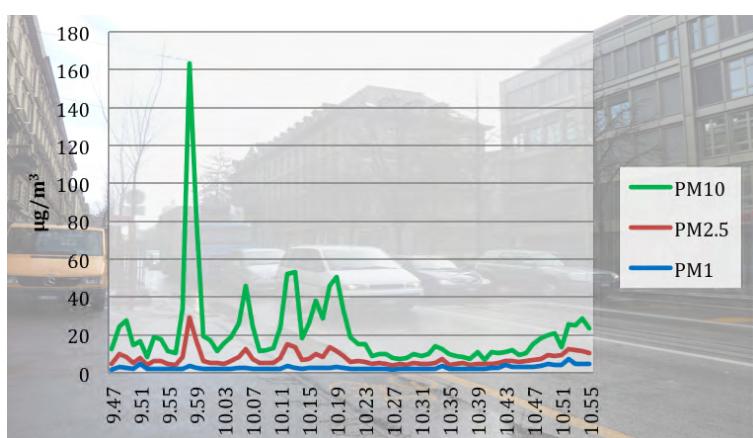


Abbildung 13:
Messungen PM₁₀,
PM_{2,5} und PM₁

Hintergrundbild: VCS

* Die Station liegt in unmittelbarer Nähe des Hauptbahnhofs am Bollwerk.

Anzahlkonzentration der Teilchen im Größenbereich von 10 bis 300 nm

Die Teilchenanzahl-Konzentration der ultrafeinen Partikel war am Thunplatz mit Abstand am höchsten (bis zu 700 000 Teilchen/cm³), hier handelt es sich um Emissionen der Fahrzeuge, die sich an den Ampeln stauen. Ebenfalls hoch waren die Werte entlang des Sonnenhofweges, sonst wurden in Bern relativ niedrige Werte gemessen.



Abbildung 14:
Messwerte PN
(Anzahlkonzentra-
tion) in Bern
am 15. Februar 2012

Teilchenanzahl-
Konzentration (rote
Kurve) und Zeitreihe
(graue Gitterlinien)

Diagramm auf Google-Earth-Aufnahme

Genf – die Messergebnisse

In Genf wurden die Messungen am 6. Februar 2012 zwischen 9.30 und 12.30 Uhr vorgenommen, dies bei sonnigem, leicht windigem Wetter. Die PM₁₀-Messstationen des Kantons Genf, die sich in der Stadt befinden (Ste-Clotilde und Wilson), ergaben Tagesdurchschnittswerte von 44 µg/m³ beziehungsweise 35 µg/m³.

Die Bewertung
der Messdaten
der acht Schweizer
Städte

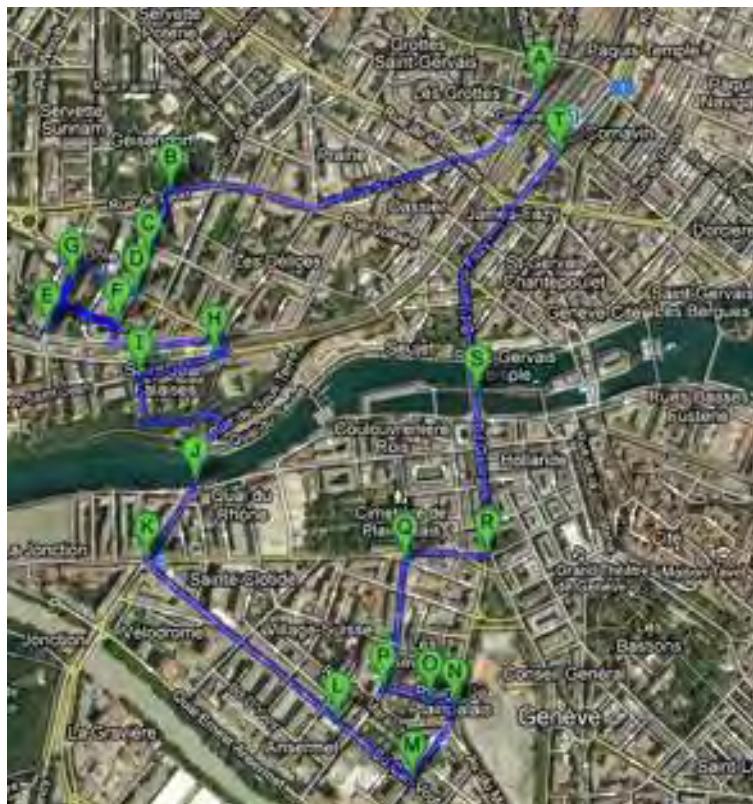


Abbildung 15:
Testparcours in der
Stadt Genf

Hintergrundbild: Google-Earth-Aufnahme

Feinstaub-Massenmesswerte PM₁₀, PM_{2,5} und PM₁

Der von uns erfasste Durchschnittswert für PM_{2,5} lag bei 35,6 µg/m³, für PM₁ bei 24,8 µg/m³. Der Durchschnittswert für PM₁₀ war 74,4 µg/m³, bei einem Tiefstwert von 13,6 µg/m³ und einem Höchstwert von 276,1 µg/m³. Letzterer wurde bei der relativ stark befahrenen Rue du Temple gemessen.

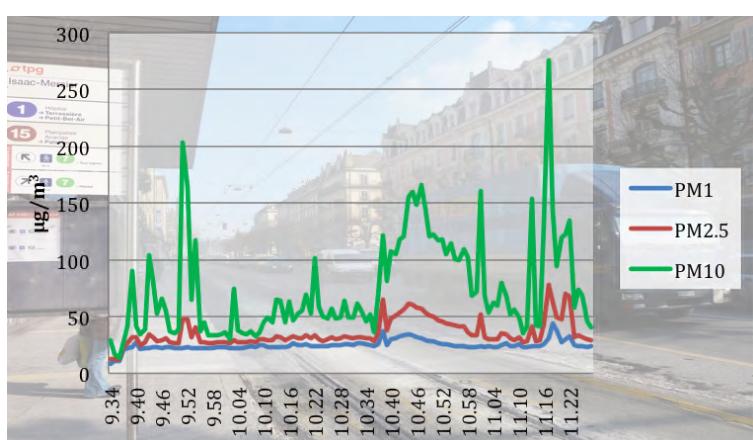


Abbildung 16:
Messungen PM₁₀,
PM_{2,5} und PM₁

Hintergrundbild: VCS

Anzahlkonzentration der Teilchen im Grössenbereich von 10 bis 300 nm

Die höchsten Konzentrationen von Ultrafeinstaub wurden entlang der Boulevards George-Favon und James-Fazy auf dem Rückweg zum Gare Cornavin gemessen, am Anfang der Route entlang der Rue de Lyon und besonders am Place des Charmilles fanden sich ebenfalls hohe Konzentrationen. Auf Quartierstrassen zeigten sich weniger hohe Werte, ebenfalls am Boulevard Carl-Vogt.

