

PAUL SCHERRER INSTITUT



Feinstaub in der Atmosphäre und seine Auswirkungen auf unsere Gesundheit

Urs Baltensperger

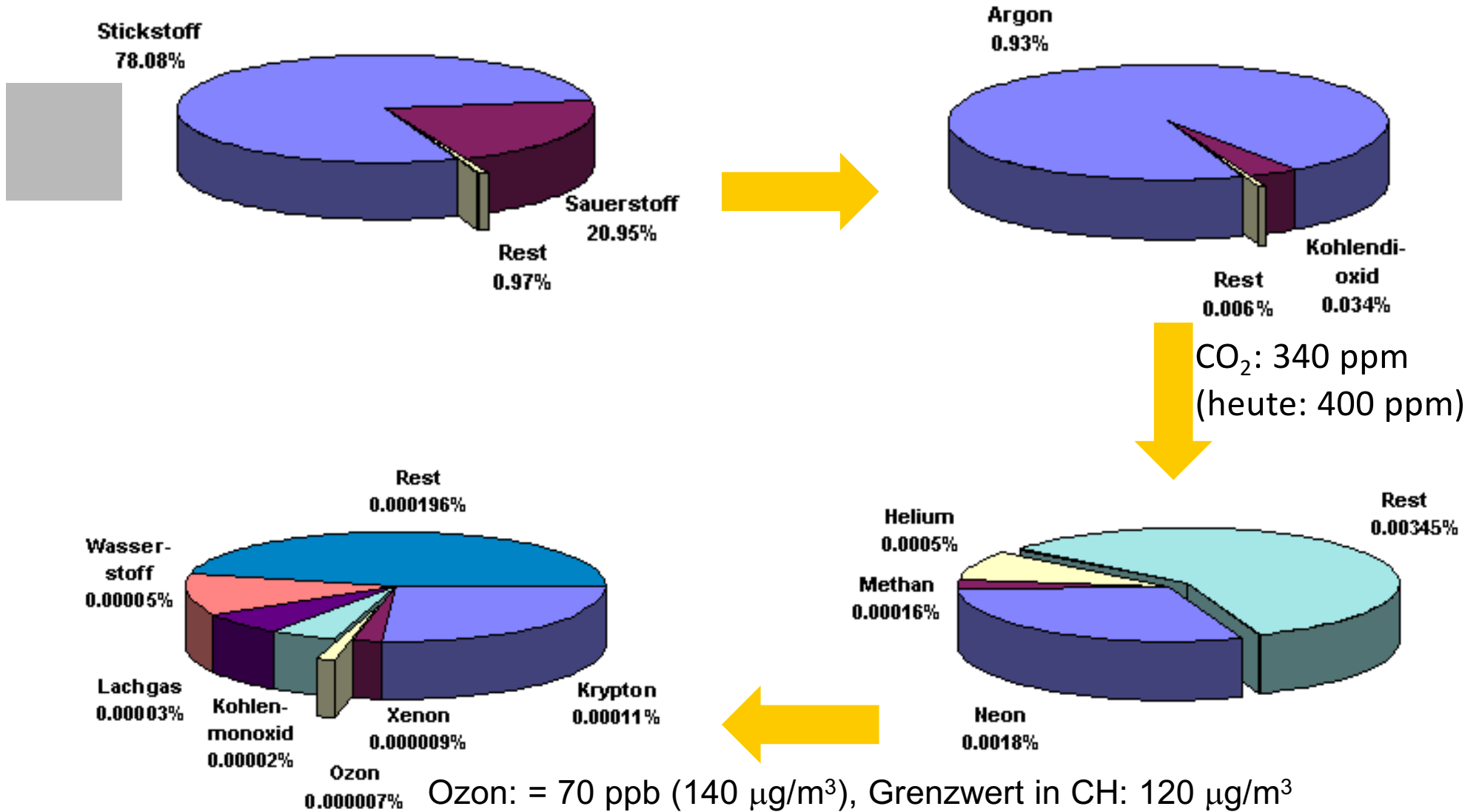
Labor für Atmosphärenchemie, Paul Scherrer Institut

Villigen, Schweiz

Prix de Quervain 2019

Alpines Museum der Schweiz „alps“, 7. November 2019

Die Zusammensetzung unserer Luft




A solid grey square is positioned to the left of the text box.

**Die Konzentration der Stoffe, die unsere
Luftqualität beeinflussen, ist verschwindend
klein – und trotzdem hoch relevant**

Die meist diskutierten Komponenten der Luftverschmutzung

Stoff	Quelle	Auswirkung
Kohlendioxid, CO ₂	Verbrennung fossiler Brennstoffe	Klima (in sehr hohen Konz. toxisch)
Stickstoffdioxid, NO ₂	Verkehr, Feuerungen	Gesundheit
Ozon, O ₃	Atmosphärenchemie	Gesundheit, Klima, Vegetation
Feinstaub	Viele!	Gesundheit, Klima
Schwermetalle	Verkehr, Industrie, etc.	Gesundheit
Polyzyklische Aromaten, PAHs	Verbrennung	Gesundheit

A solid grey square is positioned to the left of the main text box.

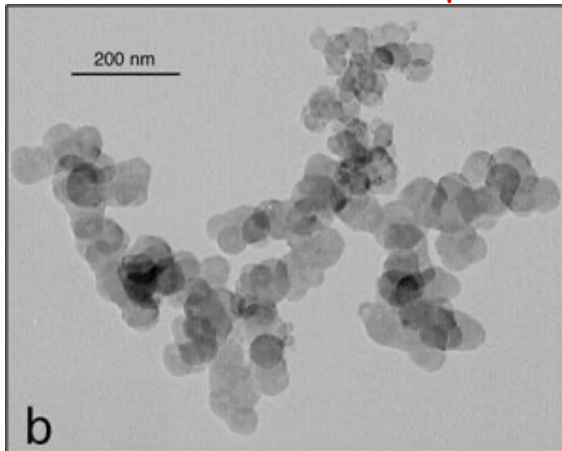
**Die verschiedenen Komponenten
der Luftverschmutzung haben
unterschiedliche Quellen,
unterschiedliche räumliche Verteilungen,
unterschiedliche Saisonalitäten, und
unterschiedliche Auswirkungen auf Gesundheit und Klima**

Im Folgenden Fokus auf Feinstaub und Gesundheit

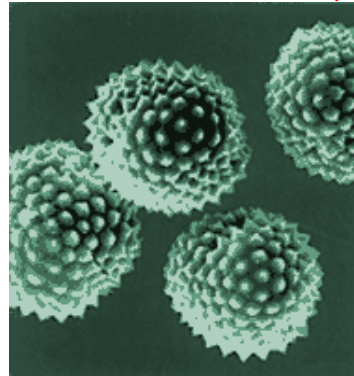
Feinstaub = PM10 = Partikel mit aerodynamischem Durchmesser $<10\mu\text{m}$

Beispiele: primär:

