

# Kapitel 1

## Aerosol – Eine Einführung

### 1.1 Definitionen und Größenbereich

#### 1.1.1 Definitionen

#### 1.1.2 Größenbereich

### 1.2 Bedeutung für Atmosphäre, Klima und Gesundheit

#### 1.2.1 Wolkenbildung

#### 1.2.2 Klimawirkungen

#### 1.2.3 Heterogene Chemie

#### 1.2.4 Auswirkungen auf die Gesundheit

### 1.3 Quellen, Lebenslauf, Senken

### 1.4 Beispiele für Aerosolpartikel

# 1.1 Definitionen und Größenbereich

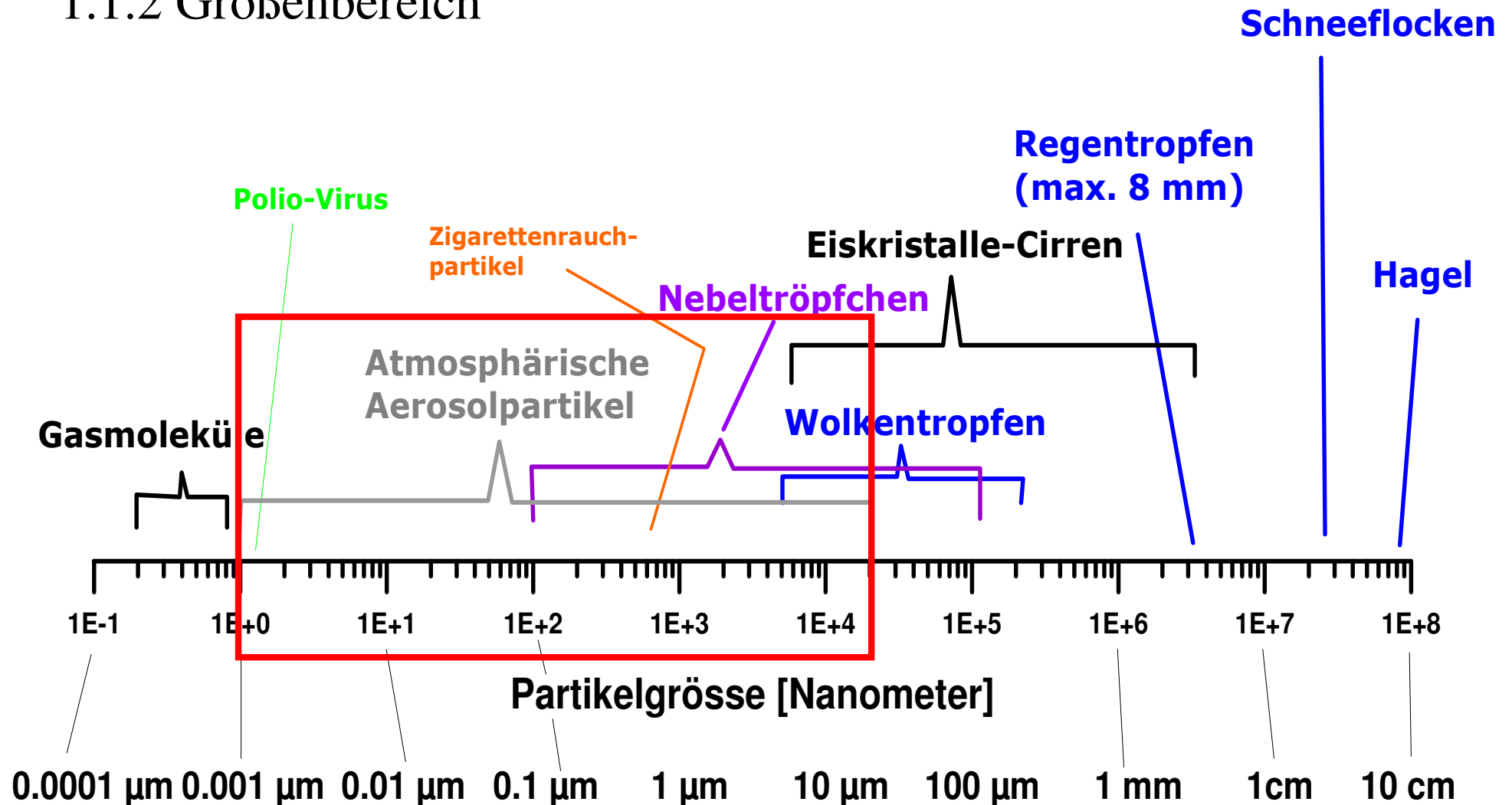
## 1.1.1 Definitionen

- Aerosol:  
Suspension (auch Dispersion) von flüssigen oder festen Teilchen (= Partikel) in einem Gas, üblicherweise in Luft.  
→ 2-Phasen-System, das aus dem Gas *und* den Teilchen besteht
- Aerosolpartikel: Die schwebenden Partikel (Tröpfchen, Staubteilchen etc.), manchmal etwas ungenau auch nur als "Aerosole" bezeichnet.
- Analog dazu: Hydrosol
  - Suspension von festen Partikeln in einer Flüssigkeit
  - Emulsion von flüssigen Partikeln in einer Flüssigkeit

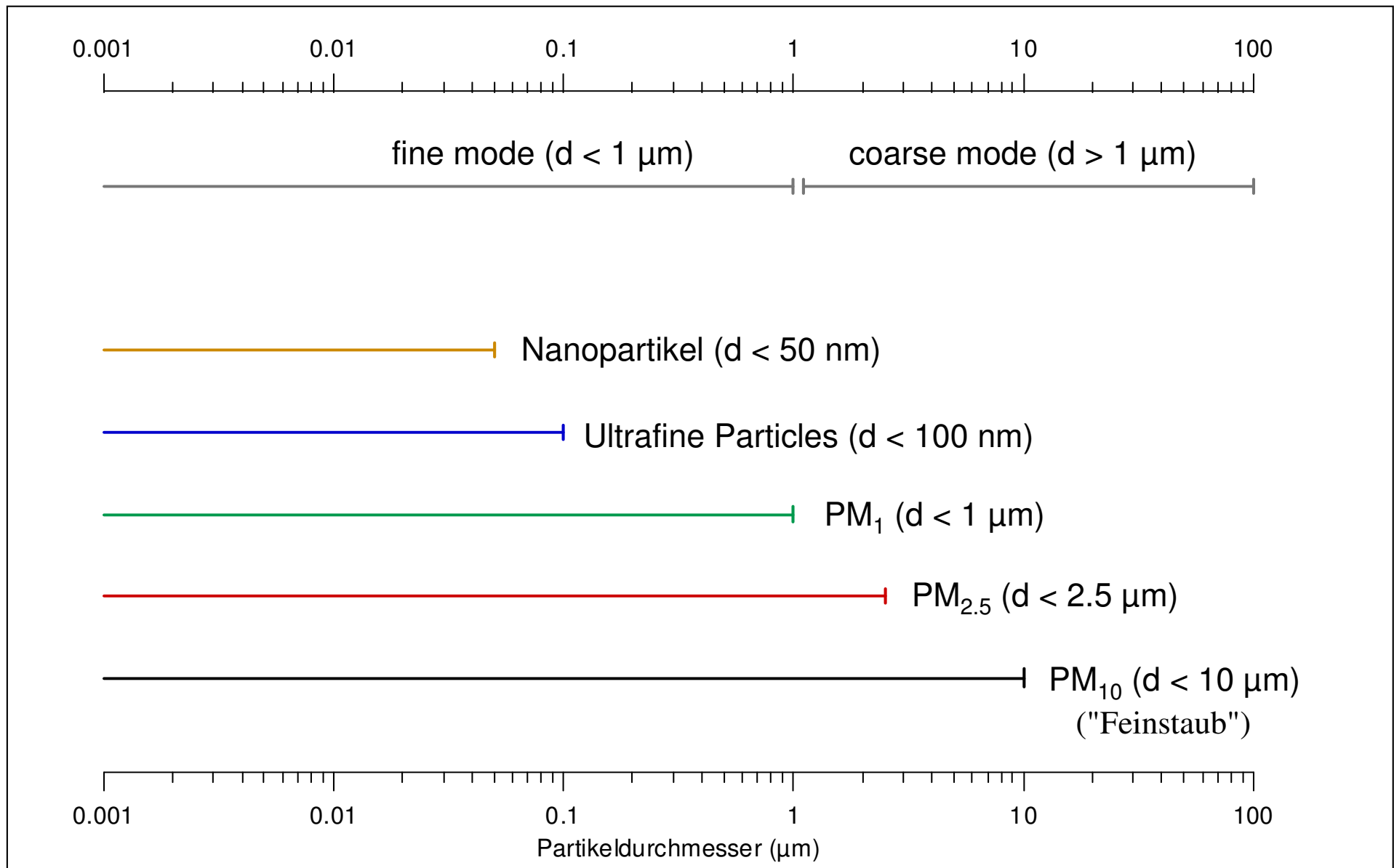
## Häufig verwendete Begriffe für Aerosole:

- Staub:** Aerosol aus festen Partikeln, entstanden durch mechanische Prozesse (Aufwirbelung etc.)
- Nebel:** sichtbares Aerosol aus flüssigen Tröpfchen, entstanden durch Kondensation von Wasserdampf
- Rauch:** sichtbares Aerosol aus (meist unvollständiger) Verbrennung, flüssige oder feste Partikel, oft Agglomerate
- Smog:** Kunstwort aus "smoke" und "fog": meist für photochemisch gebildetes Aerosol aus anthropogenen Vorläufergasen (Kohlenwasserstoffe und Stickoxide)
- Wolke:** sichtbares Aerosol (hauptsächlich Wasser, flüssig oder als Eis) mit definierten Grenzen
- Bioaerosol:** Aerosole biologischen Ursprungs. Partikel z.B.: Pollen, Sporen, Viren, Bakterien...)
-

## 1.1.2 Größenbereich



# Übliche Bezeichnungen für die Größenbereiche von Aerosolpartikeln



## 1.2 Bedeutung für Atmosphäre, Klima und Gesundheit

- Atmosphärische Bedeutung:
  - Wolkenbildung (Niederschlagsvorhersage)
  - Klimawirkung
  - Heterogene Chemie
- Gesundheit: Aerosolpartikel können (müssen aber nicht) gesundheitsschädlich sein. ("Feinstaubdebatte")

Die oben genannten Punkte sind die Hauptmotive für die Untersuchung des atmosphärischen Aerosols.

Weitere aerosolbezogene Forschungsinteressen sind z.B.:

- Medizinische Forschung (Übertragung von Wirkstoffen)
- Nanotechnologie (Herstellung kleinster Partikel)
- Motorentchnologie
- .....