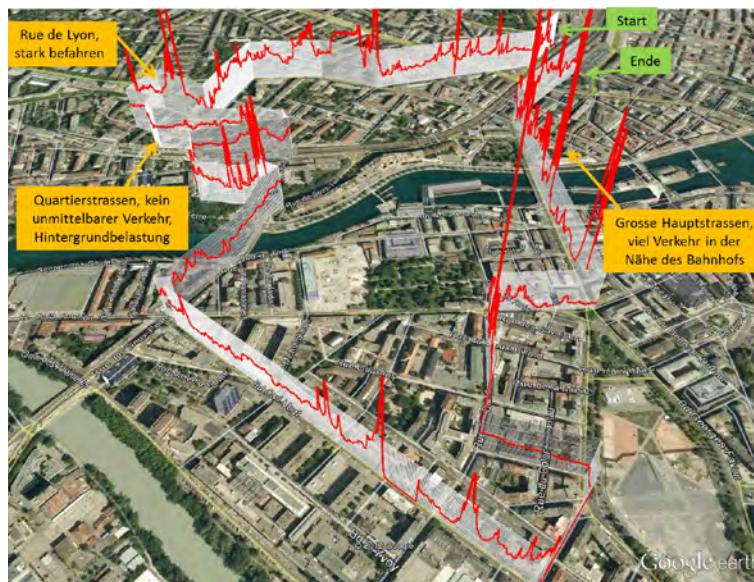


Abbildung 17:
Messwerte PN
(Anzahlkonzentration) in Genf
am 6. Februar 2012

Teilchenanzahl-
Konzentration (rote
Kurve) und Zeitreihe
(graue Gitterlinien)

Diagramm auf Google-Earth-Aufnahme

Lugano – die Messergebnisse

In Lugano wurden an drei Tagen Testparcours vorgenommen. Dies ermöglichte verschiedene Momentaufnahmen in derselben Stadt. Somit wurden auch mehr Informationen zur täglichen Belastung der Testpersonen gewonnen. Die Messungen wurden am 26., 27. und 28. Februar 2012 vorgenommen. Im Folgenden sind die Messungen beschrieben, die am 27. Februar 2012 durchgeführt wurden.

Der 27. Februar 2012 war ein sonniger Tag mit wenig Wind und einer Temperatur über 10°C. Im Laufe des Tages wurden drei Parcours mit unterschiedlichen Eigenschaften absolviert. Am Morgen ging es von der Piazza Molino Nuovo zuerst stark befahrenen Straßen entlang, dann auf Straßen mit weniger Verkehr bis zum Stadtzentrum am See. Die NABEL-Messstation* registrierte in den Stunden des Tests einen Mittelwert von 26,7 µg/m³ für die PM₁₀-Belastung sowie einen Tagesmittelwert von 10 µg/m³, somit war es ein Tag mit tiefer Luftverschmutzung.

Die Bewertung
der Messdaten
der acht Schweizer
Städte

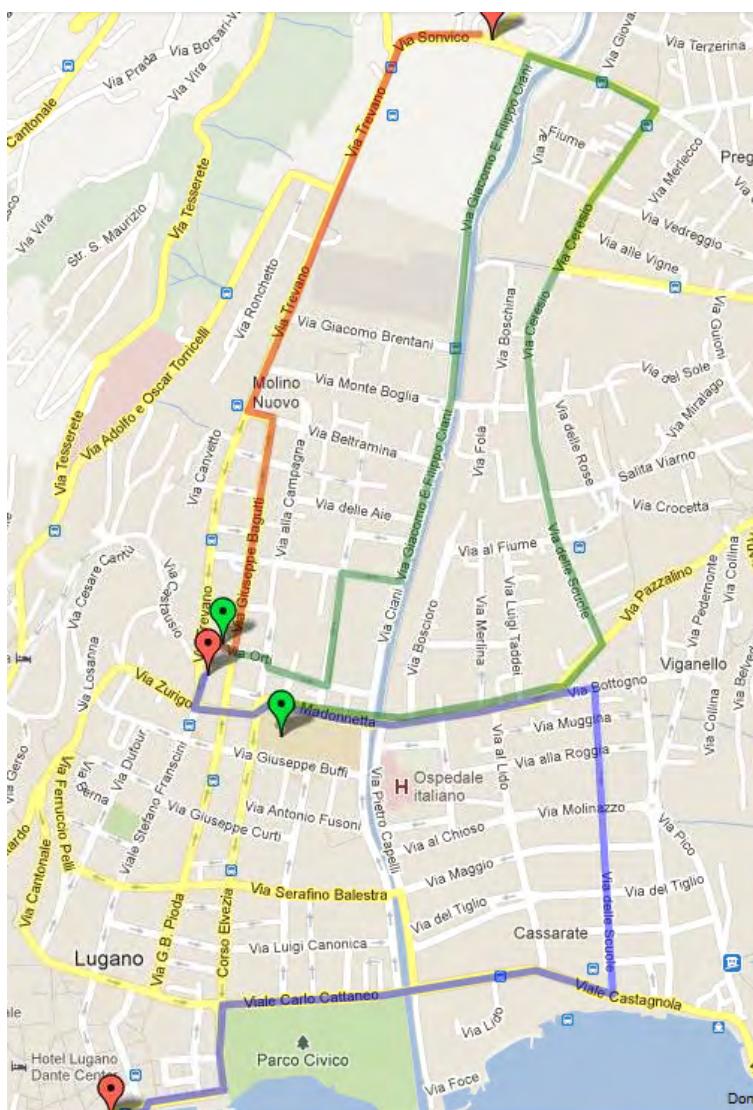


Abbildung 18:
Testparcours
in der Stadt Lugano
am 27. Februar 2012

Blaue Linie: am Morgen absolvierte Strecke; grüne Linie: am Nachmittag begangener Weg; rote Linie: am frühen Abend abgeschrittene Route

Karte: Google Map

* Die Messstation liegt im Zentrum von Lugano auf dem Gelände der Università della Svizzera italiana.

Feinstaub-Massenmesswerte PM_{10} , $PM_{2,5}$ und PM_1

Auf dem Testparcours am Vormittag wurde ein Durchschnittswert für $PM_{2,5}$ von $12,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen, während jener für PM_1 bei $3,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lag. Bei den PM_{10} wurde ein Durchschnittswert von $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen, mit Werten, die entlang der Via Madonneta bis Via alla Chiesa, Straßen mit relativ viel Verkehr, zeitweise auf über $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anstiegen.

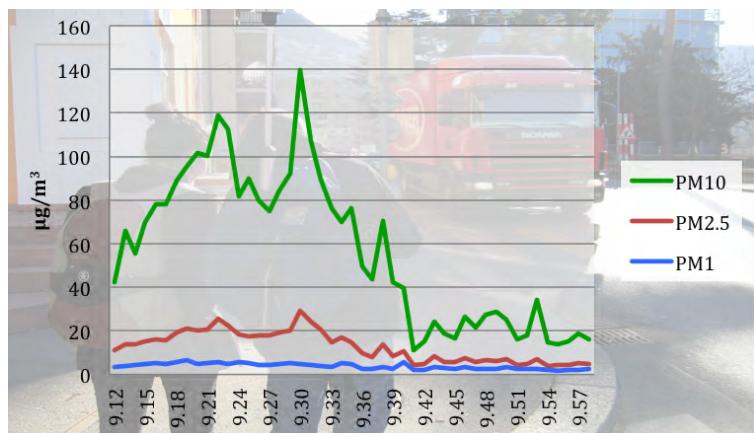


Abbildung 19:
Messungen PM_{10} , $PM_{2,5}$ und PM_1 am Morgen des 27. Februars 2012 in Lugano