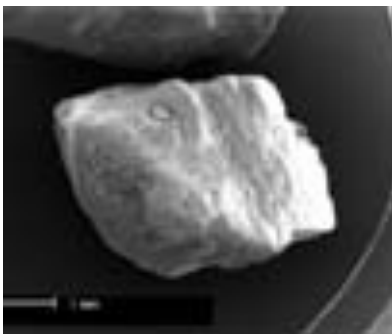
Dieseleruss: ca. $0.1\mu\text{m}$



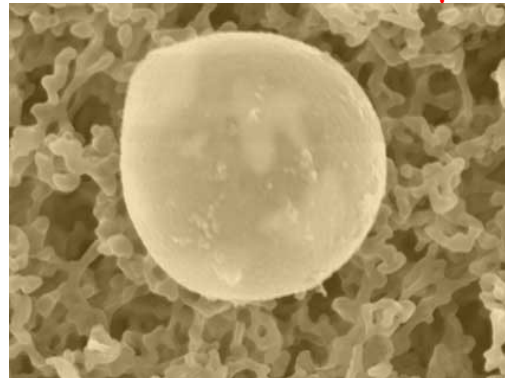
Pollen: $10 - 100\mu\text{m}$



Meersalz: $0.2 - 10\mu\text{m}$

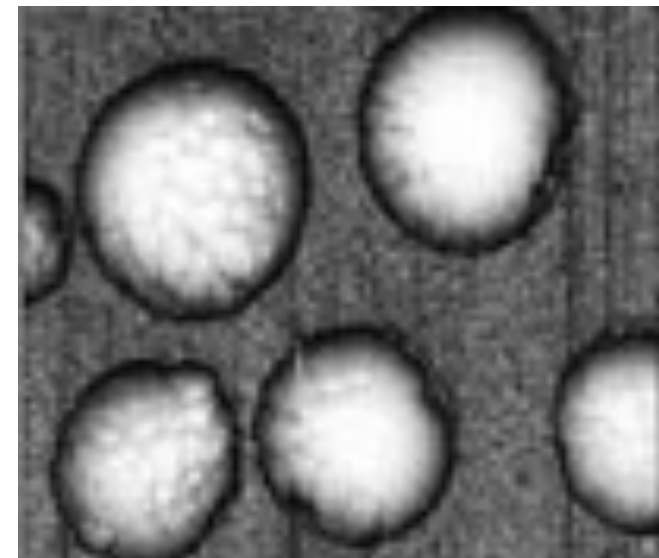


Mineralstaub: $0.2 - 10\mu\text{m}$



sekundär

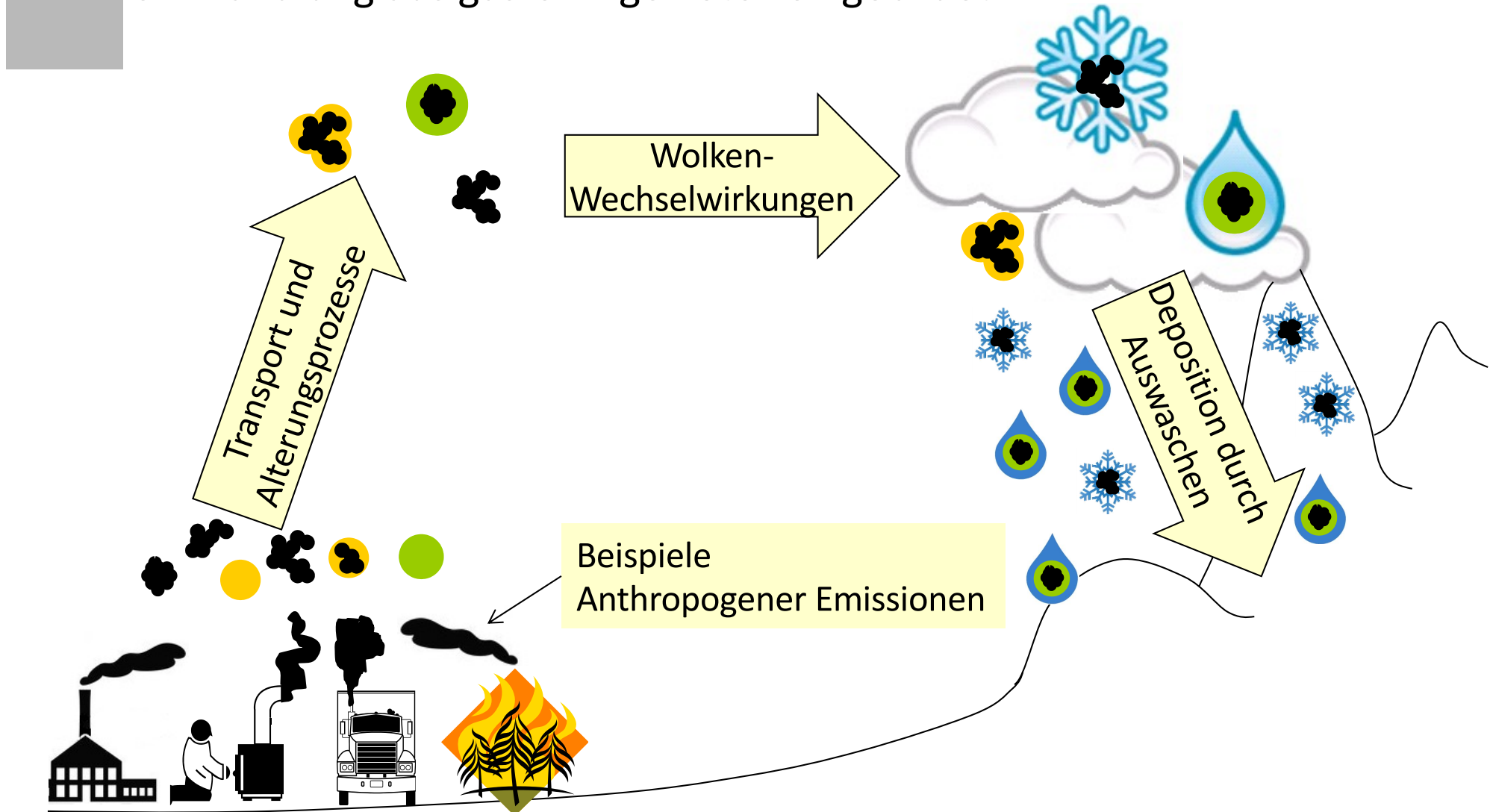
Ammoniumsulfat: ca. $0.1\mu\text{m}$



Auch sekundäres
organisches Aerosol (SOA)

