

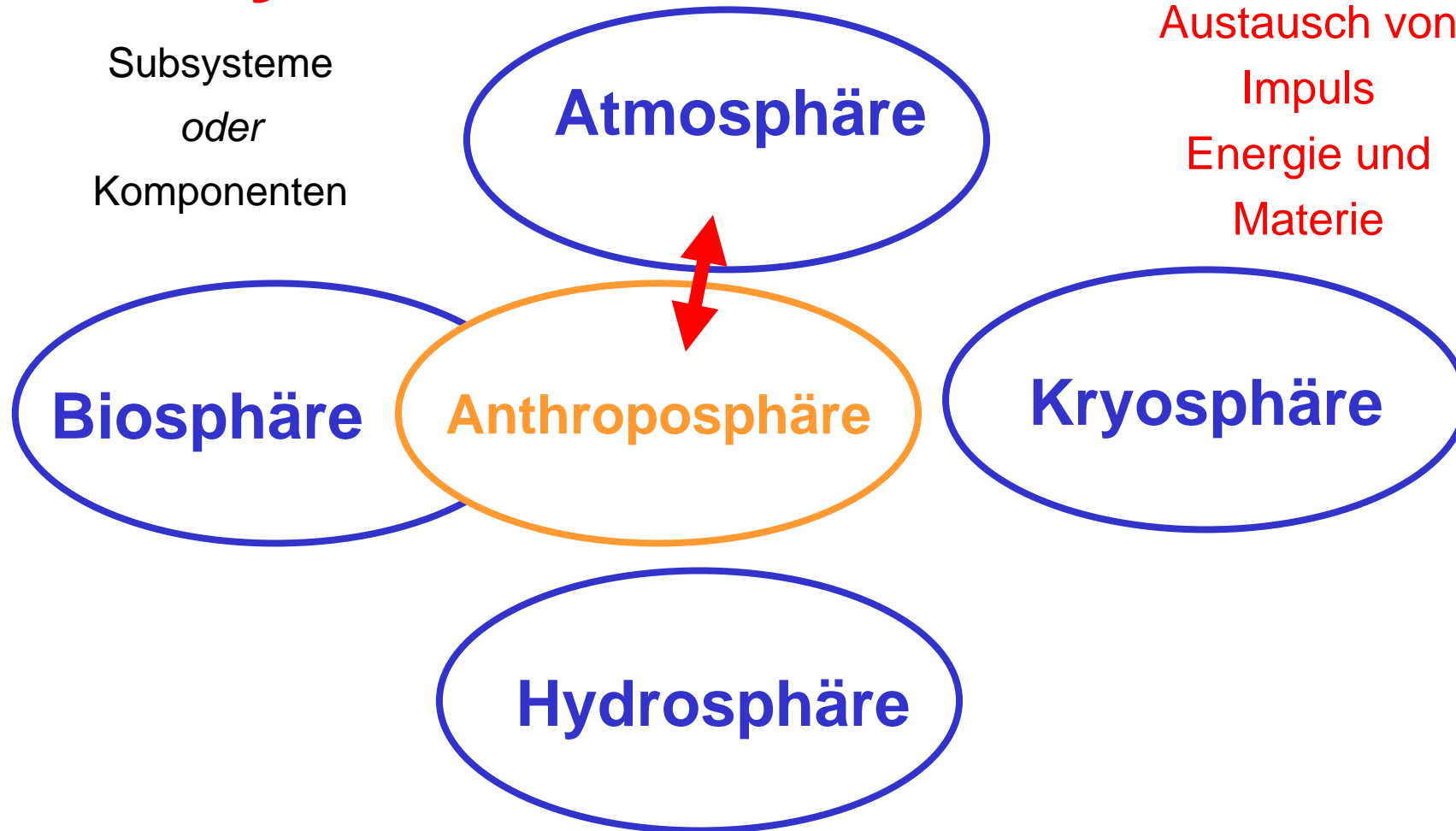
Die Atmosphäre als Schadstoffsenke

- Spurenstoffkreisläufe
 - Verteilung
 - Senken
- Störung natürlicher Kreisläufe durch den Menschen
- Was ist ein Schadstoff? – Wirkungsmechanismen
- Spurenstoffeintrag natürlich vs. anthropogen



Erdsystem

Subsysteme
oder
Komponenten



Koppelung der „Sphären“
durch
Austausch von
Impuls
Energie und
Materie

„Stoffwechsel“

als materieller Austauschprozess zwischen **Gesellschaft und Natur**

Spurenstoffkreisläufe

Luft = 78 Vol% Stickstoff, 21 Vol % Sauerstoff, 0.95 Vol% Argon

& Spurenstoffe wie

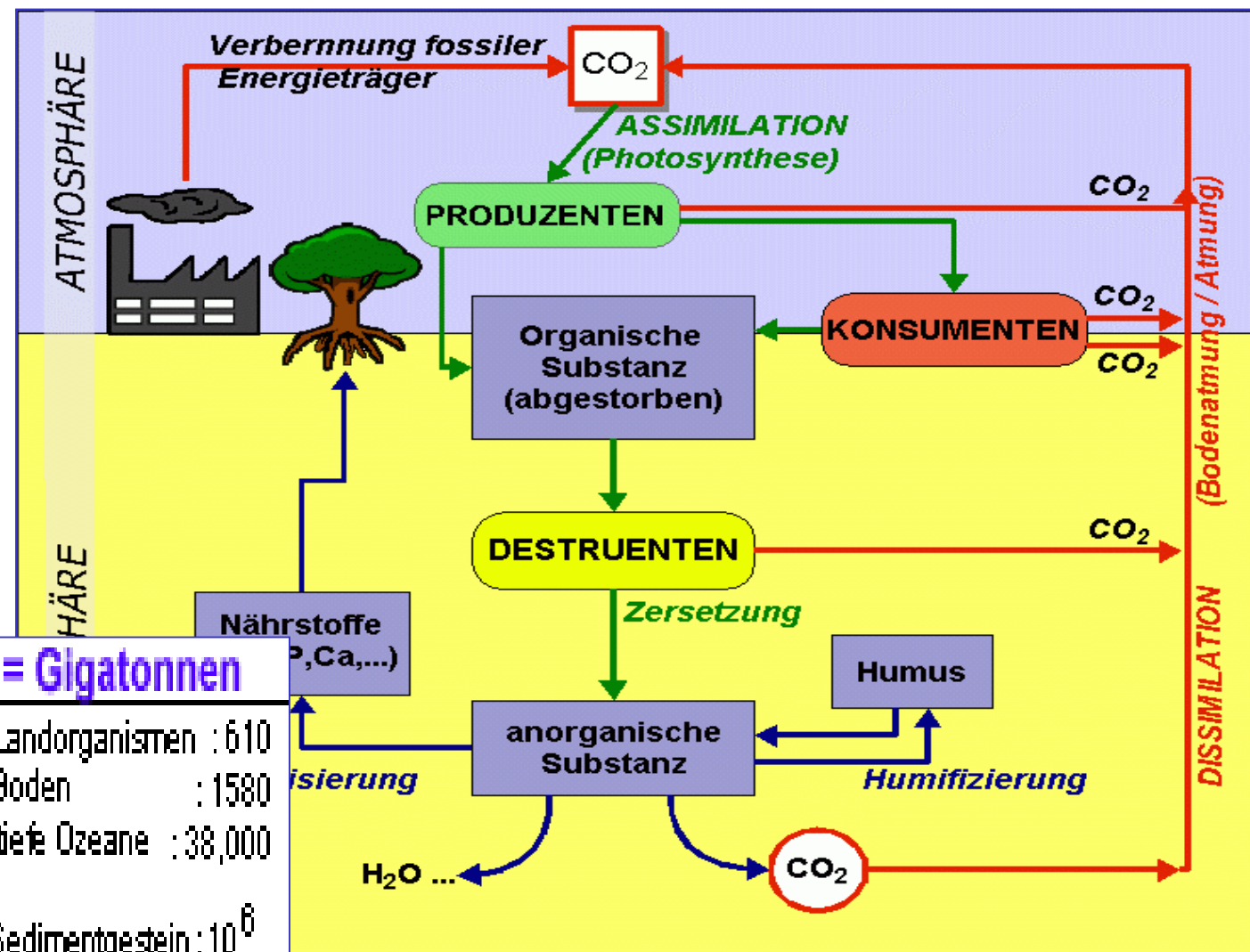
0.03 Vol% Kohlendioxide,
etc.