Hintergrundbild: VCS

Am frühen Nachmittag wurde ein Testspaziergang vom Universitätspark nach Viganello, Pregassona Bassa bis zum Stadion und der Piazza Molino Nuovo unternommen. Dabei wurden stark bewohnte Stadtviertel mit Schulen, Altersheimen und erheblichem Verkehr durchquert. Die NABEL-Messstation registrierte für diese Zeitspanne einen Durchschnittswert von $10,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Der für $PM_{2,5}$ gemessene Durchschnittswert ergab $9,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, während jener der PM_1 bei $4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lag. Der Durchschnittswert für PM_{10} ergab $43,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die höchsten Werte von etwa $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden bei einer Baustelle gemessen und sind vermutlich auf die Bauarbeiten zurückzuführen (evtl. aufgewirbelter Baustaub). Die beiden anfänglichen Spitzen von $89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden entlang der Via la Santa registriert, einer Strasse mit mittlerem bis starkem Verkehrsaufkommen, die beiderseits von Gebäuden flankiert ist.

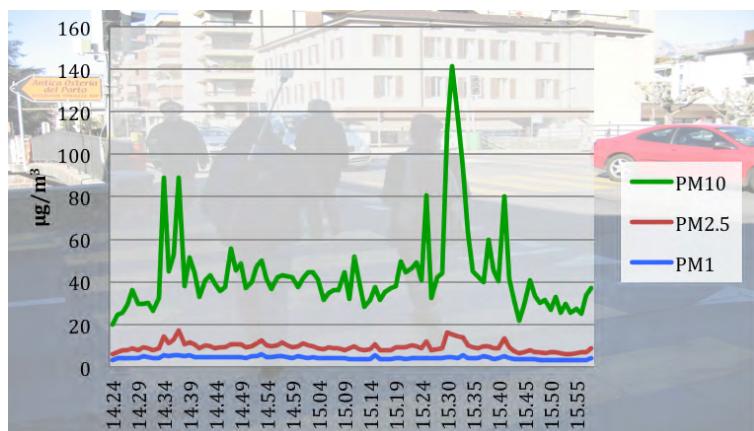


Abbildung 20:
Messungen PM_{10} und $PM_{2,5}$ am 27. Februar 2012 in Lugano, früher Nachmittag

Hintergrundbild: VCS

Der abendliche Testparcours führte durch das Stadtviertel Molino Nuovo, entlang der Via Bagutti und der Via Trevano, der wichtigsten nördlichen Einfallstrasse nach Molino Nuovo. In der Zeitspanne der Messungen registrierte die NABEL-Messstation einen Durchschnittswert von $10,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der gemessene Durchschnittswert für $\text{PM}_{2,5}$ ergab $11,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, jener für $\text{PM}_1 5,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Durchschnittswert der PM_{10} lag indessen bei $54,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die hohen Werte für PM_{10} wurden beim Stadion gemessen, entlang der Via Sonvico, bei der Bushaltestelle «Resega», wobei das starke Verkehrsaufkommen mit etlichen LKWs zu den Ursachen zählen dürfte.

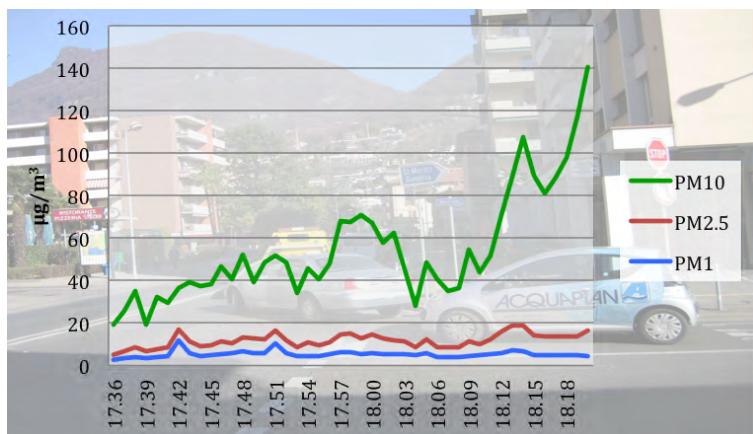


Abbildung 21:
Messungen PM_{10} ,
 $\text{PM}_{2,5}$ und PM_1
am 27. Februar 2012
in Lugano, am frühen
Abend

Hintergrundbild: VCS

Anzahlkonzentration der Teilchen im Größenbereich von 10 bis 300 nm

Die Anzahlkonzentration der ultrafeinen Partikel war in Lugano am 27. Februar 2012 entlang der Via Madonetta und besonders in Richtung der Via Bottogno am höchsten. Entlang der Via alla Chiesa sowie der Viale Castagnola waren die Konzentrationen dagegen geringer. In See-Nähe wurden einige hohe Spitzenwerte beobachtet, die vermutlich auf einzelne Fahrzeuge zurückzuführen sind.

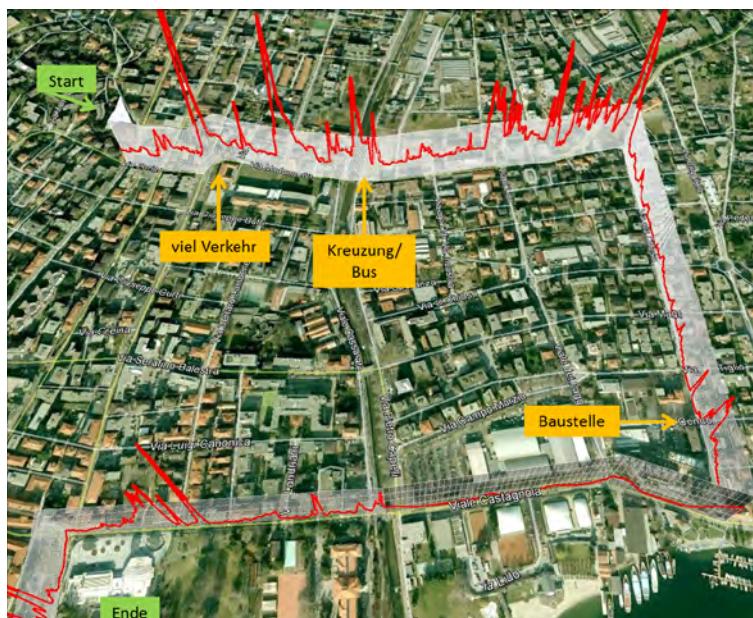


Abbildung 22:
Messwerte PN
(Anzahlkonzentra-
tion) in Lugano
am 27. Februar 2012,
gemäss Protokoll

Teilchenanzahl-
Konzentration (rote
Kurve) und Zeitreihe
(graue Gitterlinien)

Diagramm auf Google-Earth-Aufnahme

Chiasso – die Messergebnisse

Am Vormittag des 28. Februars 2012 wurden in der Grenzgemeinde Chiasso sowohl Stadtteile mit starkem Verkehr wie auch die Fussgängerzone und das dicht besiedelte Quartier an der Via Soldini begangen.

