



Gefährliche Nanopartikel im Diesel-Abgas

Stand der Wissenschaft

Armin Hansel

Universität Innsbruck
Institut für Ionenphysik und Angewandte Physik

1

Was sind Aerosolpartikel eigentlich?

- **Aerosol:**
Mischung (Suspension) von flüssigen und/oder festen Teilchen (= Partikel) in einem Gas, üblicherweise in Luft.

→ Zwei-Phasen-System, das aus dem Gas *und* den Teilchen besteht

- **Aerosolpartikel:**
Die schwebenden Partikel (Tröpfchen, Staubteilchen etc.)

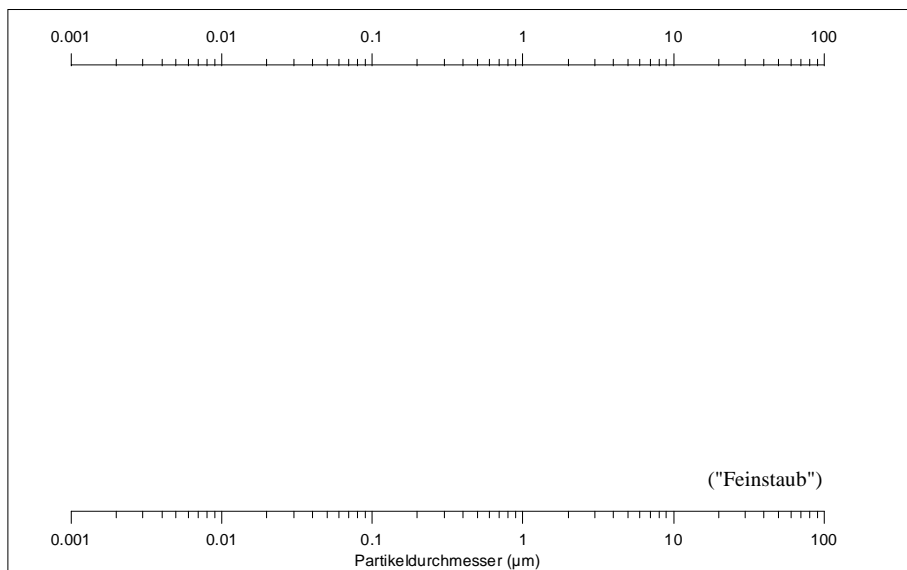
2

Häufig verwendete Begriffe für Aerosole:

- Staub:** Aerosol aus festen Partikel
entstanden durch mechanische Prozesse
- 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)
- Bioaerosol:** Aerosole biologischen Ursprungs
Pollen, Sporen, Viren, Bakterien...

3

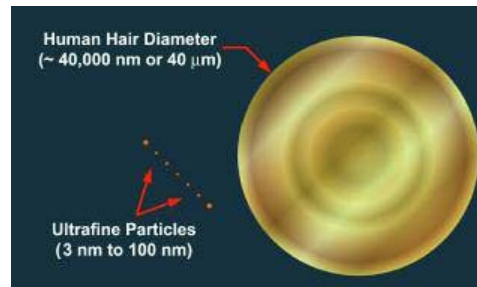
Übliche Bezeichnungen für die Größenbereiche von Aerosolpartikel



4

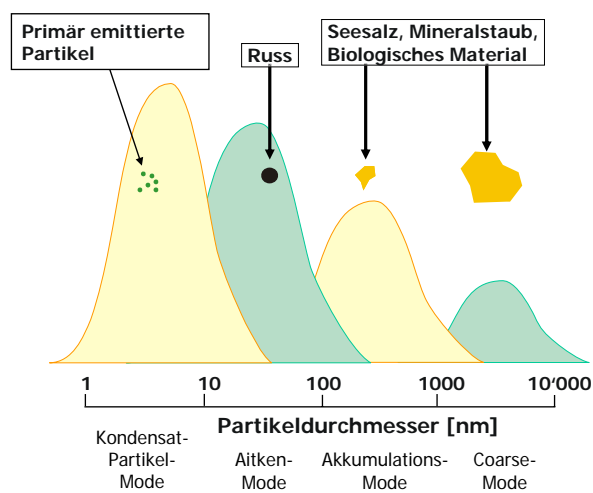
Nanopartikel

(hier im Größenvergleich zum Durchmesser eines menschlichen Haares) kommen im Dieselaabgas mit der größten Anzahlkonzentration vor!