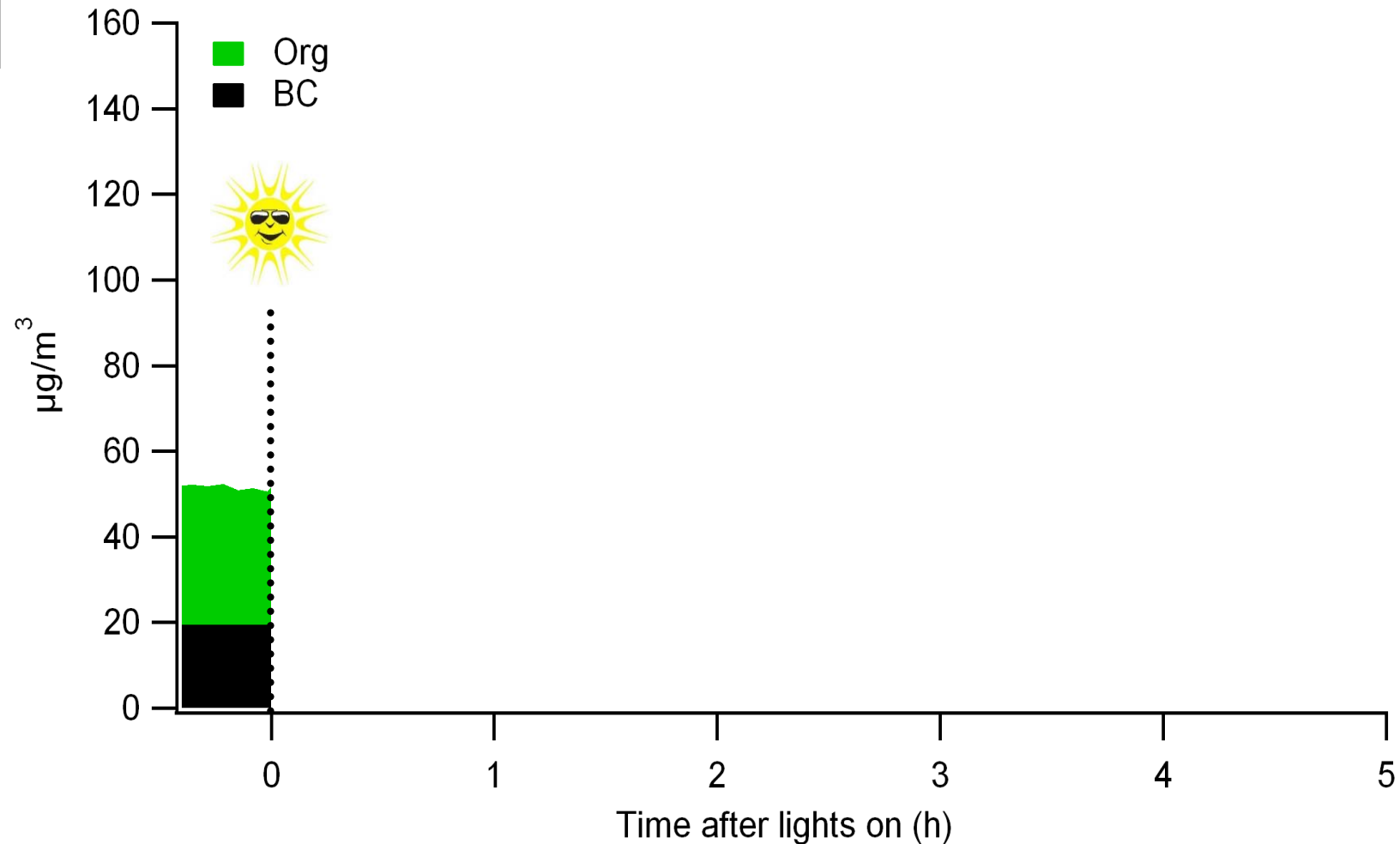
Lebenszyklus von Aerosolpartikeln

Mehr als die Hälfte des Feinstaubs wird nicht direkt als Partikel in die Atmosphäre emittiert, sondern wird erst in der Atmosphäre durch Umwandlung aus gasförmigen Stoffen gebildet



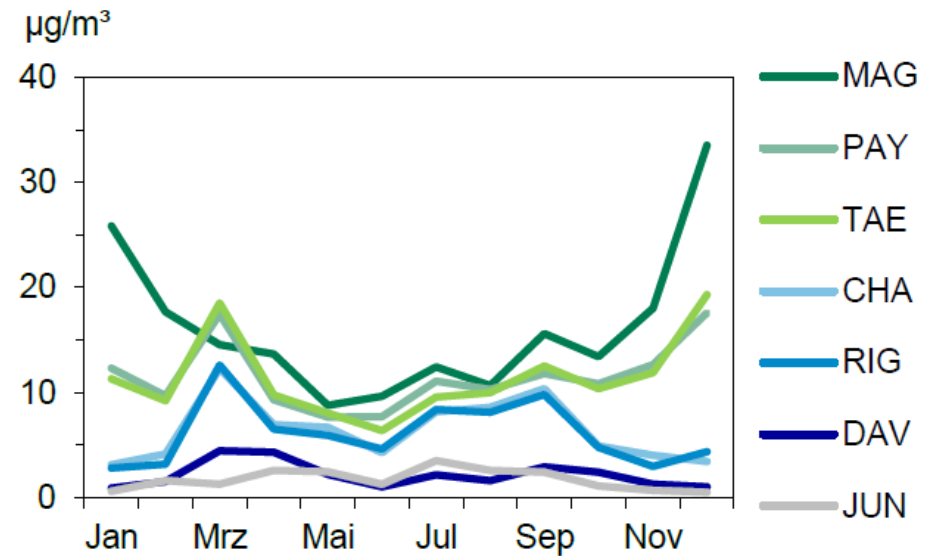
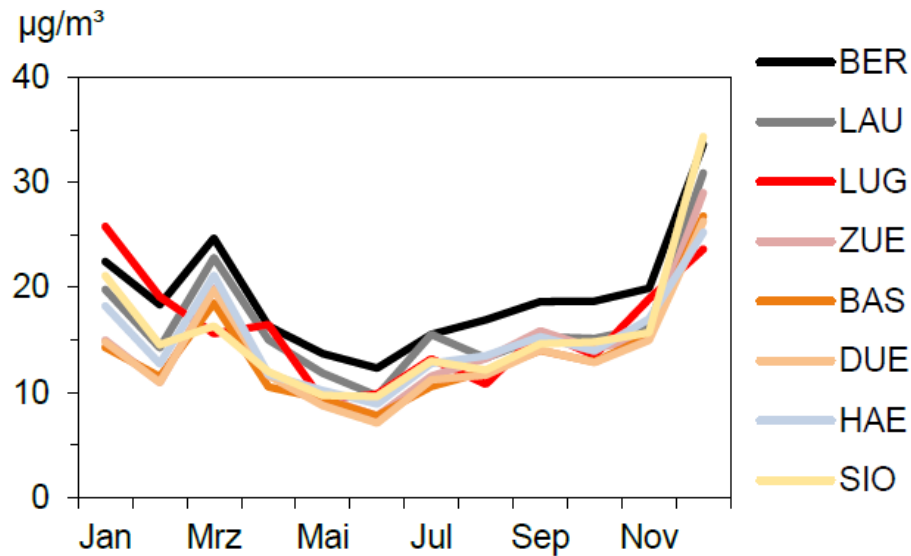
Rasche Bildung von Sekundäraerosol bei Holzfeuerungsemissionen

