

Trockene und Nasse Deposition

Modul Luftchemie

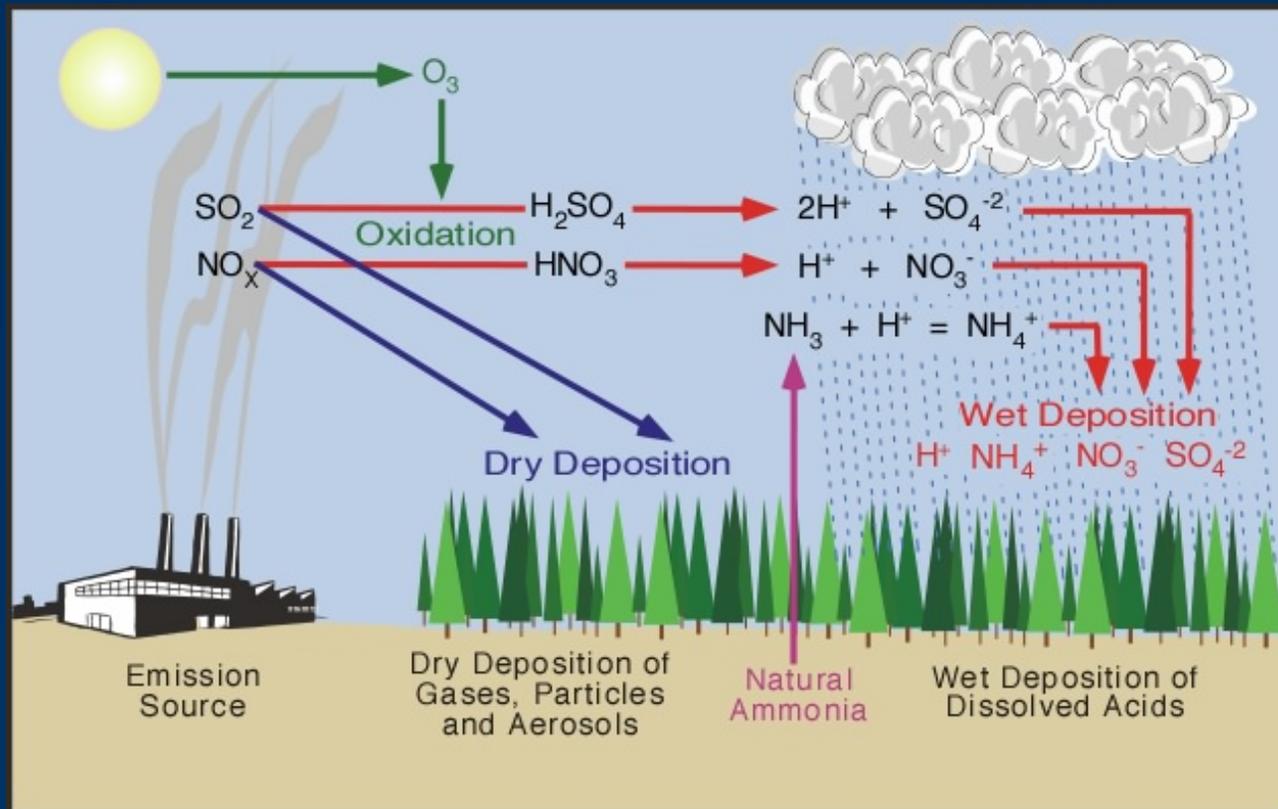
04.02.2009

Sabine Banzhaf

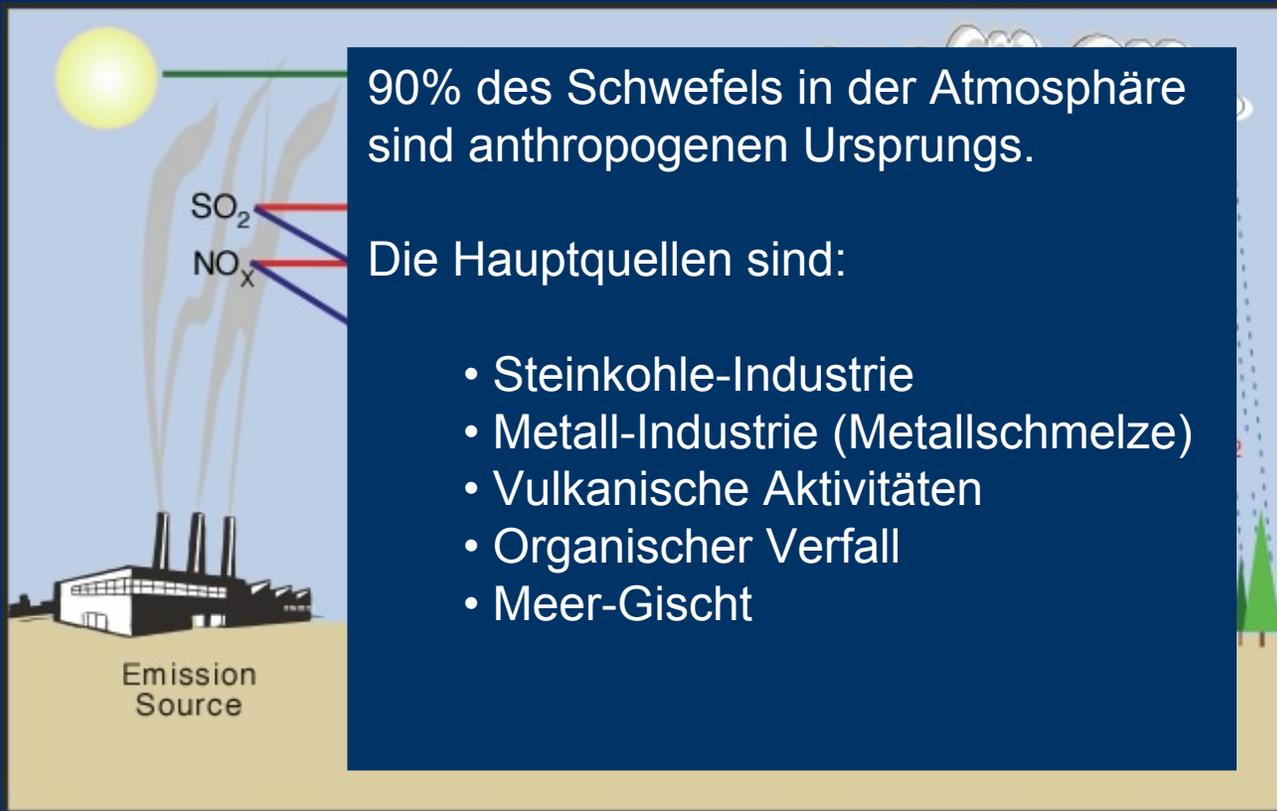
Einführung

- Deposition ist der Stoffeintrag von der Atmosphäre auf die Erdoberfläche
- Man unterscheidet
 - Trockene Deposition
 - Nasse Deposition

Saure Deposition (1)



Saure Deposition (1)



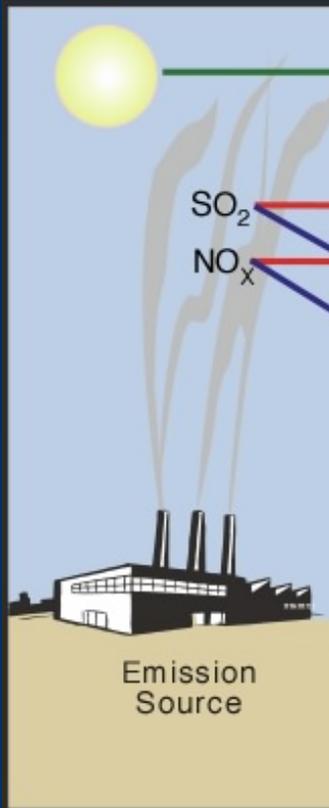
The diagram illustrates an industrial facility labeled 'Emission Source' with three smokestacks emitting plumes of smoke. A sun is shown in the upper left corner. Two red arrows point from the smokestacks to the chemical formulas SO_2 and NO_x . A large blue text box on the right contains the following text:

90% des Schwefels in der Atmosphäre sind anthropogenen Ursprungs.

Die Hauptquellen sind:

- Steinkohle-Industrie
- Metall-Industrie (Metallschmelze)
- Vulkanische Aktivitäten
- Organischer Verfall
- Meer-Gischt

Saure Deposition (1)



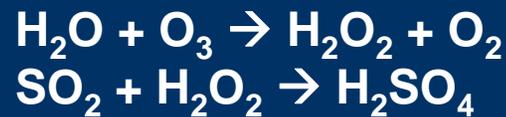
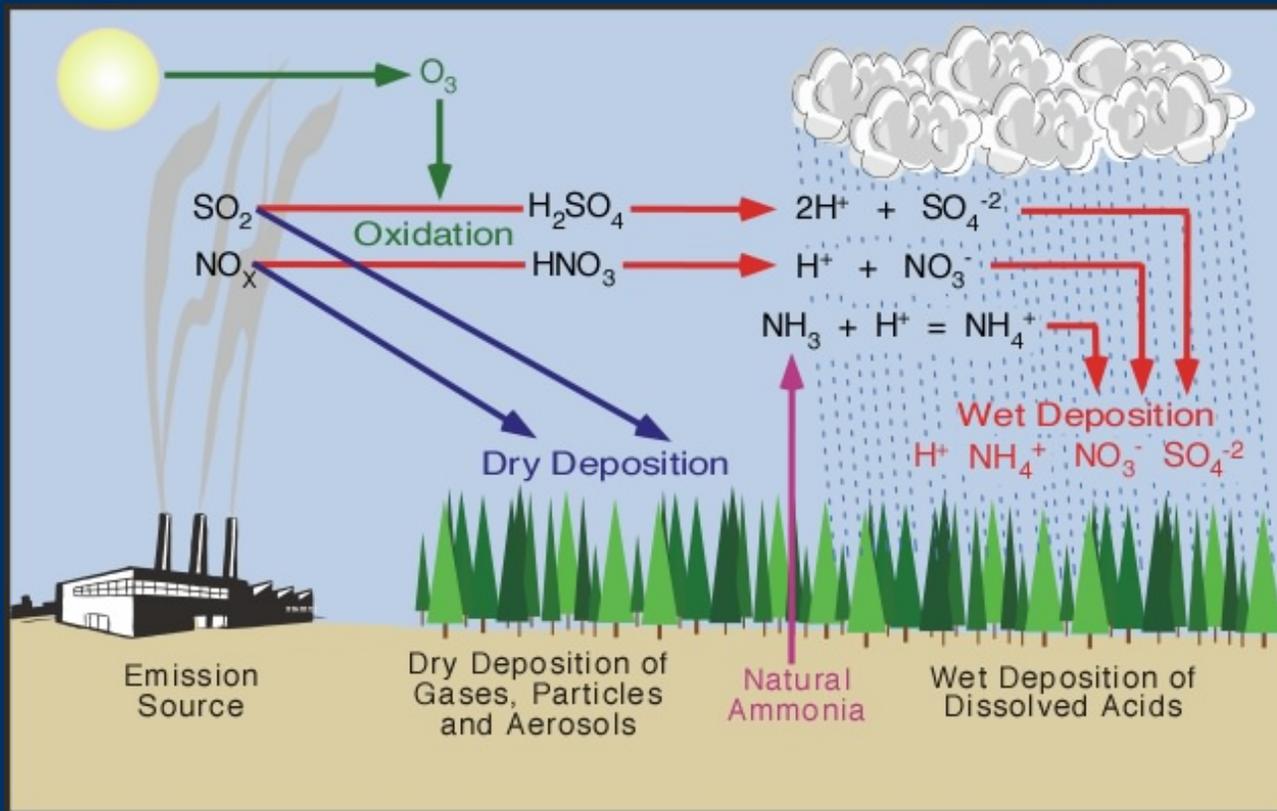
The diagram shows a yellow sun in the upper left corner. Below it, a factory with three smokestacks is labeled "Emission Source". Three plumes of smoke rise from the stacks. Two red arrows point from the plumes to the chemical formulas SO_2 and NO_x . A blue arrow points from the NO_x label to the right. In the upper right, there are several white clouds.

Rund 95% der erhöhten Stickoxide in der Atmosphäre sind anthropogenen Ursprungs. Die restlichen 5% stammen aus natürlichen Quellen.