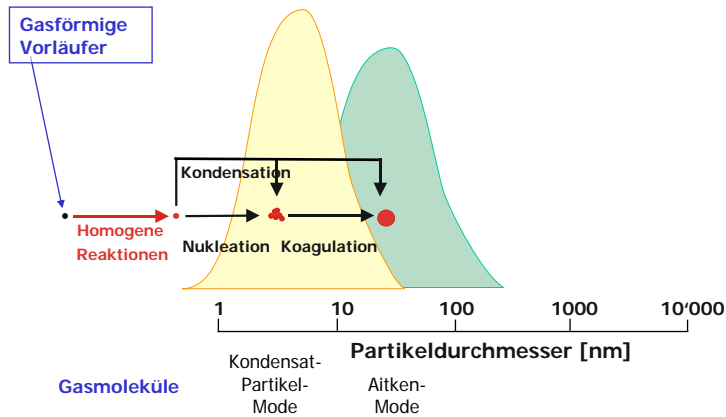
5

Primäre Aerosolpartikel



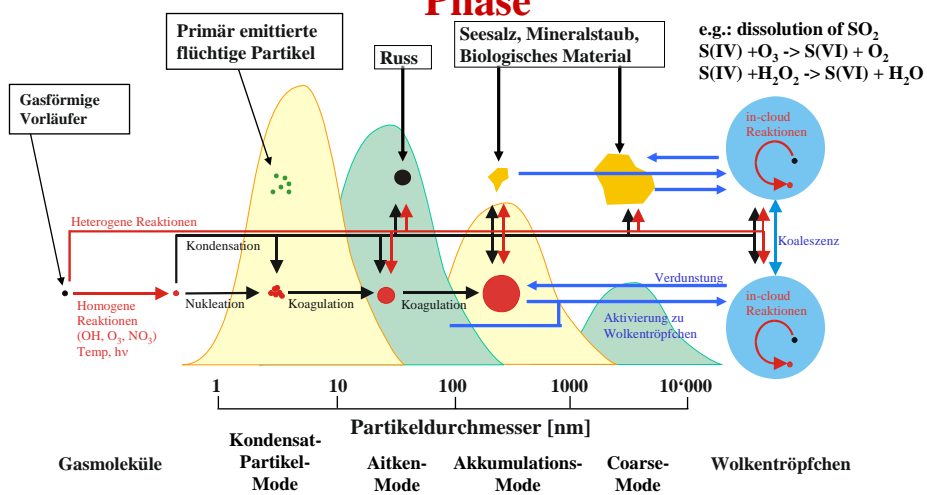
6

Sekundäre Aerosolpartikel



7

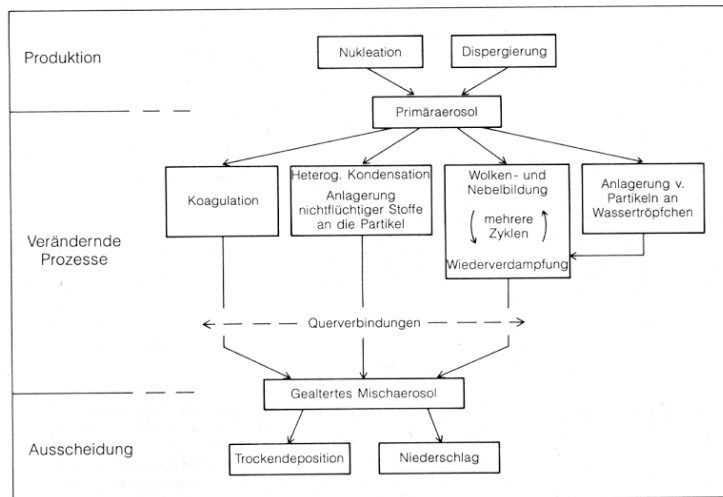
Reaktionen in der flüssigen Phase



8

Lebenslauf und Senken

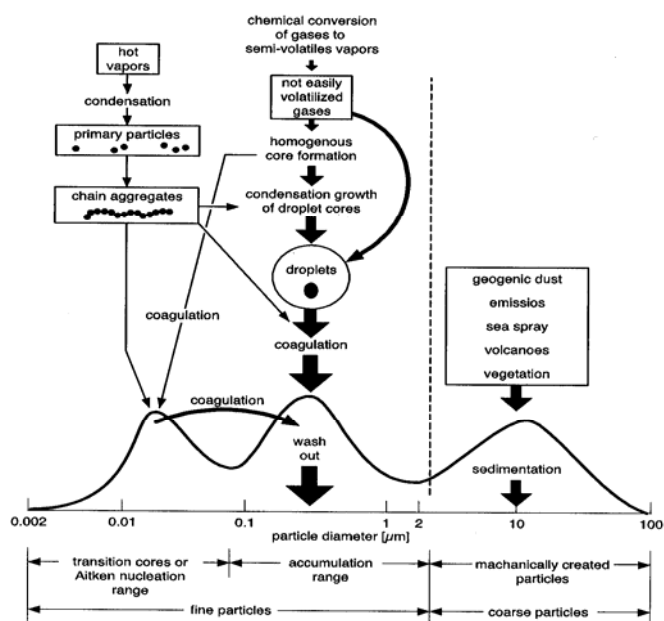
Umwandlungsprozesse von Aerosolpartikeln in der Troposphäre