Org: Organischer Feinstaub; BC: 'Black Carbon', Schwarzer Kohlenstoff

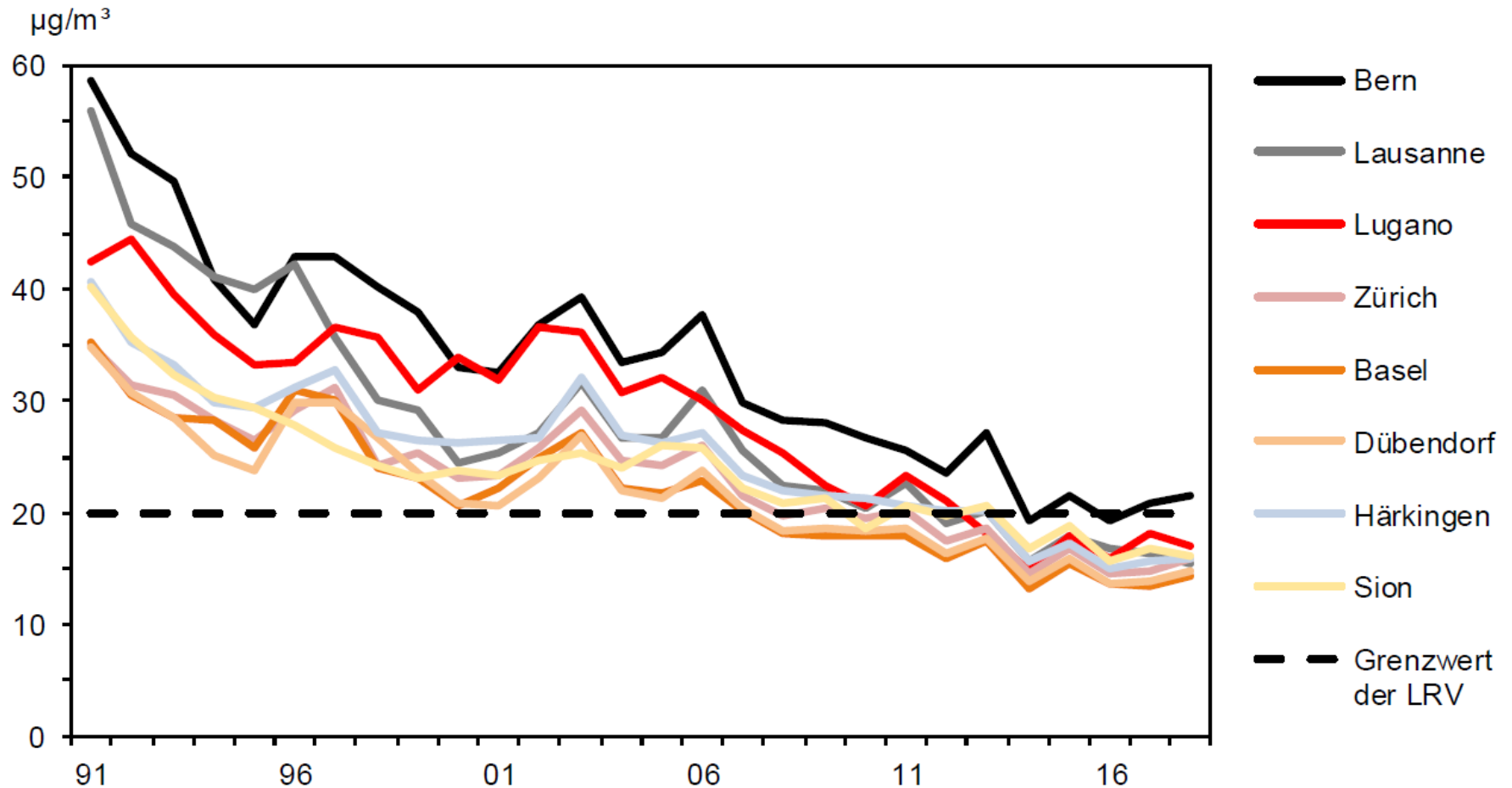


Feinstaub ist in der Schweiz vor allem ein Winterproblem (Inversionslagen, Holzheizungen)

Beispiel: Jahr 2016

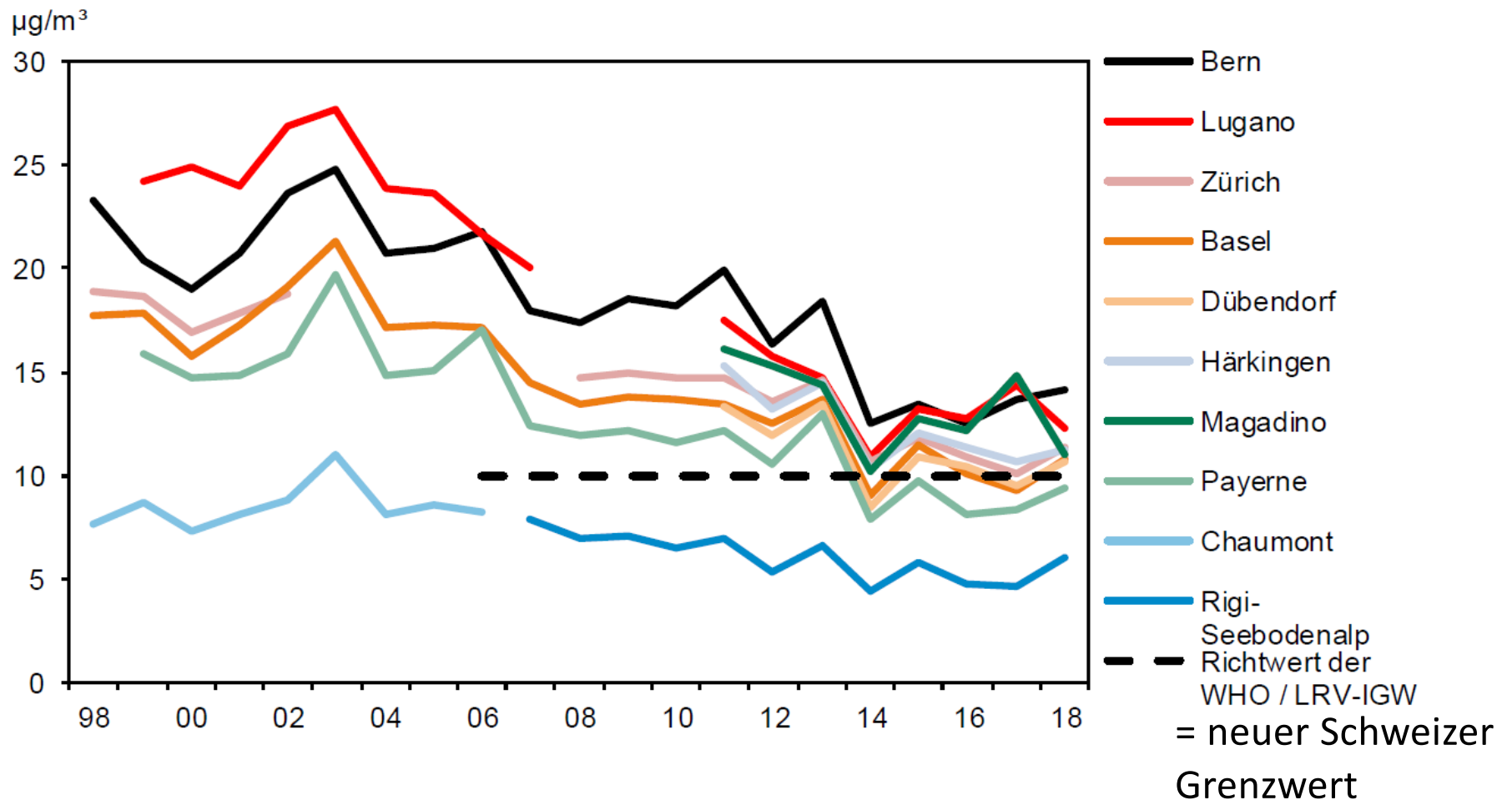


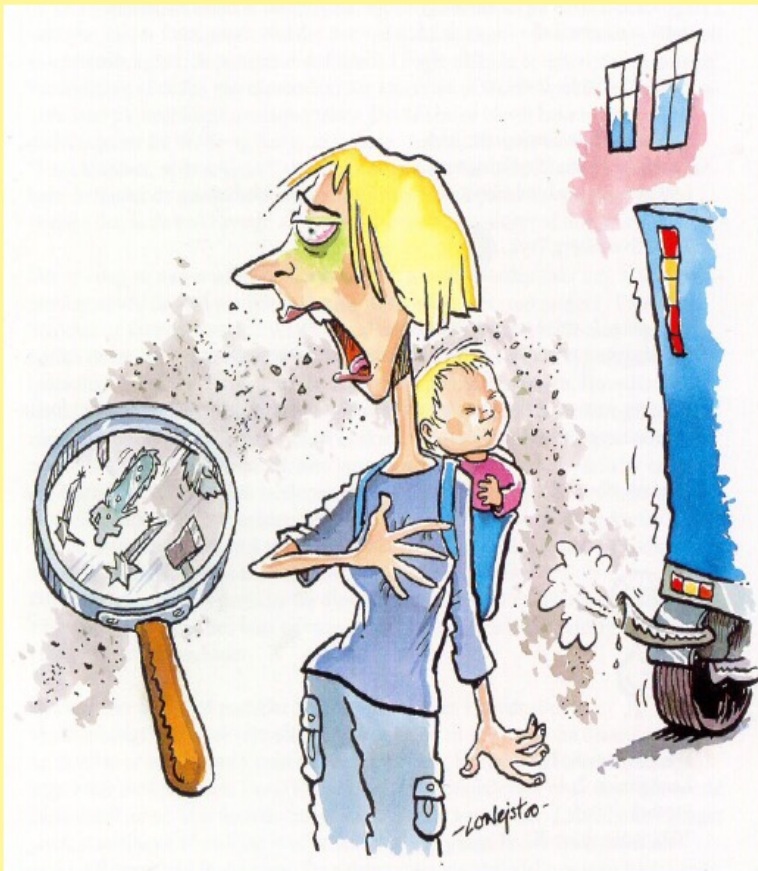
Die Feinstaubkonzentration (PM10) hat in der Schweiz stark abgenommen (jedoch seit 2014 Stagnation)



Seit 1. Juni 2018 hat die Schweiz auch einen Grenzwert für PM2.5

(dieser ist an mehr Orten überschritten als PM10;
PM2.5 hat auch abgenommen, aber seit ~2014 Stagnation)