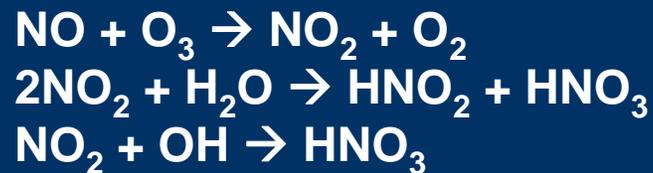
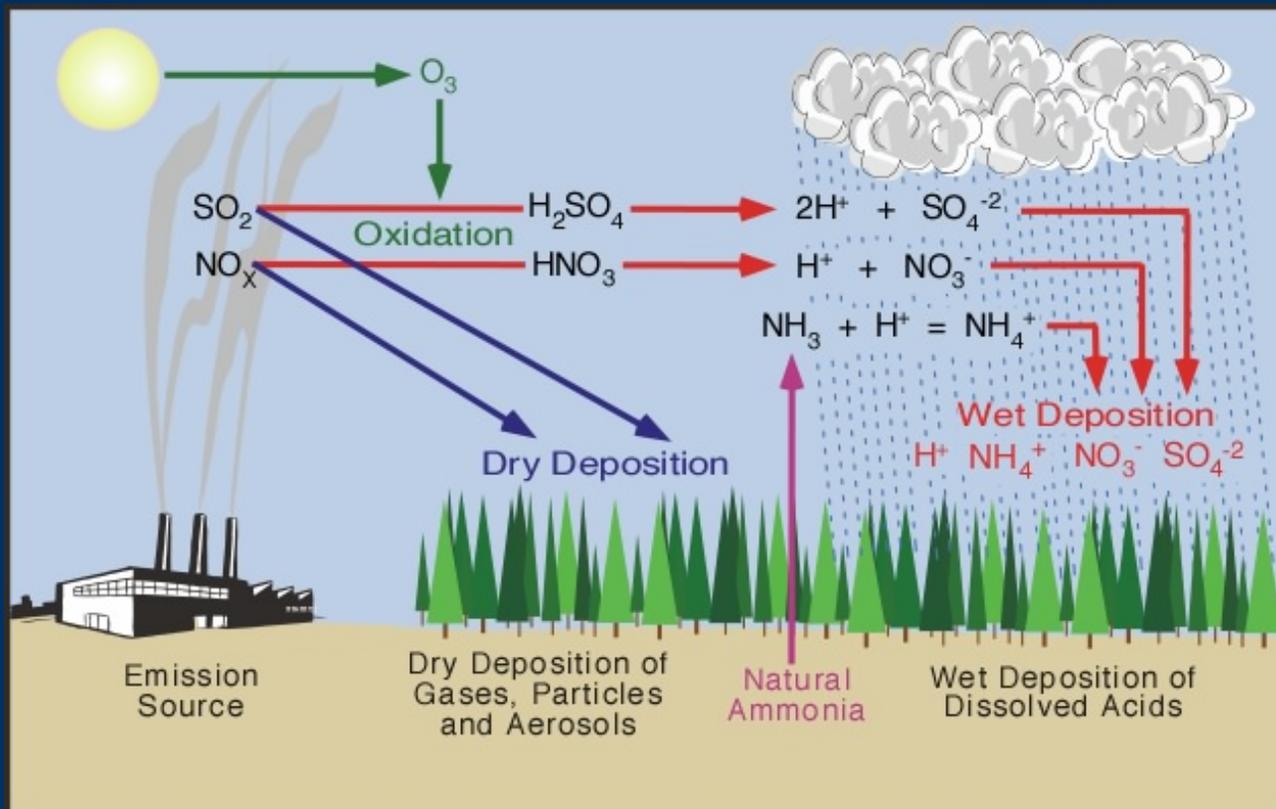
Die Hauptquellen sind:

- Verbrennung von Öl, Kohle und Gas
- Verkehr
- Bakterielle Aktivität im Erdboden
- Waldbrände
- Vulkanische Aktivitäten
- Blitze

Saure Deposition (1)

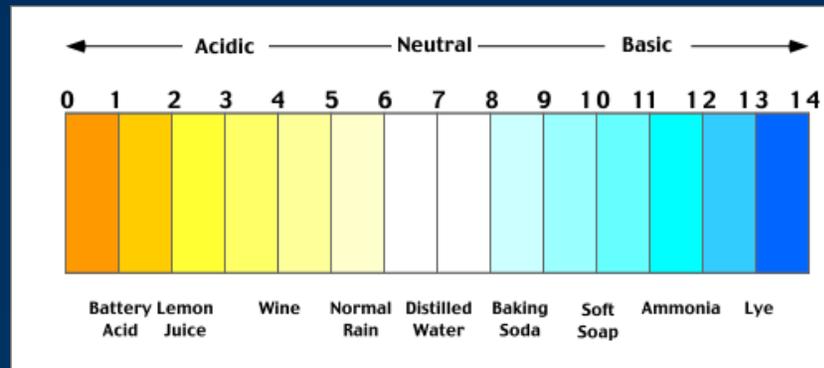


Saure Deposition (1)



Saure Deposition (2)

- Der Säuregrad einer wässrigen Lösung wird über den pH-Wert angegeben.
 - $\text{pH} < 7$ entspricht einer Lösung mit saurer Wirkung
 - $\text{pH} = 7$ entspricht absolut reinem Wasser oder neutraler Lösung
 - $\text{pH} > 7$ entspricht einer alkalischen Lösung (basische Wirkung)



- Niederschlag hat meist einen pH-Wert zwischen 5.0 und 5.6 aufgrund natürlicher atmosphärischer Reaktionen mit CO_2 . Fällt der pH-Wert von Niederschlag unterhalb 5.6 so wird er als „saurer Regen“ bezeichnet.

Saure Deposition (3)

- Einfluss der sauren Deposition auf Vegetation und Tier
 - Wachsender Säuregrad führt zur Auswaschung von wichtigen Pflanzennährstoffen (Ca, Mg, K etc.)
 - Abnahme des Pflanzenwachstums
 - Das Schwermetall Al wird in Säuren beweglicher und zerstört die Wurzeln der Pflanzen
 - Saurer Regen verursacht direkten Schaden am Blattwerk der Pflanzen
 - Saure Deposition beeinflusst negativ die Fähigkeit der Blätter Wasser zu speichern
 - Kombination aus diesen Punkten führt zu verminderten Wachstumsraten und Blütenwuchs. Außerdem sind die Pflanzen aufgrund des Nährstoffmangels anfälliger für Krankheiten, Insekten, Dürren und Frost
 - Gewässer versauern und es kommt in diesen zu Fisch- und Pflanzensterben. Dies hat auch negativen Einfluss auf die Tierwelt in der Umgebung des betroffenen Gewässers

Saure Deposition (4)

- Einfluss der sauren Deposition auf den Menschen
 - Giftige Metalle, wie Hg und Al können durch die Versauerung von Boden freigesetzt werden. Diese enden im Trinkwasser oder in der Nahrungskette und sind in großen Mengen giftig für den menschlichen Organismus.
 - Erhöhte Konzentrationen von SO₂ und NO_x führen außerdem vermehrt zu Erkrankungen der Atemwege. Bei Kindern führt der häufige Kontakt mit säurehaltiger Verunreinigung zu einem vermehrten Auftreten von Allergien und Lungenerkrankungen.
 - Außerdem gibt es einen indirekten ökonomischen Einfluss auf die Menschheit. Fisch-, Pflanzen und Waldsterben hat Einfluss auf Industrie und Tourismus.
 - Zuletzt führt saure Deposition zu Schäden an vom Menschen errichteten Konstruktionen und Gebäuden. Kalkstein, Eisen und Stahl wird von der Säure angegriffen.

Critical Loads/ Critical Levels (1)

- Das Konzept der Critical Levels und Critical Loads wurde für das europäische Luftreinhalteabkommen der UN-Wirtschaftskommission (UN-ECE) entwickelt.
- **Critical Levels** sind die quantitative Abschätzung der Konzentration von Schadstoffen in der Atmosphäre (Immission), oberhalb derer direkte Schadeffekte an Rezeptoren (Menschen, Ökosysteme) nach derzeitigem Wissen zu erwarten sind
- **Critical Loads** sind die quantitative Abschätzung der Deposition eines oder mehrerer Schadstoffe, unterhalb derer nach bisherigem Wissen keine schädigenden Wirkungen an spezifizierten Rezeptoren nachweisbar sind
- SO_2 , NO_x , NH_3