Aus: W. Roedel, *Physik unserer Umwelt: Die Atmosphäre*, 1992, S. 377

9

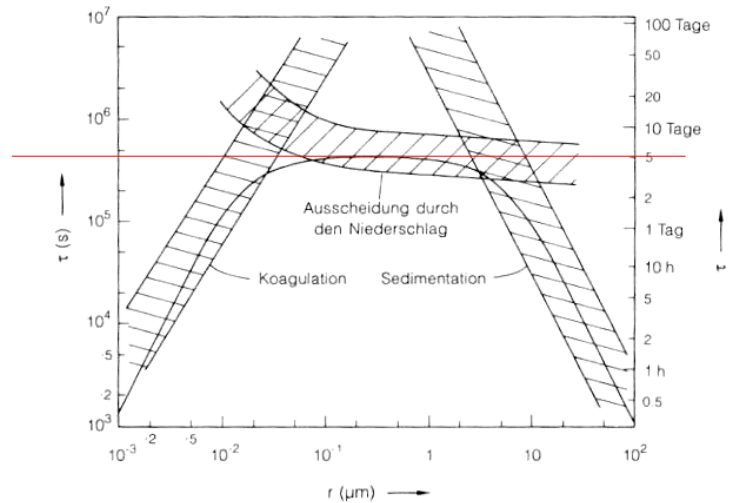
Umwandlungsprozesse von Aerosolpartikel in der Troposphäre



10

Lebensdauer von Aerosolpartikel

(nach Jaenicke, 1998)



Aus: W. Roedel, *Physik unserer Umwelt: Die Atmosphäre*, 1992, S. 382

11

Beispiel: Pollen

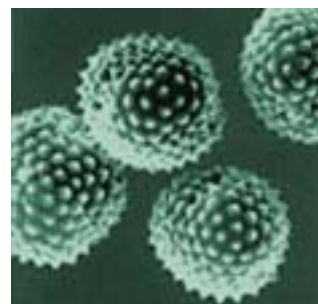
Größe: 3 - 100 μm

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:
- gesundheitliches Problem für Allergiker (Heuschnupfen)



12

Beispiel: **Meersalz**

Größe: 200 nm bis 10 µm

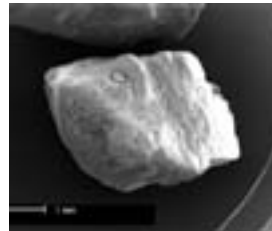
Quellen: Zersprühung von Meerwasser
beispielsweise bei Brandung oder
bei Wellengang (Gischt)

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



13

Beispiel: **Ammoniumsulfat ((NH₄)₂SO₄)**

Größe: ca. 100 nm

Quellen: diverse:
entsteht erst durch chemische
Umwandlung in der Atmosphäre
→ *sekundäres Aerosol*.

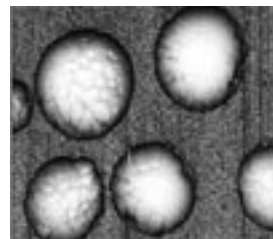
Vorläufer-Gase: SO₂ aus der
Verbrennung fossiler Brennstoffe,
NH₃ aus Industrie, Landwirtschaft

Aussehen: kompakt, weiß

Lebensdauer:
rund eine Woche

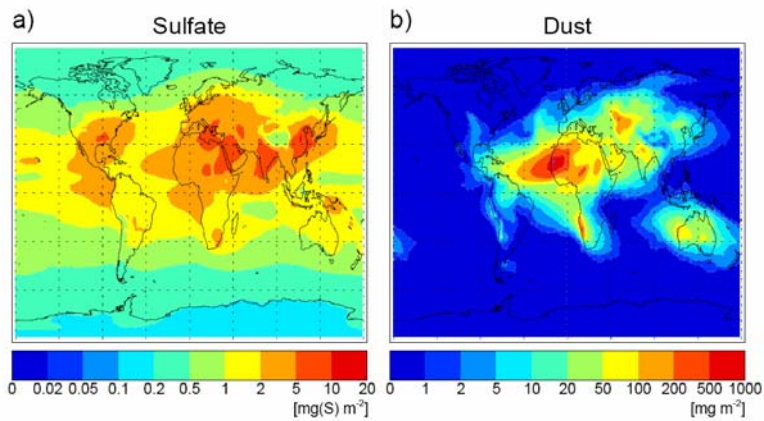
weitere Eigenschaften:

