

# Die Rolle von Lachgas und Methan als Treibhausgase



Ingeborg Levin  
und Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Kohlenstoffkreislauf

Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg

# Inhalt:

Die Bedeutung von atmosphärischem Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) für die Strahlungsbilanz der Erde

Globale Quellen und Senken von atmosphärischem Methan

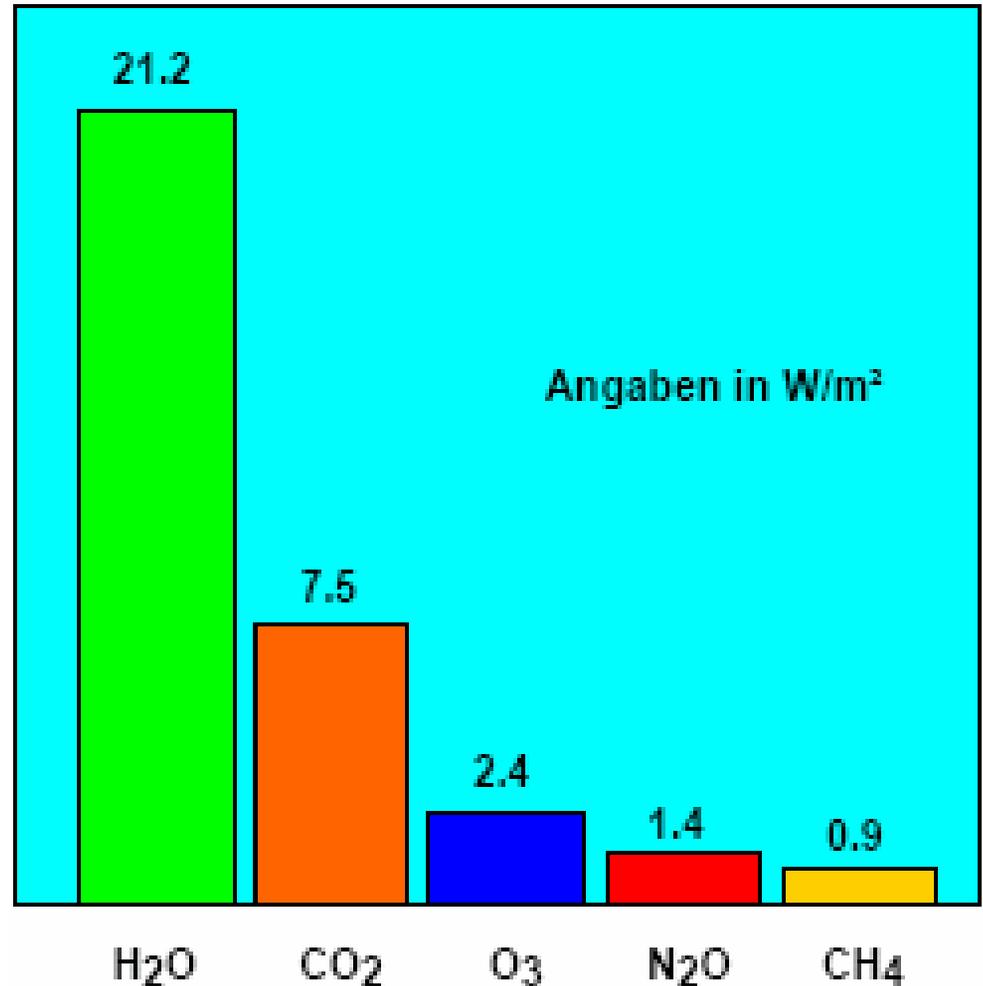
Globale Quellen und Senken von atmosphärischem Lachgas

Entwicklung der  $\text{CH}_4$ - und  $\text{N}_2\text{O}$ -Konzentration in Südwest-Europa: Können wir die offiziell angegebenen Emissionsminderungen durch atmosphärische Messungen bestätigen ?

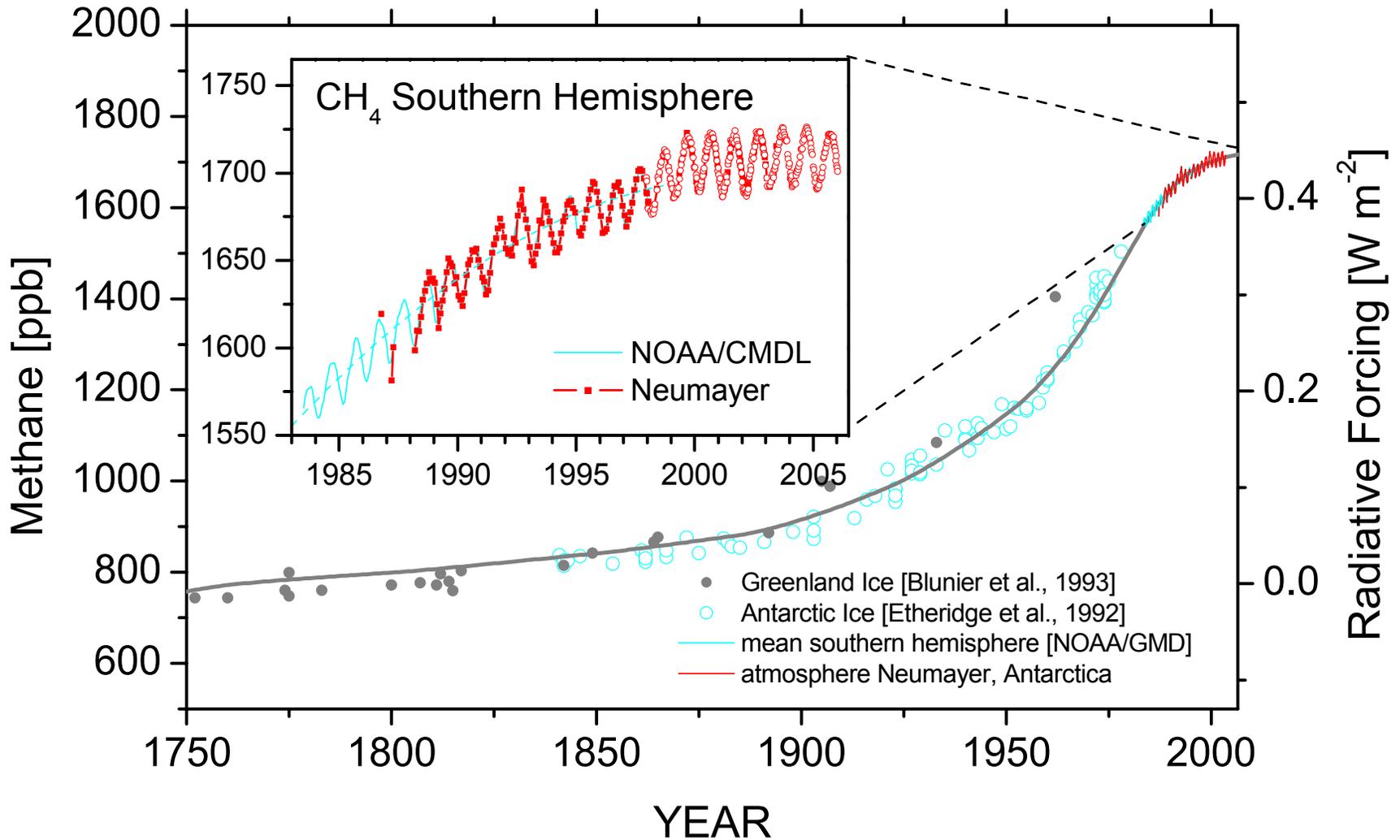
# Einfluss der natürlichen Treibhausgase auf die Strahlungsbilanz der Erde