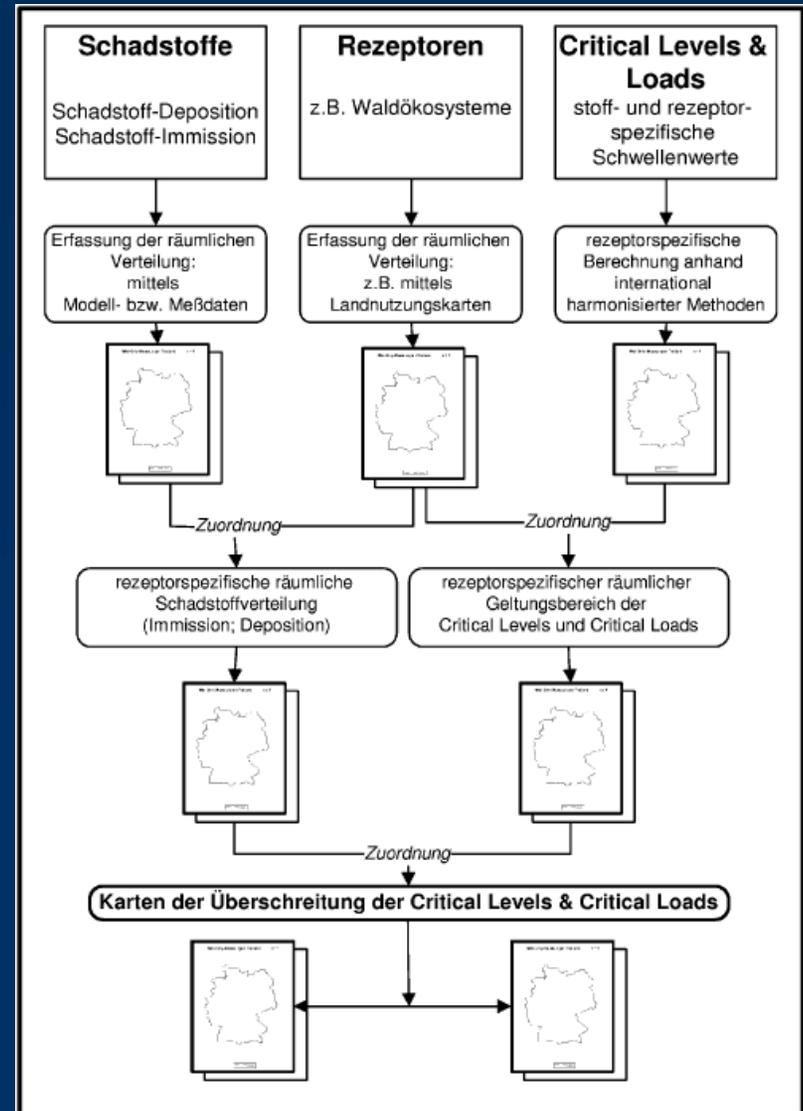
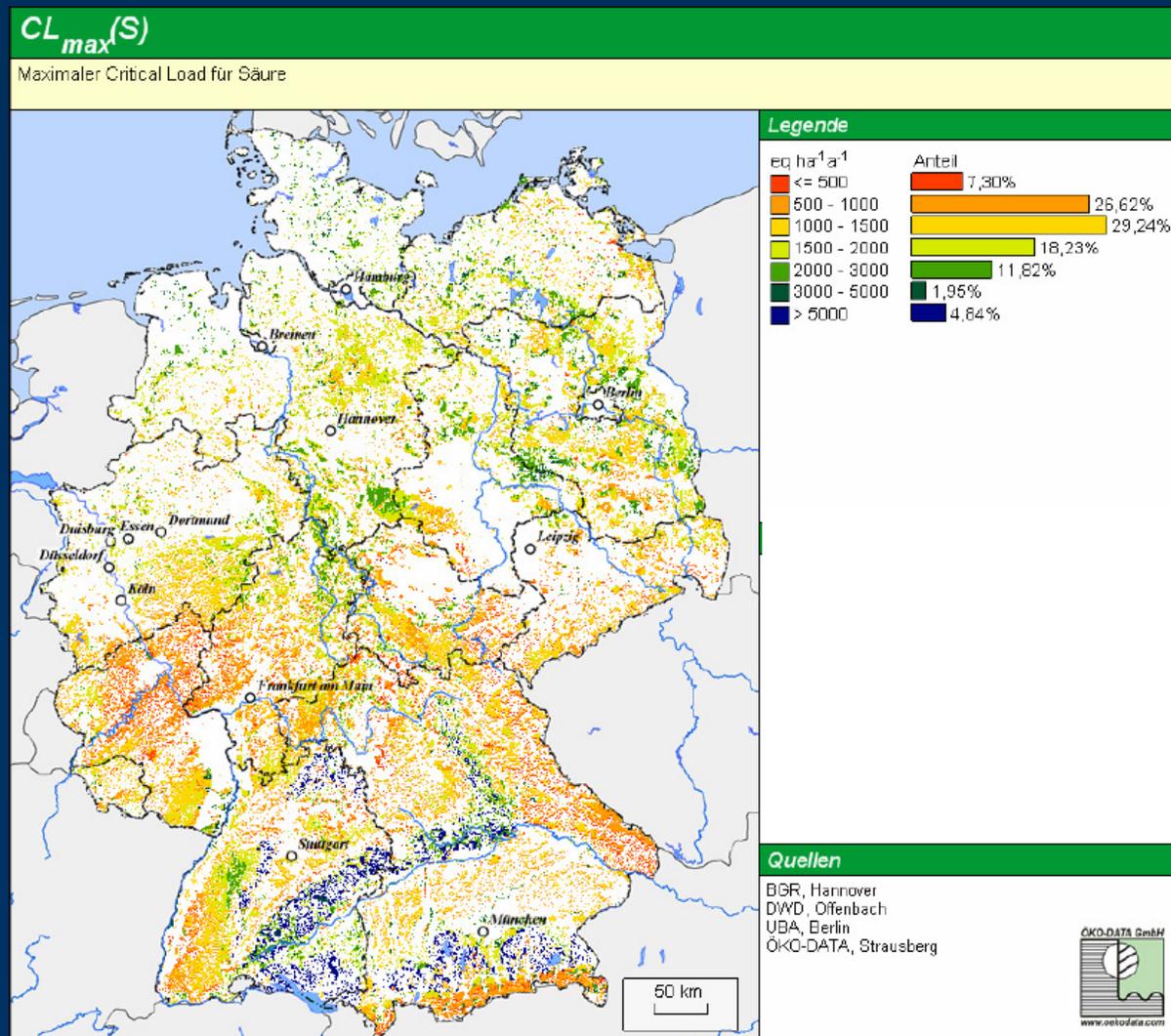
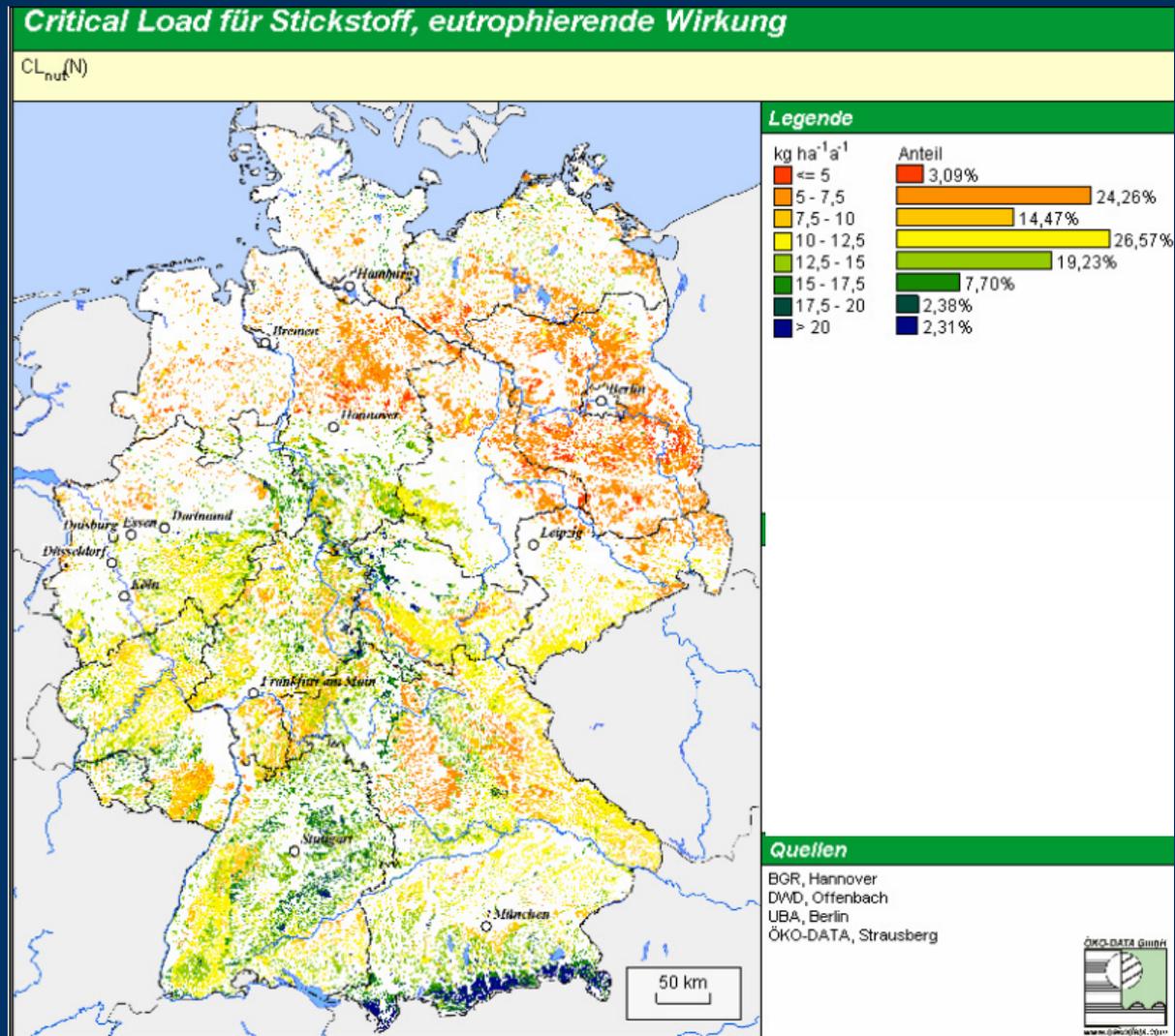


Abb.: Prinzip der Kartierung

Critical Loads/ Critical Levels (2)



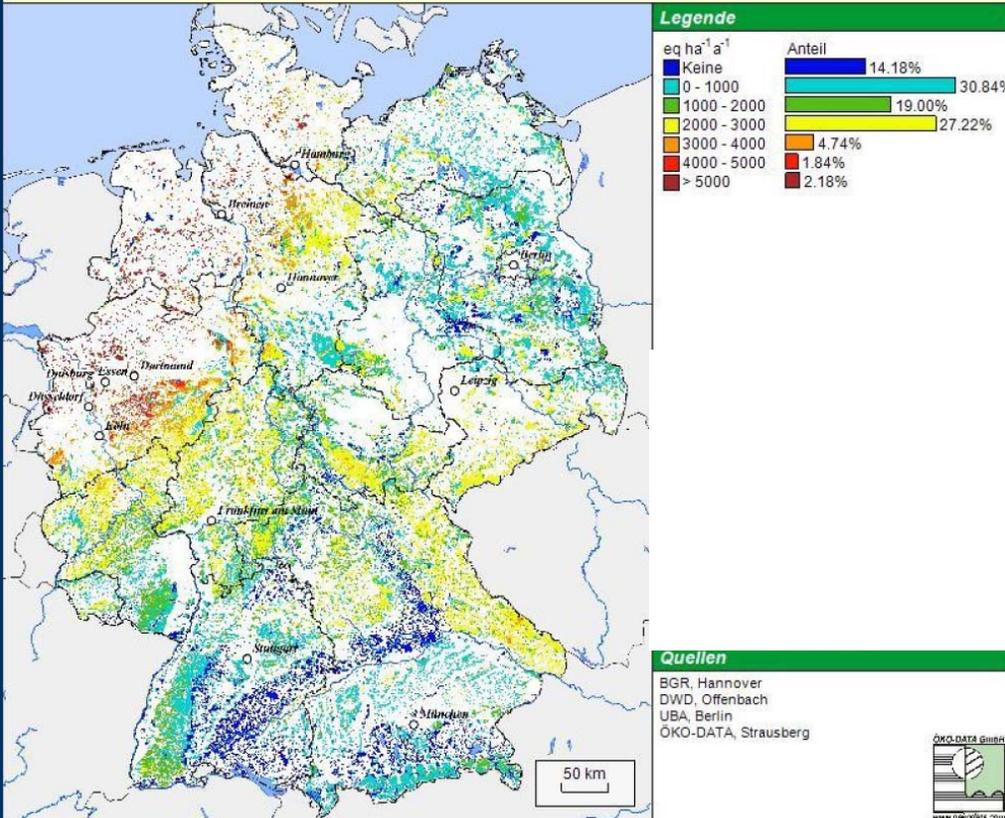
Critical Loads/ Critical Levels (3)



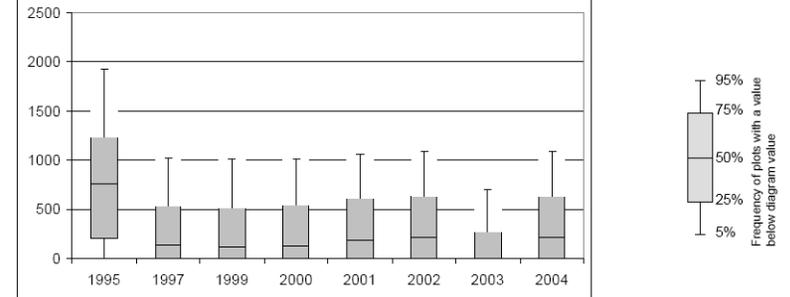
Critical Loads/ Critical Levels (4)

Überschreitung der Critical Loads für Säure-Einträge

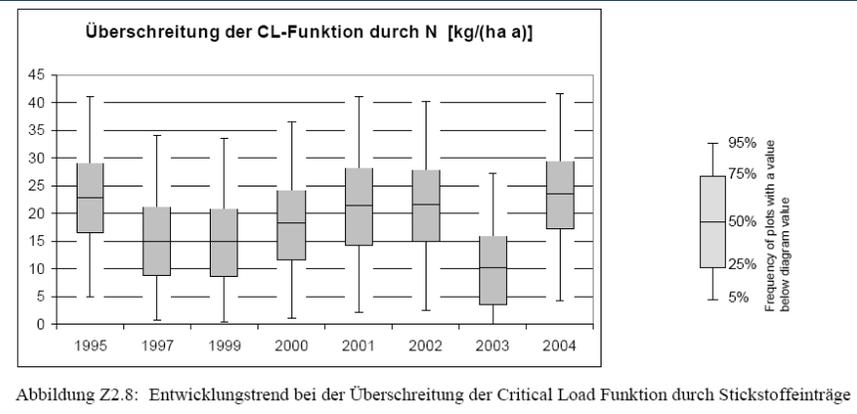
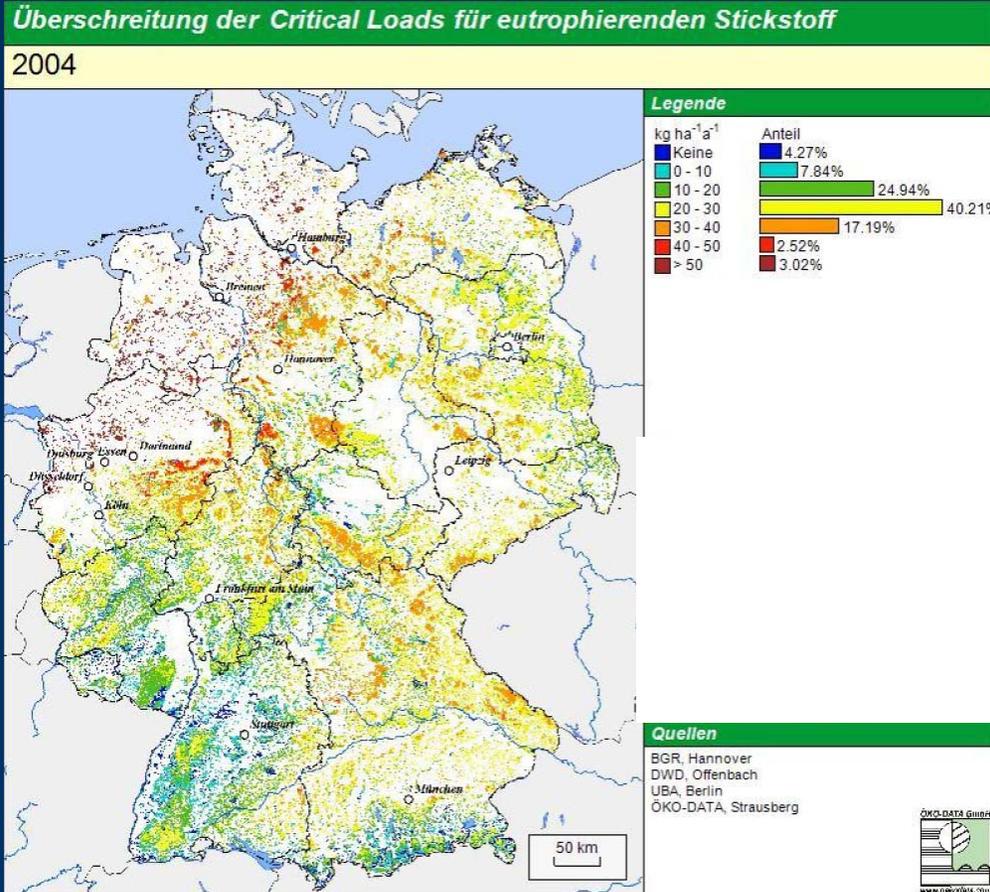
2004