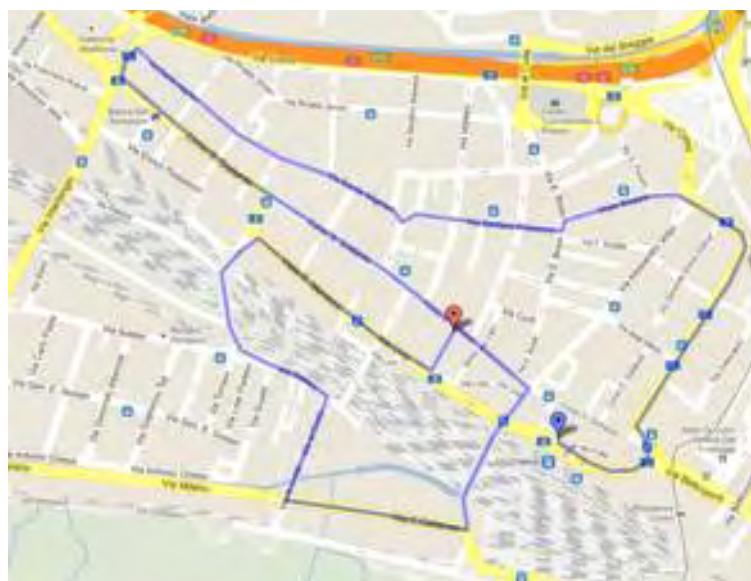


Abbildung 23:
Testparcours
in der Stadt Chiasso

Karte: Google Map

Feinstaub-Massenmesswerte PM_{10} , $PM_{2,5}$ und PM_1

In Chiasso hat die kantonale Messstation, die sich auf dem Schulhausplatz in der Nähe einer viel befahrenen Strasse befindet, am 28. Februar 2012 die Werte aufgezeichnet, wie sie in Abbildung 24 zu sehen sind. Während der Zeit der Begehung (zwischen 9 und 12 Uhr) lag der PM_{10} -Durchschnittswert unter $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Der von uns erfasste Durchschnittswert für $PM_{2,5}$ lag bei $37,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, für PM_1 bei $23,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Durchschnittswert für PM_{10} war $100,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei einem Höchstwert von $426,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Letzterer wurde im Strassen- und Fussgängertunnel Luigi Favre gemessen. Dieser Tunnel muss regelmässig zu Fuss begangen werden, um vom Zentrum in die Quartiere jenseits der Geleise zu gelangen.

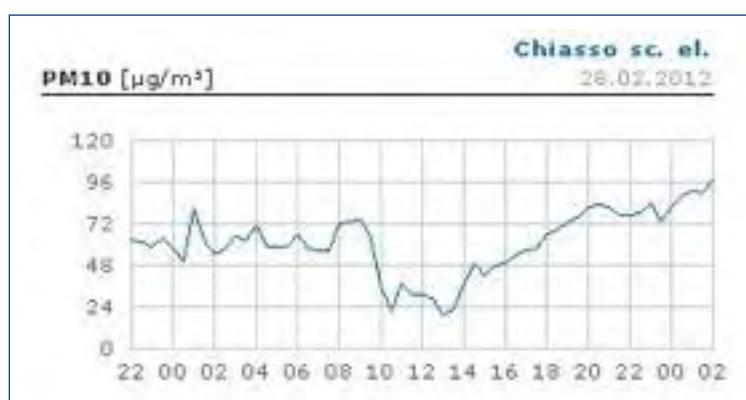


Abbildung 24:
Feinstaubmessungen
der kantonalen
Messstation
in Chiasso (PM_{10})

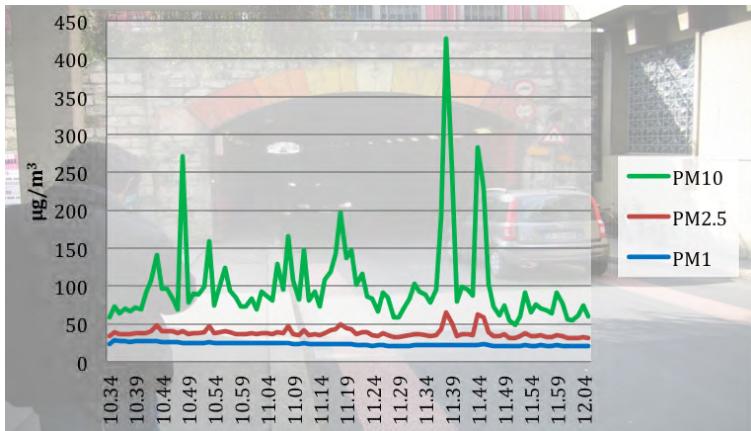


Abbildung 25:
Messungen PM₁₀,
PM_{2,5} und PM₁

Hintergrundbild: VCS

Anzahlkonzentration der Teilchen im Größenbereich von 10 bis 300 nm

In Chiasso wurden die höchsten Teilchenanzahl-Konzentrationen an der Viale Ten. Col. Giuseppe Galli beobachtet. Auch im Tunnel an der Via Rampa unter den Eisenbahnschienen wurden hohe Konzentrationen gemessen. In der Fussgängerzone und in weniger stark befahrenen Strassen waren die Konzentrationen dagegen bedeutend niedriger.



Abbildung 26:
Messwerte PN
(Anzahlkonzentra-
tion) in Chiasso
am 28. Februar 2012

Teilchenanzahl-
Konzentration (rote
Kurve) und Zeitreihe
(graue Gitterlinien)

Diagramm auf Google-Earth-Aufnahme

Lausanne – die Messergebnisse

Am 29. Februar 2012 wurde ein letzter Testparcours durch die Strassen der Stadtmitte von Lausanne absolviert. Der Tag war sonnig, ohne Wind und Temperaturen um die 12°C. Der «Spaziergang» fand zwischen 12.30 und 15.00 Uhr statt. Begangen wurden sowohl Strassen mit hohem Verkehrsaufkommen wie auch die Fussgängerzone im Zentrum. Während der Messungen war das Verkehrsaufkommen auch auf den Hauptstrassen nicht besonders gross. Die NABEL-Messstation in Lausanne-César-Roux* registrierte einen Tagesdurchschnittswert für PM₁₀ von 36 µg/m³. In der Zeit unseres Testgangs, zwischen 12.00 und 15.00 Uhr, wurden Werte um 36,6 µg/m³ gemessen.