- gut wasserlöslich und damit gut wolkenbildend



14

Globale Verteilung



Aus globalem Klimamodell ECHAM5-HAM, mit Messdaten als Eingangsparameter

Aus: P. Stier, Dissertation, Hamburg 2004

15

Aerosolpartikel sind wichtig für:

- **Unser Klima**
Wolkenbildung, direkter und indirekter Aerosoleffekt
- **Unsere Gesundheit**
Aerosolpartikel können gesundheitsschädlich sein "Feinstaubdebatte,"
Medizinische Forschung (Übertragung von Wirkstoffen)

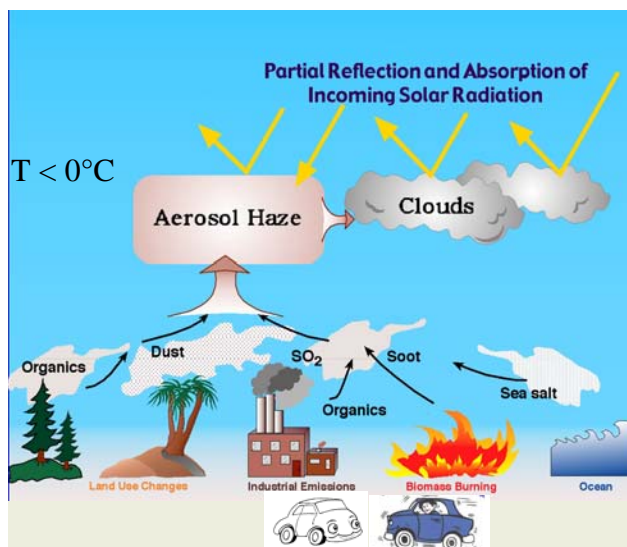
16

Wolkenbildung

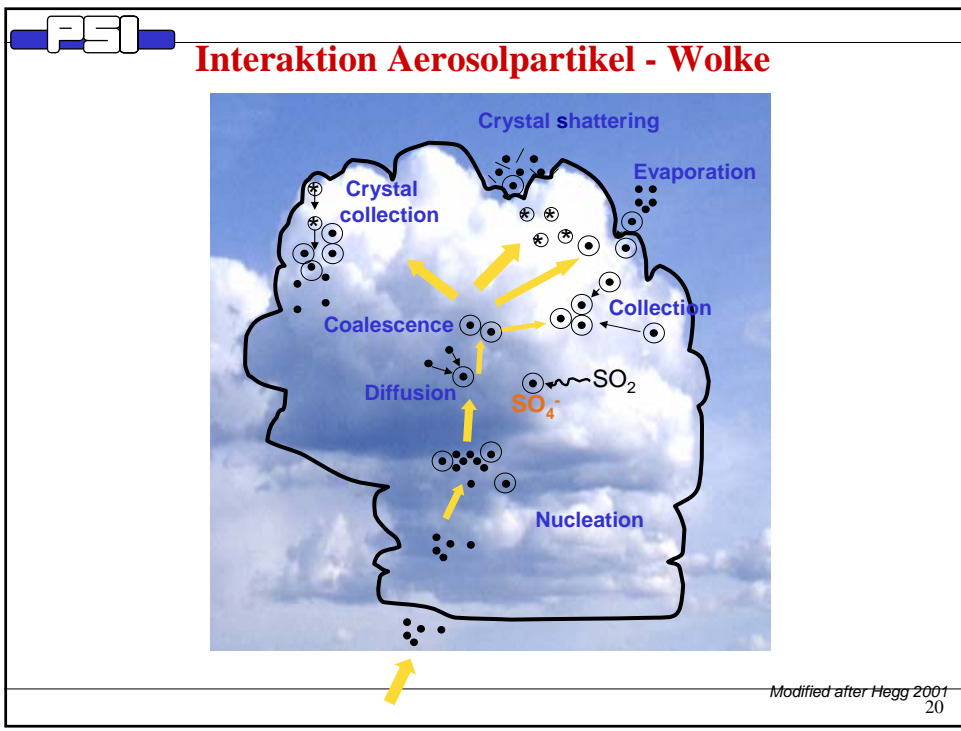
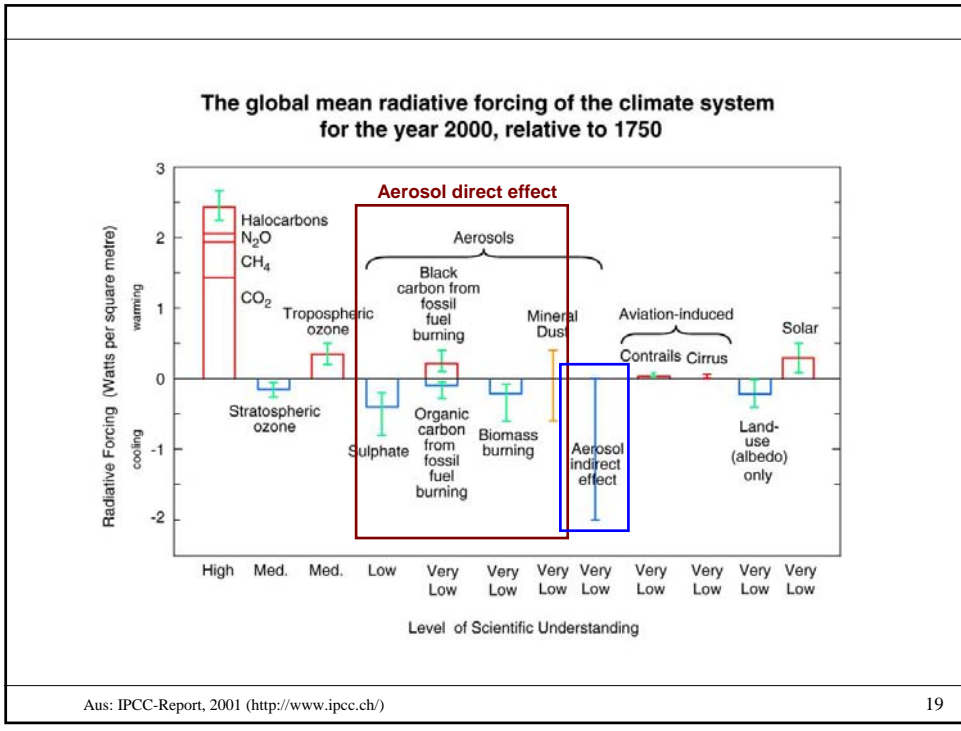
- Da reines Wasser erst bei sehr hoher Übersättigung Tröpfchen bildet, gäbe es ohne Aerosolpartikel keine Wolken
- Die Eignung eines Aerosolpartikels als Wolkenkondensationskeim (Cloud Condensation Nucleus, CCN) hängt von seiner Größe (physikalische Eigenschaft) und seiner Zusammensetzung (chemische Eigenschaft) ab