Überschreitung der CL-Funktion durch S [eq/(ha a)]

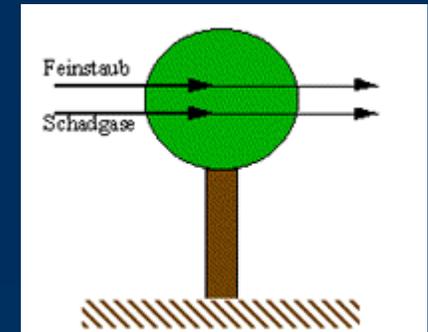


Critical Loads/ Critical Levels (5)



Trockene Deposition

- Die Sedimentation von Staubpartikeln ($> 10\mu\text{m}$) durch Schwerkraft bzw. die Adsorption oder die Diffusion von Gasen, Feinstäuben und Aerosolen auf Oberflächen bedingen die trockene Deposition.
- Die wichtigsten Einflussfaktoren sind:
 - Partikeleigenschaften (Größe, Form, Dichte, Hygroskopizität) bzw. Gaseigenschaften (Löslichkeit, Reaktivität) und Konzentration des Schadstoffs
 - Parameter der Rezeptor-Oberfläche (Rauigkeitslänge, Landnutzungstyp und dessen Zustand (\rightarrow Feuchtigkeit))
 - Meteorologische Konditionen wie Turbulenz (Windgeschwindigkeit, Schubspannungsgeschwindigkeit) atmosphärische Stabilität und relative Feuchte



Modellierung der trockenen Deposition (1)

- Es gibt Messungen der trockenen Deposition, jedoch nicht kontinuierlich und nicht flächendeckend. Sie dienen hauptsächlich der Verbesserung der Modellierung
 - Messungen sind nur pro Landnutzung möglich
 - Modellergebnisvergleich mit Messungen nur sehr bedingt möglich
 - Umgekehrt: Modelle basieren auf den Messexperimenten
 - Modellierung der trockenen Deposition ist für eine flächendeckende Aussage notwendig (\neq Nasse Deposition)
- Es wird versucht, anhand bekannter Widerstandsmodelle das unterschiedliche Depositionsverhalten der betroffenen Substanzen zu beschreiben

Modellierung der trockenen Deposition (2)

- Der Fluss der trockenen Deposition wird anhand der Depositionsgeschwindigkeit beschrieben:

$$F = v_d C$$

v_d : Depositionsgeschwindigkeit
 C : Konzentration

- Annahme: Prozess der trockenen Deposition besteht aus 3 Schritten
 - Dem aerodynamischen Transport durch die atmosphärische Bodenschicht zu einer sehr dünnen stationären an den Erdboden angrenzenden Luftschicht
 - Dem molekularen (für Gase) bzw. Brownschen (für Partikel) Transport von der stationären Luftschicht, genannt quasi-laminare Schicht, zum Erdboden
 - Der Aufnahme am Erdboden

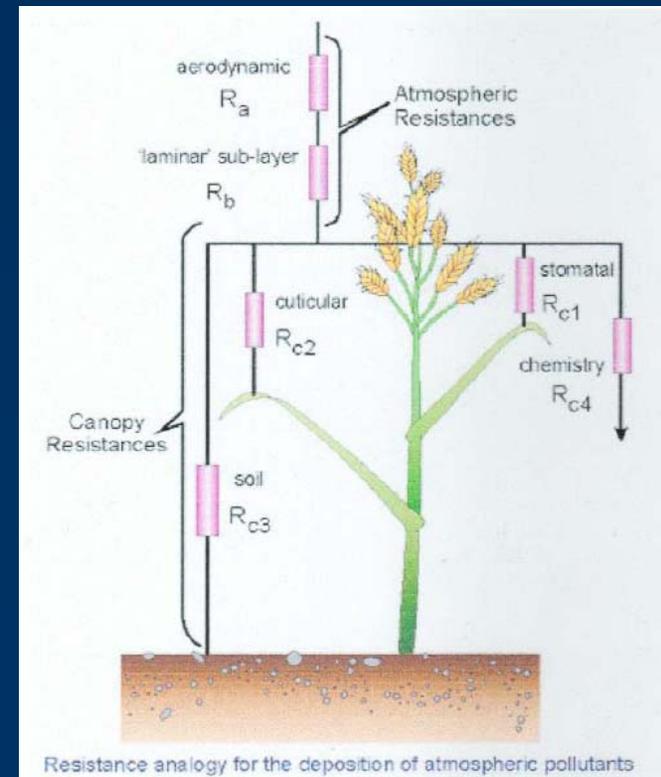
Modellierung der trockenen Deposition (3)

- Der Prozess der trockenen Deposition wird - analog zum elektrischen Widerstand - anhand drei fiktiver in Reihe geschalteter Widerständen, beschrieben:

- turbulenter Transferwiderstand r_a
- quasi-laminarer Transferwiderstand r_d
- Oberflächenwiderstand r_c
(für Partikel Annahme: $r_c=0$)

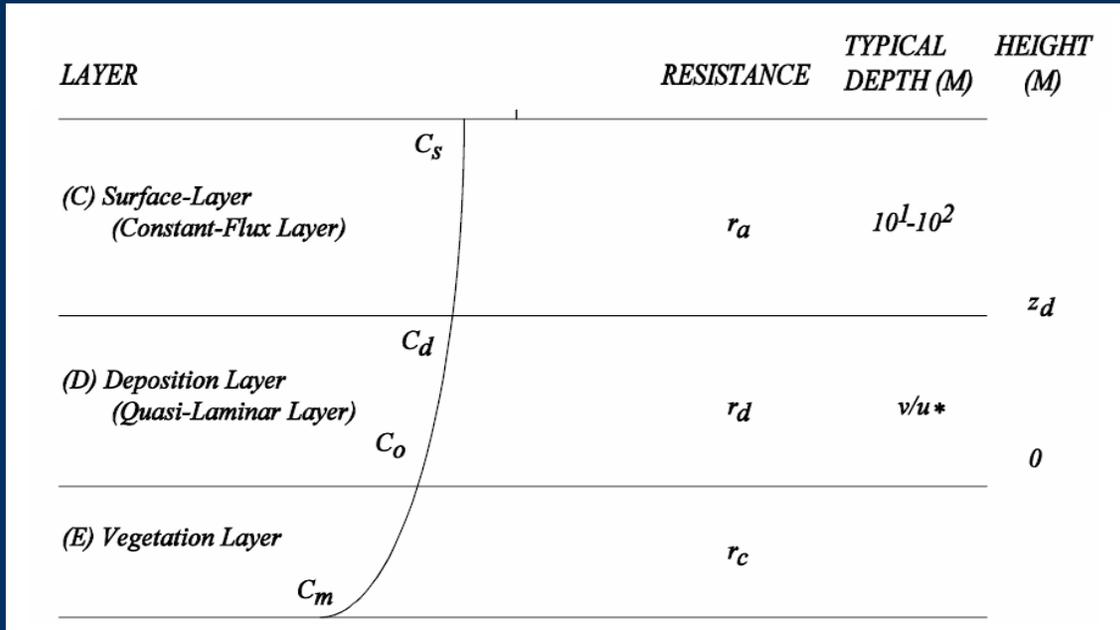
- Gase
$$v_d = \frac{1}{r_a + r_d + r_c}$$

- Partikel
$$v_d = \frac{1}{r_a + r_d + r_a r_d v_s} + v_s$$



v_s ist die Sedimentationsgeschwindigkeit

Modellierung der trockenen Deposition (4)



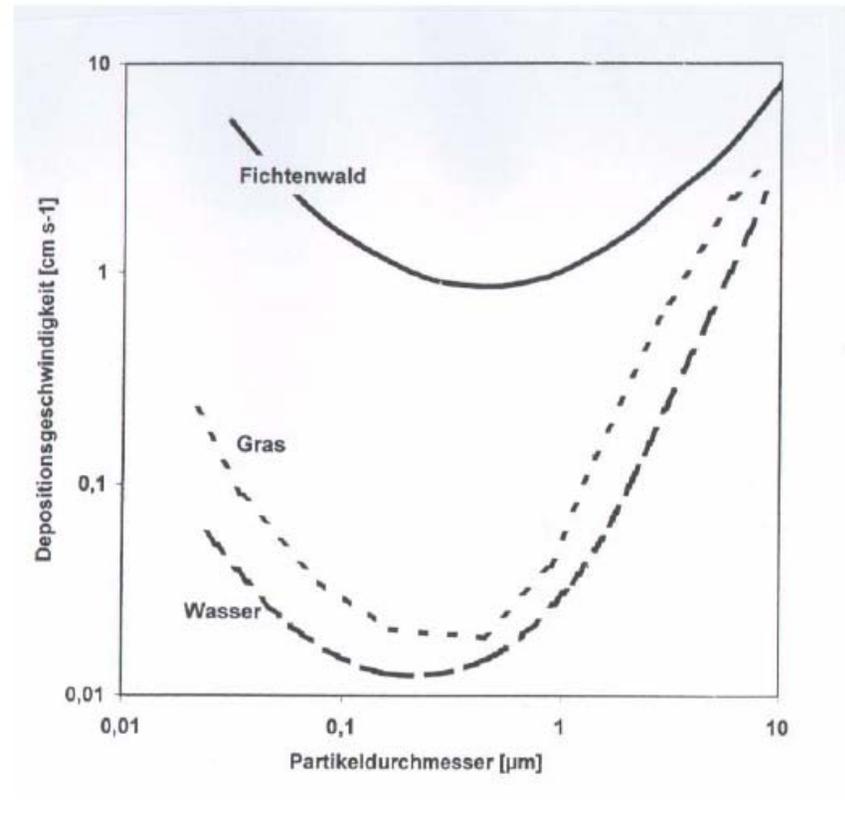
Substanz	V_d (cm*s ⁻¹)
SO ₂	0,2-1
HNO ₃	1-5
NO ₂	0,02-0,5
NH ₃	0,5-5
O ₃	0,1-0,8
Partikel > 2 μm	0,5-2
Partikel < 2 μm	<0,5