Gleichgewichtstemperatur der Erde ohne Atmosphäre:  
 $T \approx 255 \text{ K}$

Mit ihrer heutigen Atmosphäre:  
 $T \approx 288 \text{ K}$



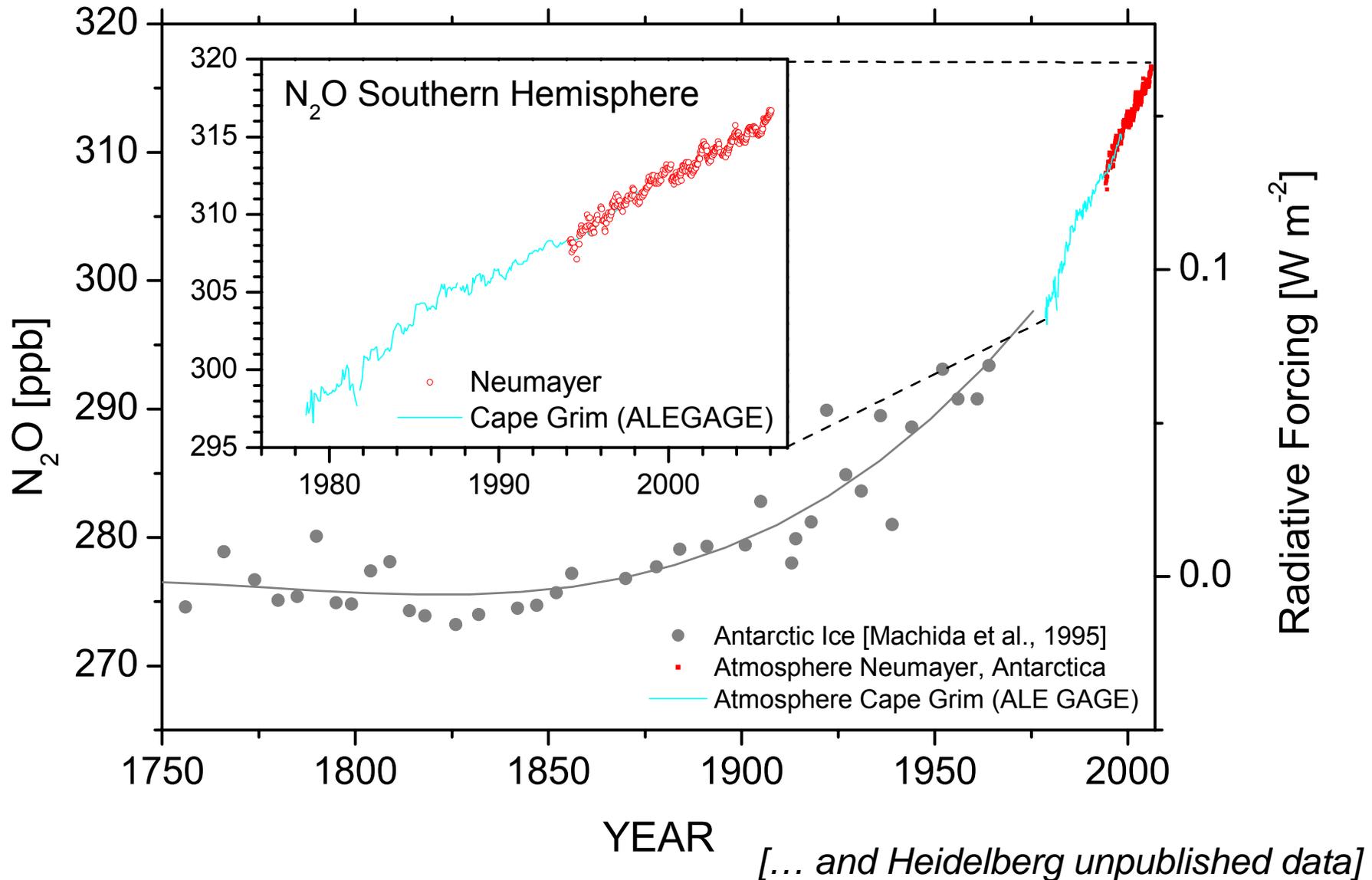
# Atmosphärischer Methan ( $\text{CH}_4$ ) - Anstieg in der Südhemisphäre



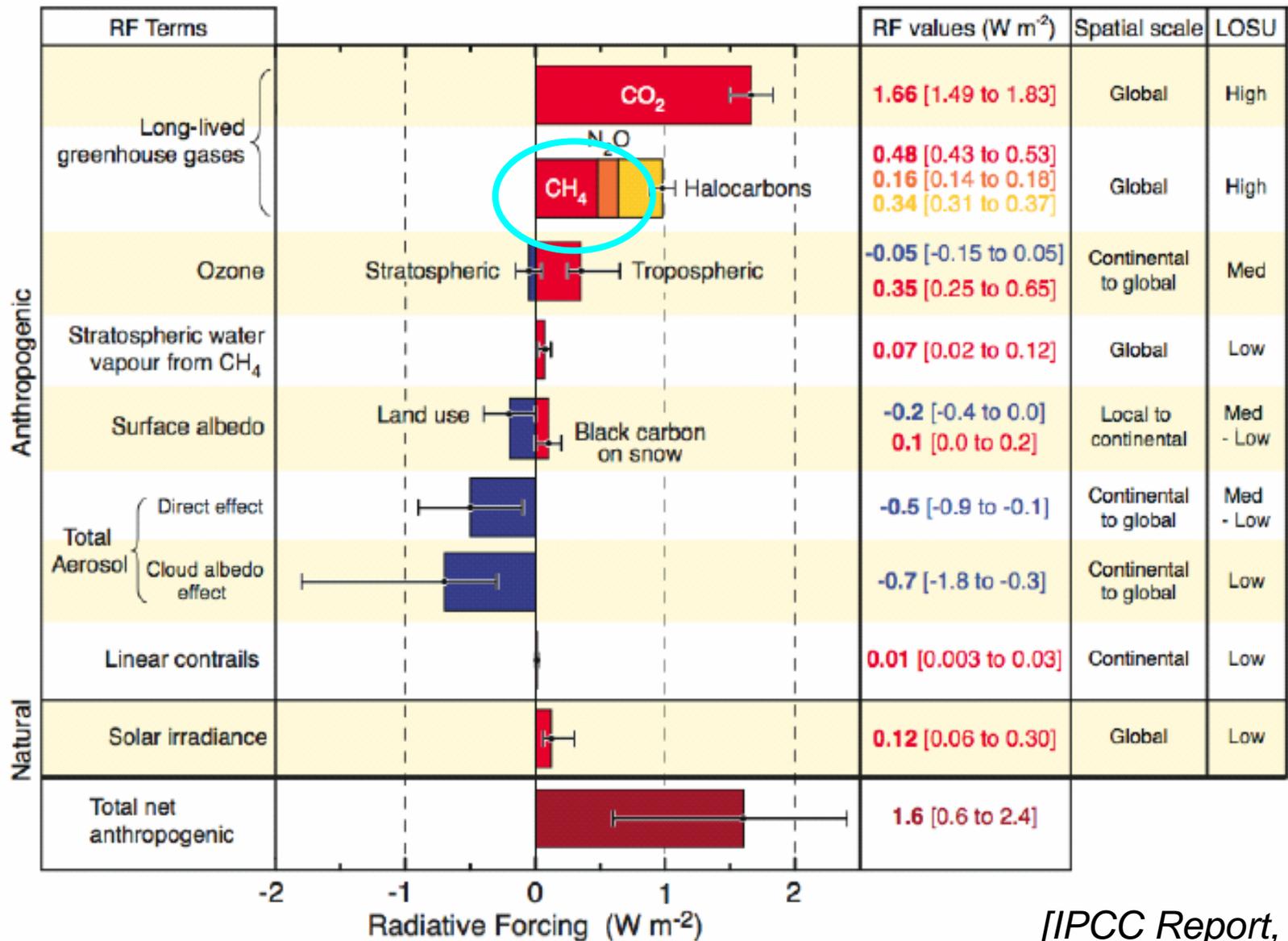
1 ppb  $\text{CH}_4$  = 1  $\text{CH}_4$ -Molekül pro  $10^9$  Luftmoleküle

[... and Heidelberg unpublished data]