Stoffkreislauf

Durch biologische, chemische und geologische Prozesse zirkulieren wichtige Elemente in und durch die verschiedenen Komponenten des Erdsystems.

zB: Vier Elemente, **Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff** machen mehr als 99% aller Atome des menschlichen Körpers aus

Der Kohlenstoffkreislauf ist die Umwandlung von C in seine verschiedenen Erscheinungsformen in der Biosphäre



Reservoir in Gt = Gigatonnen

Atmosphäre	: 750	Landorganismen	: 610
Warme Ozeane	: 620	Boden	: 1580
Kalte Ozeane	: 350	tiefe Ozeane	: 38,000
Organismen w. Meer	: 2		
Organismen k. Meer	: 1	Sedimentgestein	: 10^6

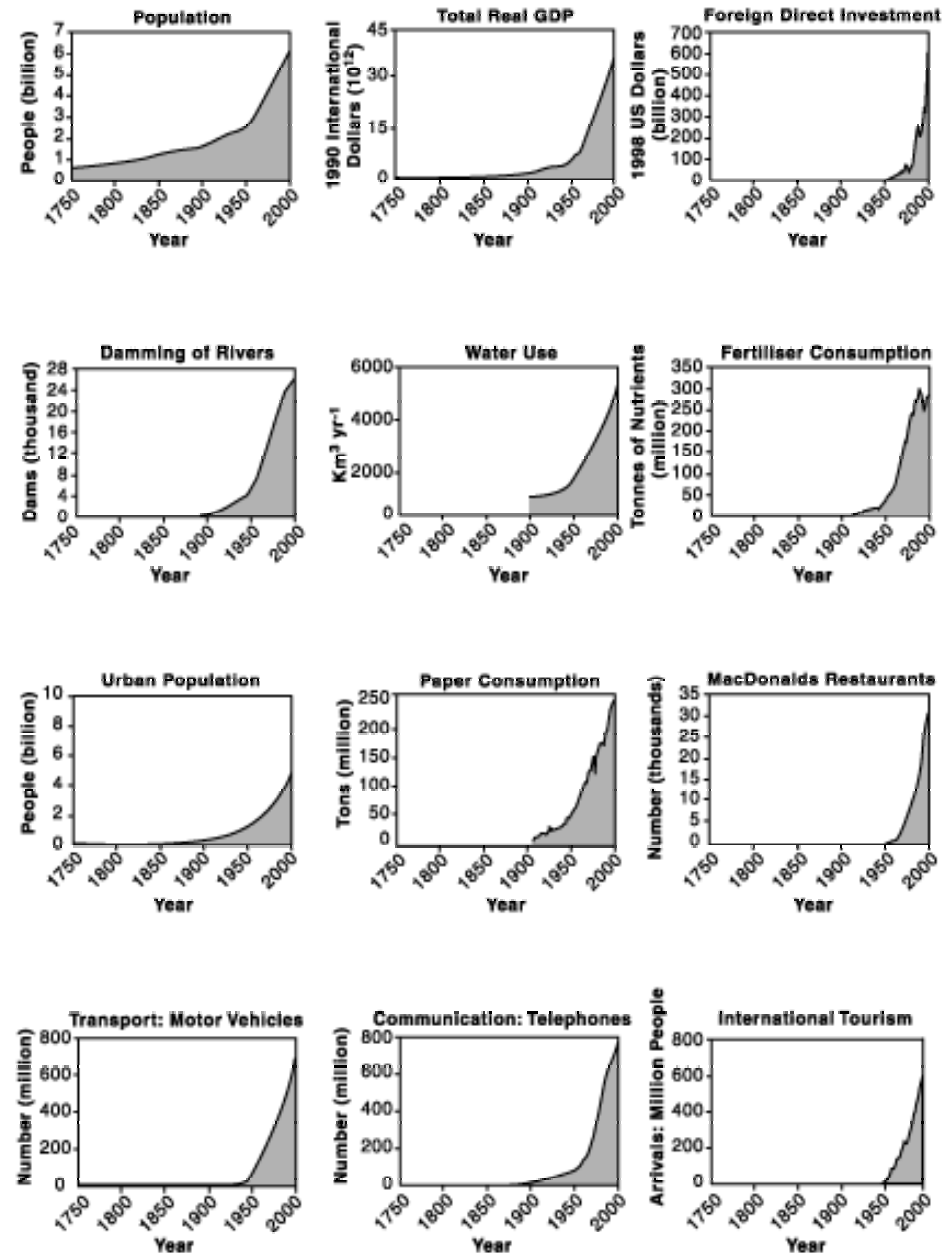
Spurenstoffkreisläufe

- sind komplex
- laufen auf verschiedenen Zeitskalen ab
- Elemente zirkulieren durch alle Subsysteme des Erdsystems
- Störungen wirken sich auch in anderen Subsystemen aus

Anthropogene Freisetzungen von gas- und partikelförmigen Substanzen in die Atmosphäre

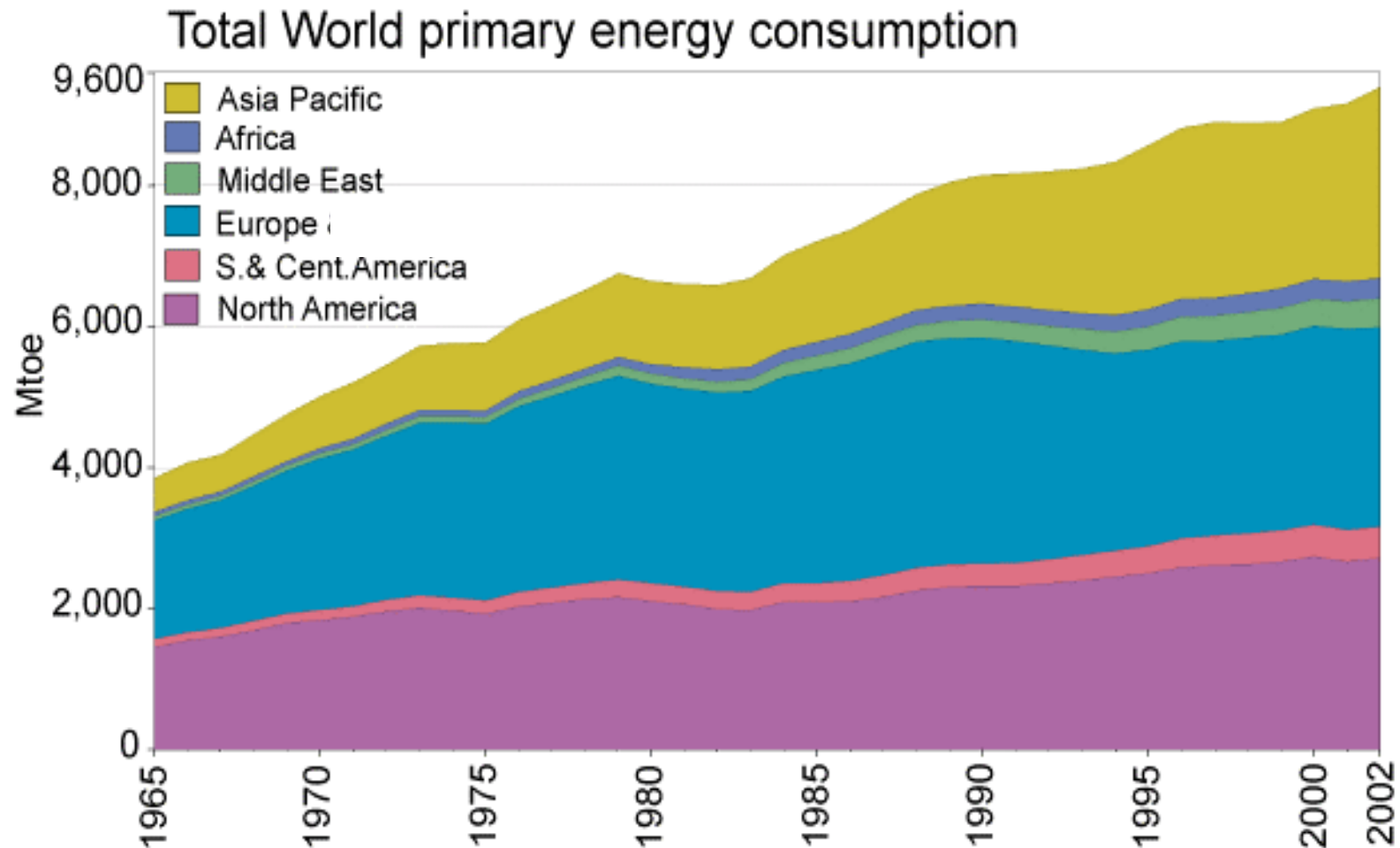
- Emission
- Verfrachtung
- Chemische Transformation und Phasenübergänge
- Entfernung aus der Atmosphäre
 - Auswaschen durch Niederschlag
 - Lösung und Dissoziation in Wasser
 - Aufnahme durch Pflanzen
 - Sorption am Erdboden