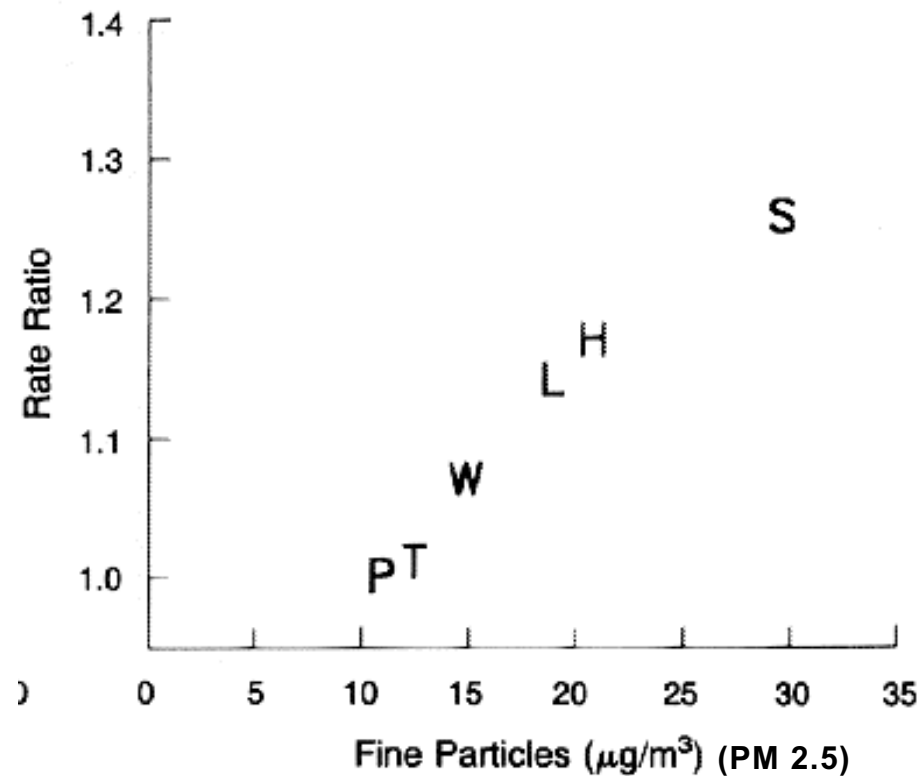


- a health hazard

Quelle: www.ecocouncil.dk

Feinstaub ist für den weitaus grössten Anteil der 3000 vorzeitigen Todesfälle pro Jahr durch Luftverschmutzung in der Schweiz verantwortlich. Deshalb sind weitere Massnahmen notwendig – in der Schweiz, und in anderen Ländern (China und Indien: Feinstaubkonzentration bis $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Dazu muss man wissen, welche Quelle wieviel zur Feinstaubbelastung beiträgt.

Es gibt einen klaren Zusammenhang zwischen Mortalität und Feinstaub (mit PM_{2.5} noch besser als mit PM₁₀)

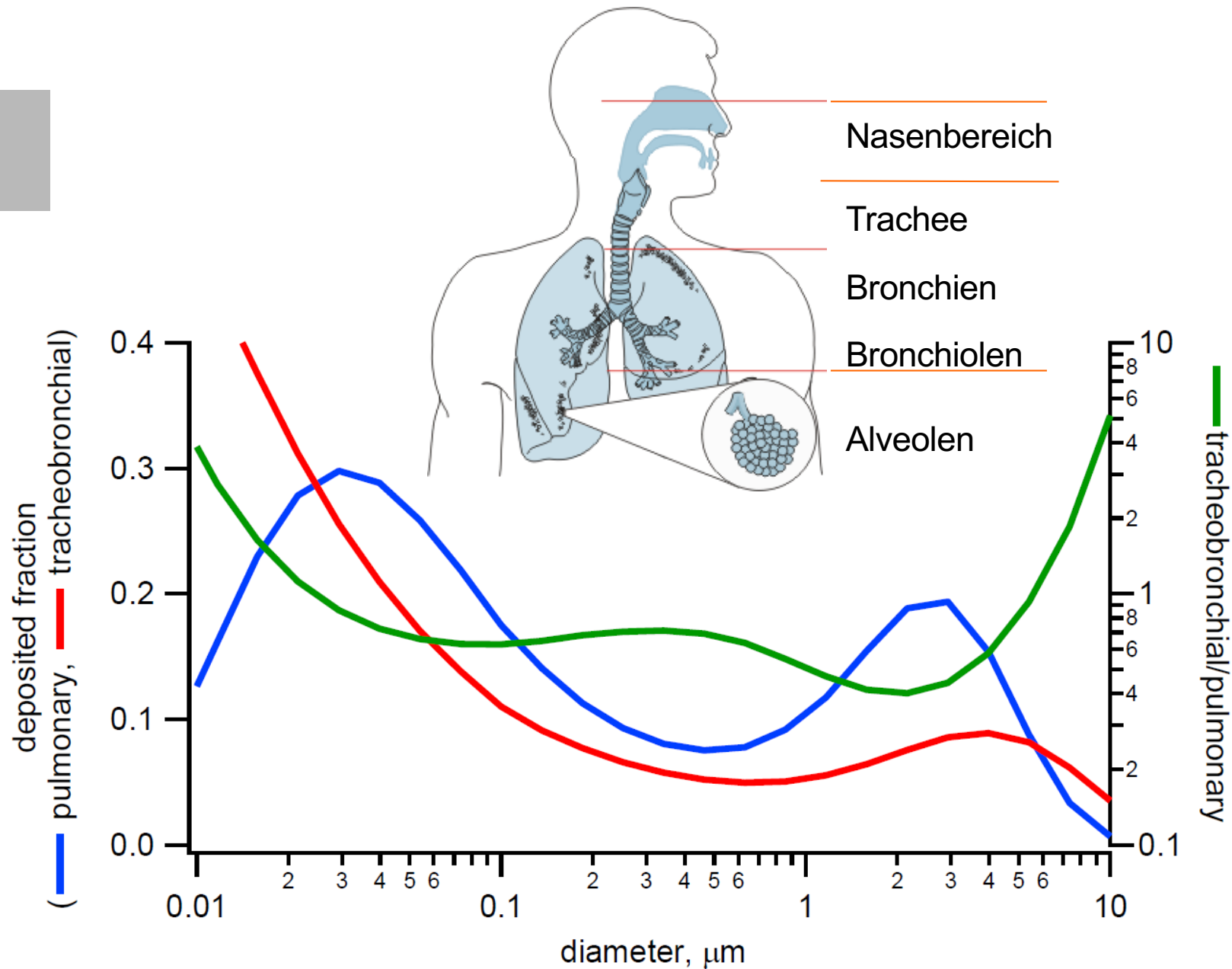



Sind Fahrverbote für Dieselfahrzeuge gerechtfertigt?

Benzinfahrzeuge produzieren viel mehr kohlenstoffhaltigen Feinstaub als moderne Dieselfahrzeuge mit Partikelfilter
→ Ein Ersatz eines Euro 5 Diesel PWs (mit Partikelfilter) durch ein Benzinfahrzeug bringt zwar eine Reduktion bei NO_x , aber eine Erhöhung des Feinstaubes, und Feinstaub ist für deutlich mehr Todesfälle verantwortlich als NO_x



- Von allen Indikatoren der Luftverschmutzung zeigen PM10 und vor allem PM2.5 die beste Korrelation mit vorzeitigen Todesfällen
- Aber: Feinstaub aus unterschiedlichen Quellen hat verschiedene Auswirkungen: Zunahme der Mortalität bei PM10-Zunahme um $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Laden et al., 2000):
 - Verkehr: 3.4%
 - Kohleverbrennung: 1.1%
 - Mineralstaub: ~0%
- ➔ Einfluss von
 - Chemische Zusammensetzung (Metalle, Radikale, karzinogene Verbindungen)
 - Biologische Komponenten (Allergene, Endotoxine etc.)
 - Morphologie (Effekt von Asbest)
 - Größenverteilung: bei gleicher Gesamt-Masse haben kleinere Teilchen eine grössere Oberfläche
 - Anzahlkonzentration
 - ...
- Mechanismen sind noch sehr wenig bekannt
- ➔ **'Feinstaub ist nicht gleich Feinstaub'**
- ➔ **Wir benötigen bessere Parameter als PM zur Korrelation mit Mortalität**