## 1.2.1 Wolkenbildung

- Da reines Wasser erst bei sehr hoher Übersättigung Tröpfchen bildet, gäbe es ohne Aerosolpartikel keine Wolken in der Troposphäre, und damit auch keinen Niederschlag.
- Die Eignung eines Aerosolpartikels als Wolkenkondensationskeim (Cloud Condensation Nucleus, CCN) hängt von seiner Größe (physikalische Eigenschaft) und seiner Zusammensetzung (chemische Eigenschaft) ab.
- Ebenso die Eignung als Eiskeim (Ice Nucleus, IN), wobei hier die chemischen Eigenschaften, die ein Aerosolpartikel zu einem Eiskeim machen, gänzlich anders sind.
- Näheres hierzu später, im Kapitel 4.3 "Aerosole und Wolken".

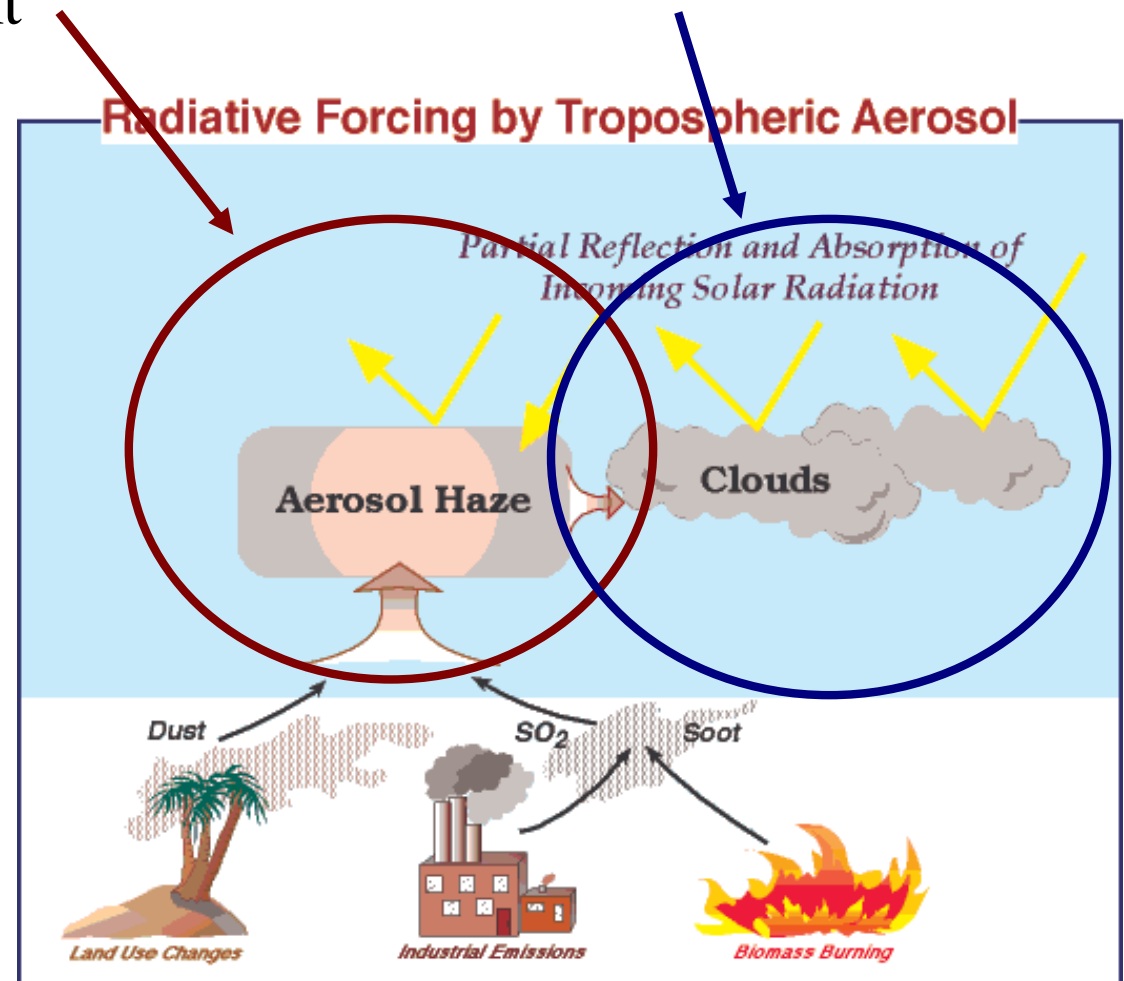
## 1.2.2 Klimawirkung

### Direkter Aerosoleffekt

Aerosolpartikel streuen einfallendes Sonnenlicht zurück in den Weltraum (Abkühlung), oder sie absorbieren das einfallende Licht, und geben die aufgenommene Energie an die Umgebungsluft ab (Erwärmung).

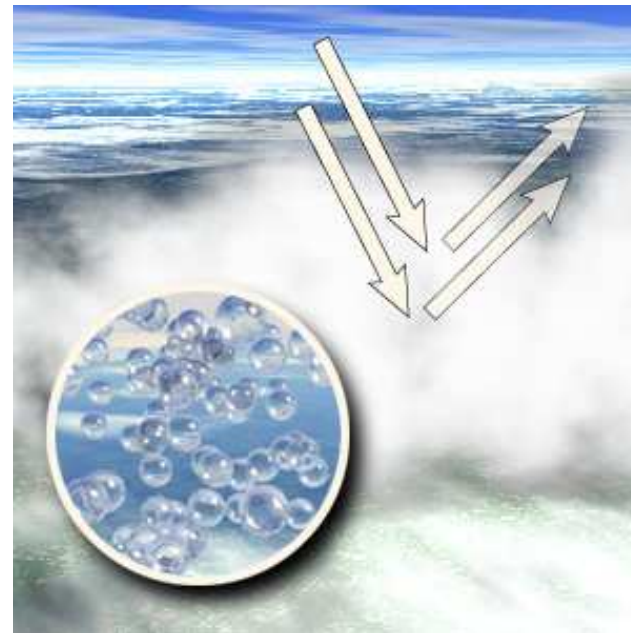
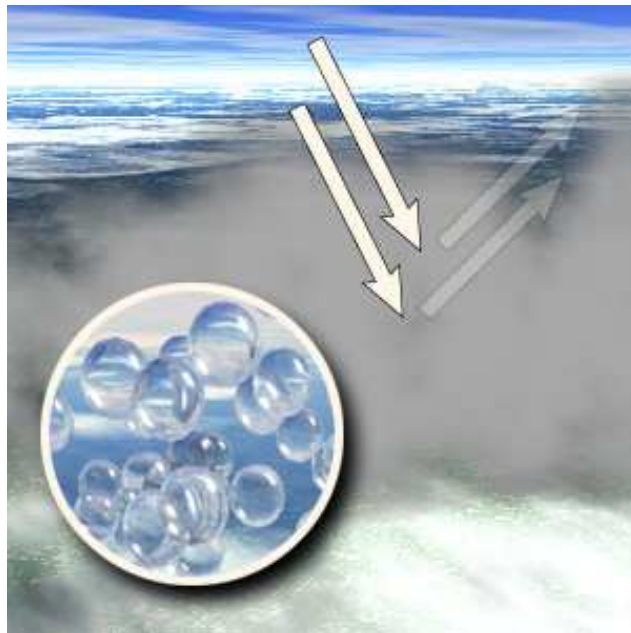
Welches Verhalten überwiegt, hängt von der chemischen Zusammensetzung ab (z.B. kann Ruß Licht stärker absorbieren als Sulfataerosol)