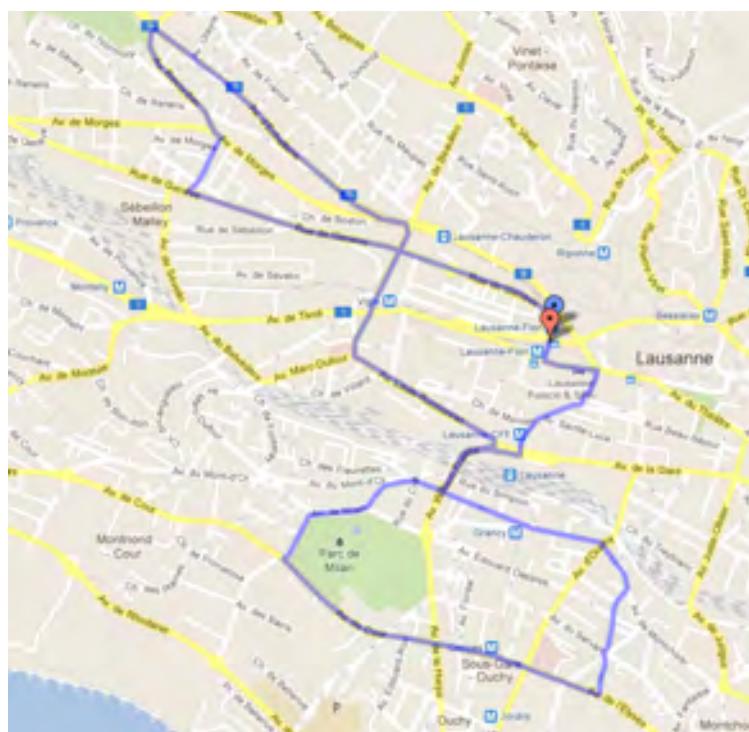


Abbildung 27:
Testparcours in der
Stadt Lausanne

Karte: Google Map

* Die Station befindet sich im Zentrum von Lausanne im Keller der Bibliothek «Bibliomedia Suisse», welche unmittelbar neben einer innerstädtischen, leicht ansteigenden Transitstrasse (ca. 30 000 Fahrzeuge pro Tag) liegt.

Feinstaub-Massenmesswerte PM_{10} , $PM_{2,5}$ und PM_1

Die von uns gemessenen Durchschnittswerte lagen bei $21,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für $PM_{2,5}$ und $16,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für PM_1 . Für PM_{10} ergab sich ein Durchschnittswert von $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mit einer Spitze von $545 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Letztere wurde durch Straßenreinigungsarbeiten verursacht, die Staub aufwirbelten. Die an der Avenue de Cour gemessenen Werte um $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sind auf eine Baustelle in der Nähe zurückzuführen.

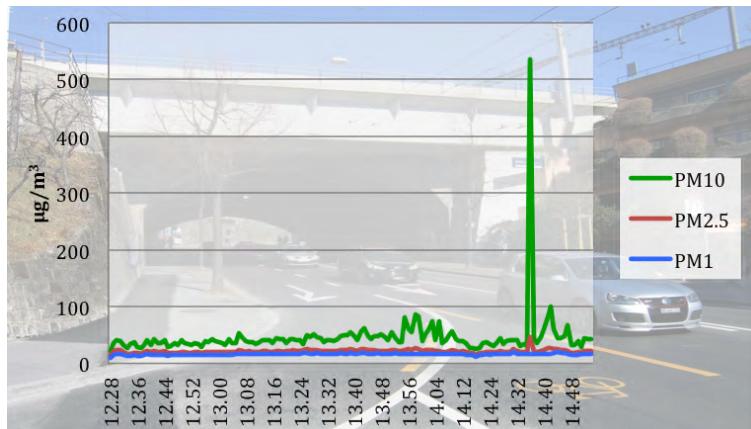


Abbildung 28:
**Messungen PM_{10} ,
 $PM_{2,5}$ und PM_1**

Hintergrundbild: VCS

Anzahlkonzentration der Teilchen im Größenbereich von 10 bis 300 nm

Die Daten der ultrafeinen Partikel zeigen den höchsten Ausschlag am Start des Parcours am Place de l'Europe (bis zu $700\,000 \text{ Teilchen}/\text{cm}^3$). Dieser zeitlich scharf begrenzte Ausschlag ist vermutlich auf ein einzelnes oder mehrere vereinzelte Fahrzeuge zurückzuführen. Weiter ging es zuerst durch ruhigere Straßen mit wenig Verkehr, danach wurde wieder mehr Verkehr beobachtet und mehrere stehende Fahrzeuge an einer roten Ampel an der Kreuzung mit der Rue de Strasbourg. Am Bahnhof wurde ebenfalls ein hohes Verkehrsaufkommen verzeichnet, und die Straßenreinigungsarbeiten schlagen sich auch in den Messungen der ultrafeinen Partikel nieder.

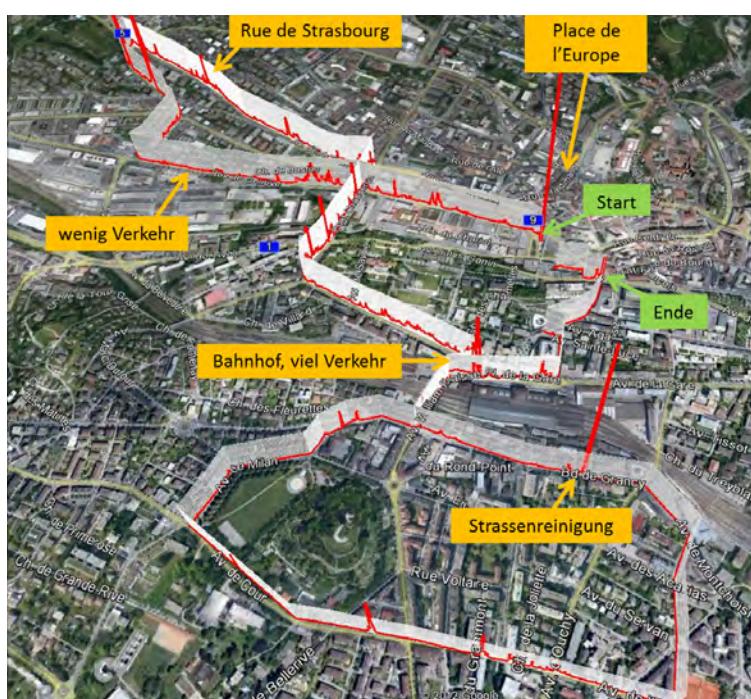


Abbildung 29:
**Messwerte PN
(Anzahlkonzentra-
tion) in Lausanne
am 29. Februar 2012**

Teilchenanzahl-
Konzentration (rote
Kurve) und Zeitreihe
(graue Gitterlinien)

Diagramm auf Google-Earth-Aufnahme

Feinstaub-Massenmesswerte PM_{10} , $PM_{2,5}$ und PM_1

Allgemein kann gesagt werden, dass die von uns bei den Testgängen gemessenen PM_{10} -Werte jeweils über den Durchschnittswerten der stationären Messstationen lagen. Auch an Tagen, an denen die Grenzwerte nicht überschritten werden, ist entlang der Strassen mit hohem Verkehrsaufkommen mit hohen Spitzen- und Durchschnittswerten zu rechnen. Je nach dem täglich begangenen Parcours, können Fussgänger also einer höheren Feinstaubbelastung ausgesetzt sein als jener, die von den Messstationen angegeben wird. Spitzenwerte werden auch durch Baustellen und Strassenreinigungsarbeiten verursacht, wobei anzumerken ist, dass in diesem Fall der aufgewirbelte Staub weniger schädlich ist als jener des Strassenverkehrs. Die während unserer Rundgänge aufgenommenen «Schnappschüsse» zeigen zudem, dass die $PM_{2,5}$ -Mittelwerte in unseren Städten ziemlich hoch sind und öfters über $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen. Die Weltgesundheits-Organisation empfiehlt als Grenzwert einen Tagesdurchschnittswert von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass bei der Art der hier durchgeföhrten Messungen sehr hohe Ausschläge der Teilchenanzahl-Konzentration sowie der Teilchenmasse-Konzentration (PM_{10}) auftreten können, die hohen Variationen unterliegen, d. h. örtlich und zeitlich stark begrenzt sind. Die Teilchenanzahlkonzentration kann z. B. durch einzelne stark emittierende Vehikel zeitweise sehr hohe Werte annehmen, wohingegen die hohen Ausschläge und grossen Variationen im PM_{10} vermutlich von sehr lokalen Aufwirbelungen des Strassenstaubs herrühren. Daher können diese hohen Ausschläge nicht mit den Grenzwerten für standardmässig erfasste PM_{10} -Konzentrationen, die in grösserer Höhe gemessen und über einen längeren Zeitraum gemittelt werden, verglichen werden.