# Atmosphärischer Lachgas (N<sub>2</sub>O) - Anstieg in der Südhemisphäre

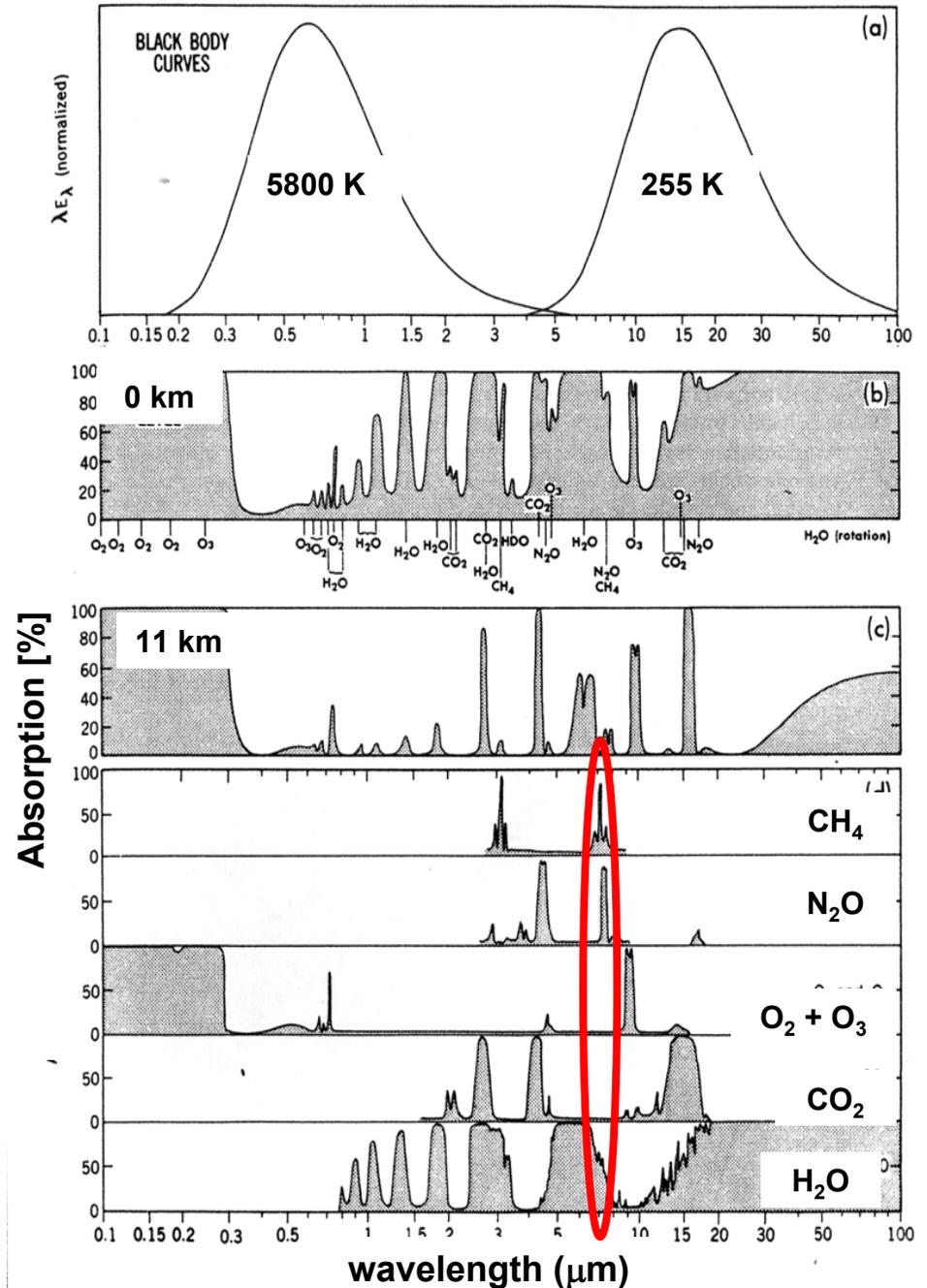


# Zusätzlicher Strahlungsantrieb seit 1750



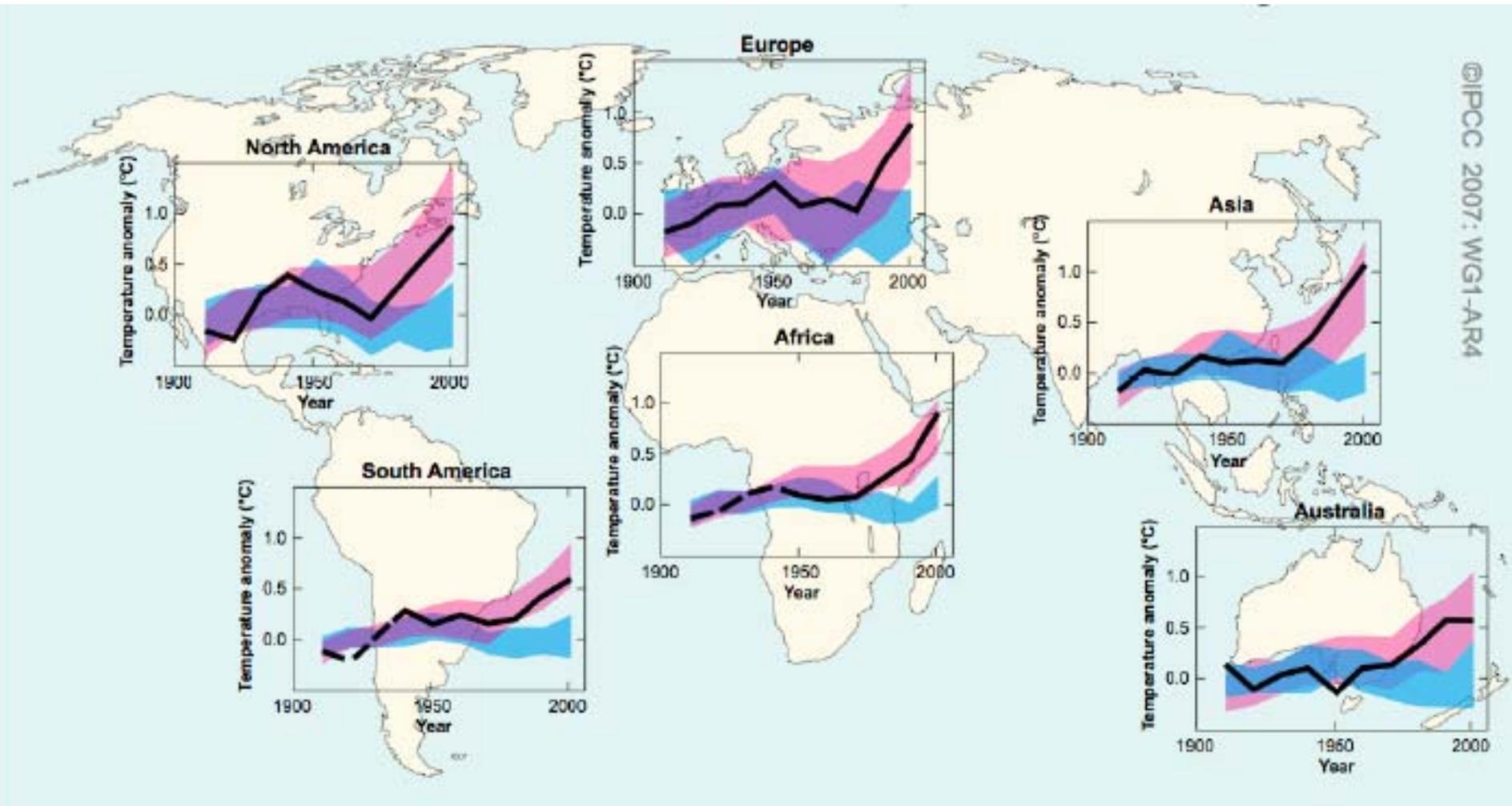
[IPCC Report, 2007]

# Absorptionsbanden der wichtigsten Treibhausgase



[after Peixoto & Oort, 1993]

# Beobachtete und simulierte Temperaturentwicklung in den letzten hundert Jahren



# Inhalt:

Die Bedeutung von atmosphärischem Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) für die Strahlungsbilanz der Erde

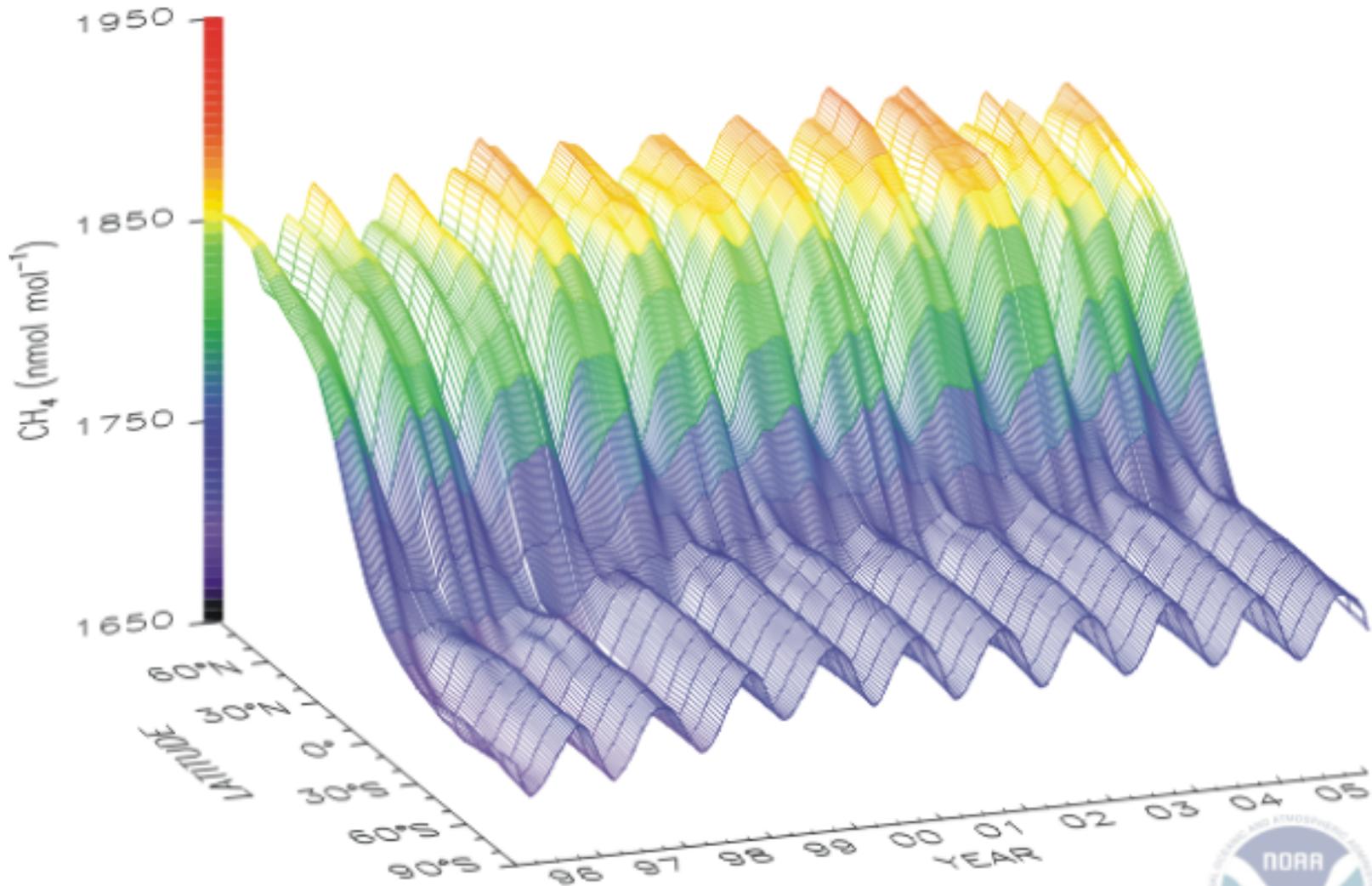
Globale Quellen und Senken von atmosphärischem Methan

Globale Quellen und Senken von atmosphärischem Lachgas

Entwicklung der  $\text{CH}_4$ - und  $\text{N}_2\text{O}$ -Konzentration in Südwest-Europa: Können wir die offiziell angegebenen Emissionsminderungen durch atmosphärische Messungen bestätigen ?