### Indirekter Aerosoleffekt

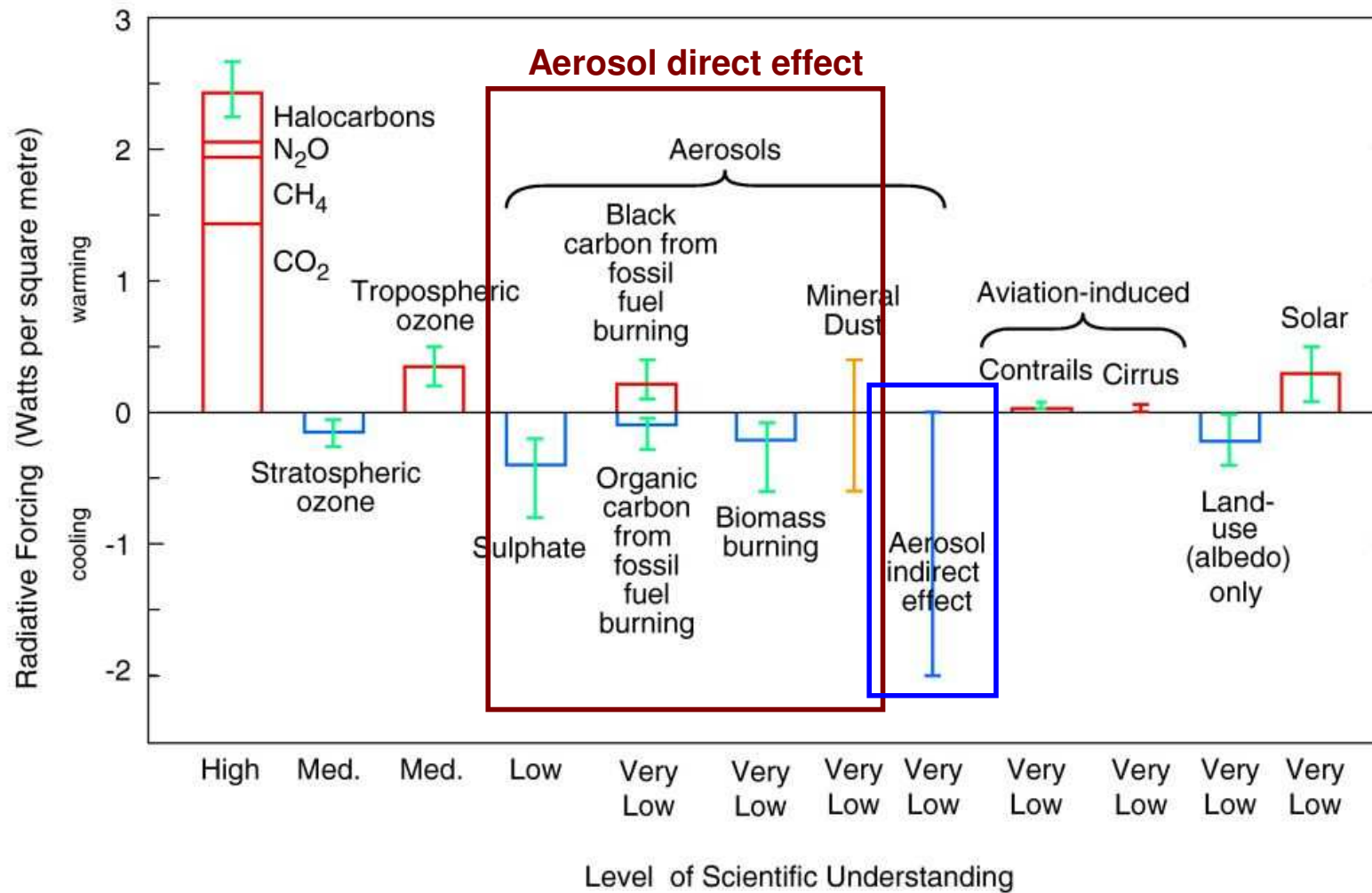


## Indirekter Aerosoleffekt

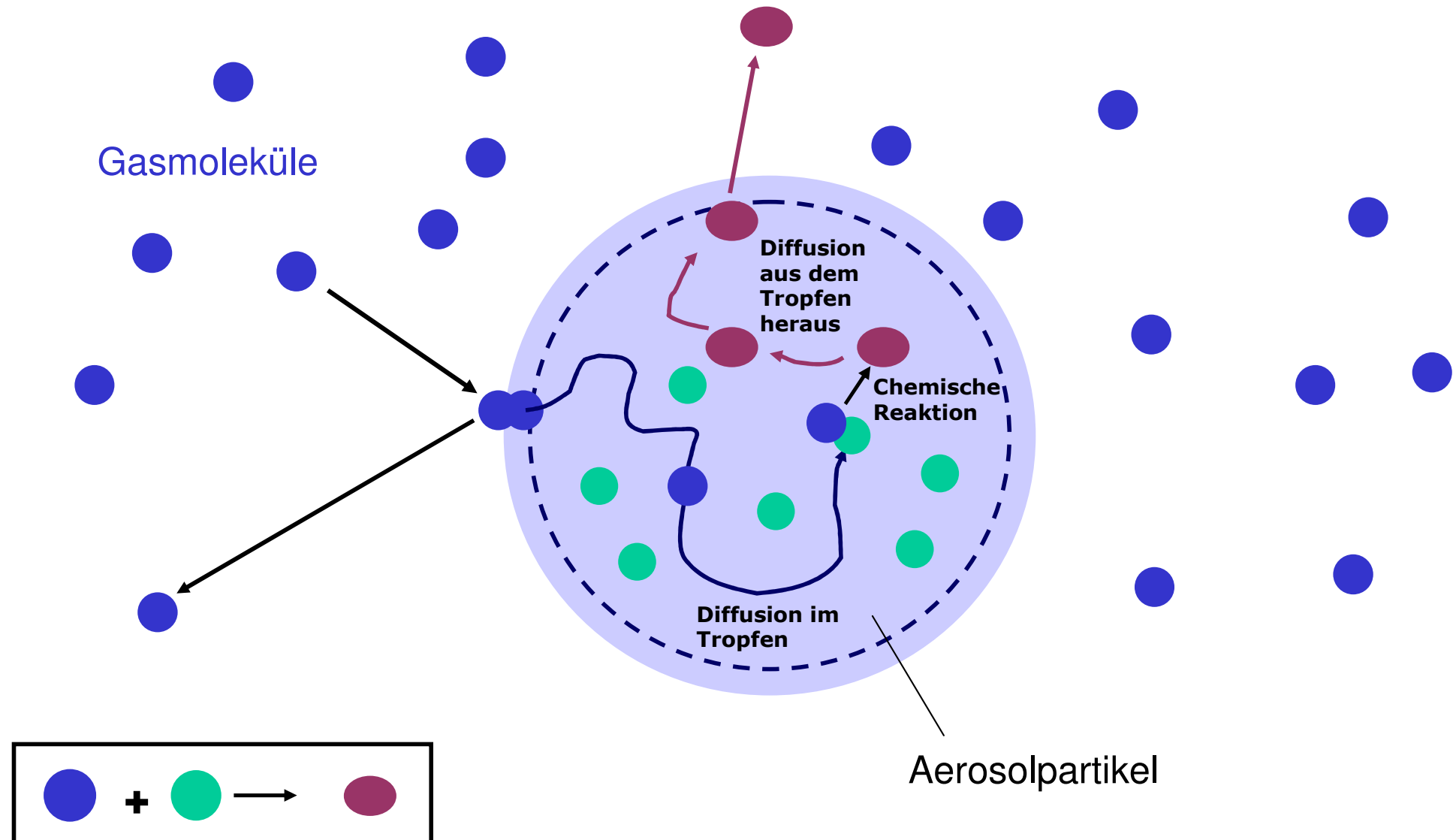
- Mehr Aerosolpartikel → mehr CCN → mehr Wolkentröpfchen.
  - Bei gleicher zur Verfügung stehender Wasserdampfmenge:
    - kleinere Wolkentröpfchen
- geänderte Strahlungseigenschaften.



### The global mean radiative forcing of the climate system for the year 2000, relative to 1750



## 1.2.3 Heterogene Chemie



## Heterogene Reaktionen:

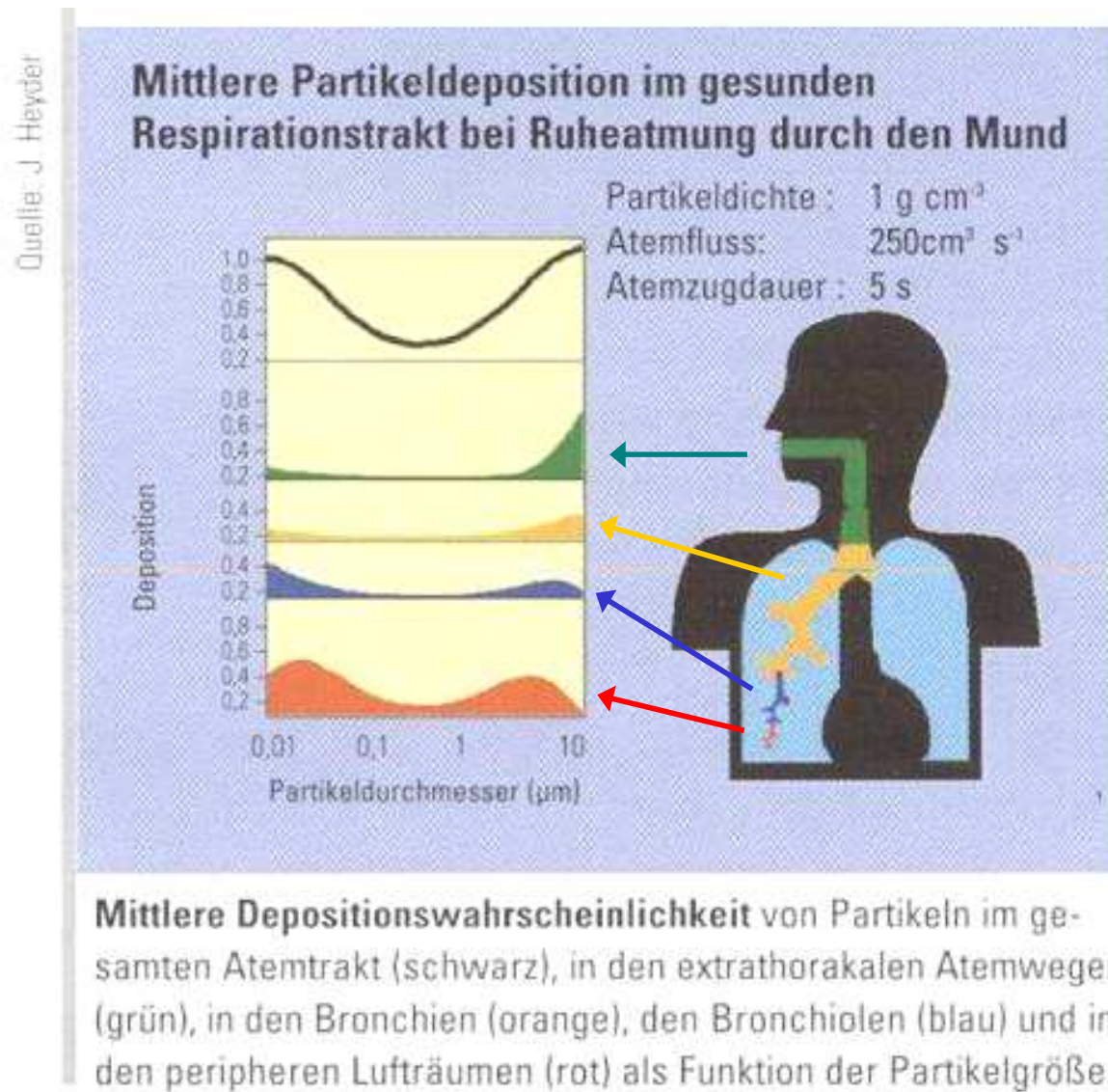
Heterogene chemische Reaktionen sind Reaktionen zwischen Substanzen in der Gasphase und Substanzen in der Partikelphase (flüssig oder fest).

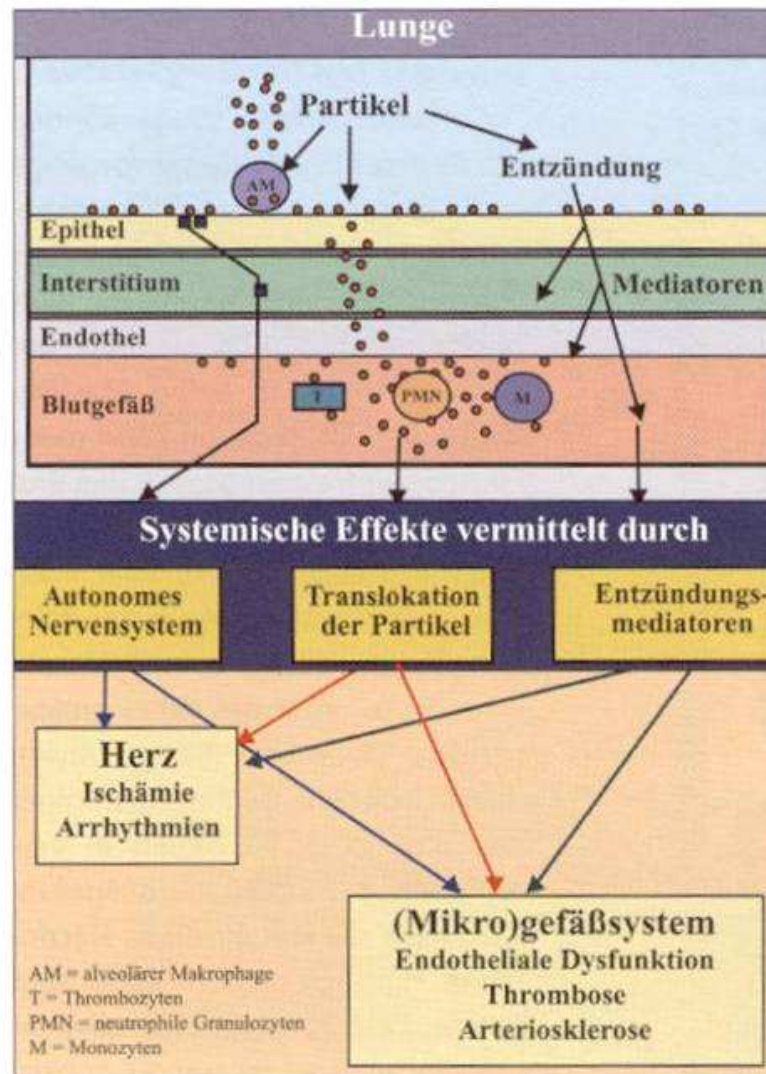
Viele dieser Reaktionen kommen in der Gasphase nicht vor, oder nur viel langsamer als unter Beteiligung der Partikelphase.