Typische
Depositionsgeschwindigkeiten für
die trockene Deposition über
Land

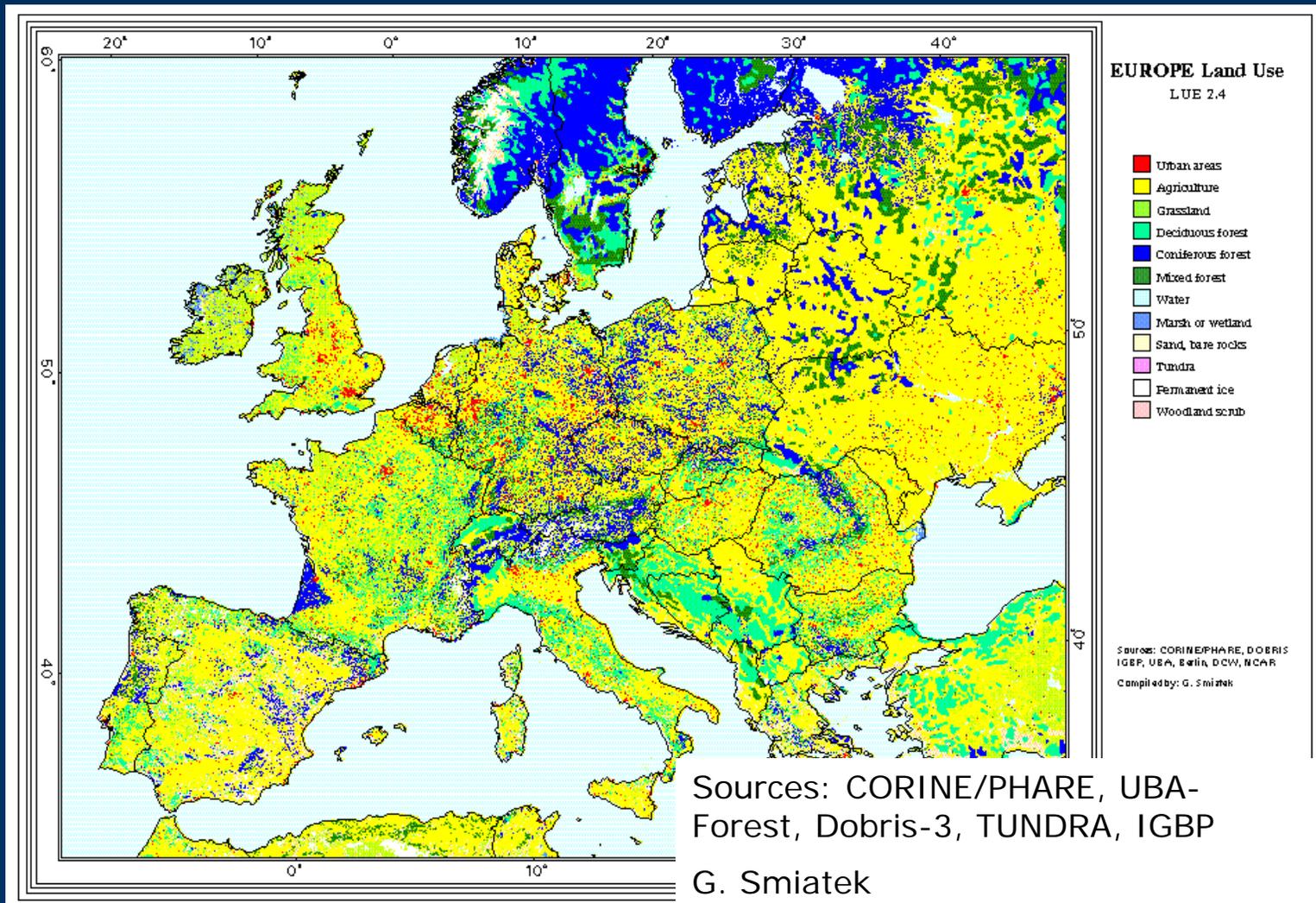
Modellierung der trockenen Deposition (5)

Mittlere Depositionsgeschwindigkeiten luftgetragener Partikel für verschiedene Oberflächen (Gras, Wasser: Windkanalmessungen und Modellergebnisse nach Chamberlain 1975, Slim 1983, Harrison 1993; Fichtenwald (Gesamt-LAI=21))

nach Gravenhorst et al. 2000

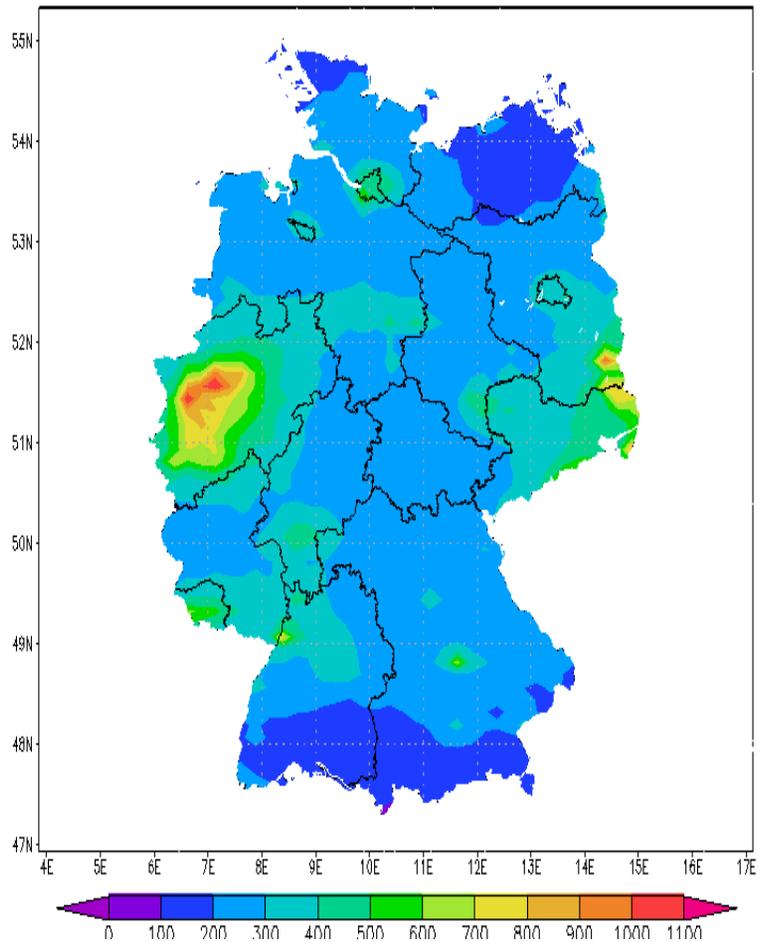


Modellierung der trockenen Deposition (6)

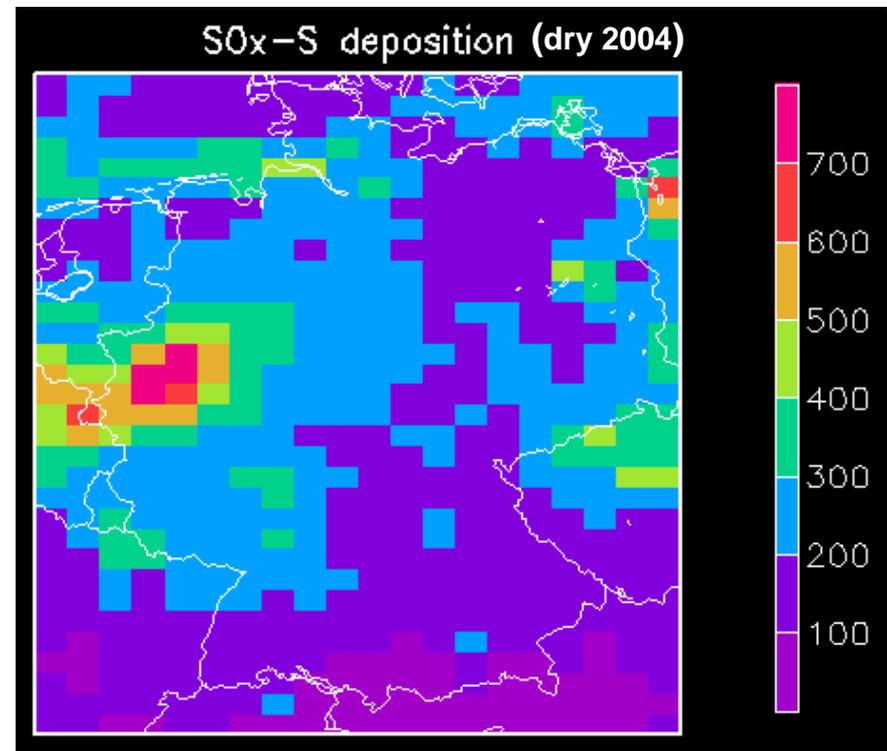


Modellierung der trockenen Deposition (7)

2005 Dry SO_x-S [eq ha⁻¹ a⁻¹]

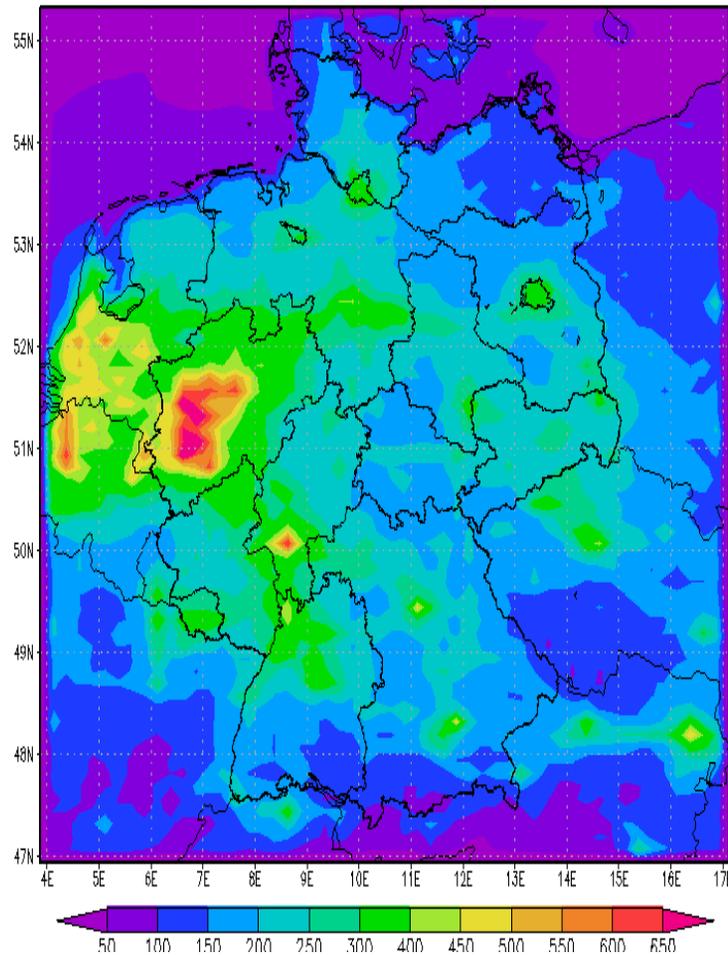


Vergleich der modellierten Jahressumme der trockenen Deposition von SO_x von REM-Calgrid 2005 (links) und LOTOS-EUROS 2004 (rechts)

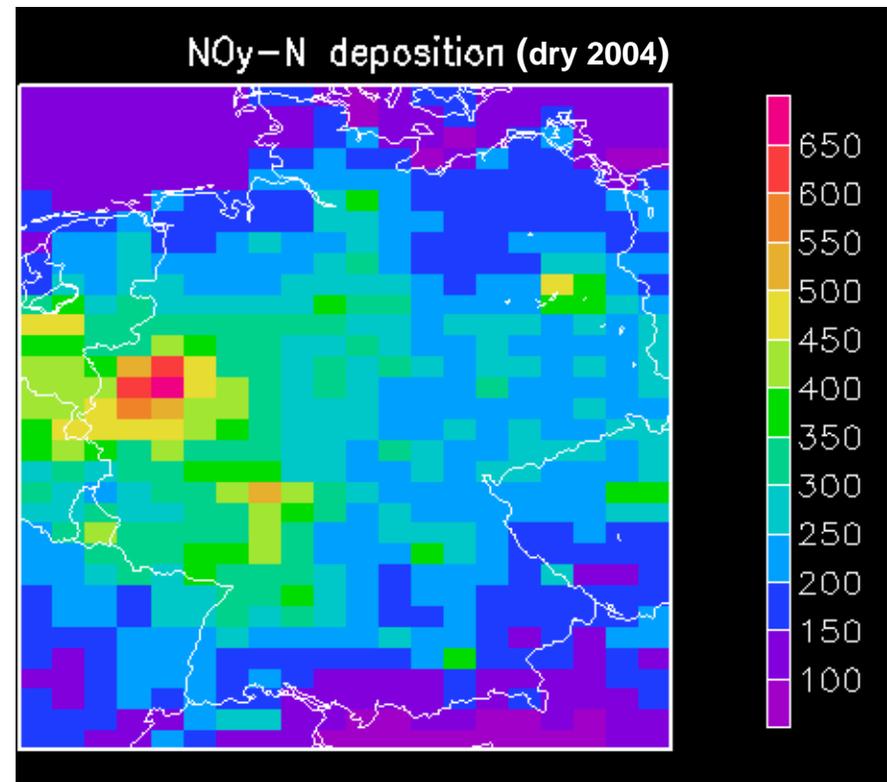


Modellierung der trockenen Deposition (8)