# Globale Verteilung von CH<sub>4</sub> in der Troposphäre: Direkte Messungen



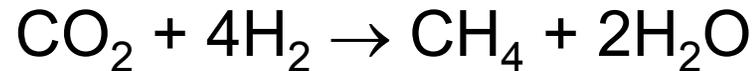
[NOAA/GMD <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/>]

# Produktion von Methan

- \* Bakterien produzieren Methan im **anaeroben Milieu** durch



und über die Reduktion von Kohlendioxid

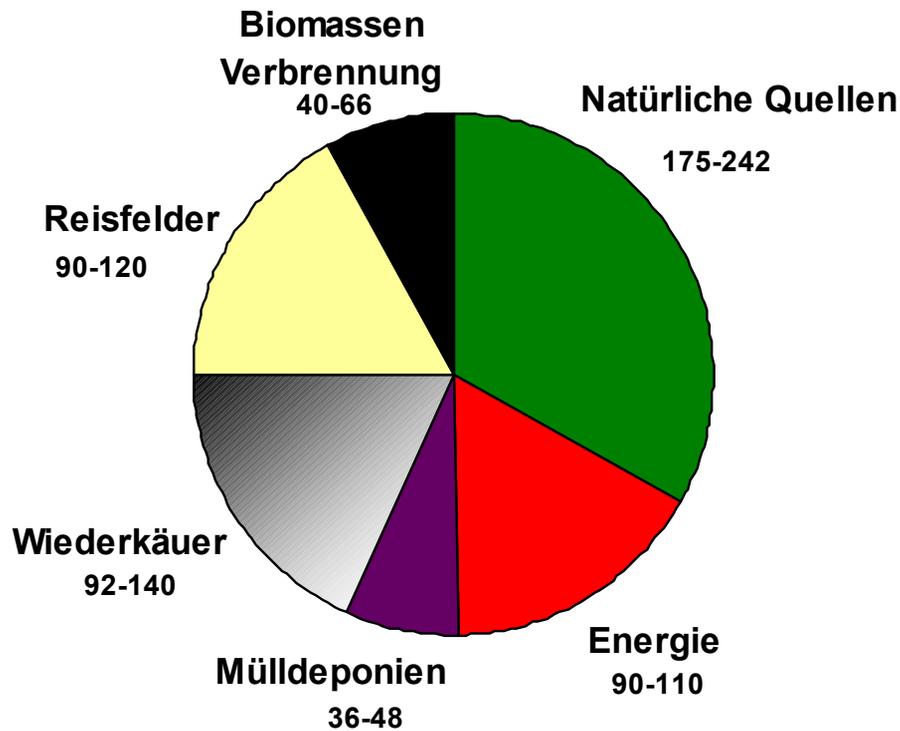


- \* **Thermogene Prozesse** (Pyrolyse und unvollständige Verbrennung) produzieren ebenfalls  $\text{CH}_4$  (and  $\text{CO}$ )

- ?? Eine mögliche zusätzliche Quelle könnten lebende Pflanzen oder abgestorbene Blätter sein, die verantwortlichen Prozesse sind aber (noch) nicht identifiziert [Keppler et al., 2006]

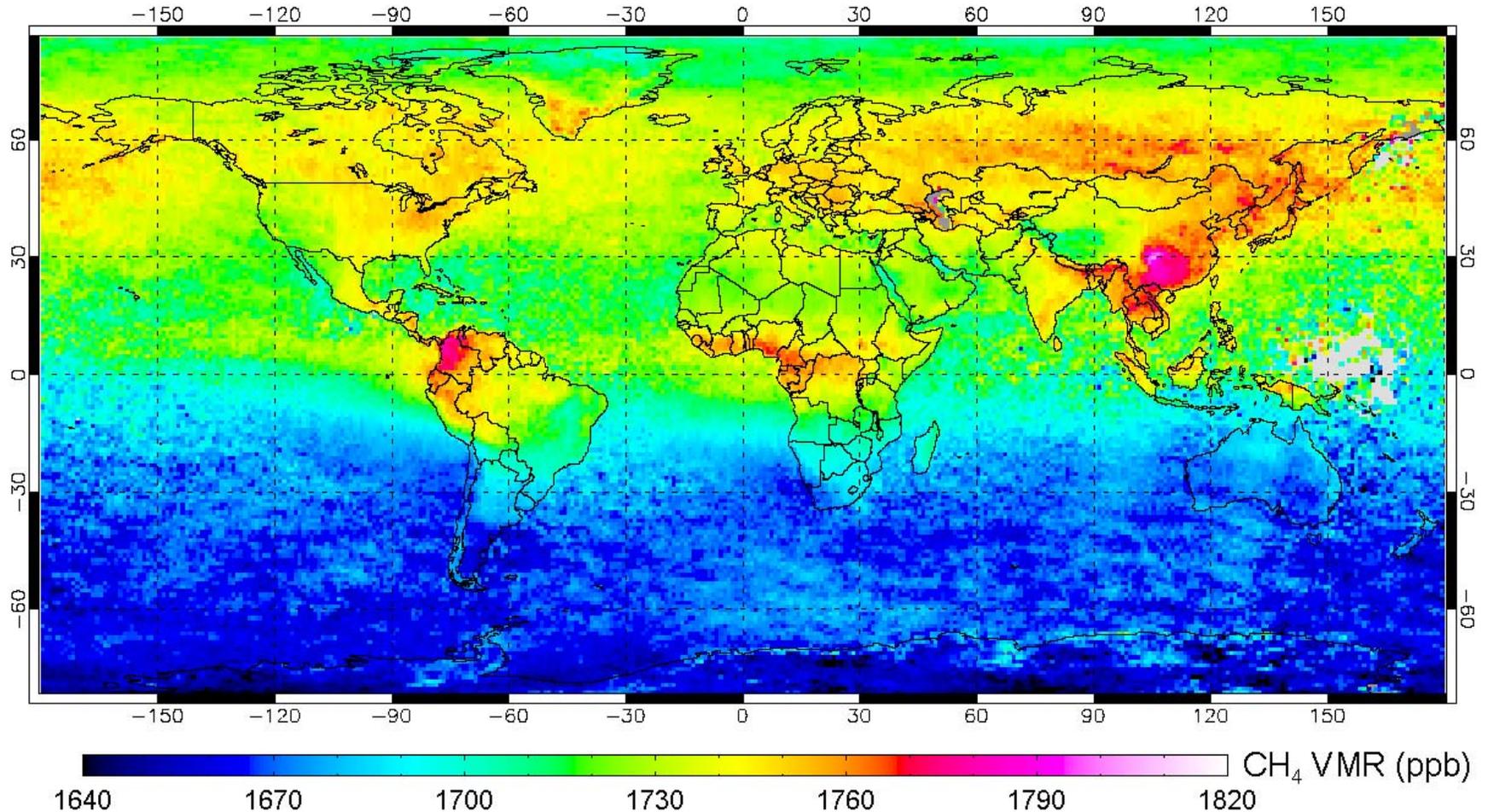
# Globale Quellen und Senken von troposphärischem Methan 1990 - 2000

Quellen [ Tg / yr ]



[after IPCC, 2001]

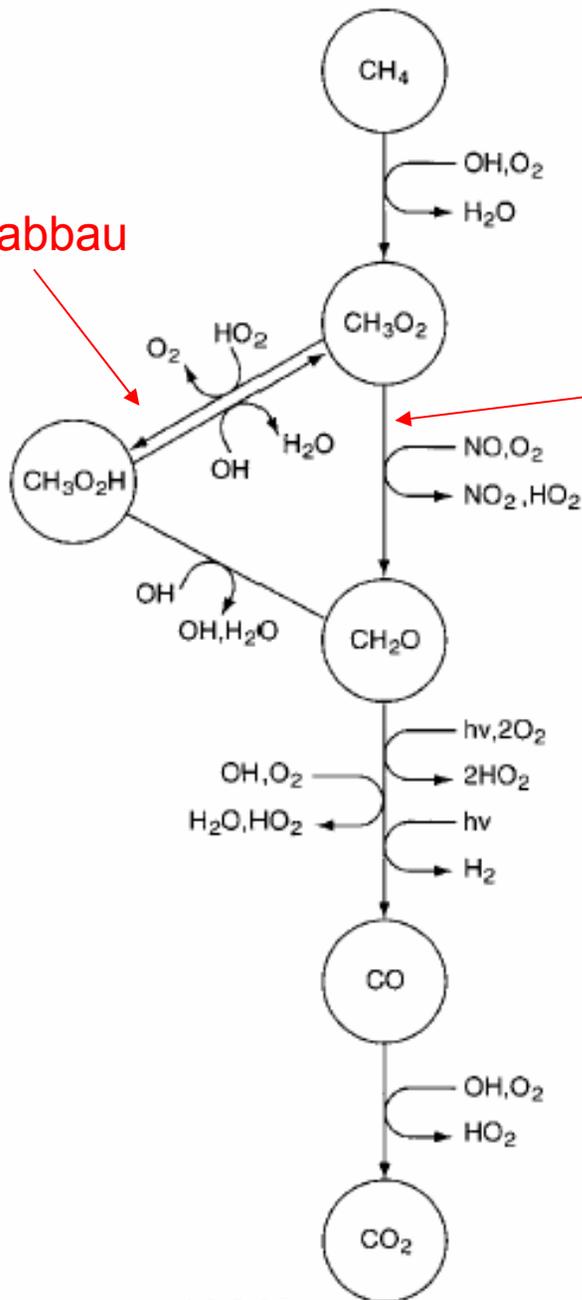
# Global Verteilung von CH<sub>4</sub>-Säulendichten: Satelliten-Messungen (SCIAMACHY auf ENVISAT)