→ Aerosolpartikel beeinflussen daher die Chemie der Gasphase.

Heterogene Reaktionen spielen z.B. beim Ozonabbau eine wichtige Rolle.

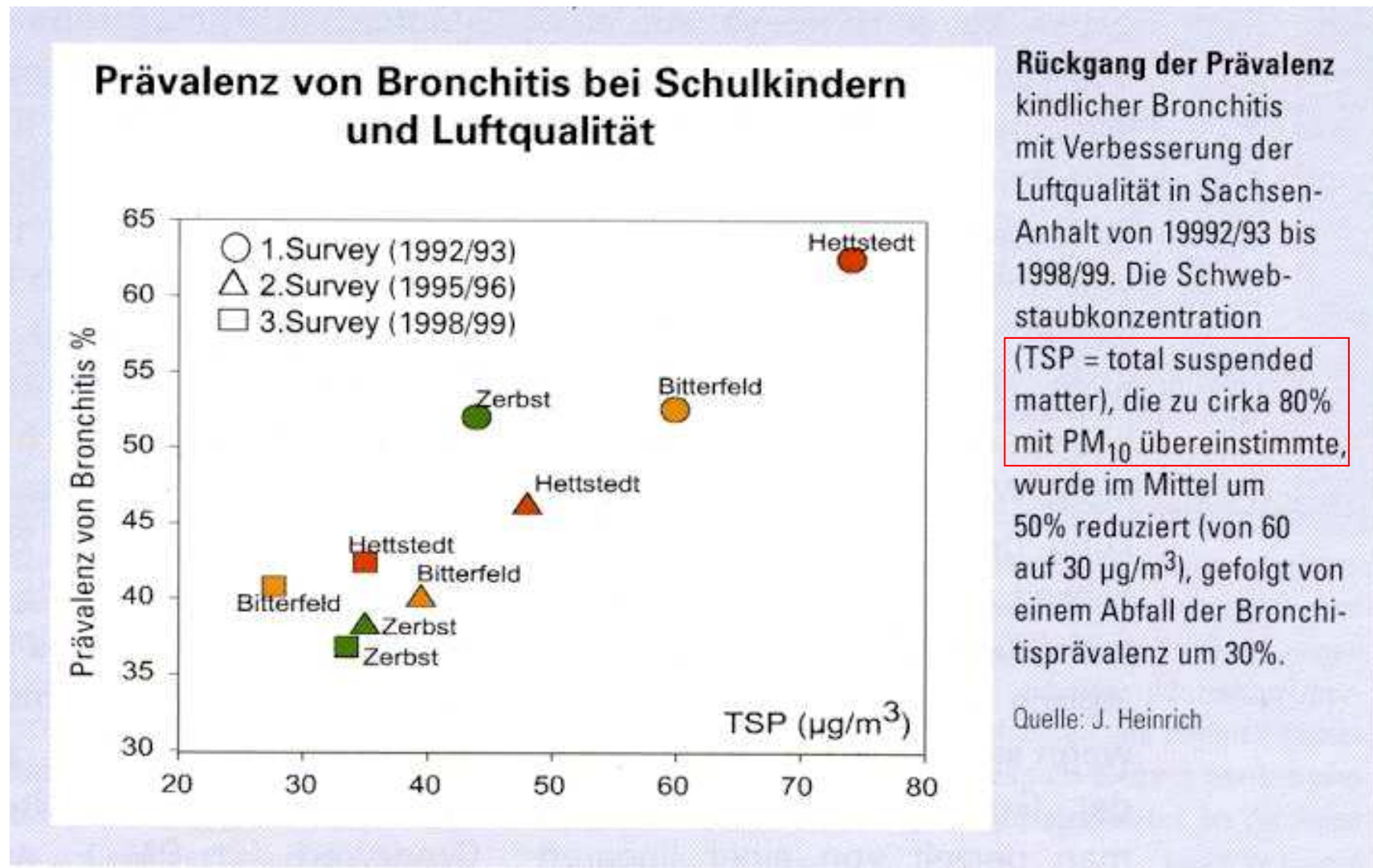
## 1.2.4 Auswirkungen auf die Gesundheit





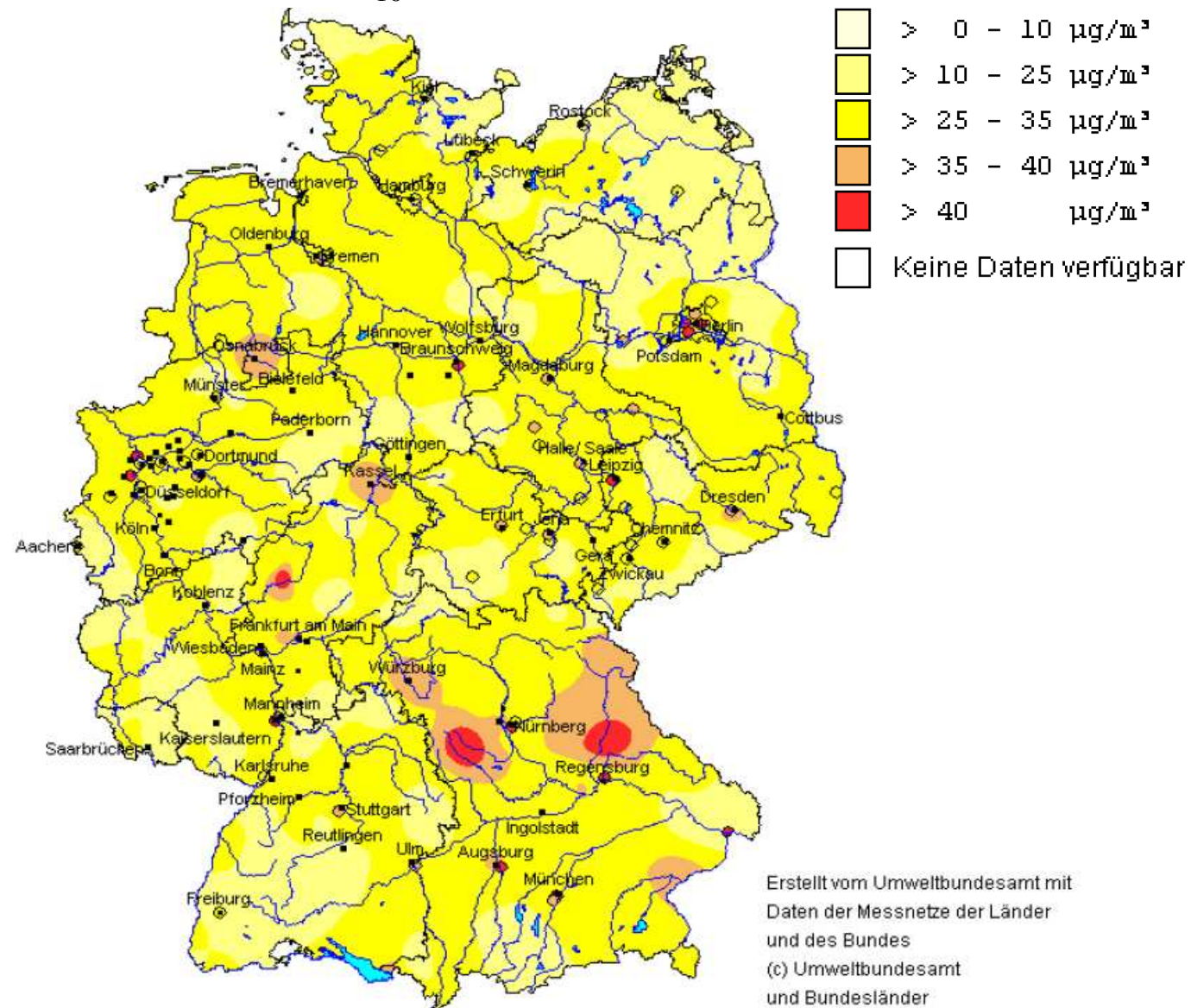
**Ultrafeine Partikel** können den Körper auf drei Wegen schädigen: Zum einen beeinflussen sie das vegetative Nervensystem über Rezeptoren (links). Sie können aber auch direkt durch die dünnen Häutchen der Lungenbläschen in die Blutbahn eindringen und von hier aus zu jedem Organ gelangen (Mitte). Als dritte Möglichkeit können ultrafeine Teilchen über Mediatoren das Lungengewebe entzünden und so Herz und Gefäße beeinträchtigen (rechts).

Quelle: H. Schulz



Prävalenz: Anzahl der erkrankten Personen / Anzahl der untersuchten Personen

## Jahresmittelwerte der PM<sub>10</sub>-Massenkonzentration für das Jahr 2003



Die vom Umweltbundesamt zusammengestellten Karten und Daten zur aktuellen  
 Auf Grund der weiträumigen Betrachtung ist eine kleinräumige Interpretation nicht zulässig.

## EU-Feinstaub( $PM_{10}$ )-Grenzwerte ab 1.1. 2005

- 1.) Der ab dem 1. Januar 2005 einzuhaltende Tagesmittelwert für  $PM_{10}$  beträgt  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bei 35 zugelassenen Überschreitungen im Kalenderjahr.
- 2.) Ab dem Jahre 2005 beträgt der Jahresmittelwert für  $PM_{10}$   $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- .....
- 4.) Ist ein Grenzwert nach einem Stichtag überschritten, sind sogenannte Aktionspläne aufzustellen. Dies ist also für  $PM_{10}$  bei Überschreitungen ab dem Jahre 2005 der Fall. In den Aktionsplänen ist festzulegen, welche Maßnahmen kurzfristig zu ergreifen sind, um diesen Grenzwert einzuhalten.