Global Change Indicators 1750-2000

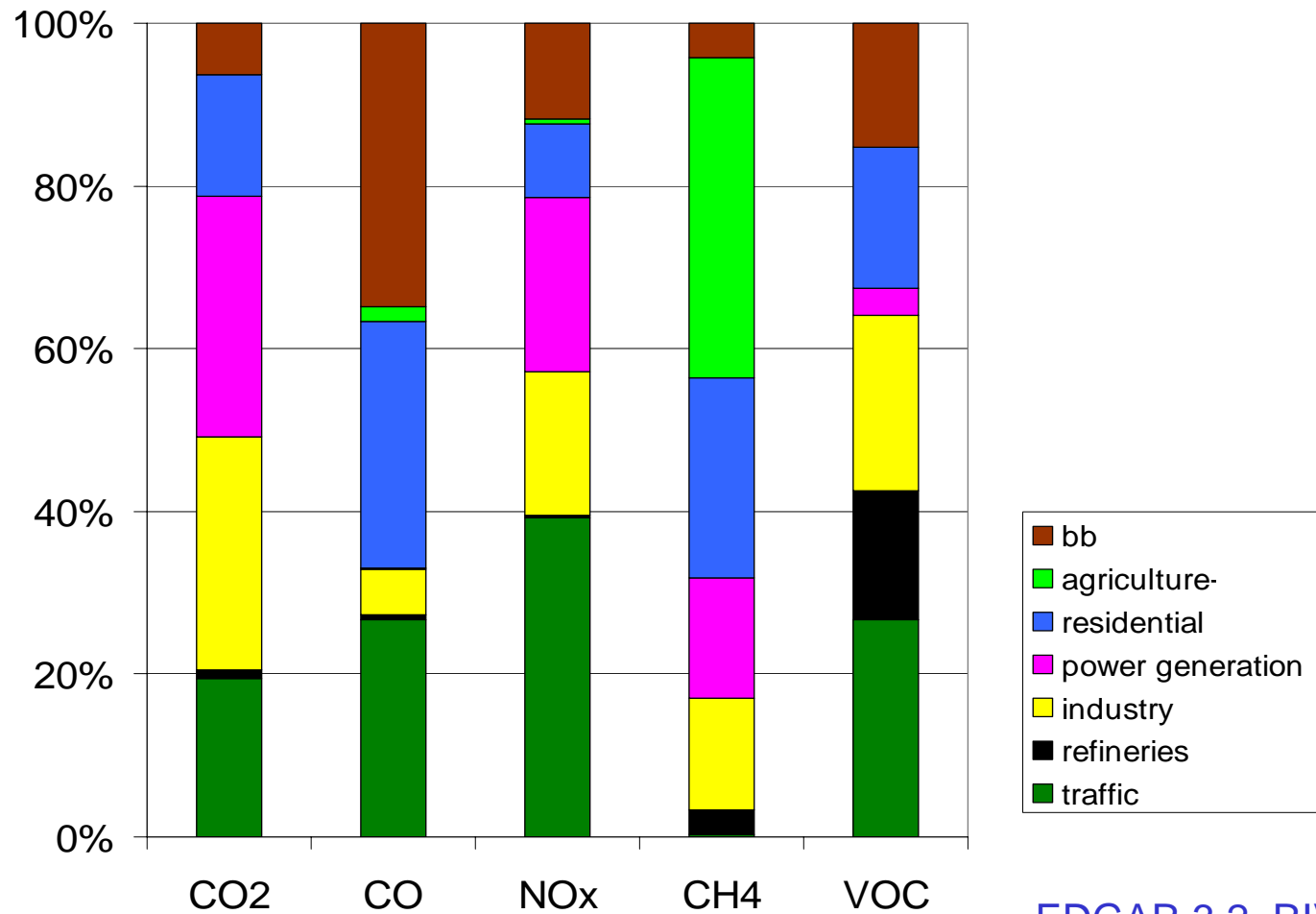


From: Steffen et al. 2004

World energy consumption



Beiträge einzelner Emittenten



EDGAR 3.2, RIVM, data for 1995



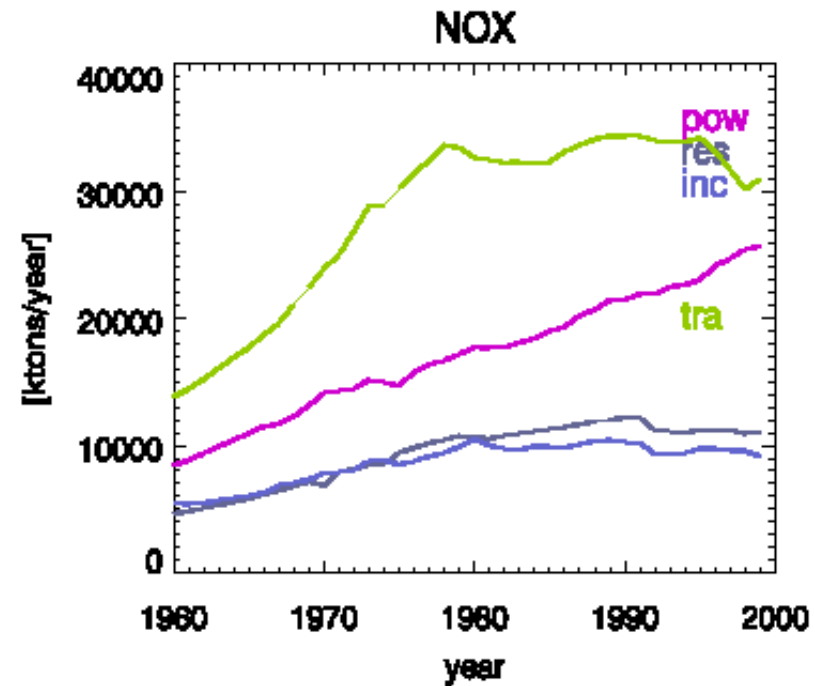
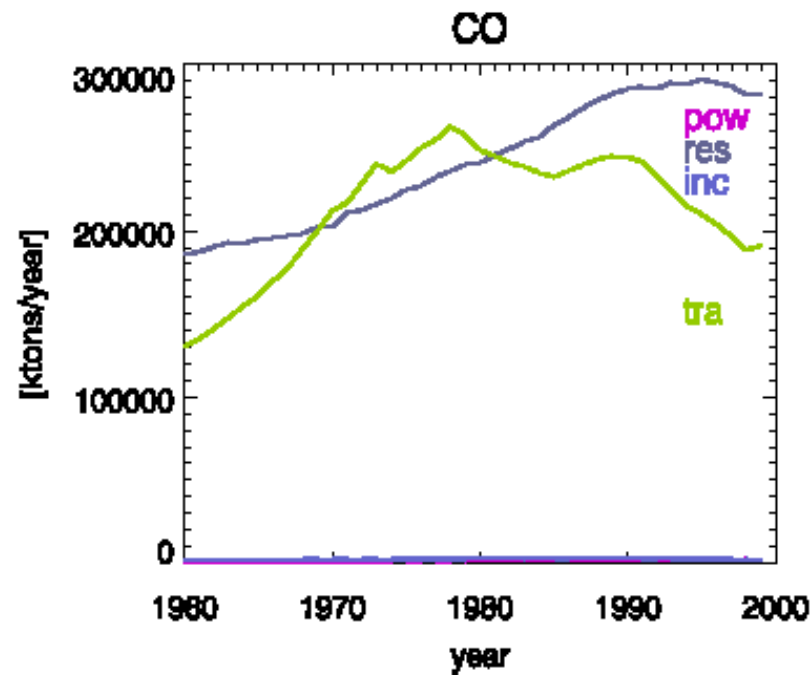
RETRO emissions 1960-2000