2005 Dry $\text{NO}_y\text{-N}$ [$\text{eq ha}^{-1} \text{a}^{-1}$]

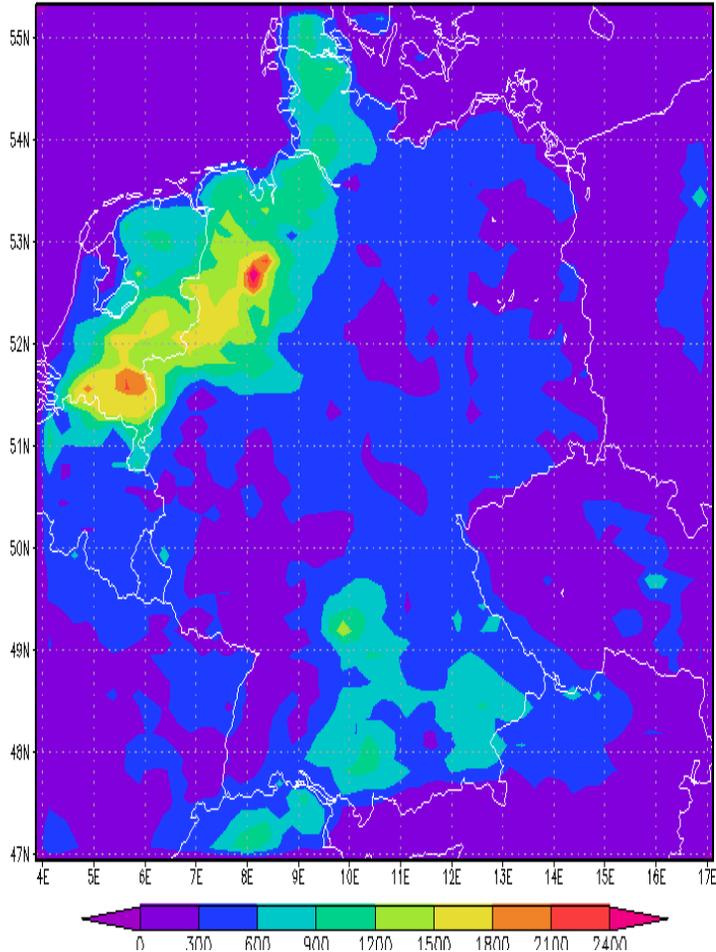


Vergleich der modellierten Jahressumme der trockenen Deposition von NO_y von REM-Calgrid 2005 (links) und LOTOS-EUROS 2004 (rechts)

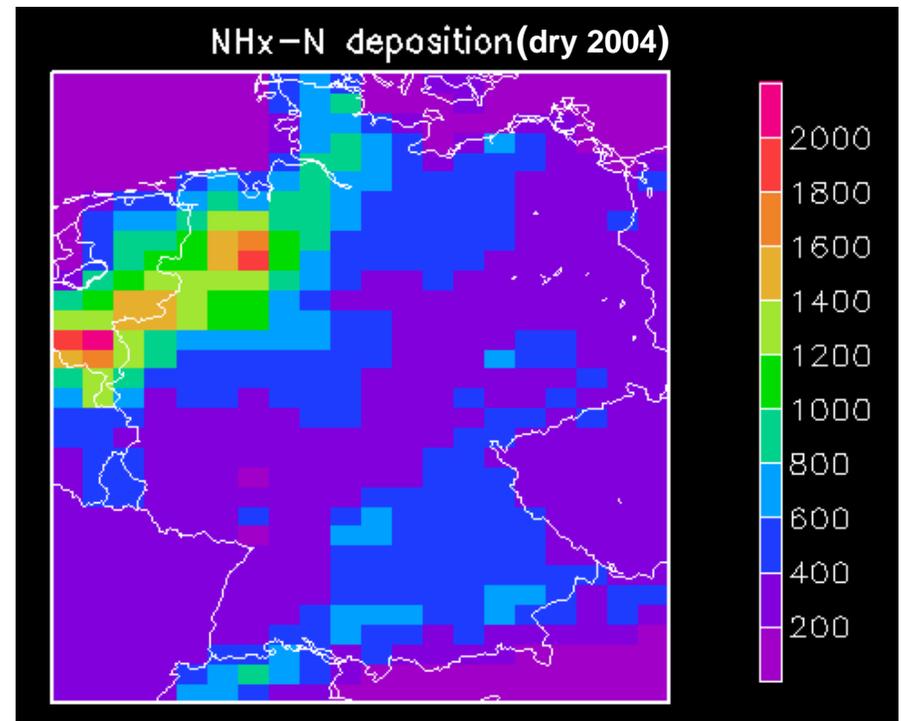


Modellierung der trockenen Deposition (9)

2005 Dry NH_x-N [eq ha⁻¹ a⁻¹]

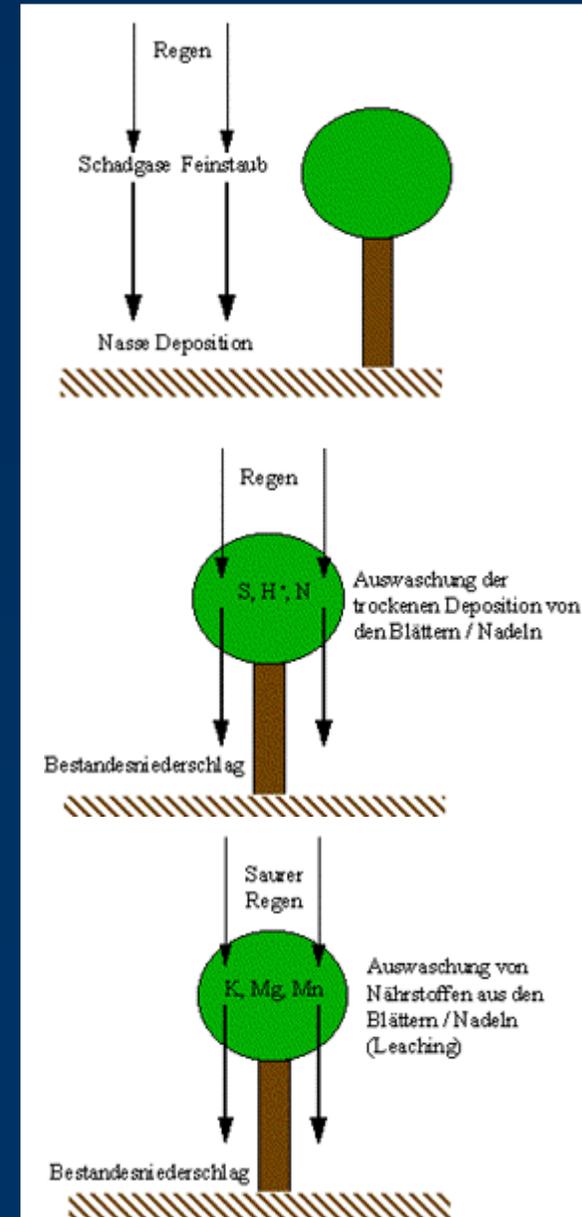


Vergleich der modellierten Jahressumme der trockenen Deposition von NH_x von REM-Calgrid 2005 (links) und LOTOS-EUROS 2004 (rechts)



Nasse Deposition

- Den Eintrag von luftgetragenen Schadstoffen in Ökosysteme durch Niederschlag bezeichnet man als nasse Deposition
- Die wichtigsten Einflussfaktoren sind:
 - Partikeleigenschaften (Größe, Form, Dichte, Hygroskopizität) bzw. Gaseigenschaften (Löslichkeit, Reaktivität) und Konzentration des Schadstoffs
 - Aktuelle Niederschlags- (Intensität, Tropfengröße) und Wolkeneigenschaften (Tropfengröße, Flüssigwassergehalt)



Messung der nassen Deposition (1)

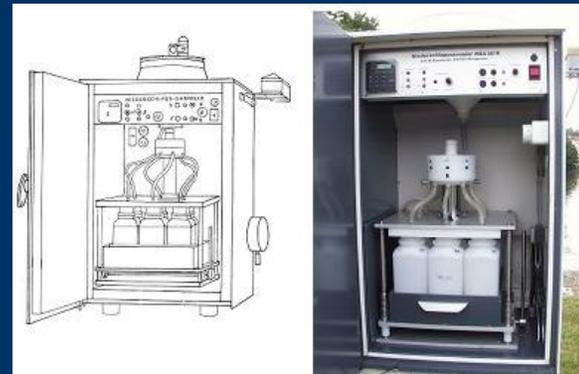
- Bulk-Sammler

- Permanent offene Sammler
- Niederschlagsdeposition und Anteile der trockenen Deposition werden erfasst
- Sammleroberfläche im Vergleich zu den natürlichen Oberflächen einen schlechter Akzeptor → wahrer Anteil der Interzeptionsdeposition nur anteilig erfasst
- Dieser Anteil ist nicht quantifizierbar, d.h. gemessene Depositionsangaben nur auf den speziellen Sammler bezogene Größen



- Wet-only

- Sammelvorrichtungen während eines Niederschlagsereignisses Auffangfläche für offen und nach dem Ereignis wieder zu
- Ansprechschwelle des Niederschlagssensors wichtig
- Niederschlagsintensitäten von 0,05 mm/h müssen in mehr als 80% aller Fälle erfasst werden



Messung der nassen Deposition (2)

Wet Deposition SO_x-S(nss) 1990 - 1999

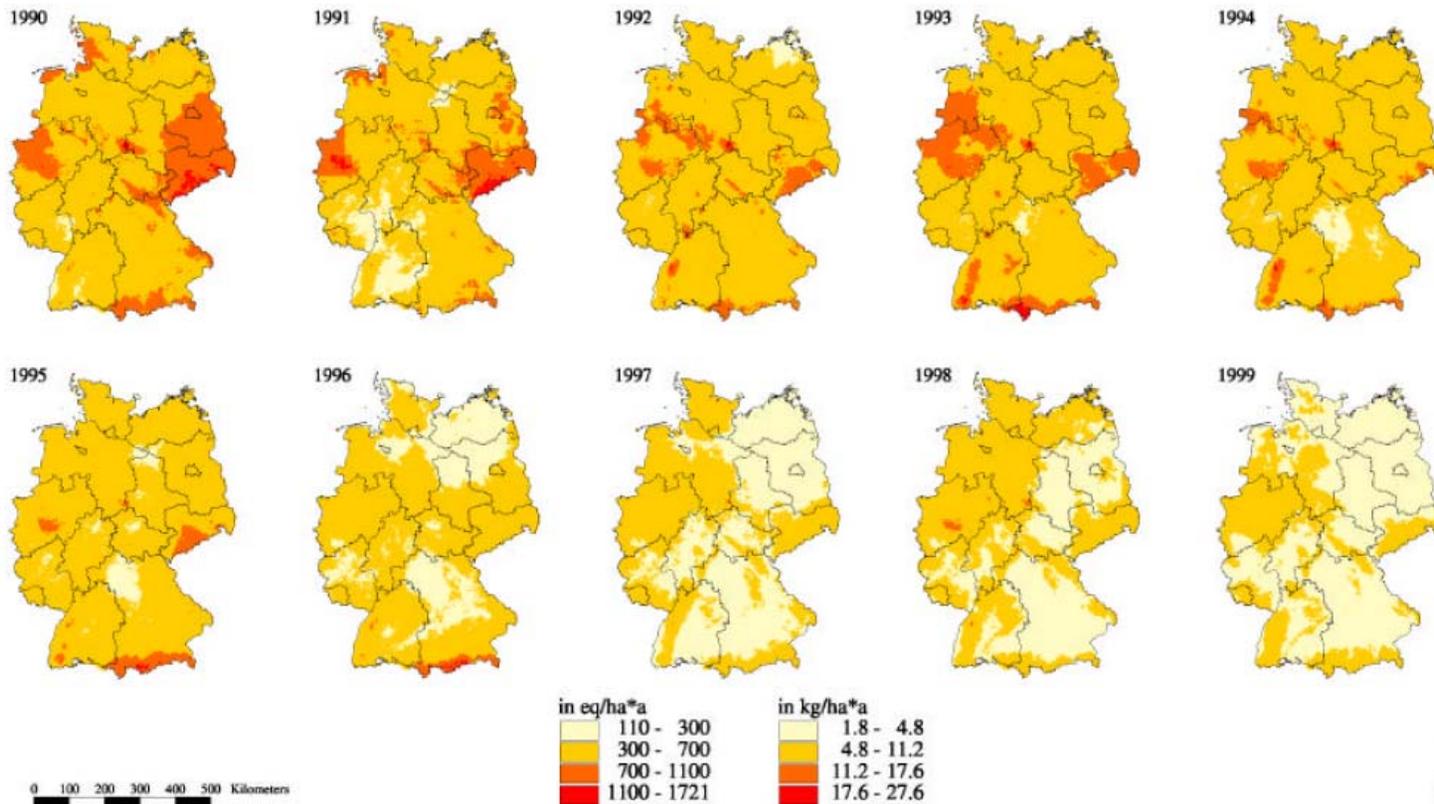
Data Sources: INS, Stuttgart University; Federal environmental Agency (UBA), Deutscher Wetterdienst (DWD), Federal States' Environmental Agencies, Forest Research Centers, and others