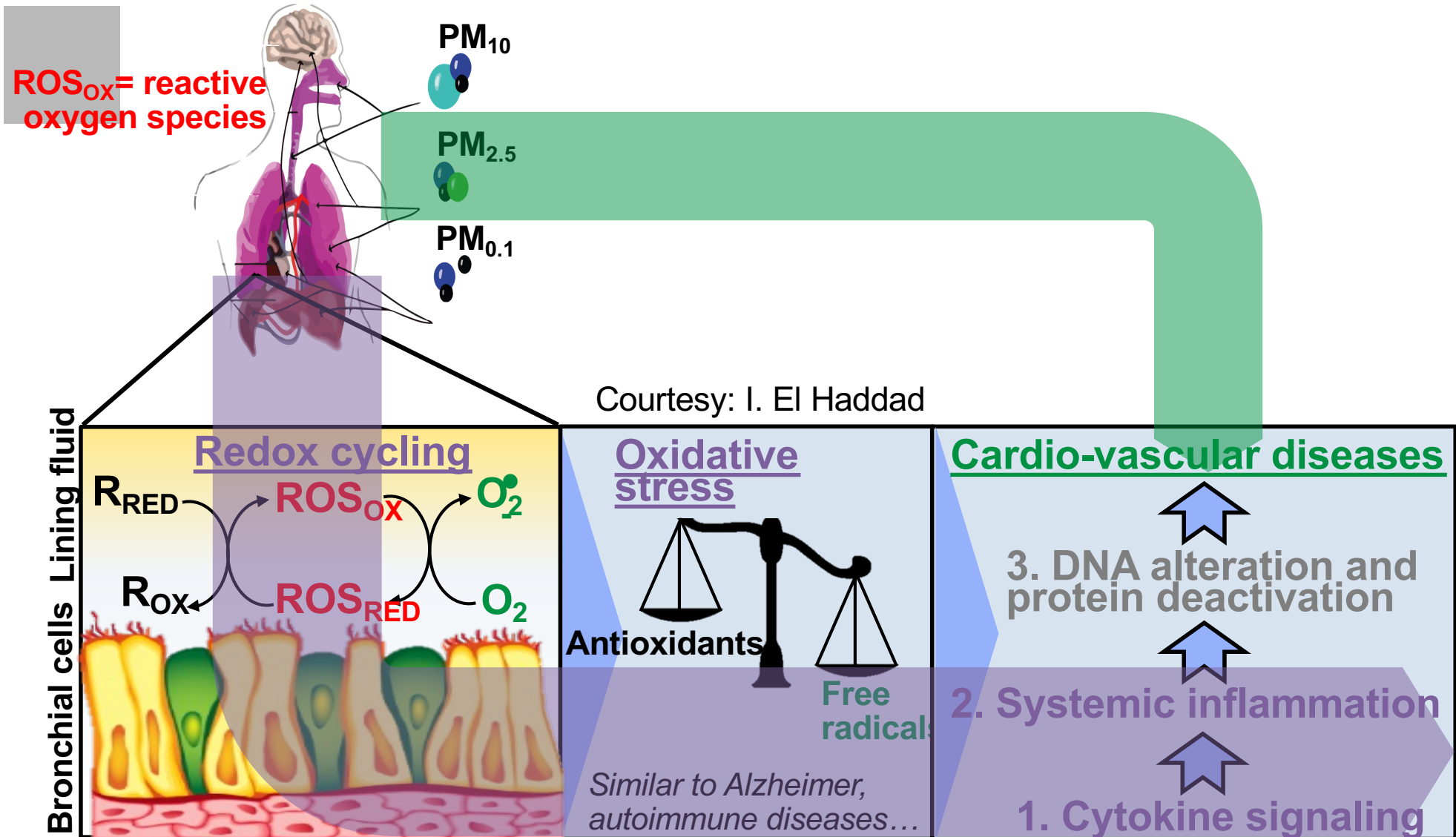
**Es reicht nicht, wenn wir weiterhin einfach
Todesfälle mit PM2.5 korrelieren.
Wir benötigen Daten, die direkt
Gesundheitseffekte mit den Beiträgen aus
einzelnen Quellen verbinden.**

**Dazu müssen wir die besten Indikatoren für
die Gesundheitseffekte kennen, sowie die
Beiträge der verschiedenen Quellen zum
Feinstaub.**

Epidemiologie vs. Toxikologie

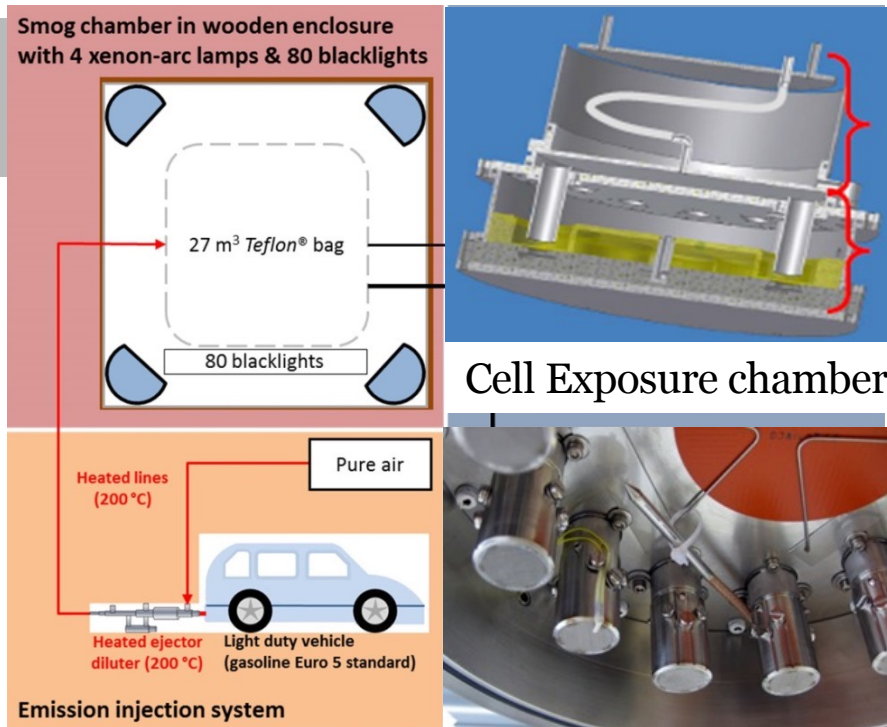
R_{RED} = biological reductants

ROS_{OX} = reactive oxygen species

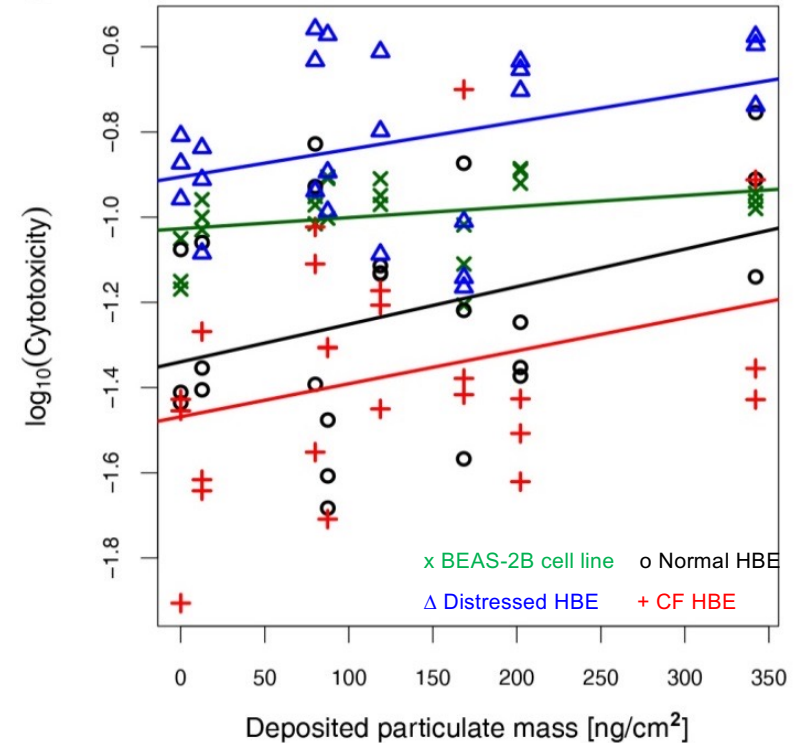


Toxizität eines gealterten Benzinmotor- Abgases auf gesunde und kranke Atemwegszellen