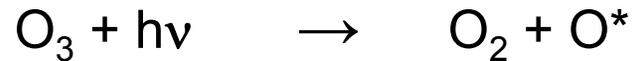
[Frankenberg et al., 2006]

# Oxidation von CH<sub>4</sub> in der Troposphäre durch OH-Radikale

Ozonabbau



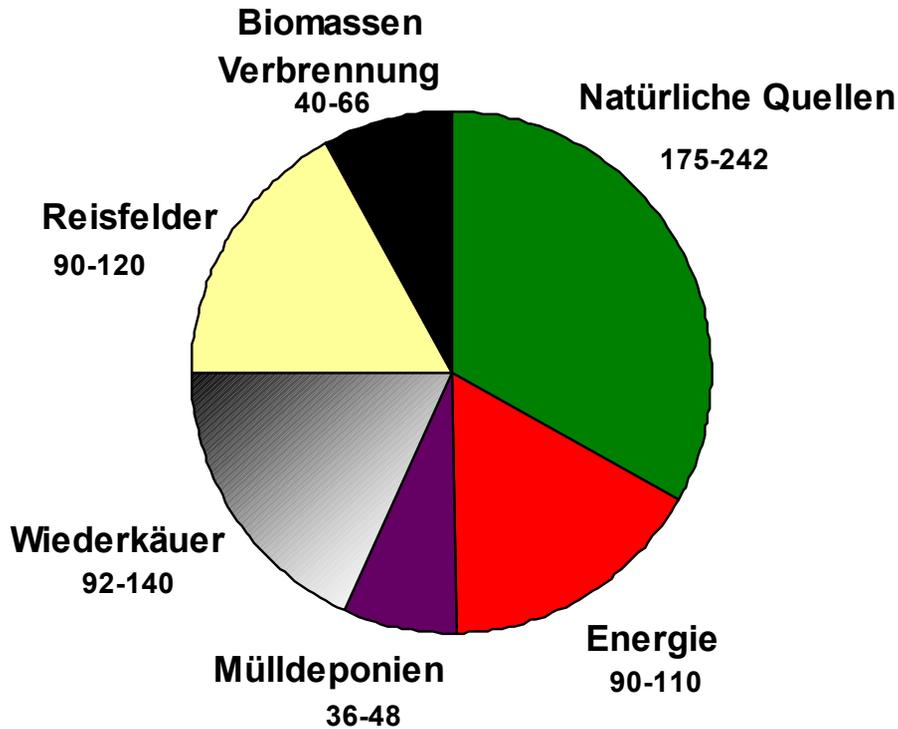
Ozonproduktion



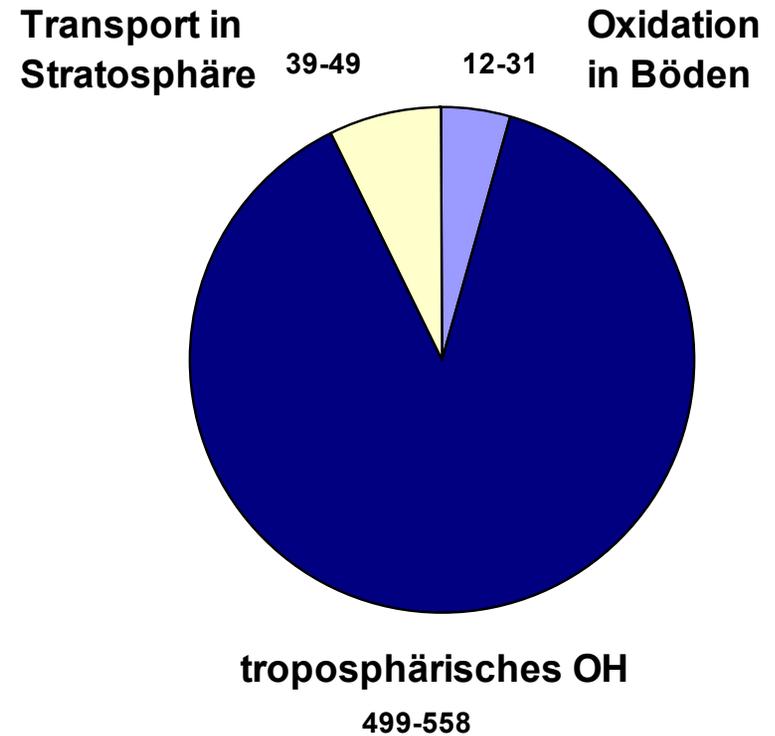
CH<sub>3</sub>CCl<sub>3</sub> (Methylchloroform):  
Tracer (gut bekannte Quelle, Senke via OH) für die globale Verteilung von OH (ca. 10<sup>6</sup> Radikale pro cm<sup>3</sup>)

# Globale Quellen und Senken von troposphärischem Methan 1990 - 2000

**Quellen [ Tg / yr ]**



**Senken [Tg / yr]**



die atmosphärische Lebensdauer von  $\text{CH}_4$  beträgt ca. 10 Jahre

# Stabile Isotope im Methan

$^{12}\text{C}$ : 1  
 $^{13}\text{C}$ : 0.01

H: 1  
 $^2\text{H}$ : 0.00015

## Messung:

Isotopenverhältnis  
Massenspektrometer  
(IRMS)

& Tunable Diode Laser  
Spectroscopy

## Delta Notation [‰]:

$$\delta = \left( \frac{R_{\text{Probe}}}{R_{\text{Standard}}} - 1 \right) \times 1000$$

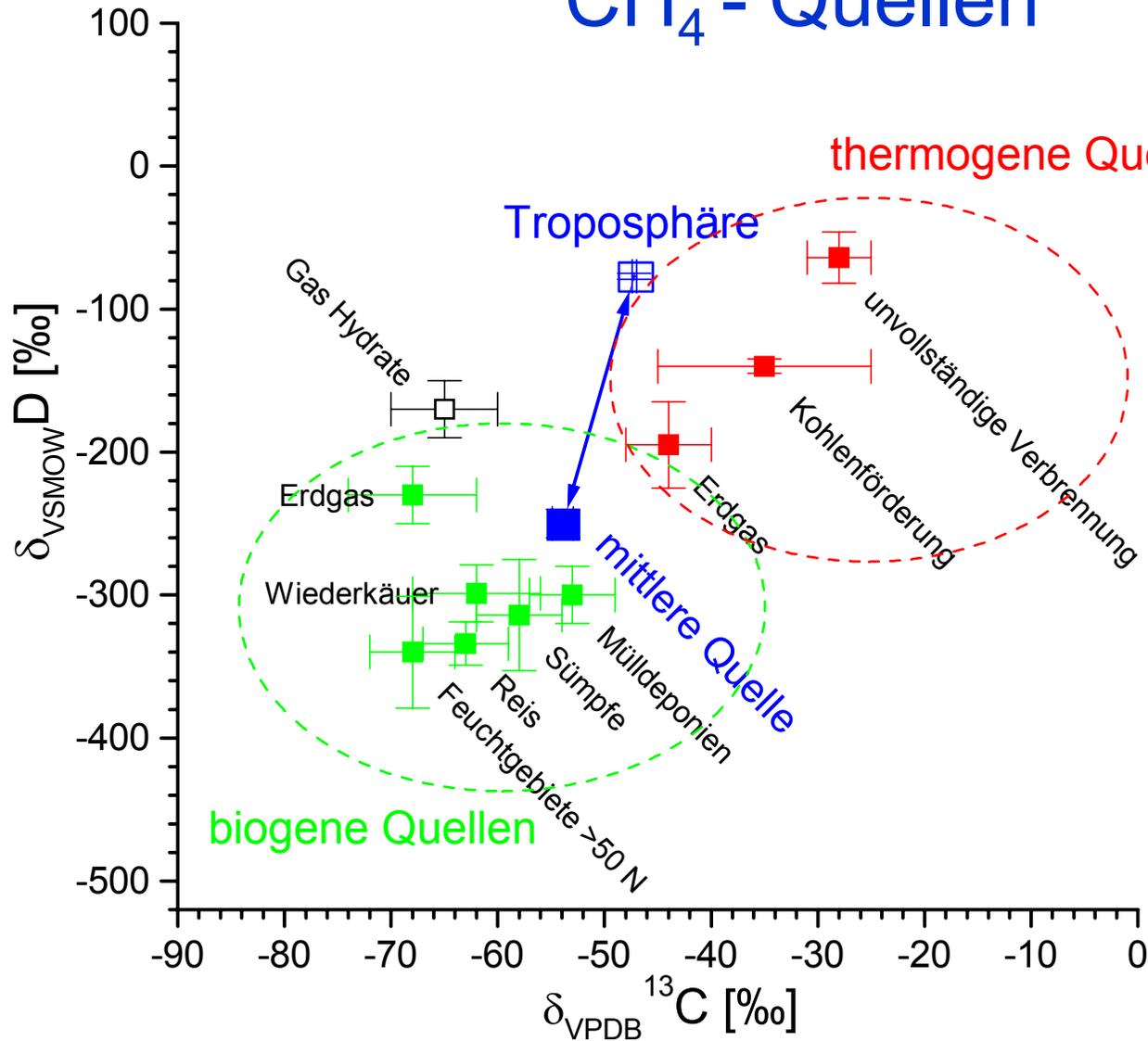
$$R = \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \quad \text{oder} \quad \frac{^2\text{H}}{\text{H}}$$