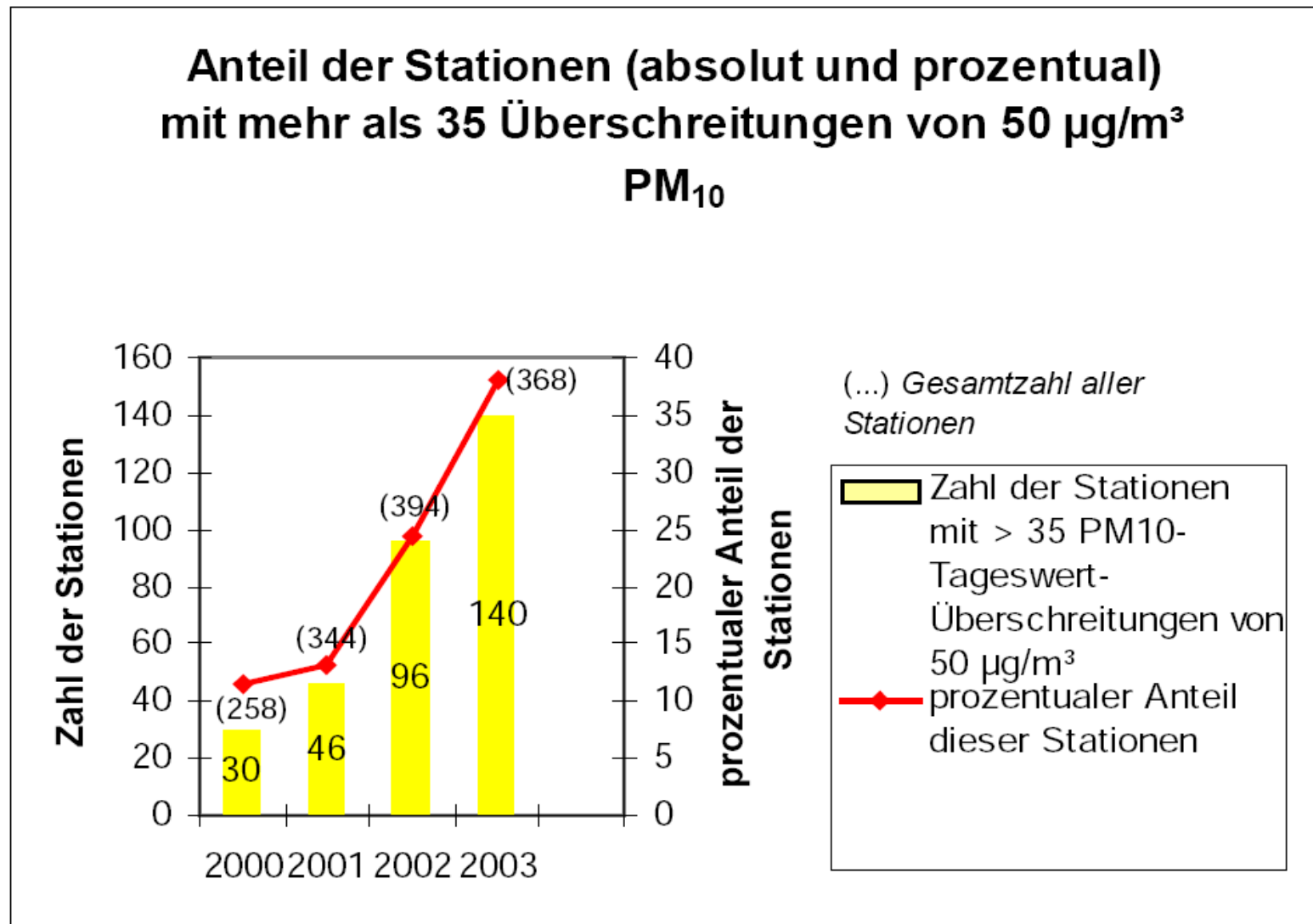
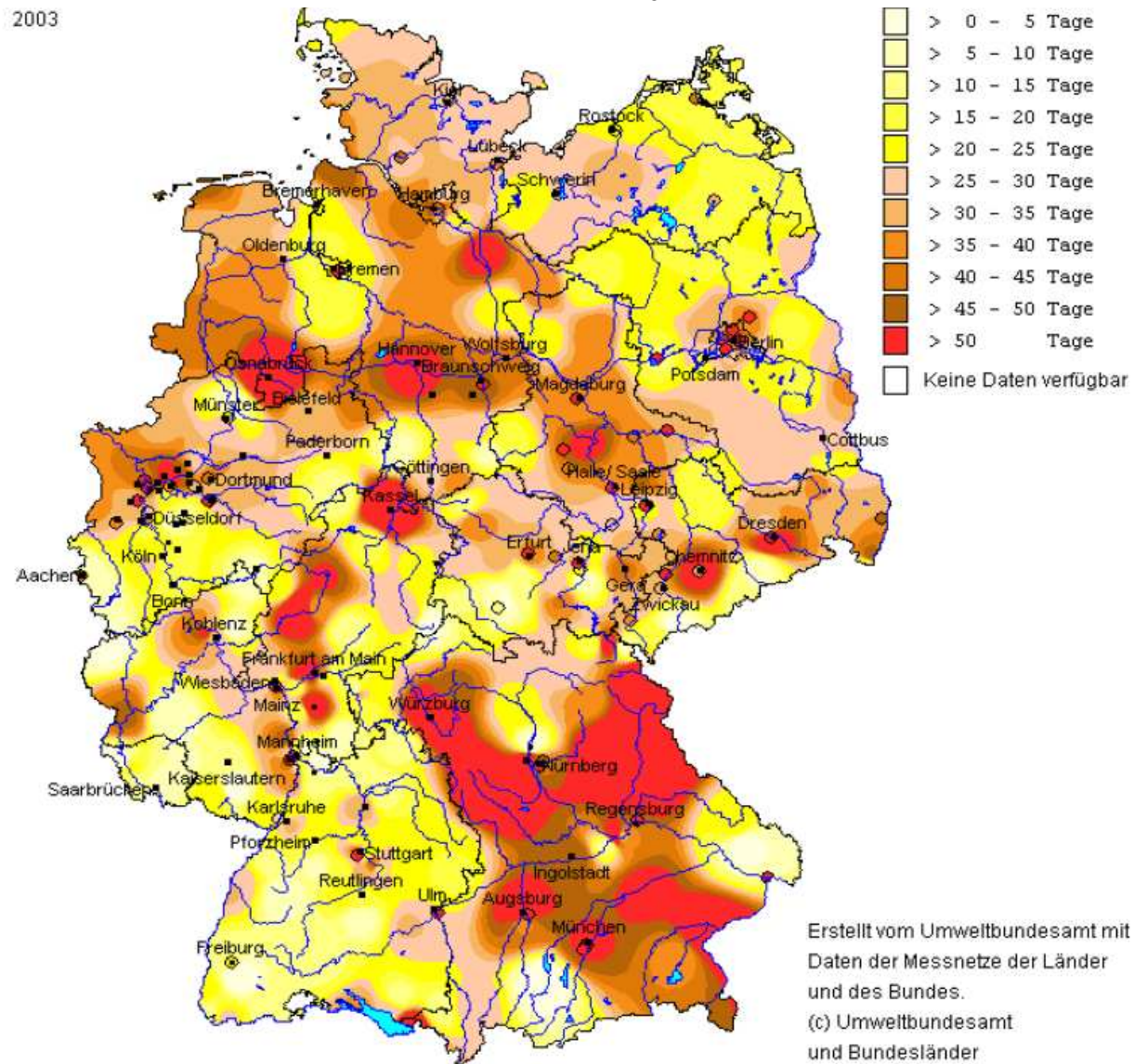


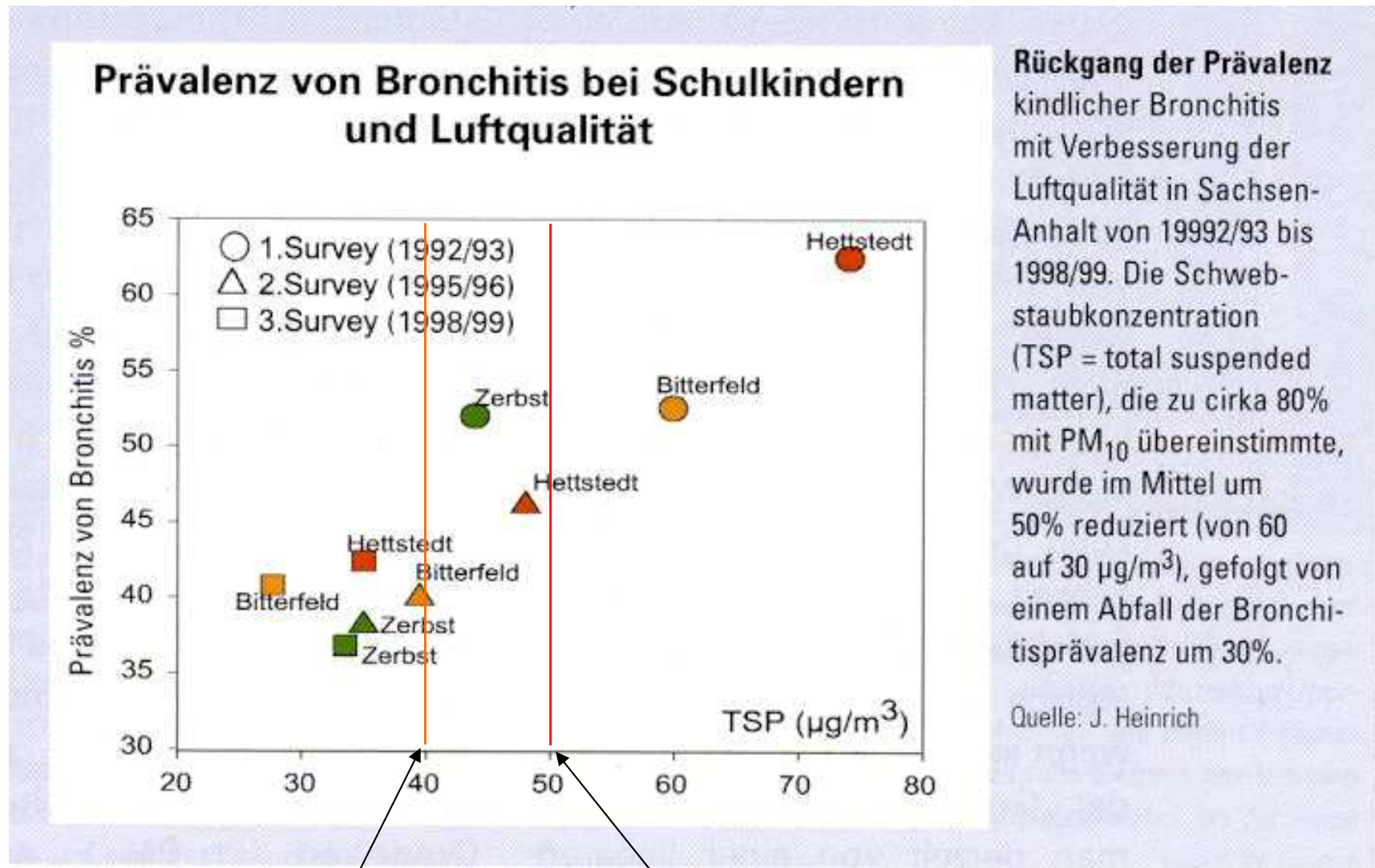
Abbildung 6) Quelle: Umweltbundesamt

# Zahl der Tage mit Tagesmittelwerte der PM<sub>10</sub>-Massenkonzentration > 50µg/m<sup>3</sup>

2003



Die vom Umweltbundesamt zusammengestellten Karten und Daten zur aktuellen Immissionssituation dienen der orientierenden Information der Bevölkerung. Auf Grund der weiträumigen Betrachtung ist eine kleinräumige Interpretation nicht zulässig.