Tabelle 1: Mittelwerte, Maxima und Minima der PM_{10} -Belastung in den verschiedenen Städten

Ort	Datum	Uhrzeit	Mittel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Lugano	26.1.2012	Früher Nachmittag	55,0	23,8	203,4
Luzern 1	1.2.2012	Vormittag	49,9	36,8	90,3
Luzern 2	1.2.2012	Mittag	49,9	35,6	82,2
Luzern 3	1.2.2012	Früher Abend	50,2	38,1	99,1
Basel	2.2.2012	Vormittag	53,8	37,3	99,1
Biel	3.2.2012	Vormittag	73,5	16,5	301,7
Genf	6.2.2012	Morgen	74,4	13,6	276,1
Bern	15.2.2012	Morgen	21,5	6,6	163,5
Lugano 1	27.2.2012	Morgen	57,0	11,1	139,8
Lugano 2	27.2.2012	Früher Nachmittag	43,4	19,7	141,7
Lugano 3	27.2.2012	Früher Abend	54,9	19,2	140,5
Chiasso	28.2.2012	Vormittag	100,8	48,5	426,7
Lugano 1	28.2.2012	Früher Nachmittag	76,8	45,3	221,4
Lugano 2	28.2.2012	Früher Abend	113,1	50,8	232,9
Lausanne	29.2.2012	Mittag	46,0	21,9	535

Tabelle 2: Mittelwerte, Maxima und Minima der PM_{2,5}-Belastung in den verschiedenen Städten

Die allgemeine Analyse der Daten

Ort	Datum	Uhrzeit	Mittel (µg/m ³)	Minimum (µg/m ³)	Maximum (µg/m ³)
Lugano	26.1.2012	Früher Nachmittag	22,0	12,9	34,0
Luzern 1	1.2.2012	Vormittag	36,2	30,4	44,1
Luzern 2	1.2.2012	Mittag	34,8	25,8	42,6
Luzern 3	1.2.2012	Früher Abend	38,0	32,9	65,5
Basel	2.2.2012	Vormittag	38,6	29,9	43,2
Biel	3.2.2012	Vormittag	25,9	8,1	49,3
Genf	6.2.2012	Morgen	35,6	12,1	77,6
Bern	15.2.2012	Morgen	7,3	3,8	29,0
Lugano 1	27.2.2012	Morgen	12,7	3,8	29,2
Lugano 2	27.2.2012	Früher Nachmittag	9,3	5,9	16,9
Lugano 3	27.2.2012	Früher Abend	11,8	5,1	18,8
Chiasso	28.2.2012	Vormittag	37,9	31,2	64,5
Lugano 1	28.2.2012	Früher Nachmittag	34,8	26,3	43,5
Lugano 2	28.2.2012	Früher Abend	43,4	29,8	64,5
Lausanne	29.2.2012	Mittag	21,5	13,3	46,5

Tabelle 3: Mittelwerte, Maxima und Minima der PM₁-Belastung in den verschiedenen Städten

Ort	Datum	Uhrzeit	Mittel (µg/m ³)	Minimum (µg/m ³)	Maximum (µg/m ³)
Lugano	26.1.2012	Früher Nachmittag	13,5	9,6	18,5
Luzern 1	1.2.2012	Vormittag	30,1	26,0	34,3
Luzern 2	1.2.2012	Mittag	28,5	21,8	31,1
Luzern 3	1.2.2012	Früher Abend	29,1	18,4	31,9
Basel	2.2.2012	Vormittag	29,7	22,2	41,1
Biel	3.2.2012	Vormittag	16,5	5,2	22,3
Genf	6.2.2012	Morgen	24,8	8,4	24,8
Bern	15.2.2012	Morgen	2,6	1,6	7,3
Lugano 1	27.2.2012	Morgen	3,8	1,7	6,4
Lugano 2	27.2.2012	Früher Nachmittag	4,2	3,1	5,8
Lugano 3	27.2.2012	Früher Abend	5,3	2,7	11,8
Chiasso	28.2.2012	Vormittag	23,1	20,3	28,7
Lugano 1	28.2.2012	Früher Nachmittag	22,9	17,8	27,7
Lugano 2	28.2.2012	Früher Abend	26,1	20,4	32,0
Lausanne	29.2.2012	Mittag	16,1	9,7	19,9

Anzahlkonzentration der Teilchen im Größenbereich von 10 bis 300 nm

**Tabelle 4: Mittlere, minimale und maximale Teilchenanzahlkonzentrationen
in Teilchen/cm³, gemessen mit dem miniDISC-Gerät**

Ort	Datum	Uhrzeit	Median ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Lugano 4	26. 1. 2012	Früher Nachmittag	19384	6971	966 500
Luzern 1	1. 2. 2012	Vormittag	18244	1298	615 463
Luzern 2	1. 2. 2012	Mittag	20135	1 181	372 970
Basel	2. 2. 2012	Vormittag	30 102	602	933 822
Biel	3. 2. 2012	Vormittag	25 398	1 376	978 634
Genf	6. 2. 2012	Morgen	62 969	703	930 338
Bern	15. 2. 2012	Morgen	7 894	251	785 500
Lugano 1	27. 2. 2012	Morgen	38 066	4 102	991 732
Lugano 2	27. 2. 2012	Früher Nachmittag	13 515	7 413	927 946
Lugano 3	27. 2. 2012	Früher Abend	17 591	11 670	297 226
Chiasso	28. 2. 2012	Vormittag	20 106	7 472	951 790
Lugano 1	28. 2. 2012	Früher Nachmittag	24 308	9 087	970 787
Lugano 2	28. 2. 2012	Früher Abend	42 924	15 193	970 375
Lausanne	29. 2. 2012	Mittag	13 479	1 300	778 741

Es ist jeweils der Median berechnet, da (wie in den Spalten für Minimum und Maximum ersichtlich) kurzzeitig sehr hohe und sehr niedrige Messergebnisse vorliegen können, die ein mittleres Ergebnis verfälschen würden. In Rot sind die drei höchsten und in Hellblau die drei niedrigsten Messwerte hervorgehoben.