## Standard:

$^{13}\text{C}$ : Vienna-PDB

$^2\text{H}$ : Vienna-SMOW

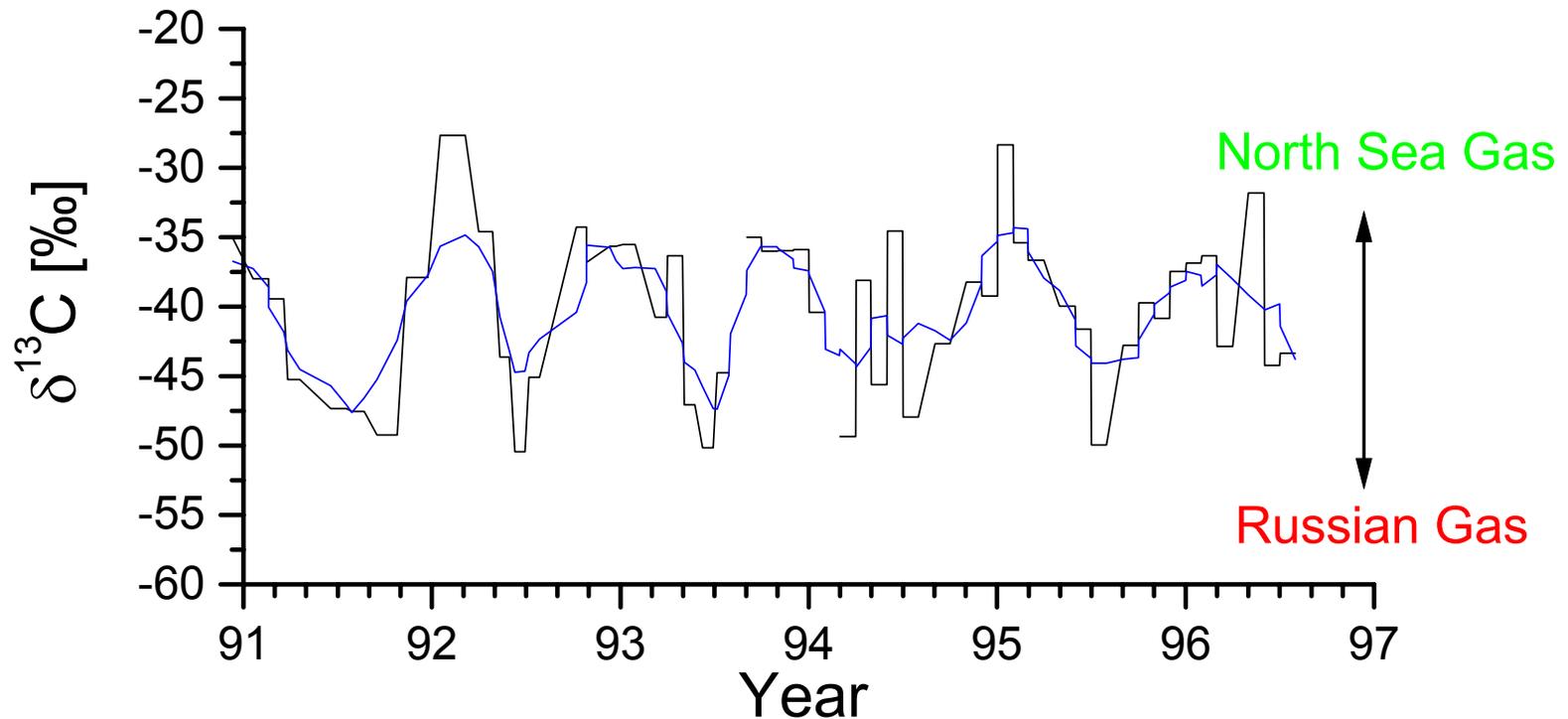
# Stabile Isotope in atmosphärischen CH<sub>4</sub> - Quellen



[Heidelberg unpublished data]

# Direkte Messungen an Quell - CH<sub>4</sub>

z.B. Erdgas in Heidelberg ...