Jahresmittelwert

Tagesmittelwert (< 35 mal pro Jahr)

## 1.3 Quellen, Lebenslauf, Senken

Aerosolpartikel können nach ihren Quellen unterschieden werden:

- *Anthropogene Partikel* (= vom Menschen verursacht):  
z.B. Russpartikel.
- *Natürliche Partikel*: z.B. Pollen, Mineralstaub, Meersalz
- Ammoniumsulfat und so genannte Nanopartikel können beiderlei Ursprung haben.

Sowohl anthropogene als auch natürliche Partikel können auf Klima und Gesundheit einwirken.

## Globale Partikelemissionen

TABLE 2.19 Global Emission Estimates for Major Aerosol Types in the 1980s

Source	Estimated Flux (Tg yr <sup>-1</sup> )			Particle Size Category <sup>a</sup>
	Low	High	Best	
<b>NATURAL</b>				
<b>Primary</b>				
Soil dust (mineral aerosol)	1000	3000	1500	Mainly coarse
Sea salt	1000	10000	1300	Coarse
Volcanic dust	4	10000	30	Coarse
Biological debris	26	80	50	Coarse
<b>Secondary</b>				
Sulfates from biogenic gases	80	150	130	Fine
Sulfates from volcanic SO <sub>2</sub>	5	60	20	Fine
Organic matter from biogenic VOC	40	200	60	Fine
Nitrates from NO <sub>x</sub>	15	50	30	Fine and coarse
<b>Total natural</b>	<b>2200</b>	<b>23500</b>	<b>3100</b>	
<b>ANTHROPOGENIC</b>				
<b>Primary</b>				
Industrial dust, etc. (except soot)	40	130	100	Fine and coarse
Soot	5	20	10	Mainly fine
<b>Secondary</b>				
Sulfates from SO <sub>2</sub>	170	250	190	Fine
Biomass burning	60	150	90	Fine
Nitrates from NO <sub>x</sub>	25	65	50	Mainly coarse
Organics from anthropogenic VOC	5	25	10	Fine
<b>Total anthropogenic</b>	<b>300</b>	<b>650</b>	<b>450</b>	
<b>Total</b>	<b>2500</b>	<b>24000</b>	<b>3600</b>	

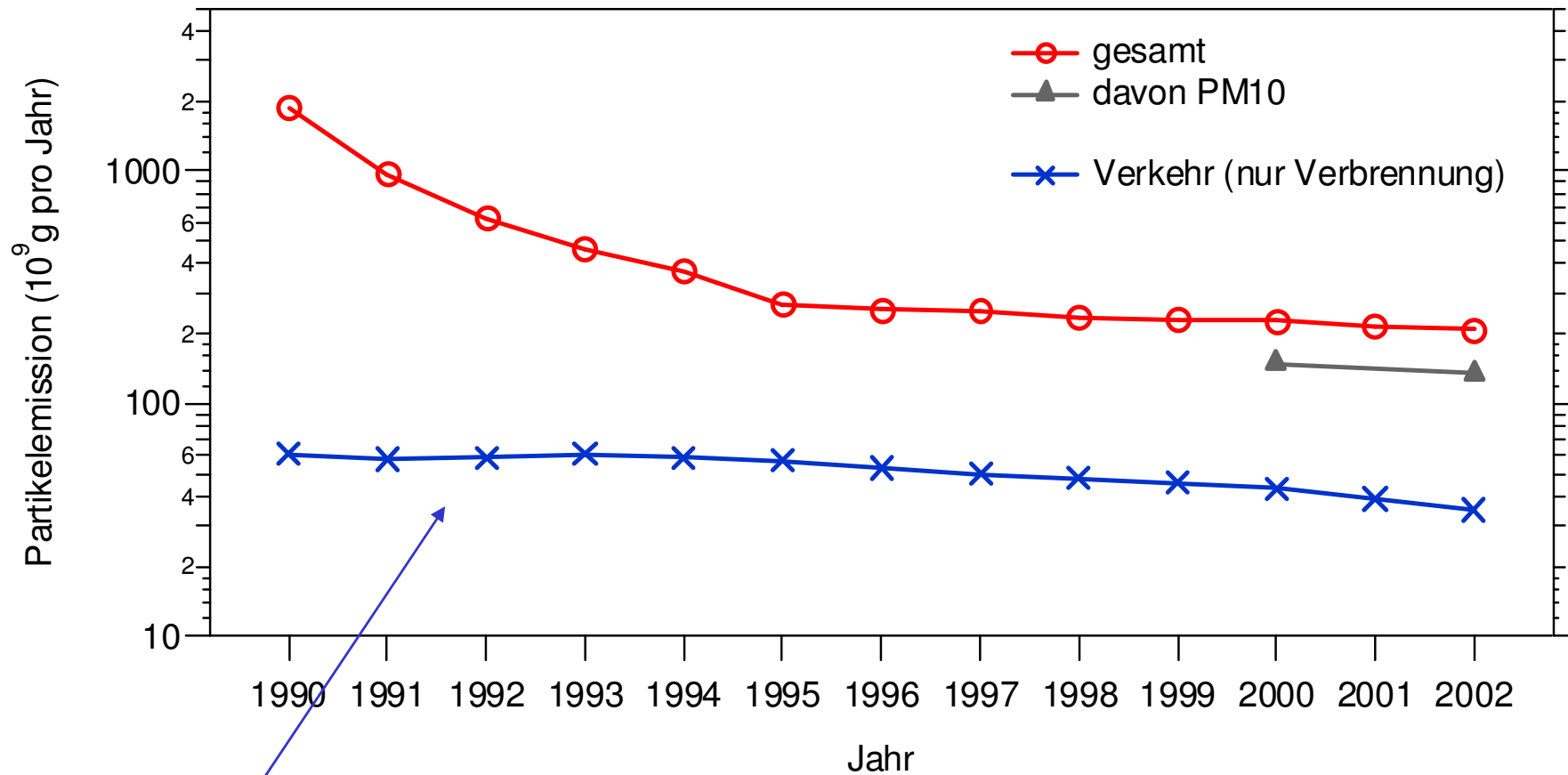
natürlich  
>  
anthropogen

<sup>a</sup>Coarse and fine size categories refer to mean particle diameter above and below 1 μm, respectively.

Note: Sulfates and nitrates are assumed to occur as ammonium salts. Flux unit: Tg yr<sup>-1</sup> (dry mass).

Source: Kiehl and Rodhe (1995).

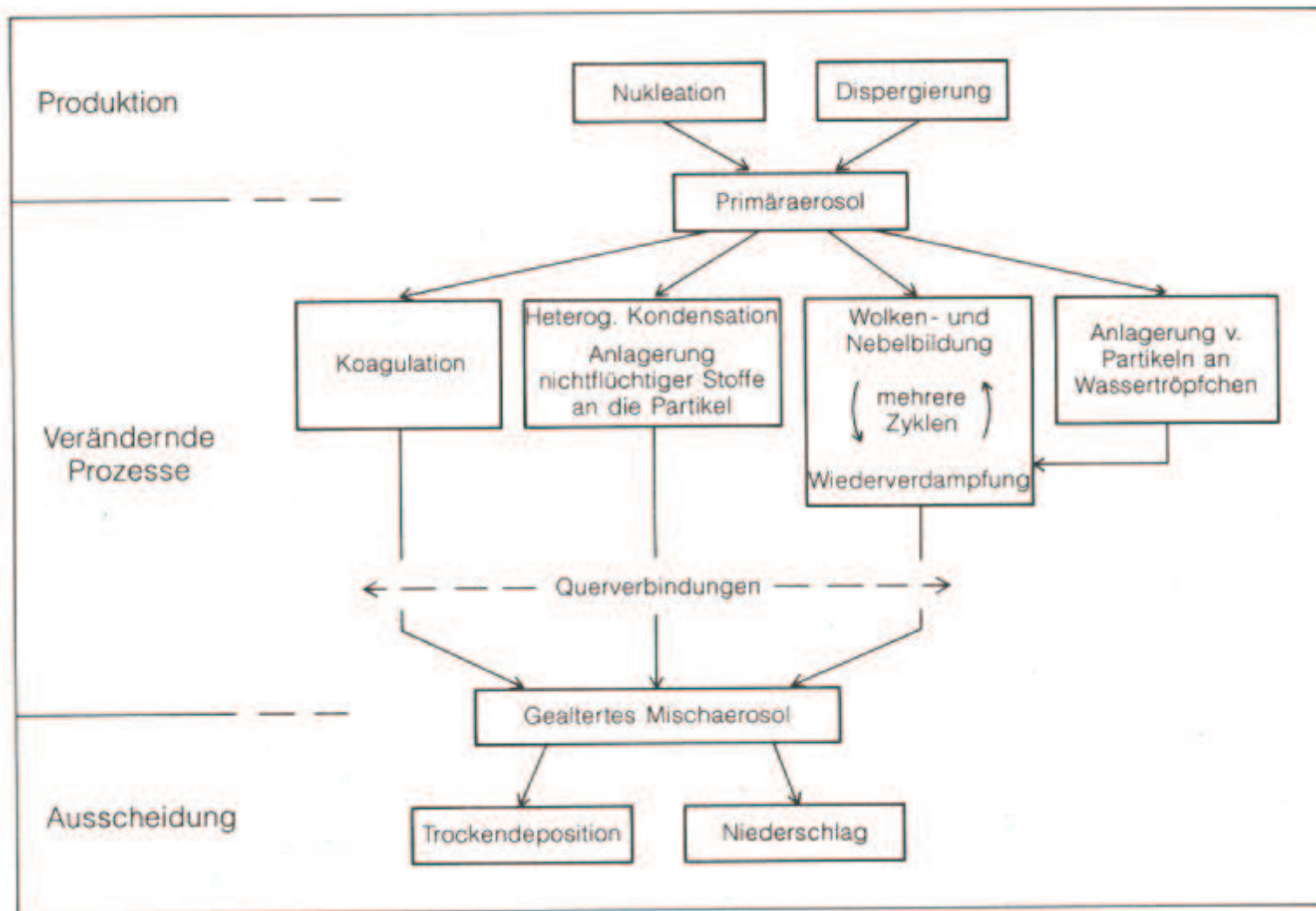
## Partikelemissionen in Deutschland 1990 - 2002