17

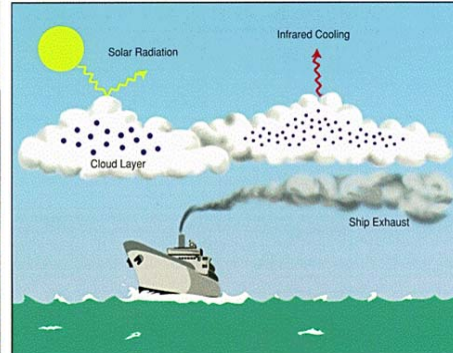
Der Klimaantrieb des troposphärischen Aerosols



18



Shiptracks



Satellitenaufnahme (bei einer Wellenlänge von $3.7 \mu\text{m}$) vom Pazifik an der Westküste von Kalifornien. Der Satellit sieht eine fast kontinuierliche Wolkenbedeckung (grau) mit einer Anzahl von Linien (weiss/hell), die sich durch eine grössere Reflektivität auszeichnen. Diese sogenannten "Schiffsspuren" (ship tracks) kommen durch die von den Schiffsmotoren ausgestossenen Aerosole zustande. Messungen haben gezeigt, dass die erhöhten Aerosolkonzentrationen zu einer höheren Konzentration von Wolkentröpfchen bei gleichzeitiger Reduktion der Wolkentröpfchengrösse führen, und damit zu der vom Satelliten beobachteten erhöhten Reflektivität dieser Wolken.