Energieerzeugung

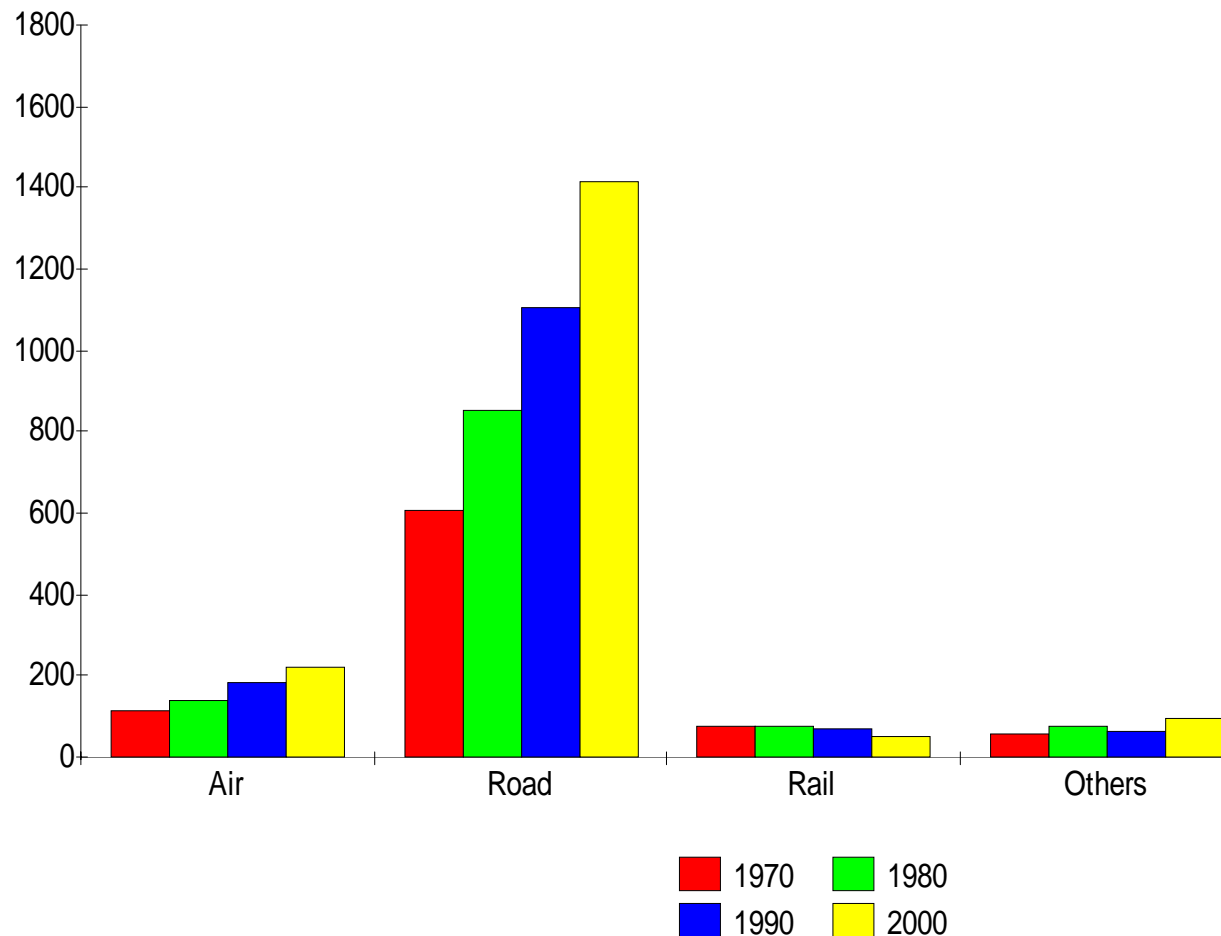
Industrie

Hausbrand

Verkehr



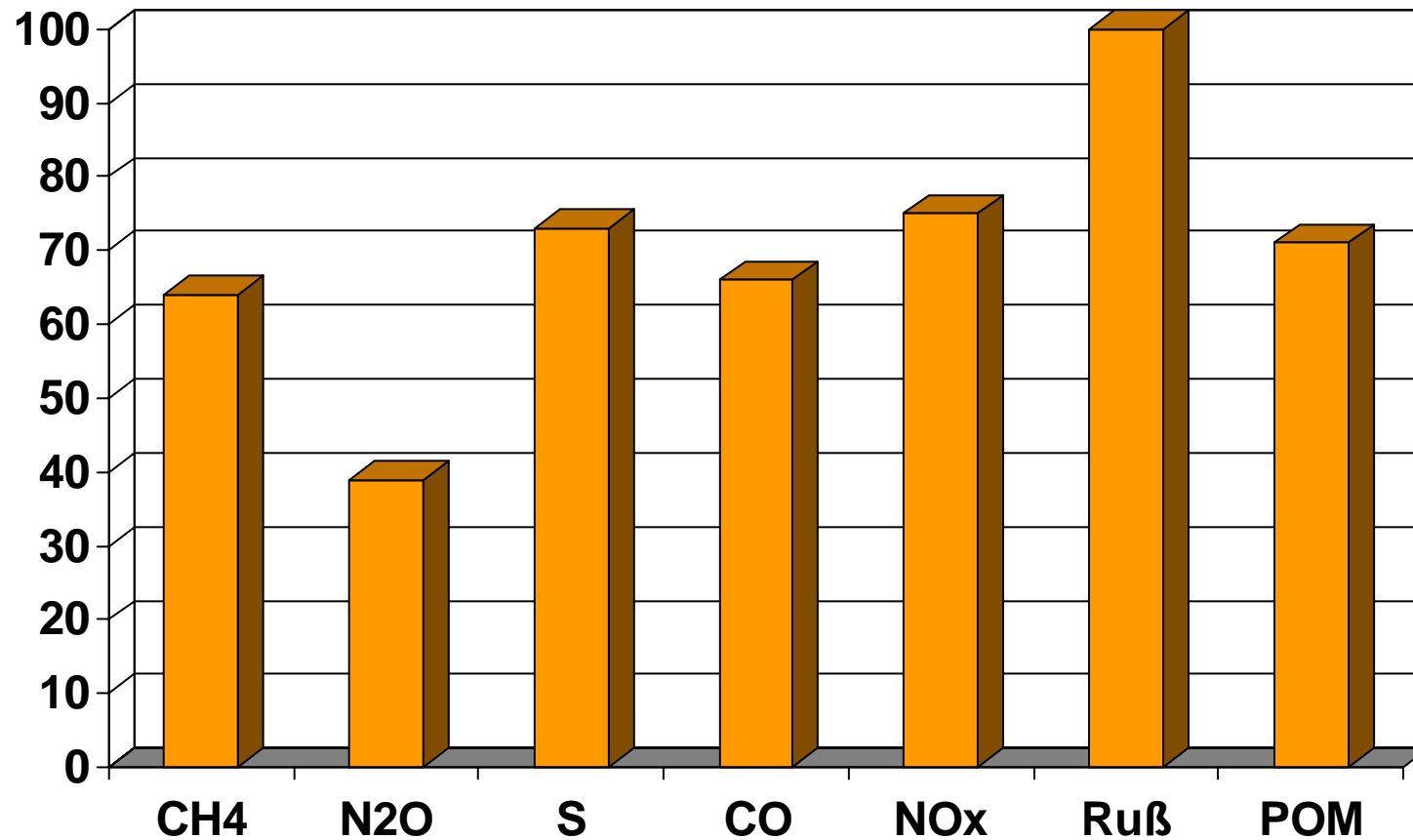
Energieverbrauch pro Verkehrssektor



OECD, 2000
Mio. t oil equiv.

Natürliche vs. Anthropogene Emissionen

anthr./total in %



Verfrachtung

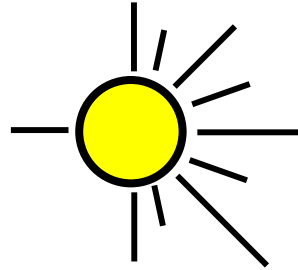
Charakteristische Austauschzeiten

- Vertikaltransport in Gewitterwolken 1 hr
- Austausch zwischen Grenzschicht und freier Troposphäre 2-10 days
- Vertikaler Austausch in der Troposphäre 1-4 weeks
- Durchmischung innerhalb eines Breitenkreises 2-4 weeks
- Durchmischung innerhalb einer Hemisphäre 2-6 months
- Durchmischung zwischen den Hemisphären 1 yr
- Austausch Stratosphäre-Troposphäre 1-3 yrs
- Transport von der Erdoberfläche bis zur Mesosphäre (~50-100 km) 5-8 yrs

Chemische Umwandlungen

durch

Photolyse

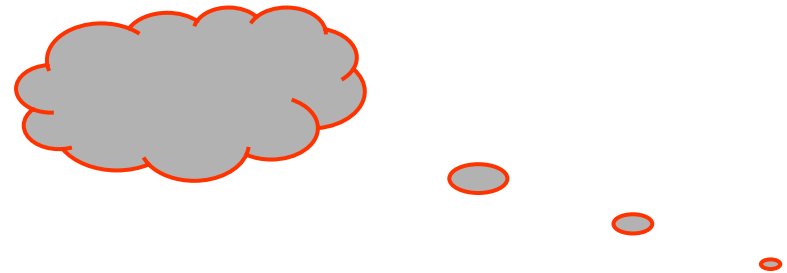


UV Licht

Reaktion mit
Radikalen

Hydroxyl-Radikal OH

Wolkentropfen
als chemische Reaktoren



Phasenübergänge

Einige Substanzen gehen meist in Abhängigkeit von Temperatur, Feuchte und Dampfdruck

von der Gas- in die Partikelphase über →
sekundäres Aerosol

- VOC (volatile organic compounds)
flüchtige organische Stoffe
- Sulfat gebildet aus Schwefeldioxid oder Dimethylsulfid
- Nitrat gebildet aus NO_x

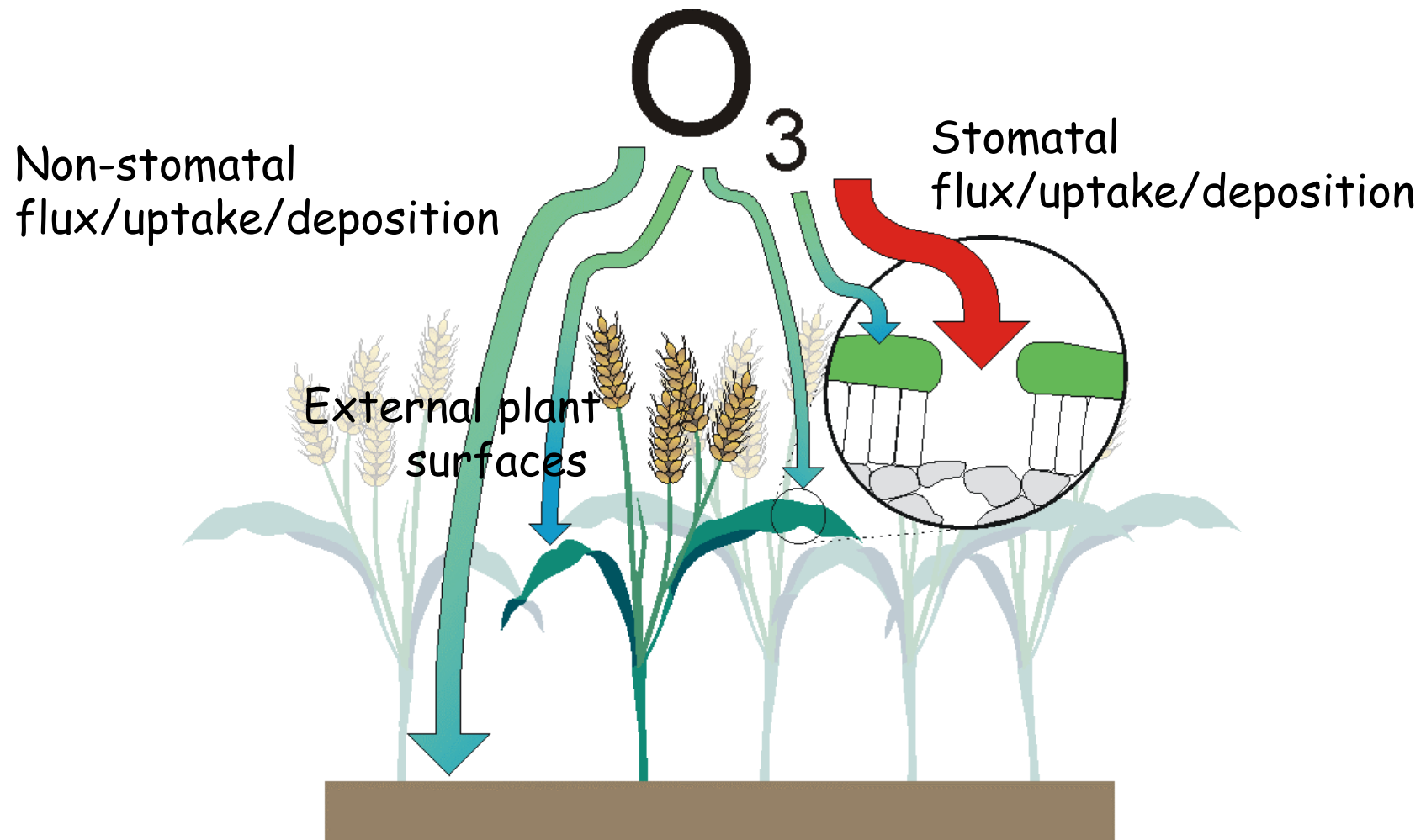
Senkenprozesse

- Auswaschen von Gasen und Aerosolen durch feste oder flüssige Niederschläge

Aerosole fungieren als Wolkenkondensationskerne
oder Eiskerne

- Aufnahme durch die Vegetation

Aufnahme von Gasen durch Sorption an Blattoberflächen und Stomata



Senkenprozesse

- Auswaschen von Gasen und Aerosolen durch feste oder flüssige Niederschläge

Aerosole fungieren als Wolkenkondensationskerne
oder Eiskerne

- Aufnahme durch die Vegetation
- Sorption am Erdboden

Aufgrund der unterschiedlichen physiko-chemischen Eigenschaften von Gasen reichen die Lebensdauern von 10^{-9} sec (OH) bis zu mehr als 1000 Jahren (SF_6)

Aerosole haben eine Lebensdauer zw. 3-7 Tagen

Welche Spurenstoffe sind gefährlich?