National Focal Center:
Federal Environmental Agency (UBA), Berlin

BMU/UBA FE-No. 299 42 210

Institute of Navigation, Stuttgart University (INS)

GIS & Mapping 08/01:
Th. Gauger, F. Anshelm, H. Schuster



Messung der nassen Deposition (3)

Wet Deposition NO_y-N 1990 - 1999

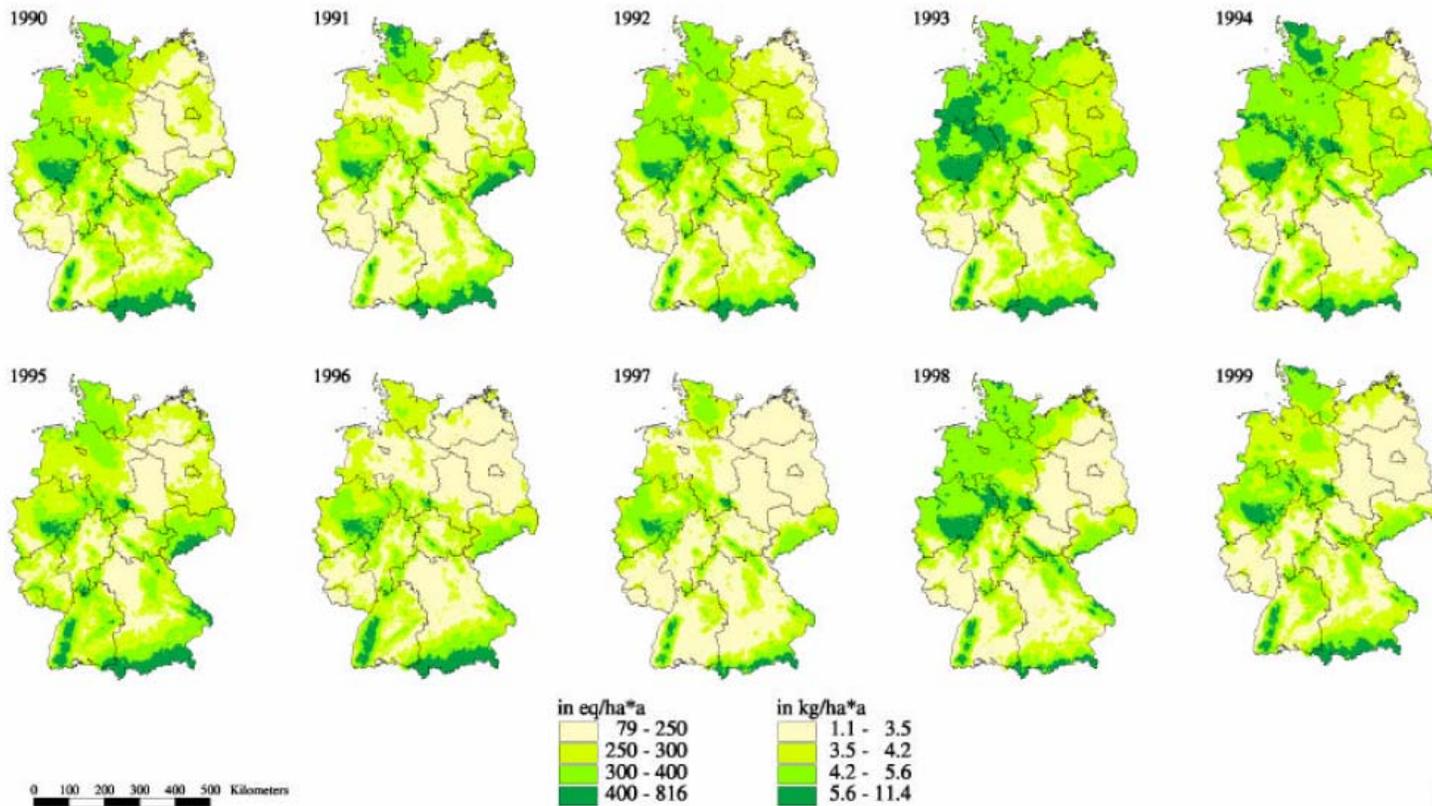
Data Sources: INS, Stuttgart University; Federal environmental Agency (UBA), Deutscher Wetterdienst (DWD), Federal States' Environmental Agencies, Forest Research Centers, Corine Land Cover and others

National Focal Center:
Federal Environmental Agency (UBA), Berlin

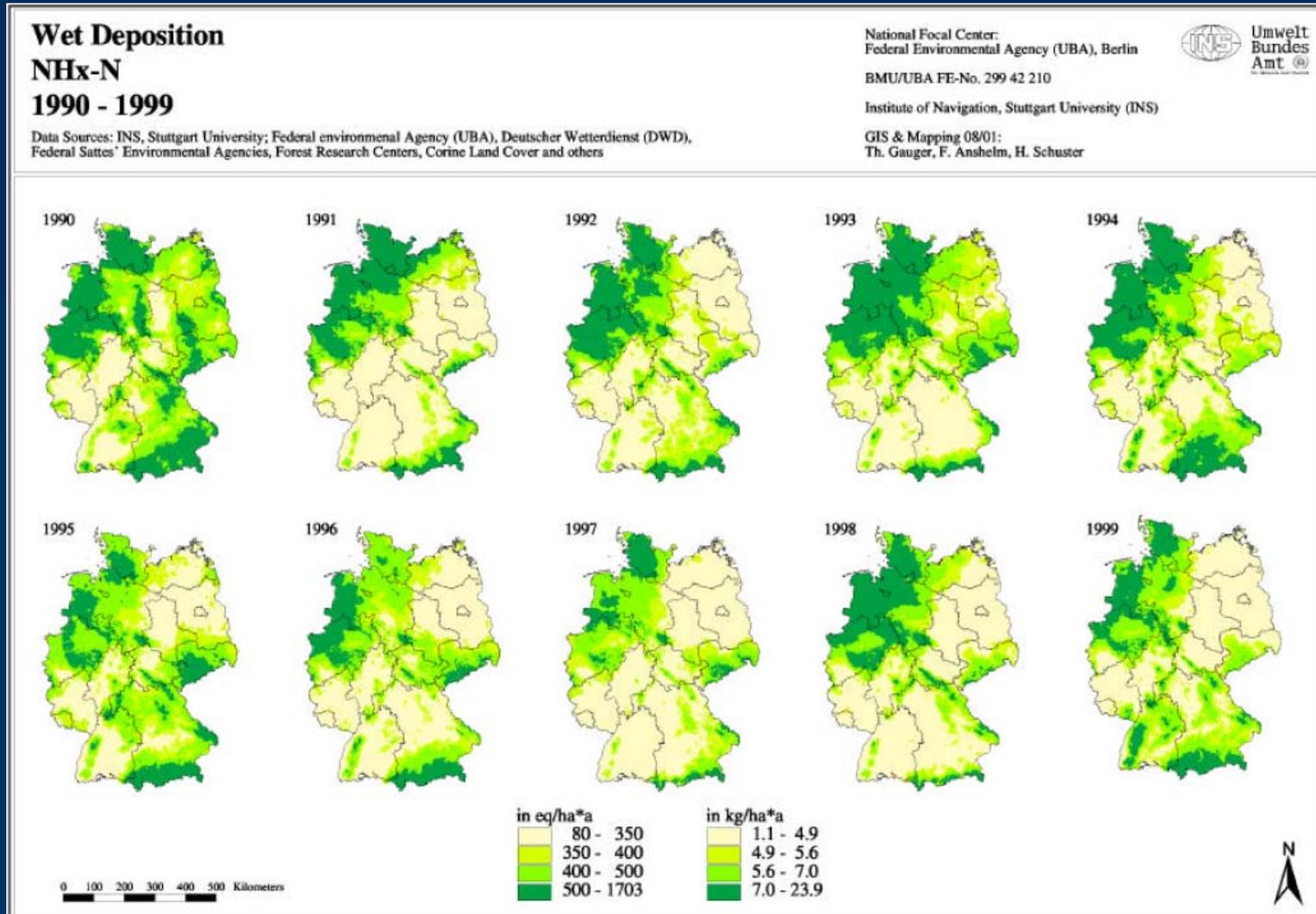
BMU/UBA FE-No. 299 42 210

Institute of Navigation, Stuttgart University (INS)

GIS & Mapping 08/01:
Th. Gauger, F. Anshelm, H. Schuster



Messung der nassen Deposition (4)

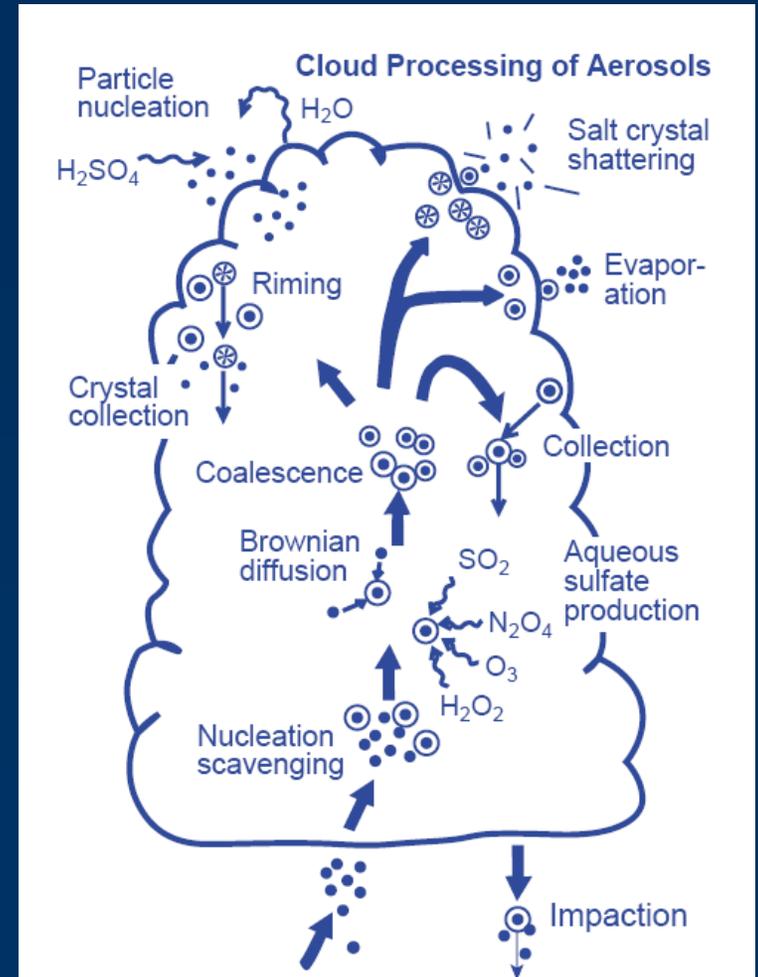


Modellierung der Nassen Deposition (1)

- Warum ist neben vorhandenen Messungen der nassen Deposition auch die Modellierung dieser von großem Nutzen?
 - Wichtiges Instrument: Szenarienrechnungen
 - Modellierung der nassen Deposition wichtig für umweltpolitische Maßnahmenplanung (→ Critical Loads)
- Voraussetzung für die Modellierung der nassen Deposition ist eine gute meteorologische Datenbasis. Aus dieser geht hervor, welche physikalischen Prozesse beschrieben werden müssen

Modellierung der Nassen Deposition (2)

- Der nasse Deposition gehen viele physikalische und chemische Einzelprozesse voraus
- Prozesse teilweise bis heute nicht im Detail durch Messungen erforscht
 - physikalisch-chemische Prozessbeschreibung schwer
- Vereinfachte Prozessbeschreibung in Modellen durch Parametrisierungen
 - Modelle für operationelle Anwendung
 - Modelle für reine Forschungszwecke



Modellierung der Nasse Deposition (3)