"Ohne folgende nicht verbrennungsbedingte Emissionen:  
 Reifenabrieb (geschätzte Emission 7 kt/a, davon PM<sub>10</sub>-Fraktion knapp 10%,  
 Emission von der Straßenoberfläche (erheblicher PM<sub>10</sub>-Anteil) und der  
 Bremsabrieb (5,5-8,5 kt/a), im wesentlichen PM<sub>10</sub>)"

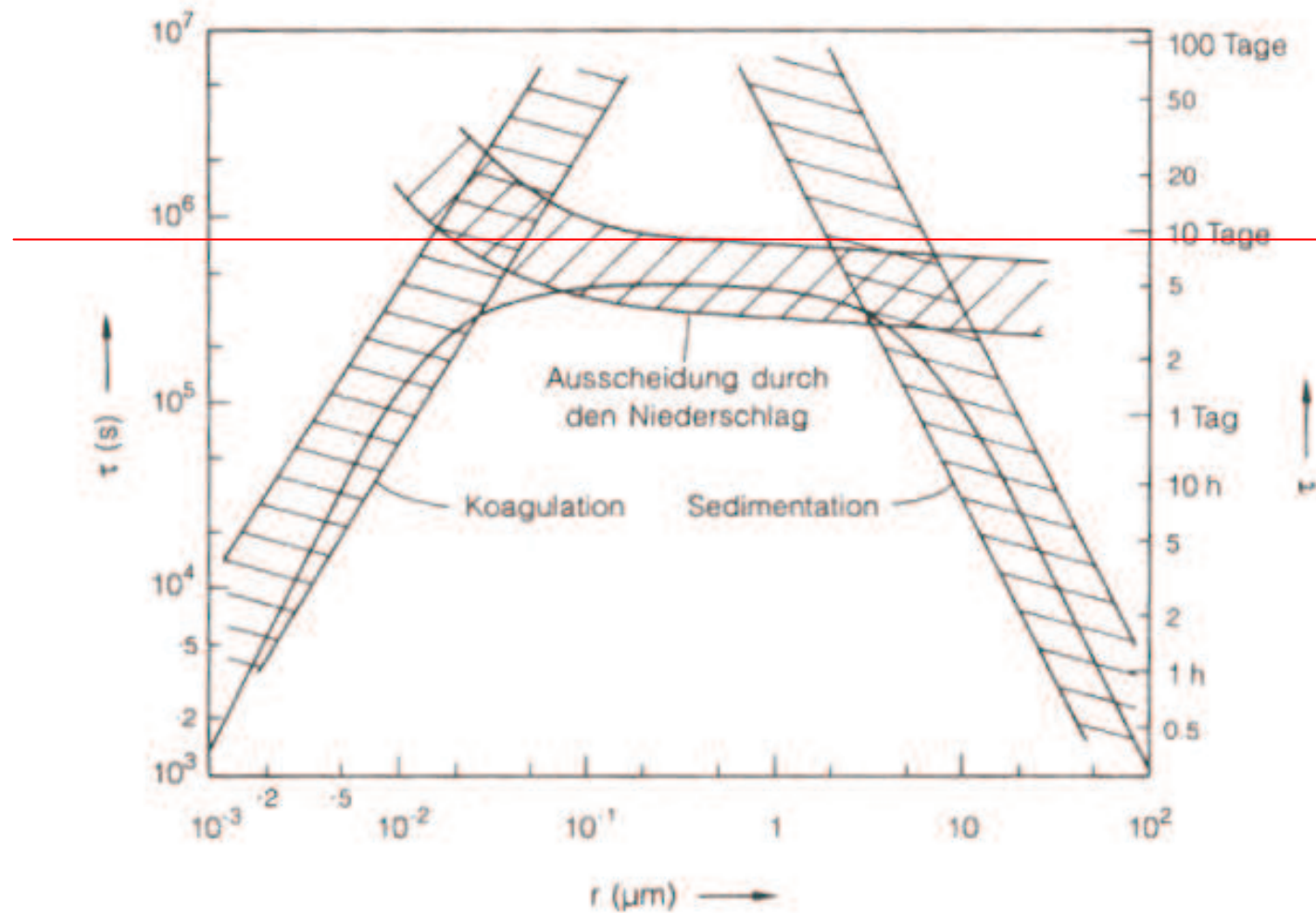
# Lebenslauf und Senken

## Umwandlungsprozesse von Aerosolpartikeln in der Troposphäre

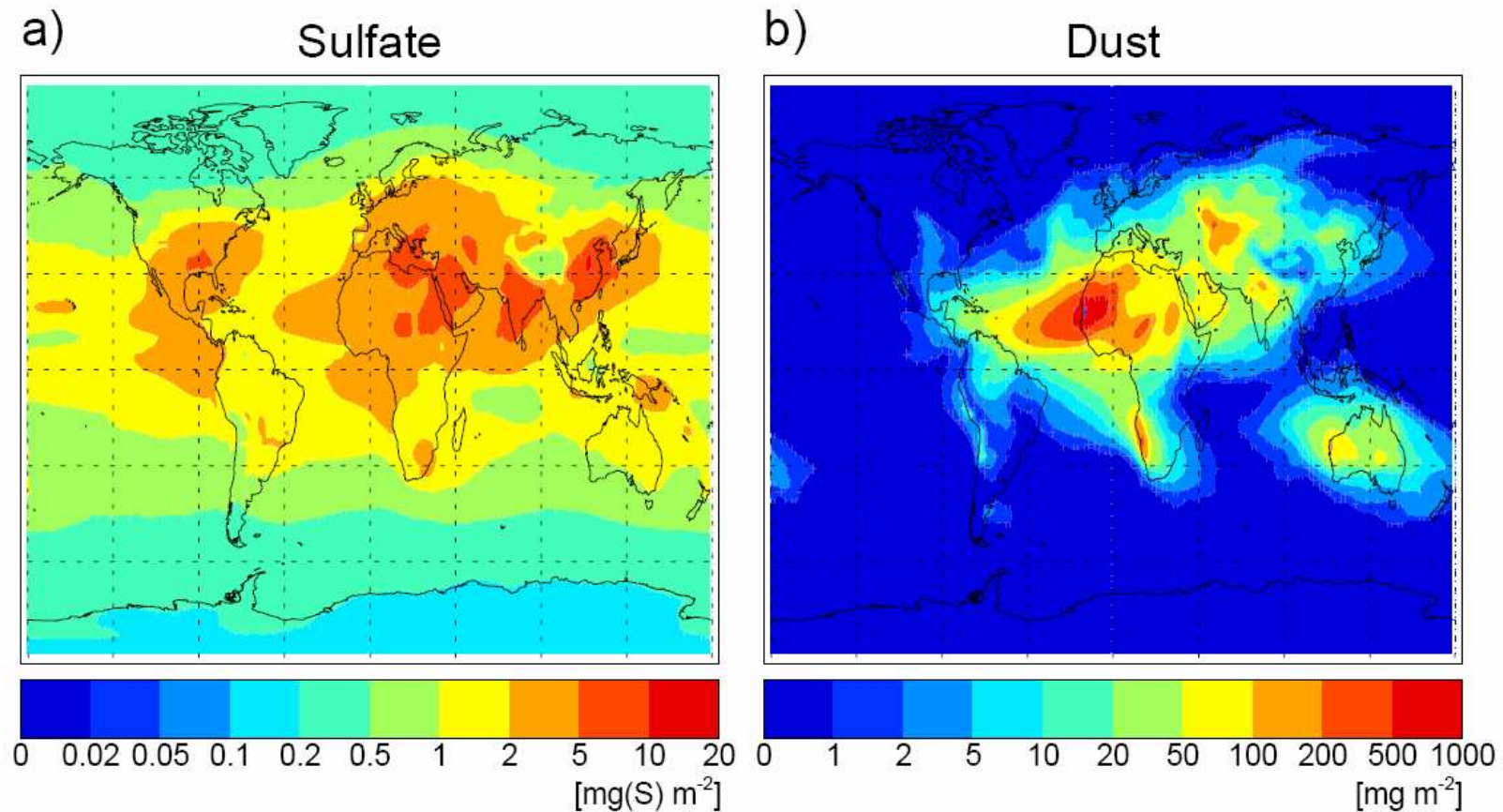


# Lebensdauer von Aerosolpartikeln

(nach Jaenicke, 1998)



# Globale Verteilung



Aus globalem Klimamodell ECHAM5-HAM, mit Messdaten als Eingangsparameter

# Vertikale Verteilung

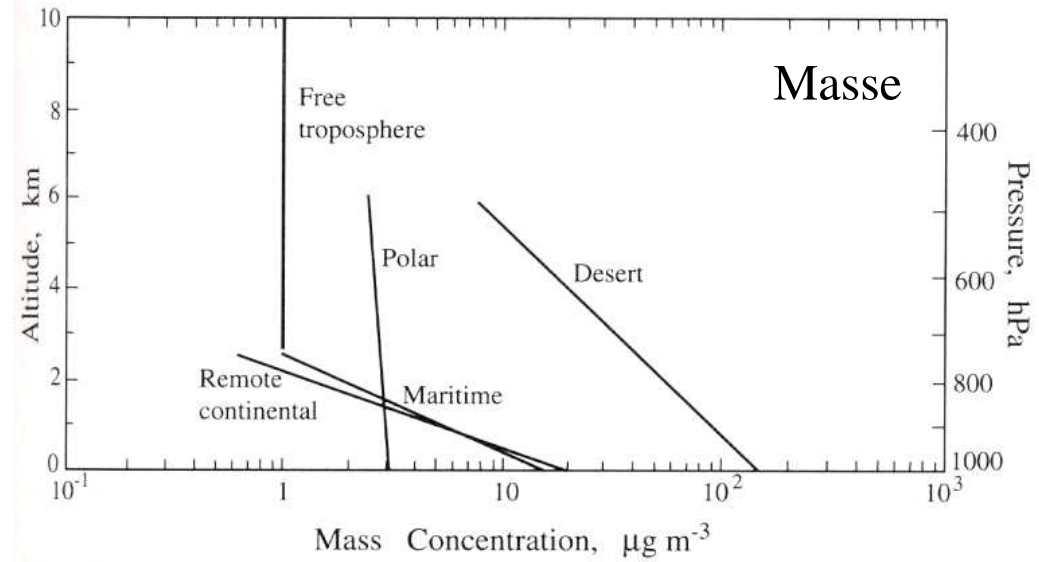


FIGURE 7.25 Representative vertical distribution of aerosol mass concentration (Jaenicke, 1993).