- Toxische, karzinogene, mutagene Stoffe
- Persistente und bioakkumulierende Stoffe
- Klimarelevante Stoffe

Zunahme von Asthma bei Kindern

Asthma prevalence in children over time (A = adolescents)

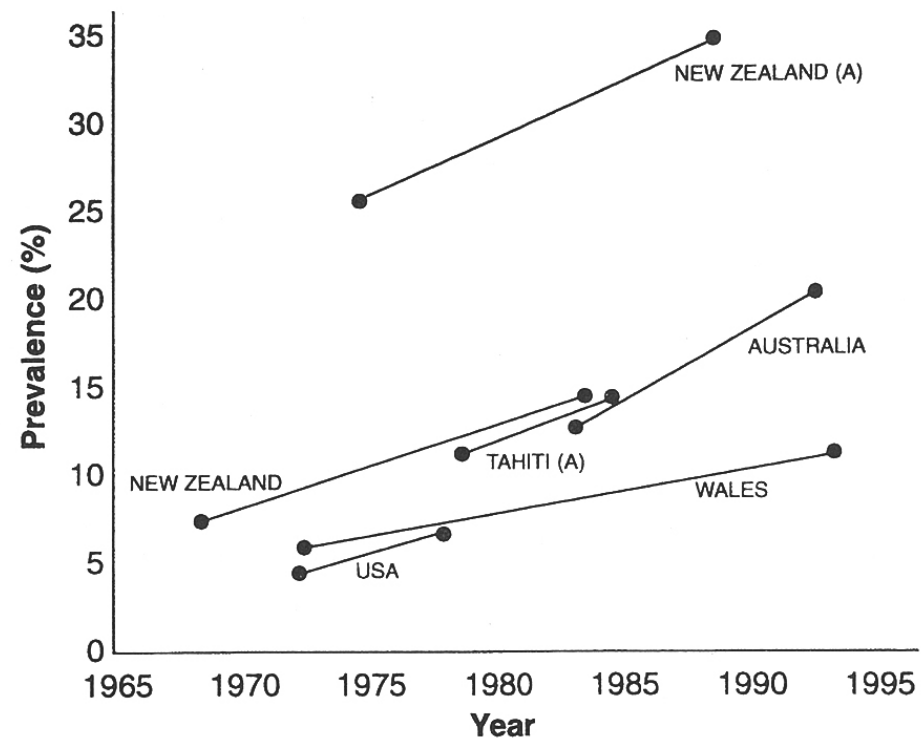


Fig. 1. Changes in asthma prevalence in children over time where comparable methodology is employed using paired studies.

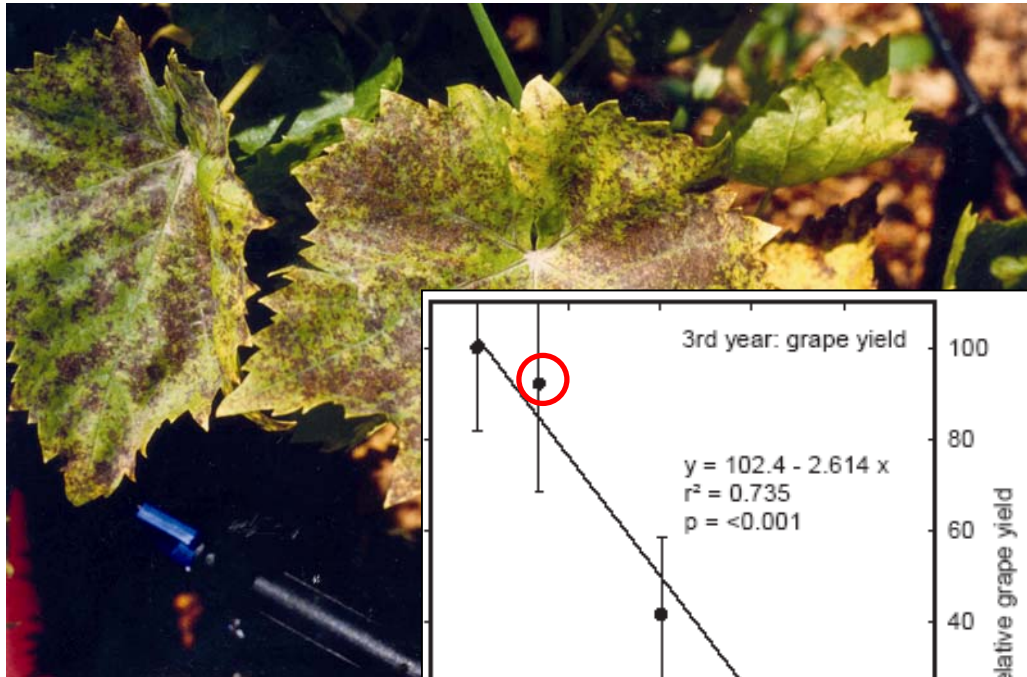
Auswirkungen auf Pflanzen

- Direkte, akute, pflanzen-toxische Wirkungen (z.B. Blattschäden) infolge hoher Ozon-Konzentrationen
- Indirekte, chronische Wirkungen (z.B. Eutrophierung, Versauerung) infolge langfristig hoher Depositionsraten mit Wirkungen über den Boden auf das gesamte Ökosystem.
- Ertragseinbußen

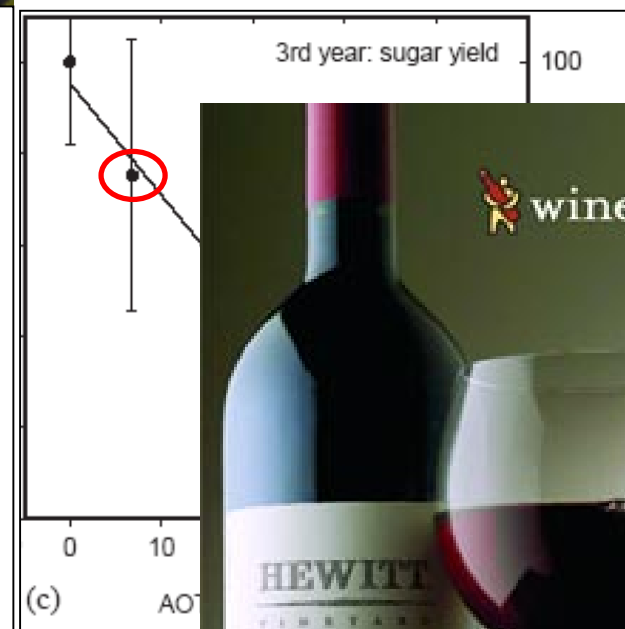
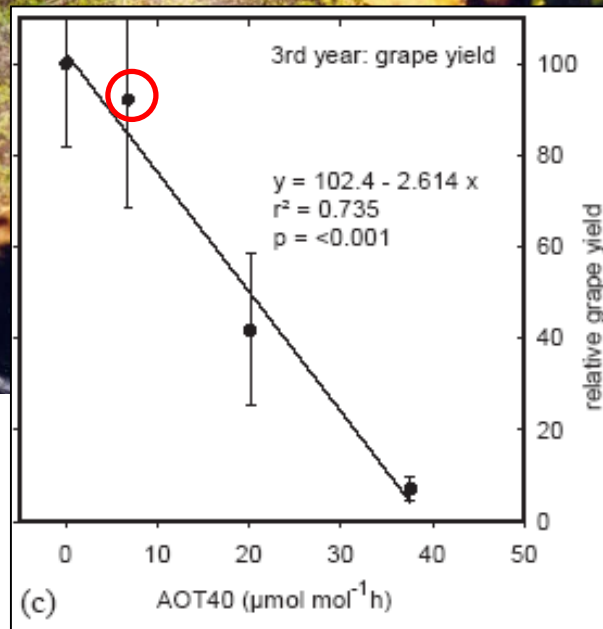


O₃ injury to wheat, **Pakistan** (courtesy of A. Wahid)

Ozone impacts on grapevine (*Vitis vinifera*)



Soja et al. (2004)
OTC experiments
30 km Vienna, Austria
4 treatments, CF, NF, +25 ppb, +50 ppb
Exposed for 3 years



Non-filtered (NF) air i.e. ambient

Consistently failed wine tasting tests



Schäden an Bauten

1702 → 1908 → 1968



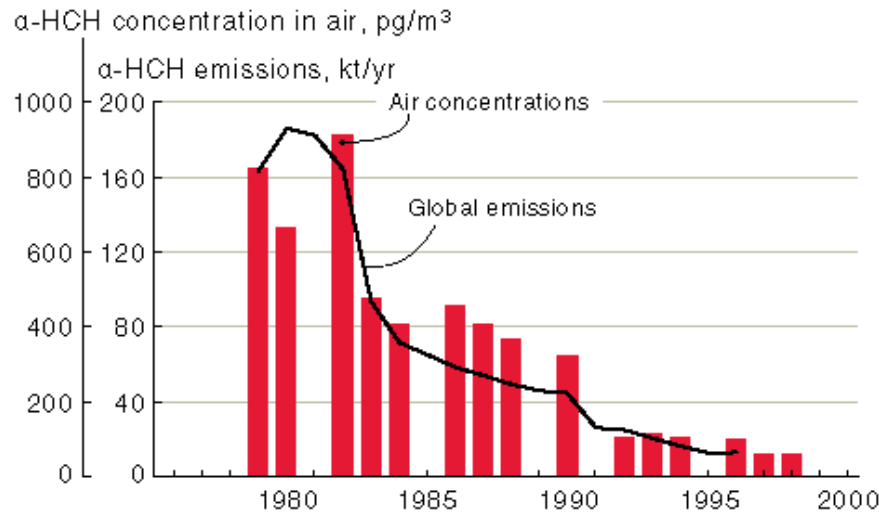
Sandstone figure over the portal of a castle in Westphalia, Germany

from Jacobson, 2002

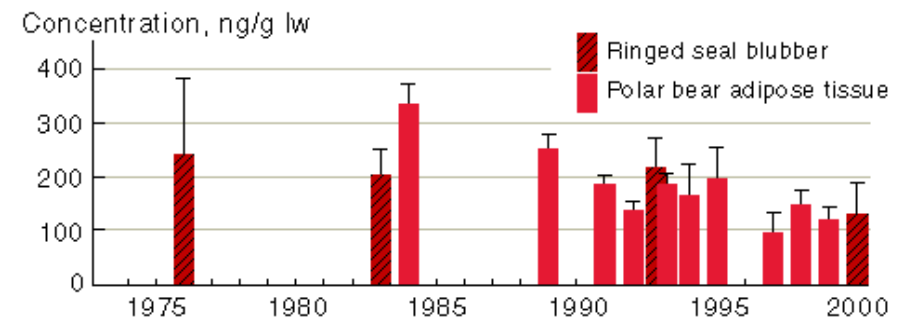
Was macht persistente Stoffe gefährlich?