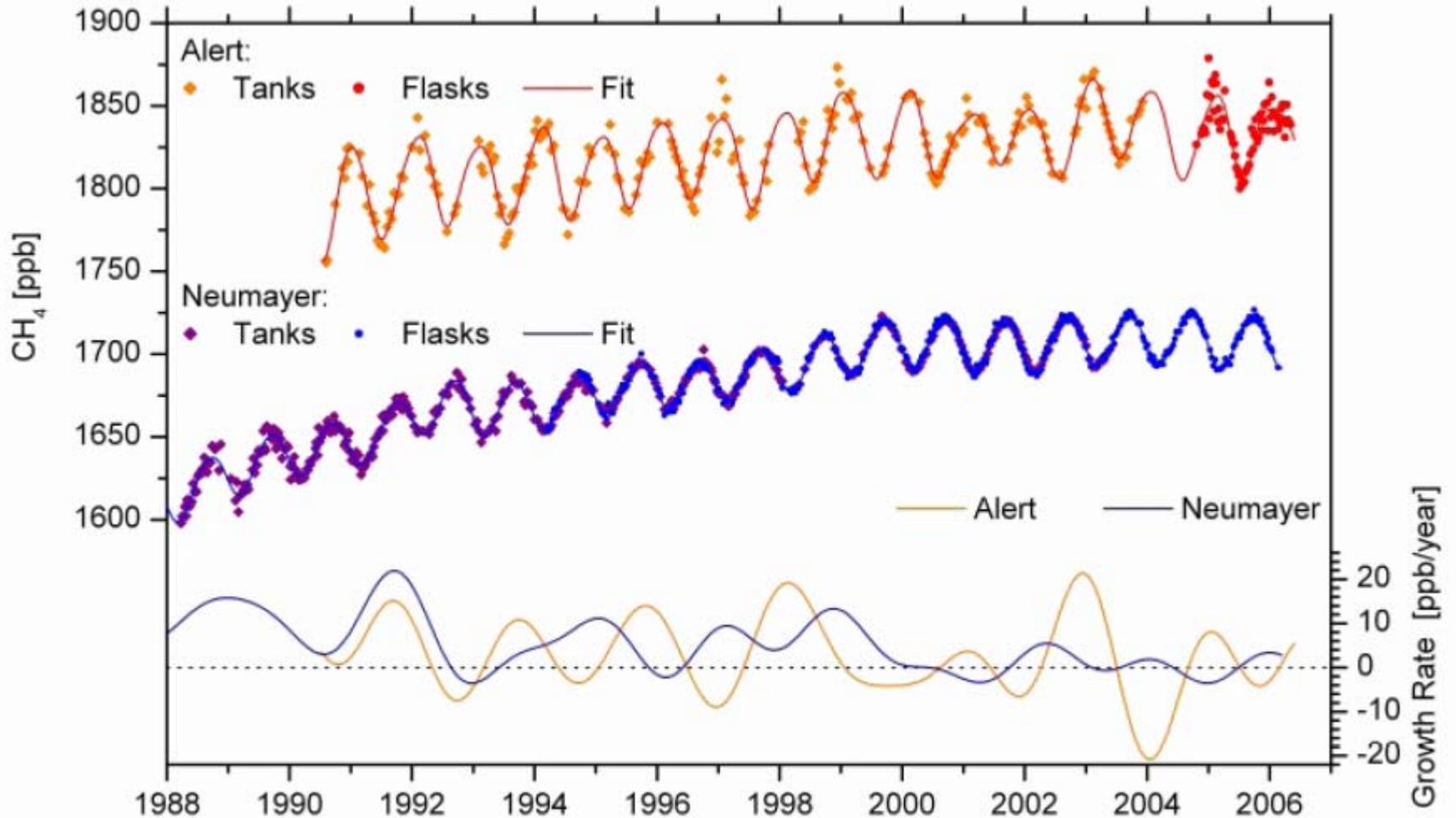


*[Heidelberg unpublished data]*

# Globales Heidelberger Messnetz für $\text{CH}_4$ - Isotope

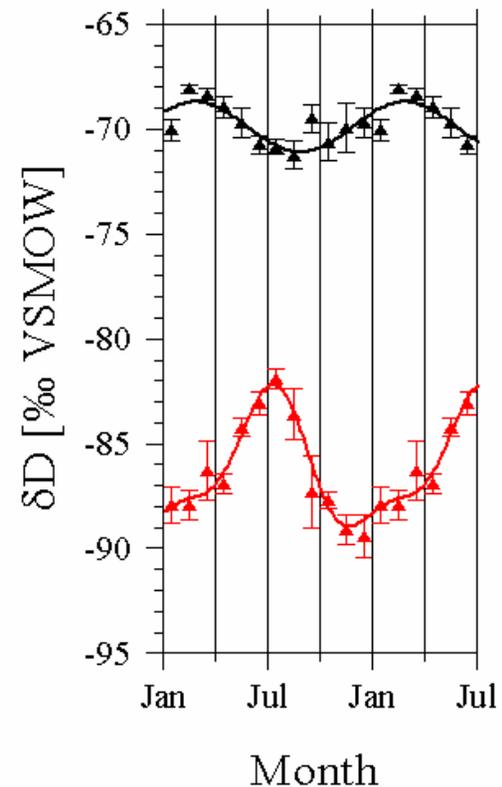
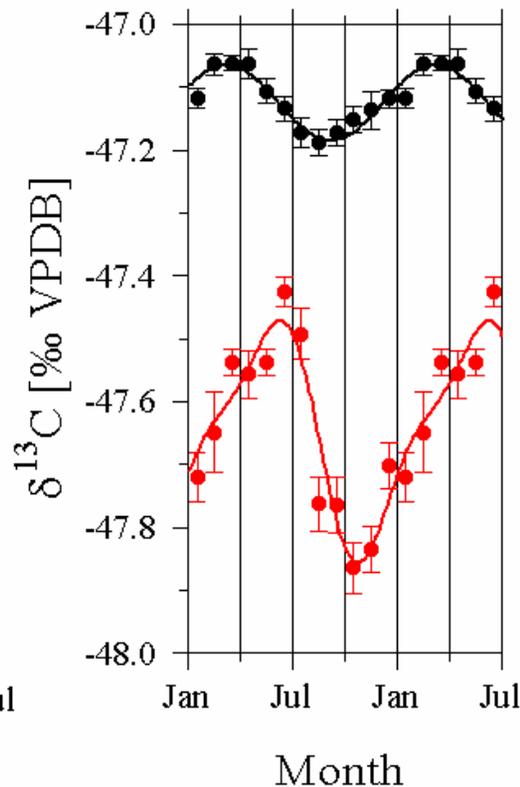
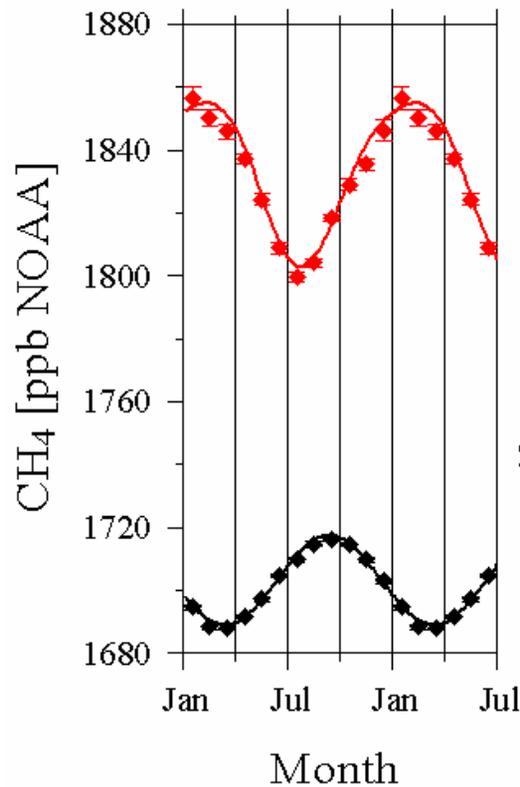
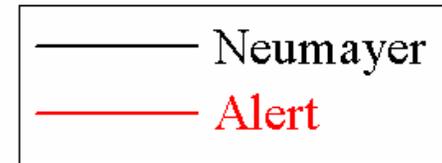


# Vergleich von CH<sub>4</sub> - Messungen in der Arktis und Antarktis



[Heidelberg unpublished data]

# Mittlere Jahresgänge und Nord – Süd - Gradient



[Dissertation Poß, 2003]

# Inhalt:

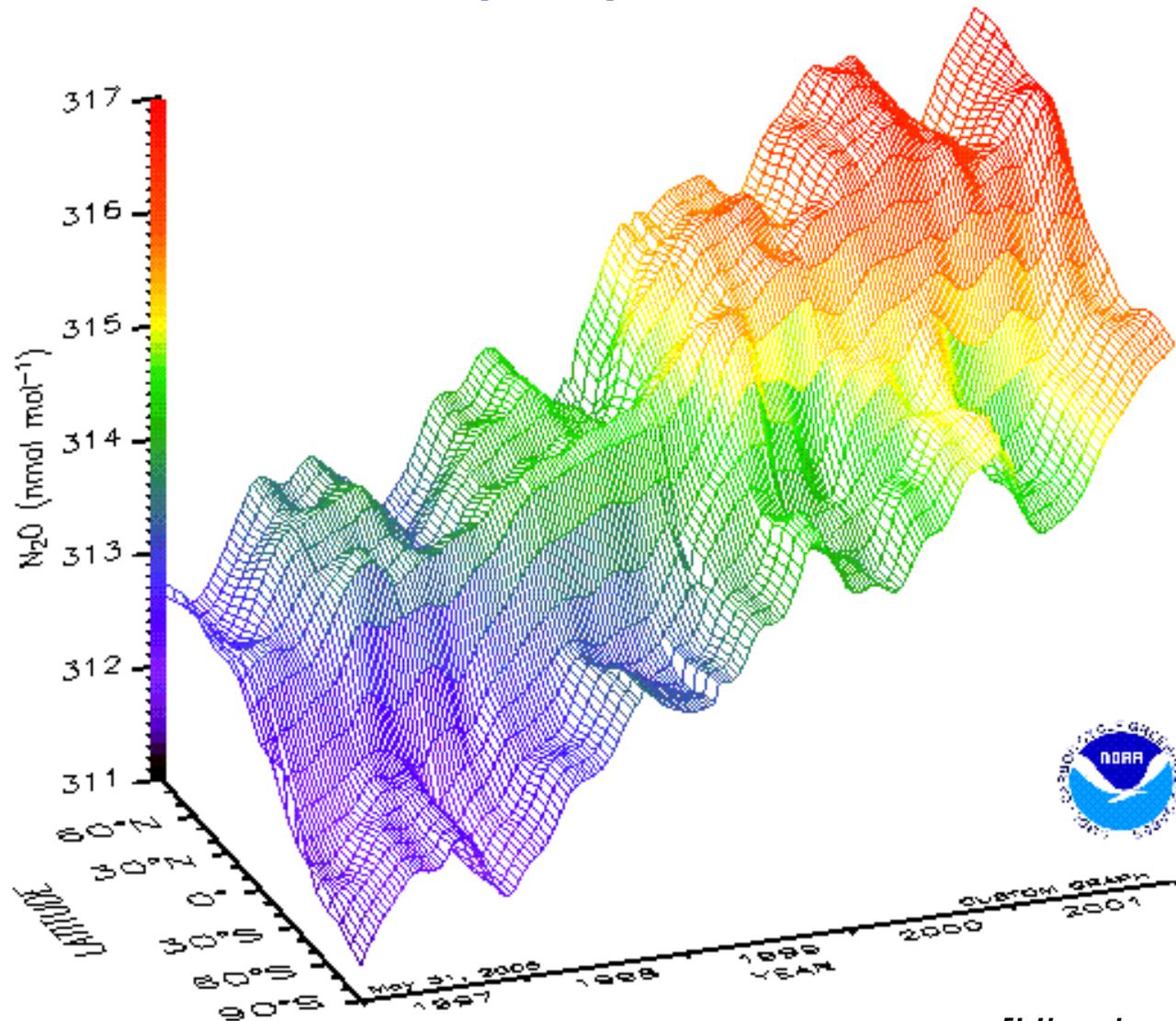
Die Bedeutung von atmosphärischem Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) für die Strahlungsbilanz der Erde