Methodology



Toxicological responses



- Significant increase of cytotoxicity with particle dose (except CF)
- Cystic fibrosis HBE and the cell line BEAS-2B respond significantly differently to increasing particle dose than normal and distressed HBE → BEAS-2B not realistic model for healthy people

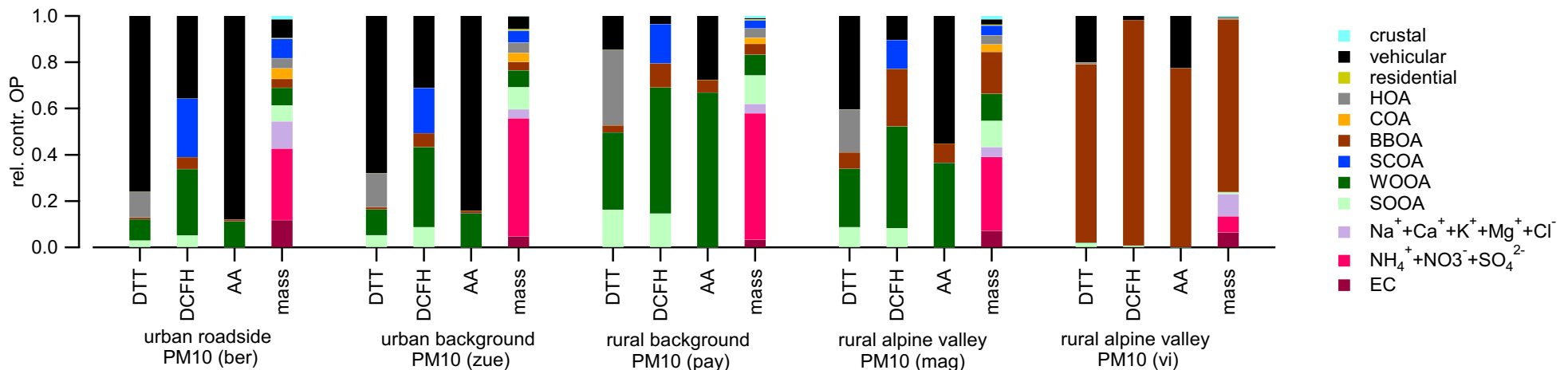
- fully-differentiated **normal** human bronchial epithelia (HBE)
- **distressed** (antibiotics-treated) normal HBE
- **cystic fibrosis** HBE
- proliferating, **single-cell type** bronchial epithelial **cell-line** (BEAS-2B)

Die Beiträge verschiedener Feinstaubquellen

zu drei verschiedenen Markern für das

Oxidationspotential variieren sehr stark –

und die Masse ist grundsätzlich ein schlechter Indikator



DTT, DCFH, AA: drei verschiedene Marker für das Oxidationspotential

Crustal: Mineralstaub

Vehicular: Metalle aus dem Verkehr

Residential: Metalle aus Feuerungen

HOA, COA, BBOA, SCOA, WOOA, SOOA: organische Aerosolkomponenten

Na, Ca, K, Mg, Cl, NH_4 , NO_3 , SO_4 : anorganische Aerosolkomponenten

EC: Elementarer (schwarzer) Kohlenstoff

Feinstaub: ein vielfältiges, komplexes und spannendes Forschungsthema!

Wir benötigen dringend bessere Indikatoren für die Gesundheitseffekte als PM_x

Wir haben heute solche Methoden, wir müssen nur noch die Epidemiologen überzeugen, diese auch anzuwenden



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



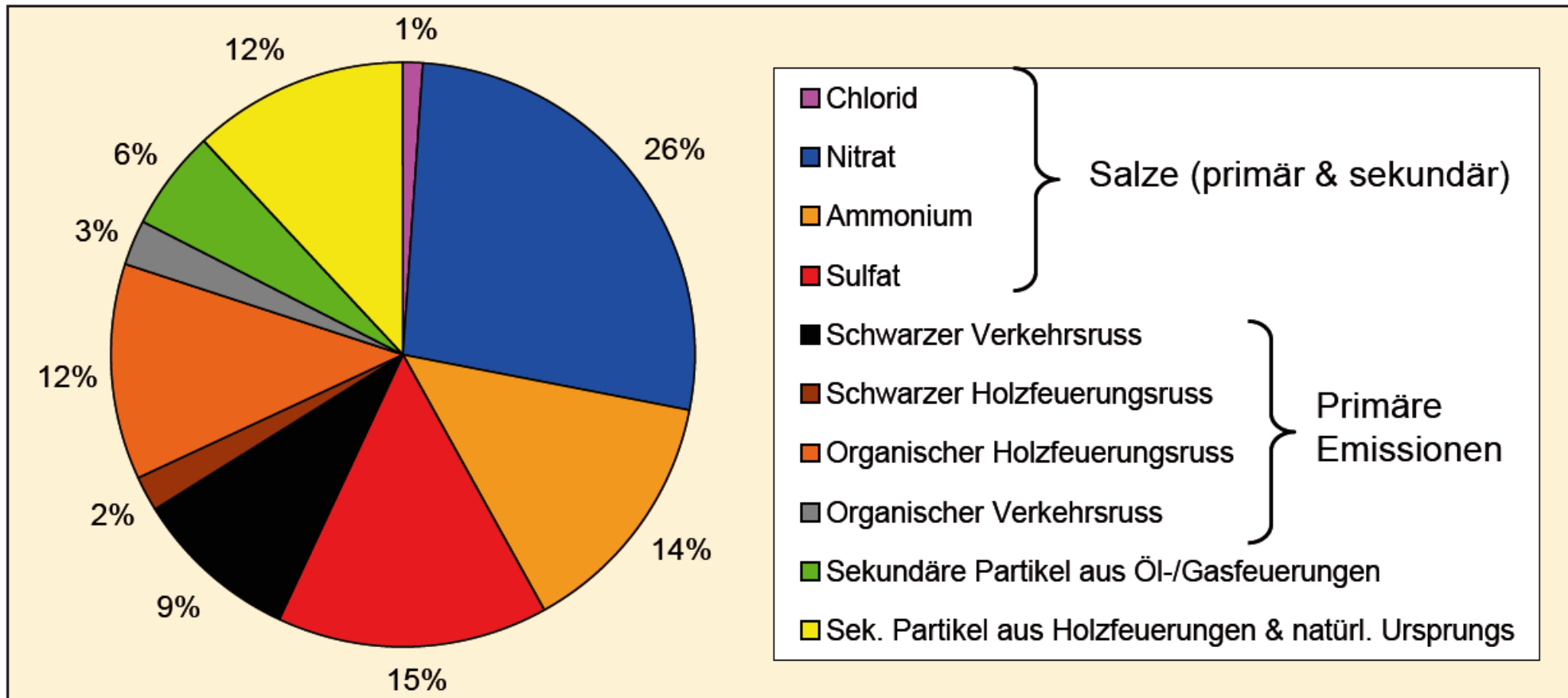
Interessenskonflikt zwischen Klima und Gesundheit

Sollen wir mehr kühlenden Feinstaub in die Atmosphäre bringen, um der Klimaerwärmung entgegenzuwirken?

Es ist ethisch nicht vertretbar, zu versuchen, das Klima zu retten, indem wir die Menschen töten.