- Werden nachträglich gefährliche Eigenschaften bekannt, ist der Schaden irreparabel
- Chronische Wirkungen lassen sich nicht mit Sicherheit ausschließen
- Durch Akkumulation können kritische Werte in Organismen überschritten werden

α - und γ -Hexachlorcyclohexan (LINDAN) *in Meerwasser und in Luft*



*Bioakkumulation:
Abnehmende Trends in Luft,
Wasser
und Sedimenten setzen sich in
Organismen
nicht fort:*



Konzentration im Fettgewebe von
Robben und Eisbären

Ursachen für Klimaänderungen

1. **Natürliche interne Klimaschwankungen**

z.B. bedingt durch die ozeanische Zirkulation und ihr Zusammenwirken mit der Atmosphäre oder durch Schwankungen in der Zirkulation der Atmosphäre selbst

2. **Natürliche externe Antriebsfaktoren**

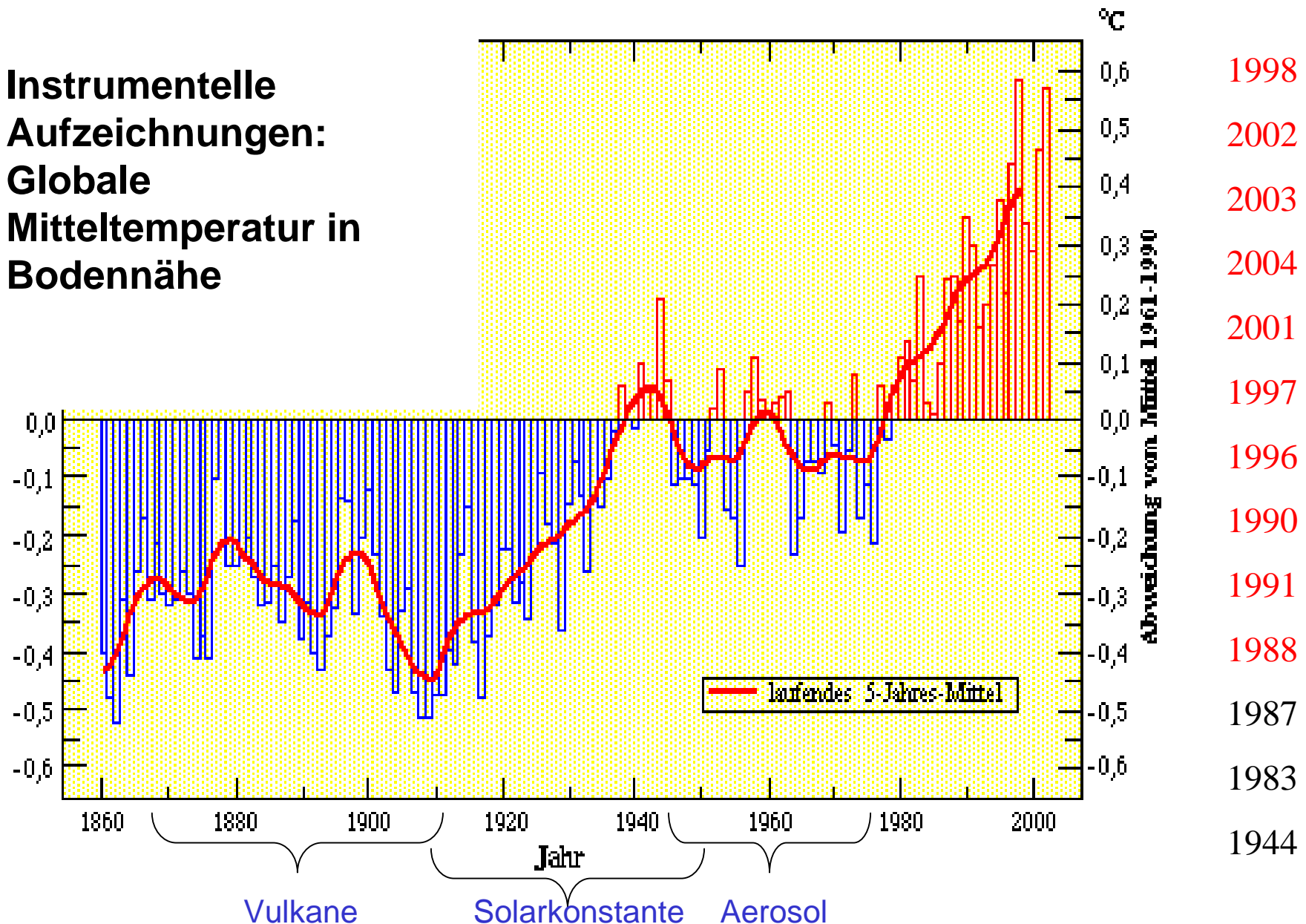
z.B. Schwankungen der Erdbahnparameter und der Intensität der Sonne; Vulkanausbrüche

3. **Anthropogene externe Antriebsfaktoren**

Emission von Treibhausgasen, Aerosolpartikeln und Landnutzung

**Instrumentelle
Aufzeichnungen:
Globale
Mitteltemperatur in
Bodennähe**

Hitliste seit 1861

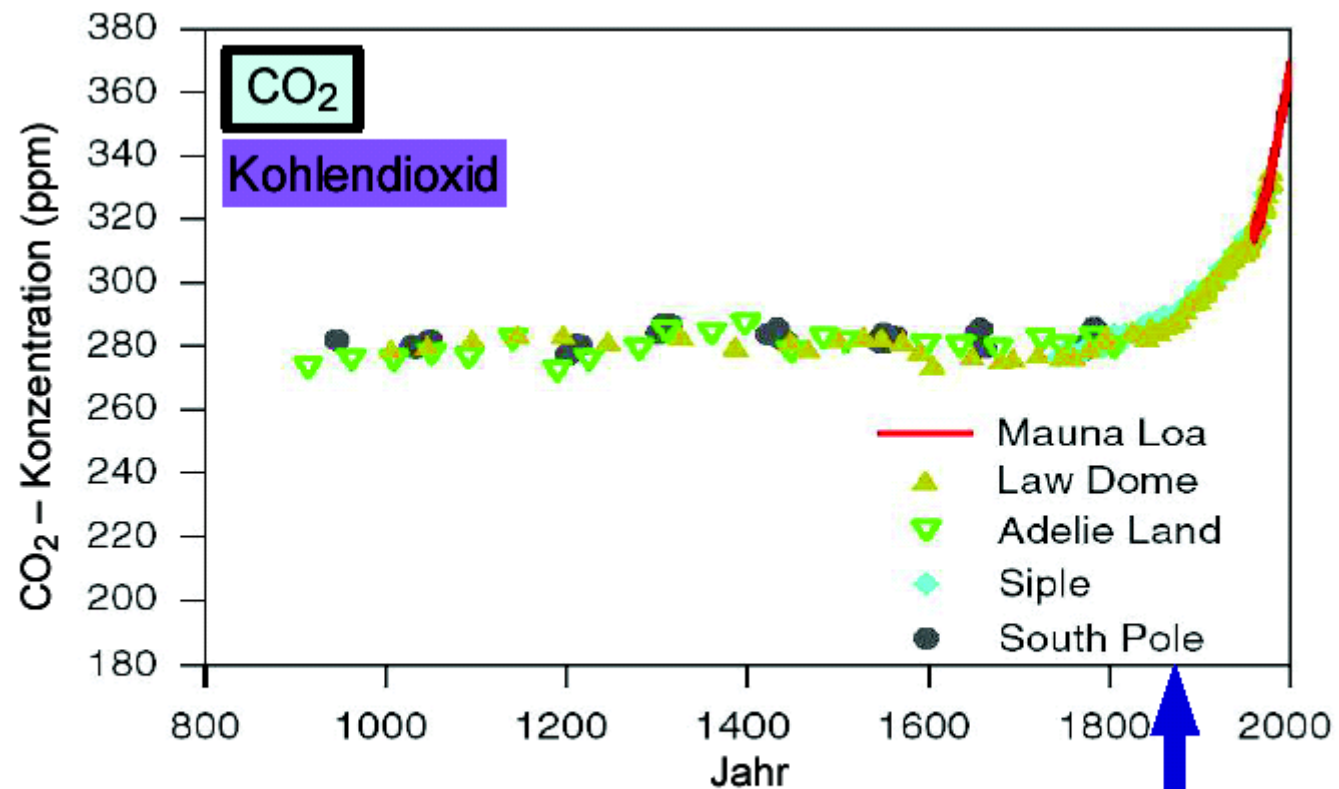


3. Anthropogene Antriebe

(= vom Menschen verursachte Antriebe)