Die Teilchenanzahl-Konzentrationen, gemessen mit dem miniDISC-Gerät, lagen im Mittel bei 25 000 Teilchen/cm³ (14 mittlere Messwerte). Es ist zu erkennen, dass die Konzentrationen am frühen Abend am höchsten und am frühen Nachmittag am niedrigsten waren, wie man entsprechend dem typischen Verlauf des Verkehrsaufkommens erwarten würde. Von allen besuchten Städten, wurden die niedrigsten Werte in Bern, Lausanne und Lugano gemessen. In Genf, wo nur ein Mittelwert (Median) vorliegt, ist die Konzentration mit 63 000 Teilchen/cm³ am höchsten von allen erfassten Städten, was wahrscheinlich auch daran liegt, dass die Messung morgens stattfand und eventuell noch Auswirkungen der Rushhour eine Rolle spielen. Wie bei den PM-Messungen wurden bei den Messungen der Teilchenanzahl-Konzentration örtlich sehr hohe Spitzenwerte beobachtet, die von einzelnen Fahrzeugen und bestimmten Verkehrssituationen (Stau, rote Ampel) herrühren. Auch die Auswirkung der Rushhour wird ersichtlich.

Die mittlere Teilchengröße lag in einem Bereich von 34 bis 64 nm, mit dem grössten Teilchendurchmesser in Lugano und dem kleinsten in Genf (vermutlich bedingt durch mehr kleine Partikel aus Verbrennungsprozessen).

**Tabelle 5: Mittlere, minimale und maximale Teilchengrösse in Nanometer (nm),
gemessen mit dem miniDISC-Gerät**

Die allgemeine
Analyse der Daten

Ort	Datum	Uhrzeit	Median ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Lugano 4	26.1.2012	Früher Nachmittag	54,1	17,5	106,9
Luzern 1	1.2.2012	Vormittag	55	11,8	198,9
Luzern 2	1.2.2012	Mittag	51,1	10	175,3
Basel	2.2.2012	Vormittag	50,6	10	298,5
Biel	3.2.2012	Vormittag	45,6	15,5	165,2
Genf	6.2.2012	Morgen	34,5	10	154,5
Bern	15.2.2012	Morgen	37,5	10	294
Lugano 1	27.2.2012	Morgen	36,9	12,4	97,6
Lugano 2	27.2.2012	Früher Nachmittag	45,1	10,1	97,3
Lugano 3	27.2.2012	Früher Abend	41,9	28,3	60,3
Chiasso	28.2.2012	Vormittag	55,8	15,4	133,5
Lugano 1	28.2.2012	Früher Nachmittag	49,7	13,2	235,5
Lugano 2	28.2.2012	Früher Abend	44,4	13,4	81,2
Lausanne	29.2.2012	Mittag	54,8	10	200,5

Es ist jeweils der Median berechnet, da (wie in den Spalten für Minimum und Maximum ersichtlich) kurzzeitig sehr hohe und sehr niedrige Messergebnisse vorliegen können, die ein mittleres Ergebnis verfälschen würden. In Rot sind die drei höchsten und in Hellblau die zwei niedrigsten Messwerte hervorgehoben.

Gesundheitseffekte

Seit Jahrzehnten ist aus zahlreichen epidemiologischen sowie experimentellen Studien bekannt, dass die Immissionen aus dem Strassenverkehr sich gesundheitlich negativ auswirken können, besonders bei Menschen, welche sich in der Nähe stark befahrener Straßen aufhalten. Kinder, alte Leute, chronisch kranke Menschen, z. B. Diabetiker, Herz- und Lungenkranke sind am stärksten betroffen. Bereits gröbere Partikel ($PM_{2,5}$) aus den Auspuffgasen und von sonstigen Emissionen von Verbrennungsprozessen können in der Lunge Entzündungsreaktionen, Krebs und Asthma hervorrufen, welche in der Folge den Gesamtorganismus beeinträchtigen.

In den letzten Jahren rückte die Wirkung der Dieselabgase auf das Herz und den Kreislauf in den Vordergrund. Hauptursache dieser «Tiefenwirkung» sind die 10 bis 1000 Mal kleineren, ultrafeinen Partikel unter 100 nm. Sie dringen in den Lungenbläschen, ca. 500 Millionen an der Zahl über eine riesige Fläche von ca. 150 m², durch die äusserst dünne, nur ein paar 100 nm dicke Luft-Blut-Gewebeschanke in den Blutkreislauf und werden mit diesem in verschiedene Organe verteilt, wo sie chronische Mikroentzündungen verursachen können. Diese winzigen Entzündungsherde setzen «Kettenreaktionen» in Gang, welche Herzinfarkt, Zuckerkrankheit und andere Leiden begünstigen und in verschiedenen Organen Krebs entstehen lassen oder begünstigen können. Auf der Oberfläche können die winzigen Partikel Metallionen und krebserzeugende Substanzen in den Organismus einschleusen, was ihre schädliche Wirkung noch vergrössert.

Bei der Erforschung der biologischen Mechanismen hat das anatomische Institut der Universität Bern (Prof. Gehr) Pionierarbeit geleistet und nachgewiesen, dass ultrafeine Partikel sogar in den Zellkernen die Erbsubstanz angreifen können.

Von Gesetzes wegen müssen krebserzeugende Substanzen nach dem aktuell besten Stand der Technik vermieden werden. Schon hier sei bemerkt, dass dies möglich ist: Russteilchen (wie auch Metallteilchen aus Abrieb, Additiven und Katalysator-Beschichtung, welche ebenfalls hochtoxisch sind) werden unabhängig von der Partikelgrösse durch die modernen Partikelfilter zu über 99 % eliminiert! Wie viel Leiden dadurch vermieden werden könnte, kann in Zahlen gar nicht ausgedrückt werden.

Wer bezahlt die Zeche?

Und doch lohnt es sich zu rechnen: Die nötigen Investitionen für Nachrüstung und Ersatz veralteter Fahrzeuge würden einen Bruchteil (ca. 1% bis 2%, nach vorsichtigen Schätzungen) der heute im wahrsten Sinne verschwendeten volkswirtschaftlichen Kosten betragen, denn die heutigen Filter sind erschwinglich und praktisch wartungsfrei. Oft werden die Einbussen bei der Tierhaltung und bei den Ernten gar nicht in Rechnung gestellt, so wenig wie die Klimaeffekte.

Die Partikelfiltertechnologie bietet für die Schweiz ein grosses Potential im internationalen Wettbewerb, sowohl bezüglich Forschung wie bei der Produktion. Viele Arbeitsplätze könnten dadurch kreiert werden. Es steht auch das Prestige der Schweiz als Vorbild für die Umwelttechnologie auf dem Spiel, denn bei der Umsetzung der Gesetzgebung sind wir in der Nachhut. Warum sollten wir diese Win-Win-Situation verpassen?

Klimaeffekte

Die Schluss-
folgerung

Die Reduktion von Feinstaubemissionen aus Verbrennungsprozessen ist der am schnellsten wirksame und kostengünstigste Beitrag, um nicht nur einen Beitrag zu einer besseren Gesundheit zu leisten, sondern auch die Klimaerwärmung zu bremsen. Besonders die Polarkappen und die Gletscher werden von Russpartikeln, welche Sonnenwärme aufnehmen, beschleunigt zum Schmelzen gebracht. Eine Verminderung des Russausstosses würde schon nach wenigen Monaten einen positiven Effekt zeitigen.