Ausserdem: Die Aufenthaltsdauer von Feinstaub in der Atmosphäre ist nur etwa eine Woche (CO_2 : >100 Jahre). Man müsste deshalb den Eintrag jede Woche erneuern, nur um den Effekt beizubehalten, während die CO_2 -Konzentration ständig zunimmt.

Mehr als 50% des Feinstaubs ist sekundär, wird also erst in der Atmosphäre aus gasförmigen Stoffen gebildet



Energiespiegel 19/2008

http://gabe.web.psi.ch/pdfs/Energiespiegel_19_d.pdf

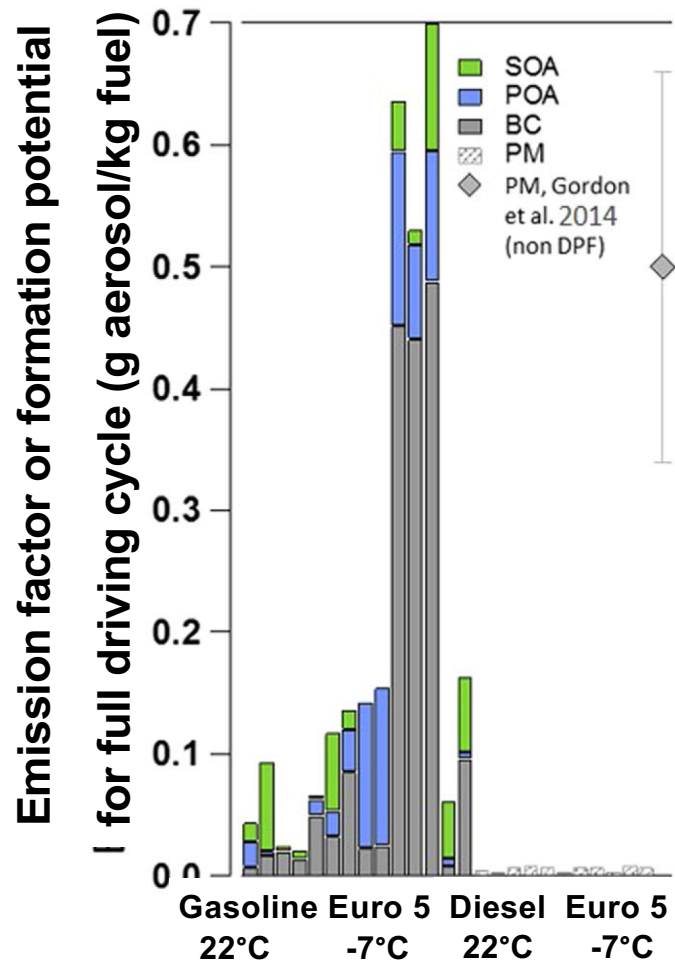
Benzinfahrzeuge produzieren viel mehr kohlenstoffhaltigen Feinstaub als moderne Dieselfahrzeuge mit Partikelfilter

SOA: secondary organic aerosol

POA: primary organic aerosol

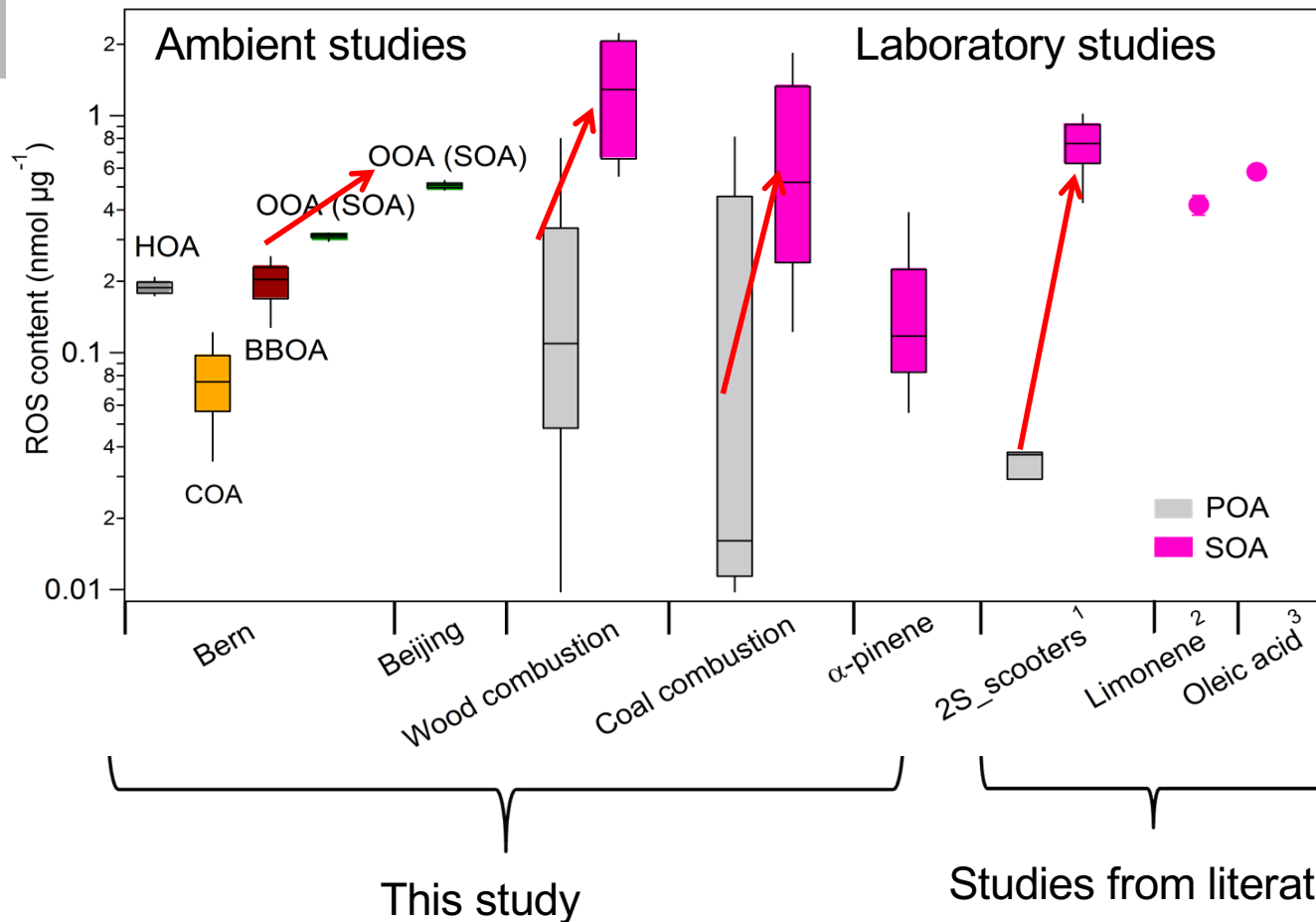
BC: black carbon

PM: Particulate matter



- Moderne Benzinmotoren emittieren viel mehr
 - kanzerogenen Russ (BC+POA)
 - flüchtige organische Verbindungen (VOC), die wiederum sekundäres organisches Aerosol (SOA) bilden
 als moderne Dieselmotoren.
- Besonders bei tiefen Temperaturen sind die Emissionen von Benzinmotoren extrem hoch.
- Massnahmen zur Reduktion der Emissionen aus Benzinmotoren:
 1. Partikelfilter auch für Benzinmotoren
 2. Reduktion der VOC-Emissionen beim Kaltstart, z.B. durch Vorheizen des Katalysators

Auf der Suche nach 'einfacheren' Gesundheitsindikatoren: z.B. Reaktive Sauerstoffspezies (Reactive Oxygen Species, ROS)



Sekundäres Aerosol hat höheren ROS-Gehalt als primäres Aerosol

(Zhou et al., in prep.)

POA: primary organic aerosol; SOA: secondary organic aerosol

1. Platt et al., 2014;
2. Gallimore et al., 2017;
3. Fuller et al., 2014