- Treibhausgase
Absorbieren (=nehmen auf) und
emittieren (=geben ab) langwellige Strahlung
- Aerosole
Kleinste, flüssige oder feste Partikel streuen und
absorbieren Sonnenstrahlung
- Landnutzungsänderungen
Ackerbau, Weideland, Abholzung ändert Verdunstung
und Albedo des Erdbodens

Albedo = Anteil der einfallenden Sonnenstrahlung, der reflektiert wird



**Anstieg der CO₂-Konzentration
seit Beginn der Industrialisierung**

Zunahme/Jahr in 2002 und 2003 > 2 ppmv

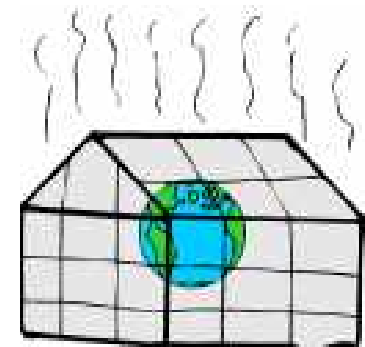
Treibhauseffekt

Ohne die Treibhauswirkung der Atmosphäre würde die globale Mitteltemperatur der Erde gegenwärtig nicht bei **+15 °C**, sondern bei **-18 °C** liegen

Das wichtigste Treibhausgas ist Wasserdampf
Bewirkt ~ 60% des Treibhauseffektes, CO₂ ~ 20%

Vom Menschen verursacht:

• Kohlendioxid	1.56 Wm ⁻²
• Methan	0.47 Wm ⁻²
• Distickstoffoxid	0.14 Wm ⁻²
• FCKWs	0.3 Wm ⁻²
• Ozon	0.3 Wm ⁻²



**Beispiel für
indirek-ten
Aerosol-effekte:
Schiffsrouten
unter marinem
Stratus
hinterlassen
hellere Wolken,
die weniger
Niesel
produzieren**

[Durkee et al., 2000]

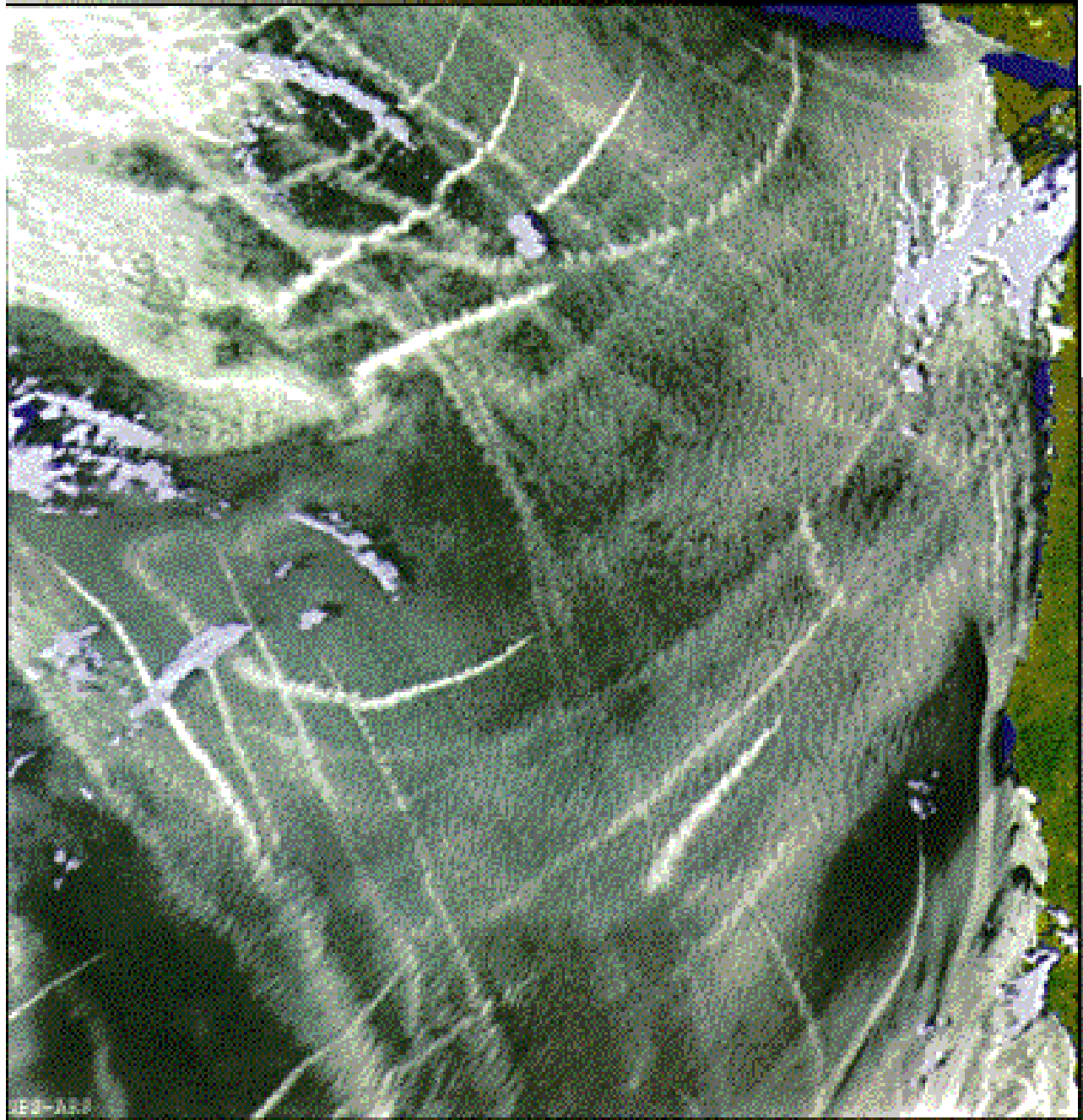


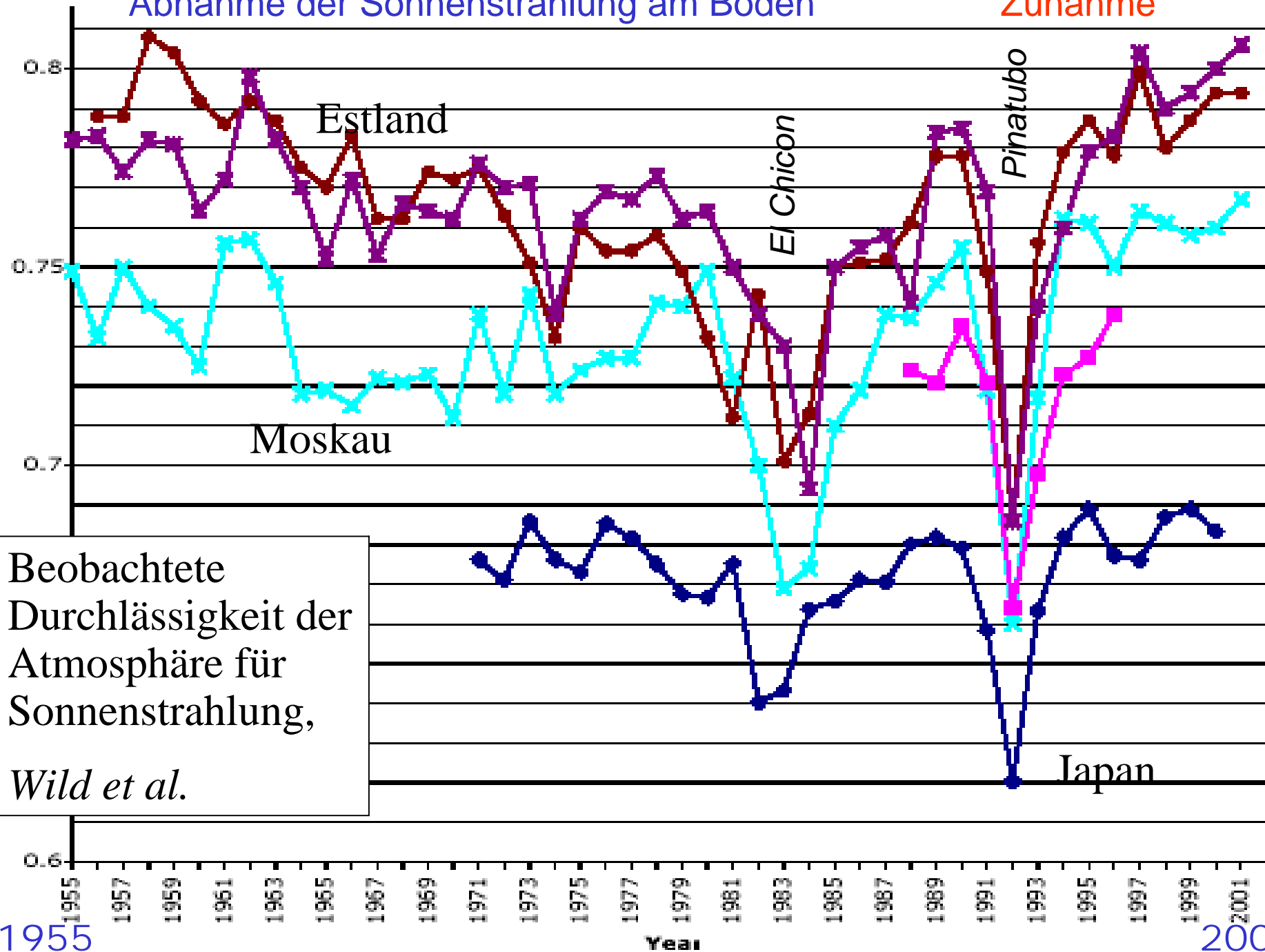
Figure 1: Ship tracks off the coast of Washington