21

Aerosolpartikel sind wichtig für:

- Unser Klima

Wolkenbildung, direkter und indirekter Aerosoleffekt

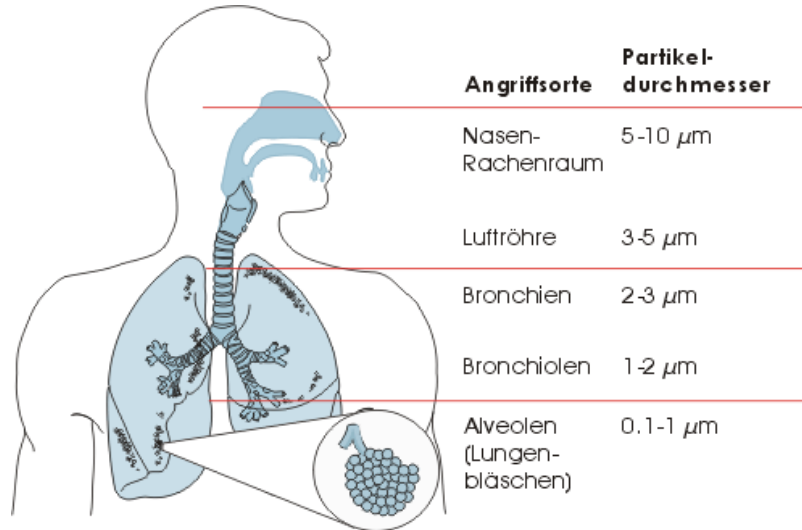
- Unsere Gesundheit

Aerosolpartikel können gesundheitsschädlich sein "Feinstaubdebatte,"

Medizinische Forschung (Übertragung von Wirkstoffen)

22

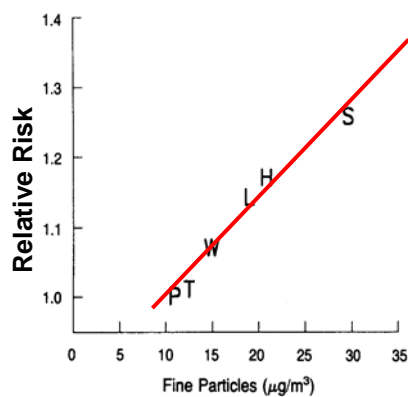
Die ultrafeinen Partikel dringen tief in unsere Lungen ein!



Quelle: www.zueri-luft.ch 23

Epidemiologische Studien zeigen eine Beziehung zwischen erhöhter Sterblichkeit und langfristiger mittlerer Schadstoffbelastung (PM_{2.5})

Harvard Six-City Cohort Study, Dockery et al, NEJM 1993; 329 (24):1753-9



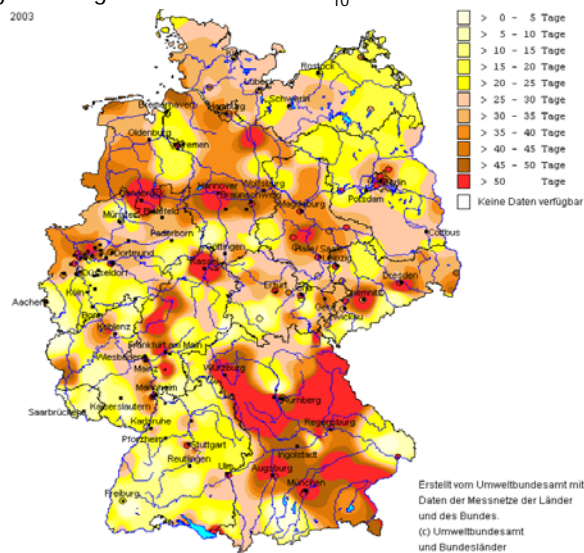
UNECE.ppt 24

EU-Feinstaub(PM₁₀)-Grenzwerte ab 1.1. 2005

- 1.) Der ab dem 1. Januar 2005 einzuhaltende Tagesmittelwert für PM₁₀ beträgt 50 µg/m³ bei 35 zugelassenen Überschreitungen im Kalenderjahr.
- 2.) Ab dem Jahre 2005 beträgt der Jahresmittelwert für PM₁₀ 40 µg/m³.