- Parametrisierung mit Hilfe von Auswaschkoeffizienten (Bsp. RCG, (Stern, 2004))
- Nassdepositionsrate von Gasen und Aerosolen:

$$\frac{dC_i}{dt} = -\Lambda_i C_i$$

C: Konzentration Spurenstoff
 Λ : Auswaschkoeffizient

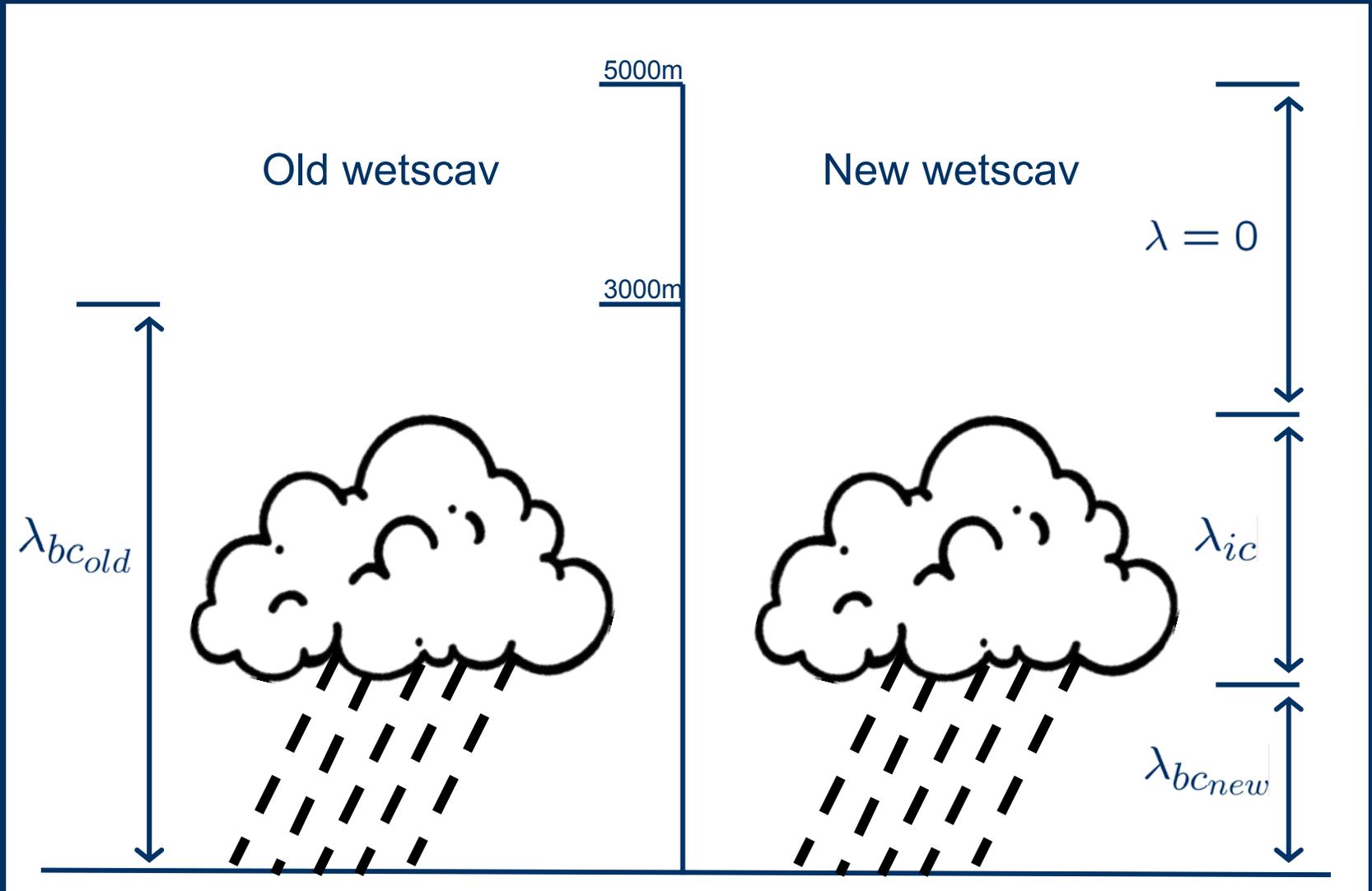
- Für Gase gilt:

$$\Lambda_i = 3 * 10^{-10} * H(T) * R$$

H(T): temperaturabhängige
Henry-Konstante
R: Regenrate (vertikal konstant)

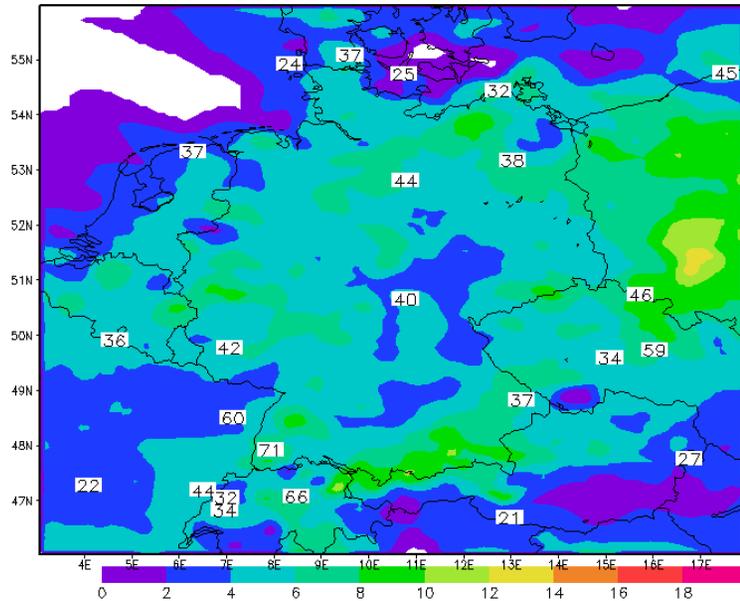
- Für Partikel werden konstante Auswaschkoeffizienten verwendet
- Bisher kennt RCG keine Wolke
→ keine explizite Behandlung von in-cloud scavenging
- In-cloud scavenging leistet größeren Beitrag zur nassen Deposition als below-cloud scavenging (Asman, 1995)

Modellierung der Nasse Deposition (4)

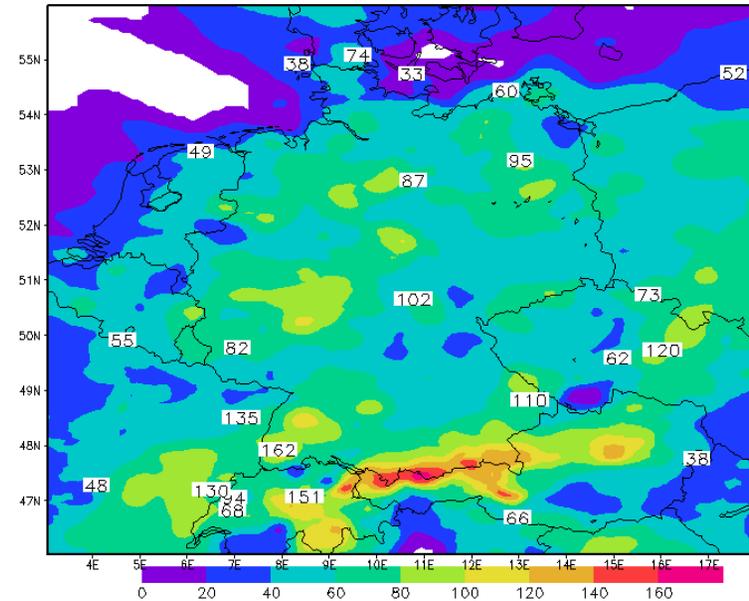


Modellierung der Nasse Deposition (5)

sox (mg S/m²) Monatssumme Mai 2005 vs. EMEP Mess.



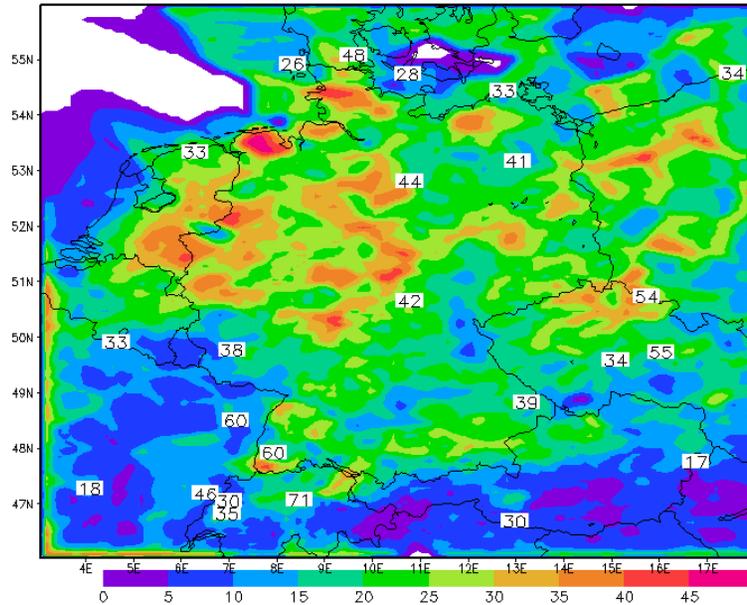
Niederschlag (mm) Monatssumme Mai 2005 vs. EMEP Mess.



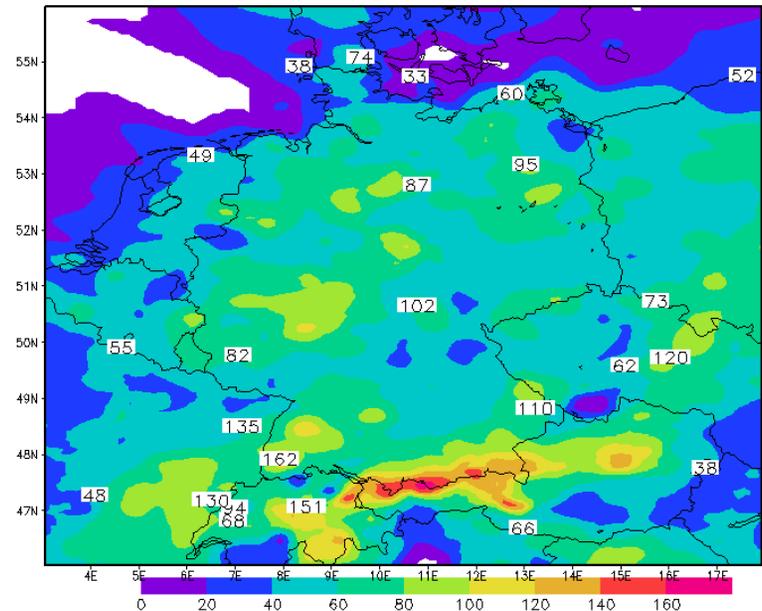
SOx-Deposition im Vergleich mit EMEP Messungen (links) und Niederschlagssumme mit EMEP Messungen (rechts)

Modellierung der Nasse Deposition (6)

NOy (mg N/m²) Monatssumme Mai 2005 vs. EMEP Mess.



Niederschlag (mm) Monatssumme Mai 2005 vs. EMEP Mess.



NOy-Deposition im Vergleich mit EMEP Messungen (links) und Niederschlagssumme mit EMEP Messungen (rechts)

Danke für die Aufmerksamkeit!

Modellierung der Nasse Deposition (3)

- Henry-Gesetz:
 - Das Henry-Gesetz (nach William Henry) beschreibt das Löslichkeitsverhalten von Substanzen in einer Flüssigkeit
 - Die Löslichkeit eines Gases in einer Flüssigkeit ist proportional zu seinem Partialdruck über der Flüssigkeit, vorausgesetzt, das Gas geht keine chemischen Reaktionen mit dem Lösungsmittel ein. Das Verhältnis zwischen der Konzentration des Gases in der Lösung c_{aq} und seinem Partialdruck p_{gas} bildet eine Konstante, die Henry-Konstante H .

$$c_{aq} = H * p_{gas}$$

- Die Henry-Konstante ist temperaturabhängig.

$$H(T) = H(298K) * \exp\left(C\left(\frac{1}{298K} - \frac{1}{T}\right)\right)$$

$$H_{NO}(298K) = 1.9 \times 10^{-3} \text{ M/atm}$$

$$H_{SO_2}(298K) = 1.23 \text{ M/atm}$$

$$H_{HNO_3}(298K) = 2.1 \times 10^5 \text{ M/atm}$$

[\[zurück\]](#)