Aerosol Effekte auf Eis- Wolken

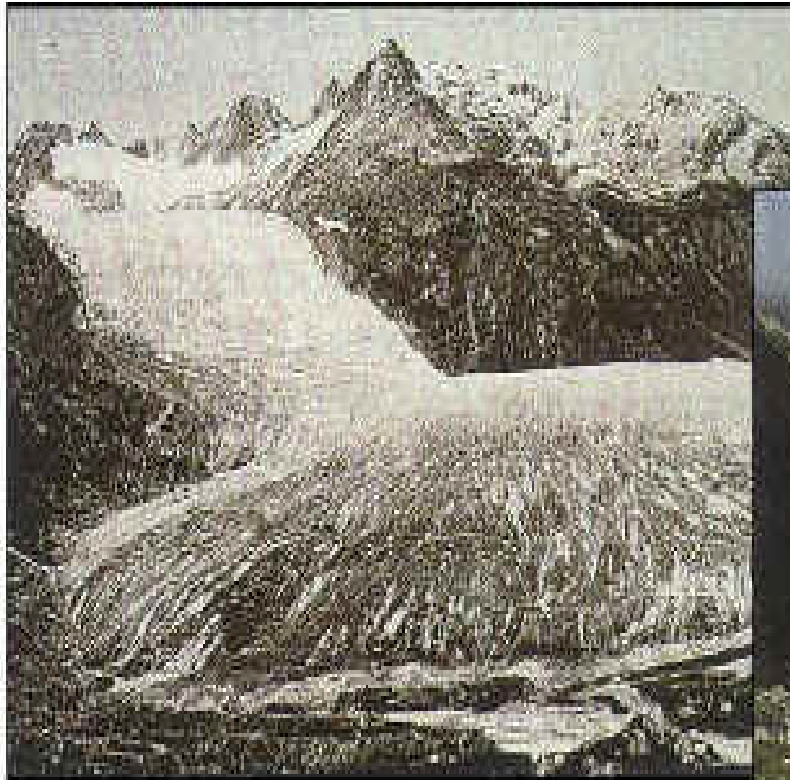


Abnahme der Sonnenstrahlung am Boden

Zunahme



Rückgang alpiner Gletscher



*Erste Fotografie des Rhônegletschers
(D. Dollfus-Ausset, 1840, reproduziert aus
Zumbühl und Holzhauser, 1988)*

1970

*Der Rhônegletscher 1970
(Foto: C.-D. Schönwiese, 1970)*



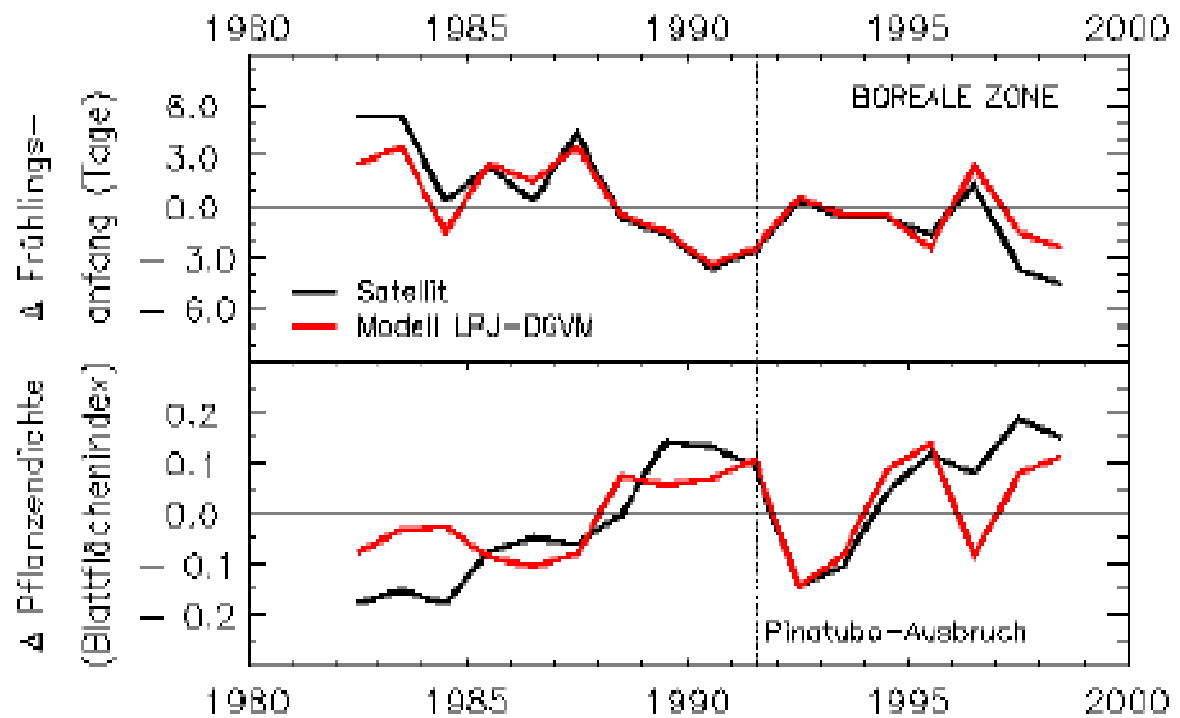
1940

Die Vegetation des hohen Nordens reagiert bereits auf Klimaveränderungen

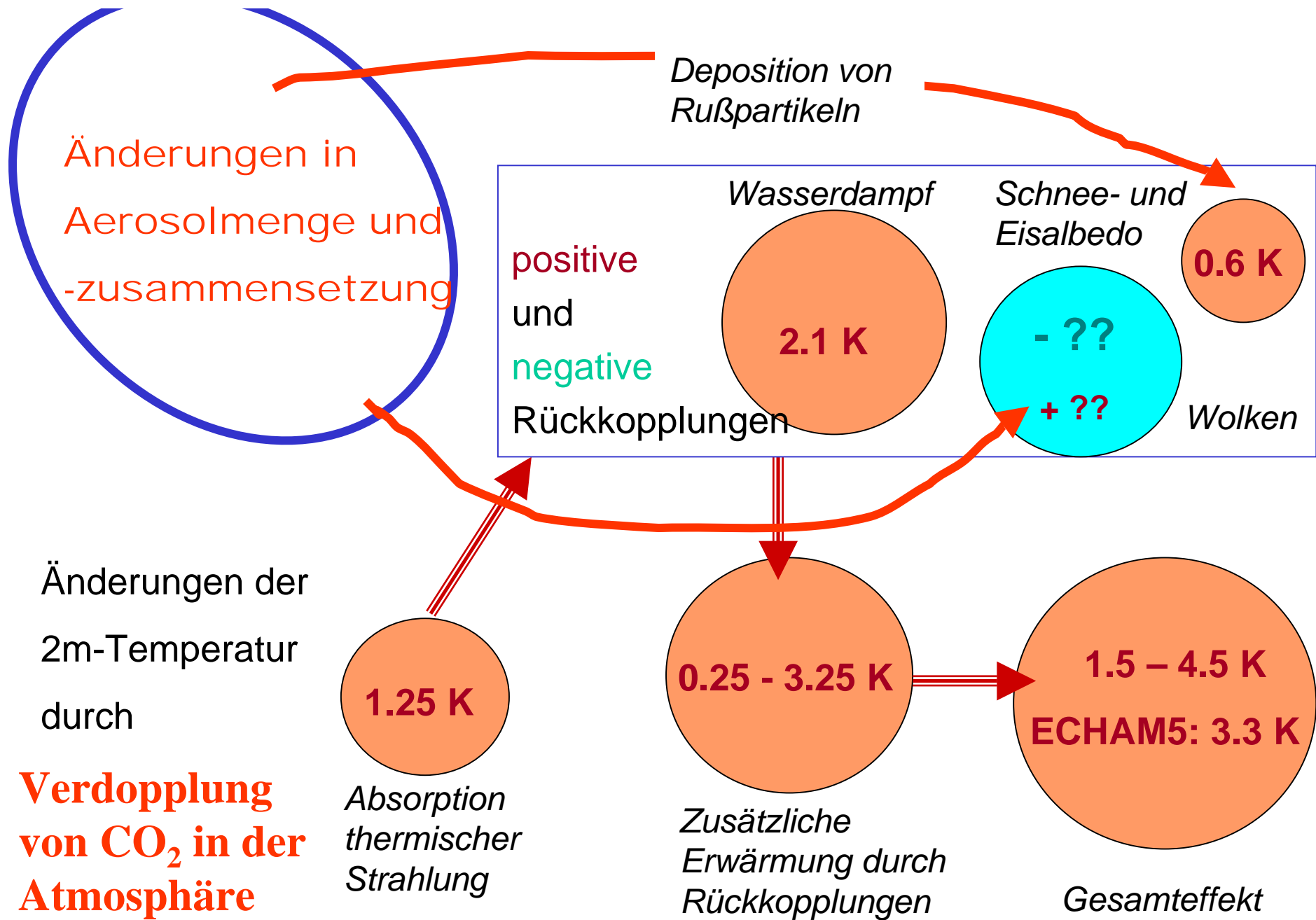
Frühlingsanfang in d

Verschiebung
des
Frühlingsbeginns

Pflanzendichte



Blattflächenindex



Probleme rascher Klimaänderungen

Bei einer Erwärmung von 1°C innerhalb weniger Jahrzehnte kann man eine Verschiebung der Klimazonen um 100 – 160 km nach Norden und in den Bergen um 100 m nach oben erwarten.

Dieser rasche Wechsel kann dazu führen, dass Lebensräume schnell unpassend werden, neue Habitate aber nicht schnell genug besiedelt werden können.

Arten und Populationen wären vom Aussterben bedroht.

Migration

Die Atmosphäre als Schadstoffsenke?

Spurenstoffe werden in der Atmosphäre verteilt,
chemisch ungewandelt und die Folgeprodukte
deponiert

Massive Störung natürlicher Kreisläufe

Spurenstoffe in der Atmosphäre beeinflussen
Biosphäre und Klima

Umwelt- und Klimaschutz sind zwei Seiten derselben
Medaille