Diskussion

Seit Jahrzehnten wird in der Schweiz wissenschaftliche Forschung betrieben, um die Luftsabstoffe an der Quelle abzufangen. An der ETH Zürich, den Fachhochschulen Biel und Nordwestschweiz wurden die Partikelfiltertechnologie und Messmethoden entwickelt und zur Marktreife gebracht sowie vielerorts praktisch erprobt. Der Härtetest wurde beim Bau der Neat bestanden: Filterwirkung weit über 99%! An unseren Universitäten wurde ebenfalls Pionierarbeit geleistet, um die gesundheitlichen Wirkungen epidemiologisch und experimentell zu untersuchen und in ihren biologischen Mechanismen zu erfassen. Dabei sind das NABEL-Messnetz und die SAPALDIA-Studie sowie die Untersuchungen am Institut für Anatomie der Universität Bern, am Adolphe-Merkle-Institut der Universität Fribourg und bei der EMPA besonders hervorzuheben.

Heute wird die hier entwickelte Technologie in andere Länder, neuerdings sogar nach China exportiert. Auch die Luftreinhaltepolitik der Schweiz war lange Zeit Vorbild für das Ausland. Dieses Prestige droht, verloren zu gehen. Bei der politischen Umsetzung sind wir nämlich nach hinten gerückt...!

Die Schweiz ist von allen Ländern Europas in der besten Position, um wirklich griffige Massnahmen durchzusetzen. Politikerinnen und Politiker sind ja auch Väter und Mütter und sind selber von der Luftverschmutzung betroffen. Häufig werden die Zusammenhänge ignoriert oder halbherzige Lösungen vorgeschlagen. Die Konsequenz ist, dass Steuergelder vergeudet werden, denn die kumulierten Kosten der Luftverschmutzung sind höher, als man denkt! Zudem werden die Schwächung des Wirtschaftsstandortes Schweiz und der Prestigeverlust in Kauf genommen. 2006 verabschiedete der Bundesrat einen Aktionsplan gegen Feinstaub und nannte vier Massnahmen: Partikelfilter für alle Dieselmotoren, Qualitätsstandards für Holzfeuerungen, strengerer Grenzwert für Schadstoffe am Arbeitsplatz (MAK-Werte) für Industrie und Gewerbe, vermehrtes internationales Engagement. Was davon ist umgesetzt worden?

Unsere Vorschläge

Auf Grund der im Rahmen dieser Informations- und Sensibilisierungs-Kampagne erhobenen Daten sowie der zahlreichen verfügbaren Studien und wissenschaftlichen Analysen erachten wir es als angebracht, den zuständigen kantonalen und eidgenössischen Behörden die folgenden Vorschläge zu unterbreiten:

1. Durchführung weiterer Messungen, um die tatsächliche Luftverschmutzungs-Exposition der Personen im täglichen Leben zu erfassen, besonders in den Städten und an sensiblen Orten. Diese Messungen sollen jene der stationären Messstellen ergänzen. Es sind differenzierte Messungen und eine Kartografierung der Luftbelastung über die stationären Standorte hinaus in relevanten Zonen vorzunehmen.
2. Periodische Publikation der (bisher externalisierten) Gesundheits- und Wirtschaftskosten.
3. Auch die PM_{2,5}-Belastung sollte systematisch erhoben und ein Grenzwert gesetzlich verankert werden.
4. Die Belastung durch Nanopartikel sollte ebenfalls erfasst und ein Grenzwert für die Exposition der Personen festgelegt werden.
5. Partikelfilter sollten für alle Dieselfahrzeuge und andere Motoren, die Nanopartikel emittieren, sowie für stationären Anlagen obligatorisch sein. Ein entsprechendes Monitoring ist vorzusehen.
6. Dem Beispiel von anderen Ländern folgen, wo dank Umweltzonen die Luftqualität in den Stadtzentren verbessert werden konnte (entsprechend dem Wirksamkeitsnachweis der Umweltzone LEZ Berlin und in vielen anderen Städten in Deutschland, aber auch in Grossbritannien).

- Brandt, S., Perez, L., Kunzli, N., Lurmann, F., and McConnell, R.: Costs of childhood asthma due to traffic-related pollution in two California communities, *Eur Respir J* 01578-2011; published ahead of print, doi: 10.1183/09031936.00157811, 2012.
- Breitner, S., Liu, L., Cyrys, J., Bruske, I., Franck, U., Schlink, U., Leitte, A. M., Herbarth, O., Wiedensohler, A., Wehner, B., Hu, M., Pan, X.-C., Wichmann, H.-E., and Peters, A.: Submicrometer particulate air pollution and cardiovascular mortality in Beijing, China, *Science of the Total Environment* 409, 5196–5204, 2011.
- Drew Shindell et al.: Simultaneous Mitigating Near-Term Climate change and Improving Human Health and Food Security, *Science* Vol. 335, 183–189, 2012.
- Fierz, M., Houle, C., Steigmeier, P., and Burtscher, H.: Design, Calibration and Field Performance of Miniature Diffusion Size Classifier, *Aerosol Science and Technology*, 45, 1–10, 2010.
- Fierz, M., Keller, A., and Burtscher, H.: Charge-based personal aerosol samplers, *Inhalation Toxicology*, 21 (S1), 30–34, 2009.
- Franck, U., Odeh, S., Wiedensohler, A., Wehner, B., and Herbarth, O.: The effect of particle size on cardiovascular disorders—The smaller the worse, *Science of the Total Environment* 409, 4217–4221, 2011.
- Franck, U., Herbarth, O., et al.: Respiratory effects of indoor Particles in young children are size dependent *Science of the Total Environment* 409, 1621–1631, 2011.
- Gehr, P., Bachofen, M., and Weibel, E. R.: The normal human lung: ultrastructure and morphometric estimation of diffusion capacity. *Respir. Physiol.* 32, 121–140, 1978.
- Geiser, M., Rothen-Rutishauser, B. M., Kapp, N., Schurch, S., Kreyling, W., Schulz, H., Semmler, M., Im Hof, V., Heyder, J., and Gehr, P.: Ultrafine particles cross cellular membranes by non-phagocytic mechanisms in lungs and in cultured cells. *Environ. Health Perspect.* 113: 1555–1560, 2005.
- Nel, A., Xia, T., Madler, L., and Li, N.: Toxic Potential of Materials at the Nanolevel, *Science* 3 February, 311, 5761, 622–627, 2006.
- Oberdorster, G., Oberdorster, E., Oberdorster, J.: Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles, *Environ Health Perspect*, 113 (7): 823–839, 2005.
- Rothen-Rutishauser, B., Schurch, S., and Gehr, P.: Interaction of particles with membranes. In: *The toxicology of particles*. Eds. Ken Donaldson and Paul Borm. Taylor & Francis Group, LLC, CRC Press, Bocaraton, pp. 139–160, 2007.
- Schwartz, J., and Neas, L.: Fine particles are more strongly associated than coarse particles with acute respiratory health effects in schoolchildren, *Epidemiology*; 11 (1): 6–10, 2000.
- Semmler, M., Seitz, J., Erbe, F., Mayere, P., Heyder, J., Oberdorster, G., and Kreyling, W. G.: Long-term clearance kinetics of inhaled ultrafine insoluble iridium particles form the rat lung, including transient translocation into secondary organs. *Inhal. Toxicol.* 16: 453–459, 2004.

Herausgeber

VCS Verkehrs-Club der Schweiz

Aarbergergasse 61

Postfach 8676

3001 Bern

Tel. 0848 611 611 (Normaltarif)

www.verkehrsclub.ch

www.pm10.ch