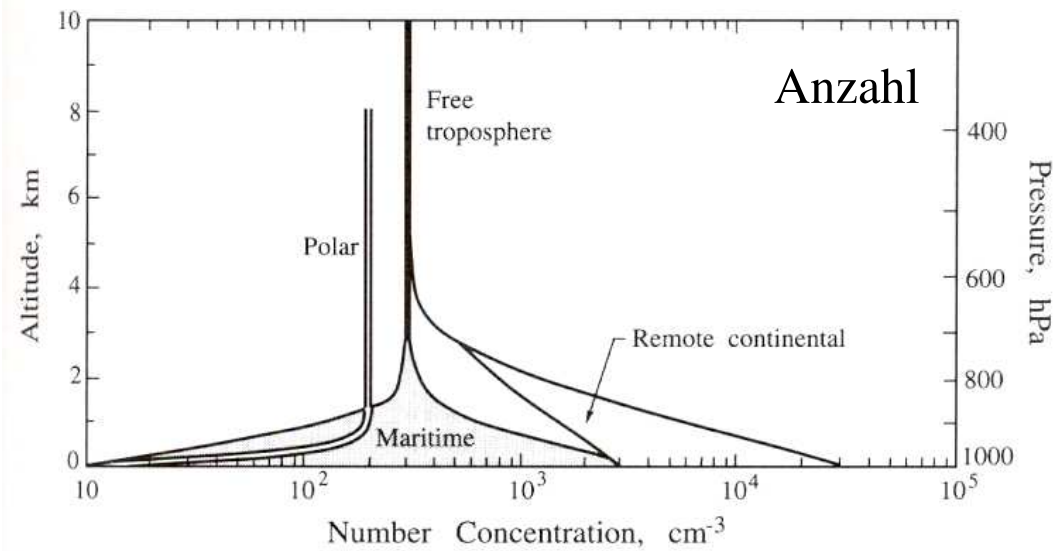


FIGURE 7.26 Representative vertical distribution of aerosol number concentration (Jaenicke, 1993).  
 Arange of concentrations is shown for marine and remote continental aerosols.

## 1.4 Beispiele für Aerosolpartikel

## Beispiel 1: Nanopartikel

Nanopartikel sind zu klein und zu flüchtig, um abgebildet werden zu können.

**Größe:**  $< 50 \text{ nm}$  ( $50 \times 10^{-9} \text{ m}$ )

**Quelle:** diverse gasförmige Vorläufer, die vom Menschen oder von der Natur (insbesondere Pflanzen) verursacht werden. Nanopartikel treten häufig neben verkehrsreichen Straßen, aber auch in Nadelwäldern auf. Sie bilden sich aus gasförmigen Autoabgasen oder organischen Emissionen von Nadelbäumen.

**Aussehen:** kugelförmig, vermutlich flüssig



weiter: Nanopartikel

**Lebensdauer:** wenige Stunden. Die kurze Lebensdauer ist insbesondere dadurch begründet, dass die Nanopartikel rasch mit größeren Partikeln koagulieren.

**weitere Eigenschaften:**

- Wenn Nanopartikel vorkommen, dann in großer Anzahl.
- Weil Nanopartikel so klein sind, können sie tief in die Lungen gelangen. Sie sind also gut lungengängig und können damit gesundheitsrelevant sein.

## Beispiel 2: Rußpartikel

**Grösse:** sehr variabel, Längen im Bereich von 1000 nm, äquivalente Durchmesser im Bereich von 100 nm.

**Quelle:** anthropogen:  
unvollständige  
Verbrennung fossiler  
Brennstoffe (z.B.  
Dieselmotoren,  
Biomasseverbrennung)

**Aussehen:** filigran verästelt, schwarz.

Bild: Alexei Kiselev, IfT Leipzig

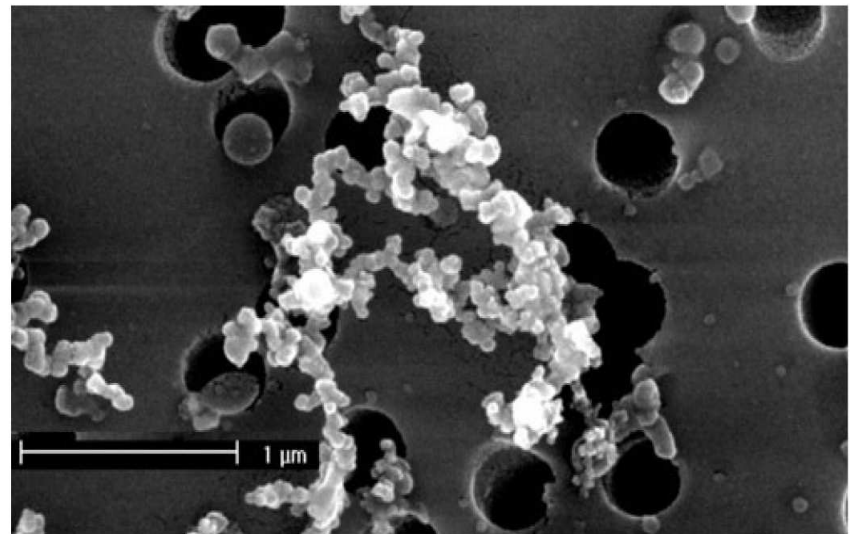
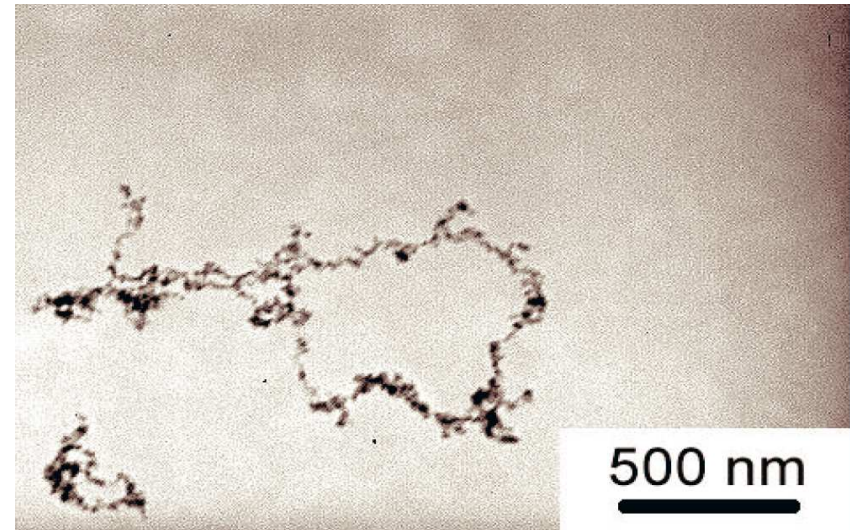


Bild: Günter Helas, MPI Chemie Mainz

weiter: Rußpartikel

**Lebensdauer:** rund eine Woche. Die Lebensdauer hängt davon ab, welche Alterungsprozesse die Russpartikel erfahren. (Beeinflusst die Fähigkeit, Wasser anzulagern und damit die Effizienz der Auswaschung.)

**weitere Eigenschaften:**

- krebserregend.
- gelangen tief in die Lungen
- absorbieren Sonnenlicht (erwärmender direkter Klimaeffekt)
- Frische Russpartikel sind hydrophob, das heißt wasserunlöslich, während gealterte Russpartikel hygroskopischer sind, sie können also besser Wasser anlagern → wichtig für Wolkenbildung.

## Beispiel 3: Ammoniumsulfat ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ )

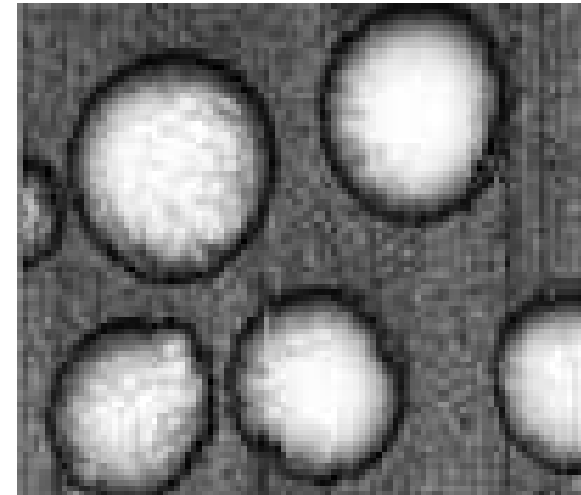
**Größe:** um 100 nm

**Quellen:** diverse:  
entsteht erst durch chemische Prozesse in der Atmosphäre  
→ *sekundäres* Aerosol.  
Vorläufer-Gase:  $\text{SO}_2$  aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe,  $\text{NH}_3$  aus Industrie, Landwirtschaft

**Aussehen:** kompakt, weiß

**Lebensdauer:**  
rund eine Woche

**weitere Eigenschaften:**  
gut wasserlöslich und damit gut wolkenbildend



## Beispiel 4: Meersalz

**Größe:** 200 nm bis rund 10  $\mu\text{m}$

**Quellen:** Zersprühung von Meerwasser  
beispielsweise bei Brandung oder  
bei Wellengang (Gischt)

**Aussehen:** kompakt, weiß.

**Lebensdauer:**  
Stunden bis wenige Tage.

**weitere Eigenschaften:**

- besteht vorwiegend aus NaCl
- sehr gut wasserlöslich und damit gut wolkenbildend
- keine Gefahr für die Gesundheit



## Beispiel 5: Pollen

**Größe:** rund 3 bis 100  $\mu\text{m}$

**Quellen:** Pflanzen bzw. pflanzliches Material (Pollenflug)

**Aussehen:** formschöne vielfältige Erscheinung

**Lebensdauer:**

Stunden bis Tage. Pollen werden durch Regen sehr wirksam aus unserer Luft ausgewaschen

**weitere Eigenschaften:**

- schlecht wasserlöslich
- gesundheitliches Problem für Allergiker (Heuschnupfen)