25

Anzahl der Tage mit Tagesmittelwerte der PM₁₀-Massenkonzentration > 50µg/m³

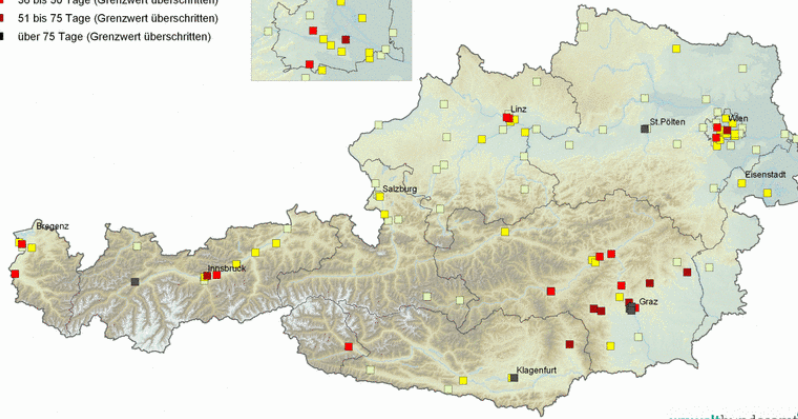


Die vom Umweltbundesamt zusammengestellten Karten und Daten zur aktuellen Immissionssituation dienen der orientierenden Information der Bevölkerung. Auf Grund der weiträumigen Betrachtung ist eine kleinräumige Interpretation nicht zulässig.

26

PM10: Anzahl der Tage mit Tagesmittelwerten über 50 µg/m³, 2004

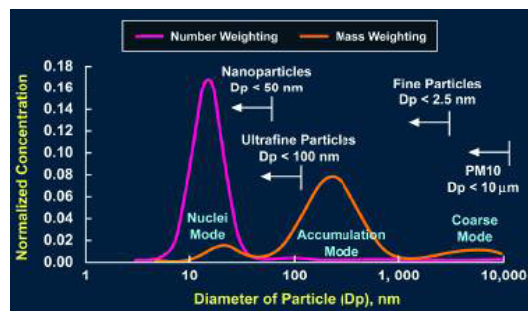
- bis 20 Tage
- 21 bis 35 Tage
- 36 bis 50 Tage (Grenzwert überschritten)
- 51 bis 75 Tage (Grenzwert überschritten)
- über 75 Tage (Grenzwert überschritten)



umweltbundesamt

Ist PM10 das richtige Maß?

„Bei der PM10 Messmethode fallen die Nanopartikel nicht ins Gewicht“



Typische Größenverteilung von Diesel-Abgas
Nanopartikel kommen mit größter Anzahlkonzentration vor

Nanopartikel

Nanopartikel sind zu klein und zu flüchtig, um abgebildet werden zu können. Die genaue chemische Zusammensetzung ist unklar.



- Größe:** < 50 nm (50×10^{-9} 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 (insbesondere Diesel-Abgas) oder biogenen Emissionen.
- Aussehen:** kugelförmig, vermutlich flüssig

29

Nanopartikel

Lebensdauer:

wenige Stunden. Die kurze Lebensdauer ist insbesondere dadurch begründet, dass die Nanopartikel rasch mit größeren Partikel 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 gesundheitsgefährdend sein.

30

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

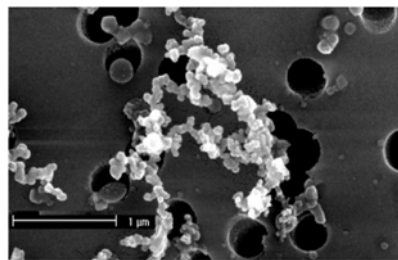
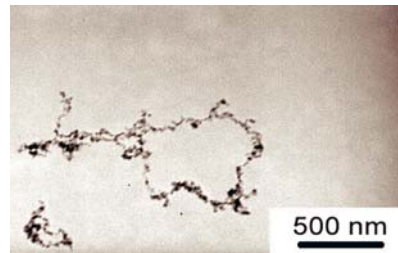


Bild: Günter Helas, MPI Chemie Mainz

31

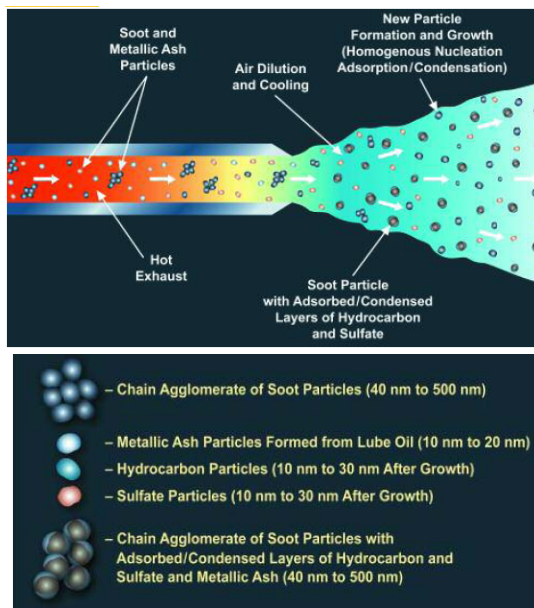
Rußpartikel

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:

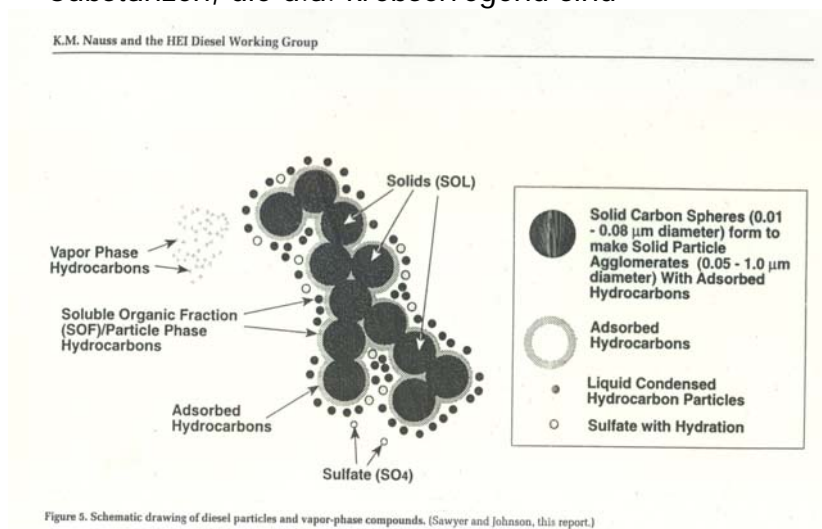
- krebserregend.
- gelangen tief in die Lungen
- absorbieren Sonnenlicht (erwärmender direkter Klimaeffekt)
- Frische Russpartikel sind hydrophob, das heißt wasserunlöslich, während gealterte Russpartikel hygroskopischer sind, sie können also besser Wasser anlagern

32



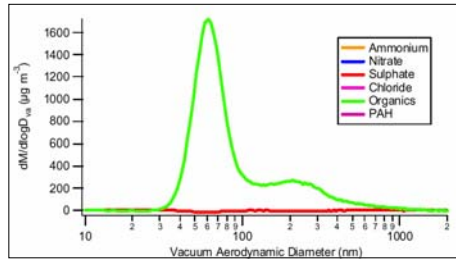
Atmospheric dilution and cooling of hot diesel exhaust may trigger the nucleation of new particles such as semi-volatile hydrocarbons and sulfuric acid.

Dieselpartikel sind Russ-Agglomerate, beladen mit Substanzen, die u.a. krebserregend sind



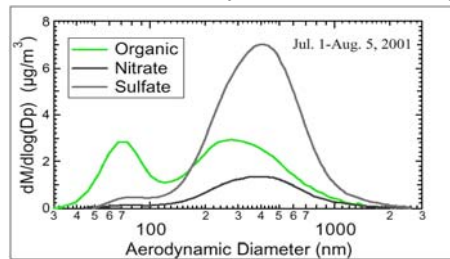
Diesel Engine

M. Alexander, PNNL



Urban Air, New York City

F. Drewnick, K. Demerjian, ASRC SUNY Albany



Die kleinsten Partikel verschwinden mit zunehmenden Abstand zur Quelle (Abnahme durch Koagulation)

35

Zusammenfassung

- Aerosolpartikel sind wichtig für unser Klima und für unsere Gesundheit
- Der Aerosolpartikeldurchmesser entscheidet wie tief die Partikel in den menschlichen Atemtrakt eindringen
- Rußpartikel und insbesondere Nanopartikel, die mit großer Anzahl im Diesel - Abgas vorkommen sind gut lungengängig und gelangen bis in die Alveolen der Lunge
- Die EU-verbindliche Messgröße PM10 erfasst die Masse aller Partikel < 10 Mikrometer. Die Nanopartikel werden bei dieser Messmethodik kaum berücksichtigt
- Dieselpartikel bestehen aus einem komplexen Gemisch von Ruß, unverbrannten Kohlenwasserstoffen, Sulfat, kondensierten organischen Verbindungen und anderen Stoffen, die für den Menschen krebserregend bzw. toxisch sind. Die genaue Zusammensetzung ist allerdings noch nicht geklärt

36

In Zukunft wird es wichtig sein

- die Anzahl der ultrafeinen Partikel (Nanopartikel) flächendeckend zu messen (nicht nur die Masse der Partikel in Form von PM10 und PM2.5)
- Maßnahmen zu treffen, um die Umweltbelastung mit „Feinstaub“ insbesondere mit „Nanopartikel“ zu verringern
- z.B. mit bereits existierender Filtertechnologie den Feinstaub **und** die **ultrafeinen Partikel** im Dieselabgas herausfiltern (Vortrag von Dr. F. Legerer)