Globale Quellen und Senken von atmosphärischem Methan

Globale Quellen und Senken von atmosphärischem Lachgas

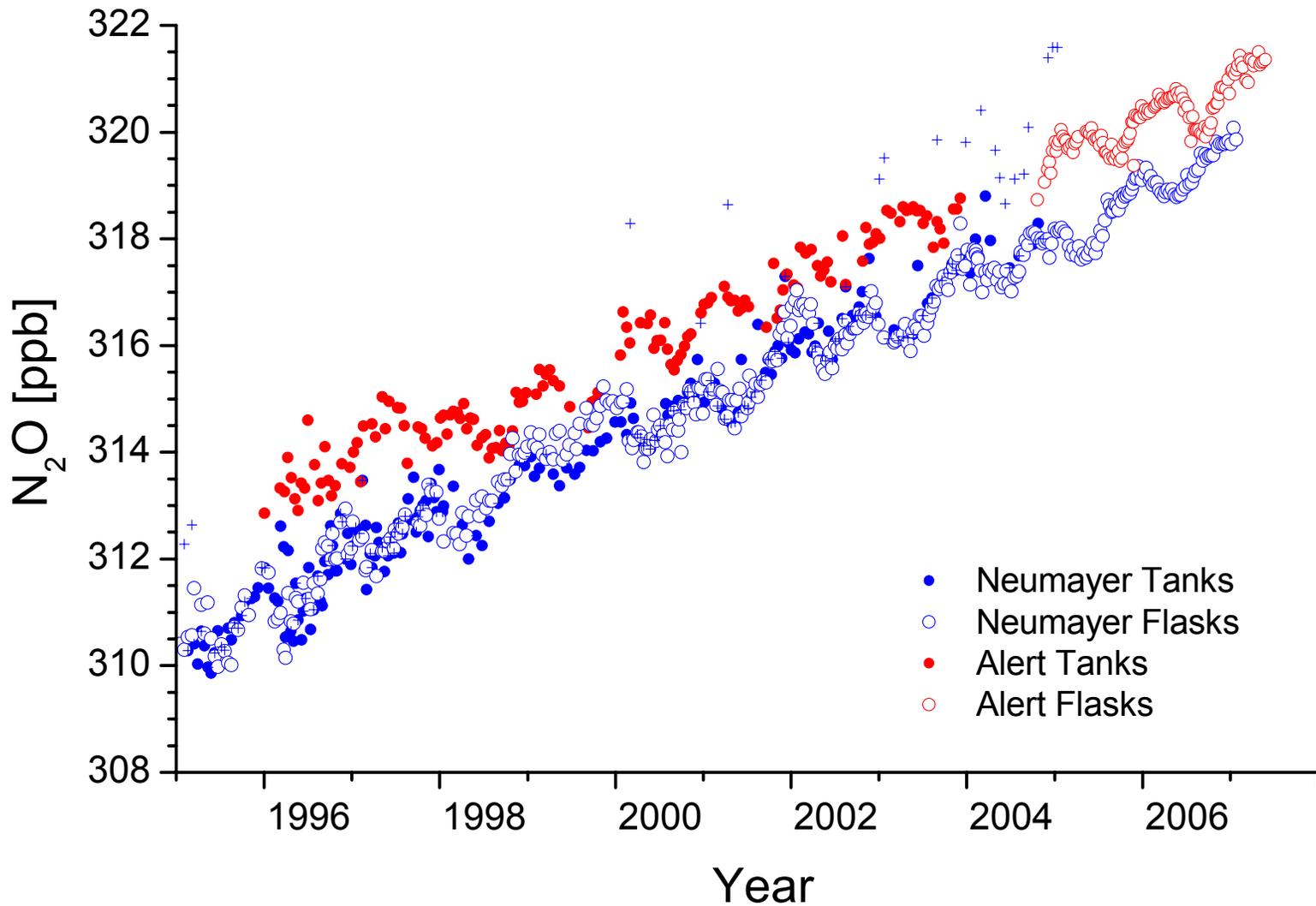
Entwicklung der  $\text{CH}_4$ - und  $\text{N}_2\text{O}$ -Konzentration in Südwest-Europa: Können wir die offiziell angegebenen Emissionsminderungen durch atmosphärische Messungen bestätigen ?

# Globale Verteilung von N<sub>2</sub>O in der Troposphäre



[Hirsch et al., 2006]

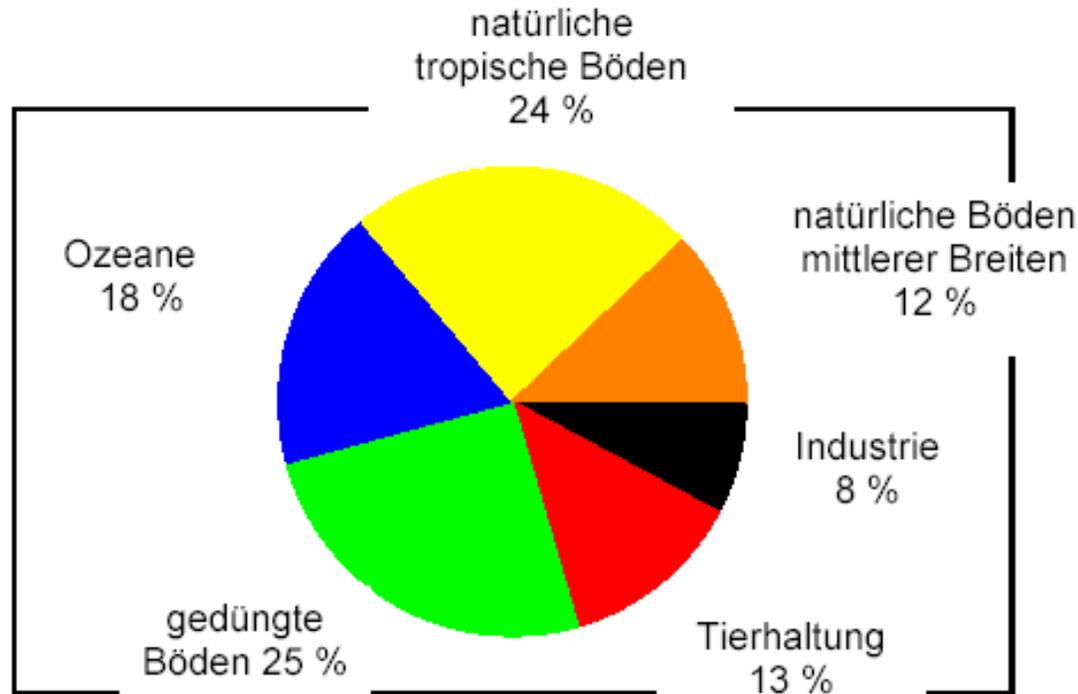
# Vergleich von N<sub>2</sub>O - Messungen in der Arktis und Antarktis



*[Heidelberg unpublished data]*

# Das globale troposphärische N<sub>2</sub>O - Budget

## Quellen:



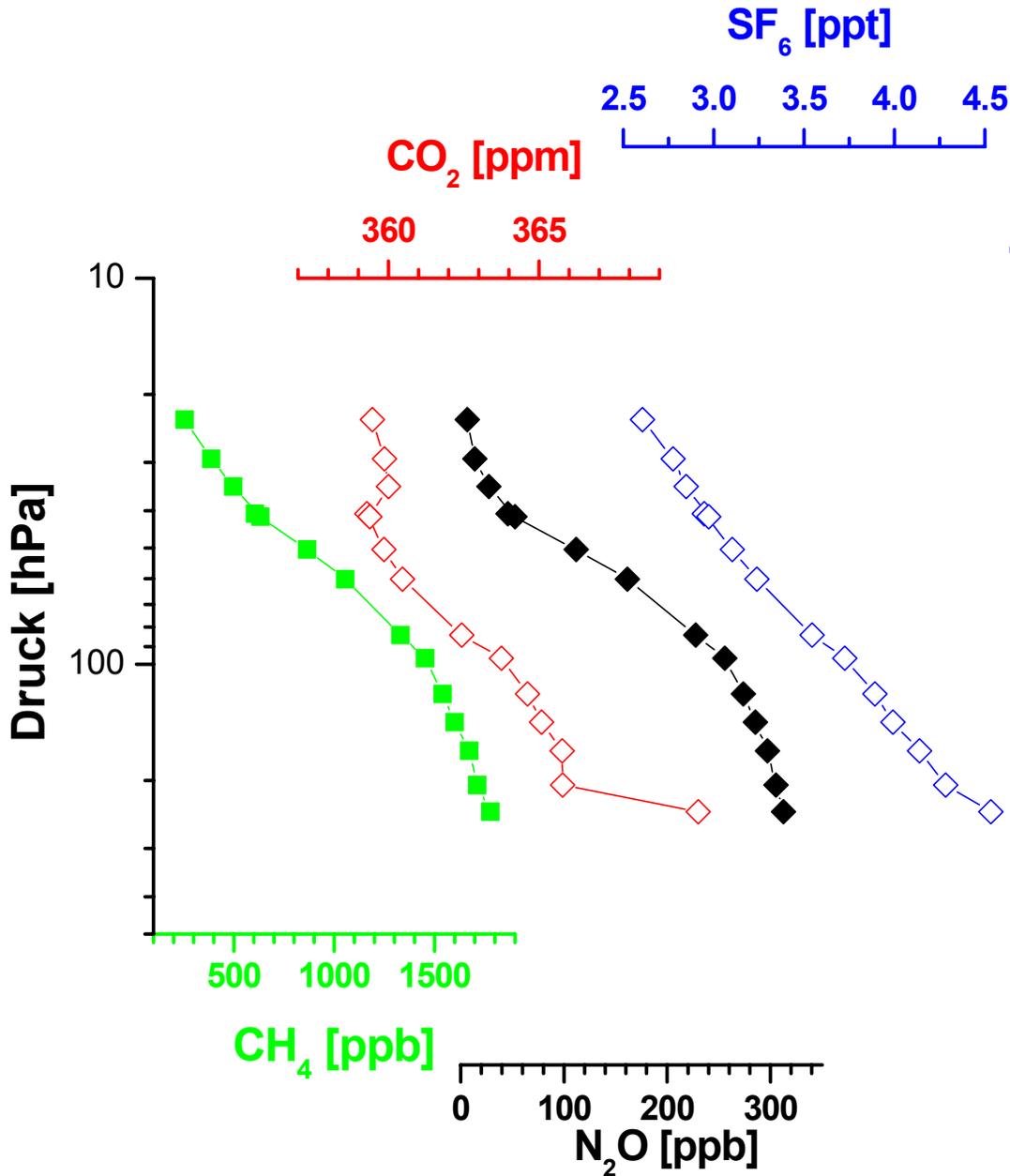
Natürliche Quellen:  
ca.  $11 \cdot 10^{12}$  g N yr<sup>-1</sup>

Anthropogene  
Quellen:  
ca.  $6.7 \cdot 10^{12}$  g N yr<sup>-1</sup>

## Senken:

UV-Photolyse und Oxidation (O(<sup>1</sup>D)) in der  
Stratosphäre ( $\lambda < 240$  nm)

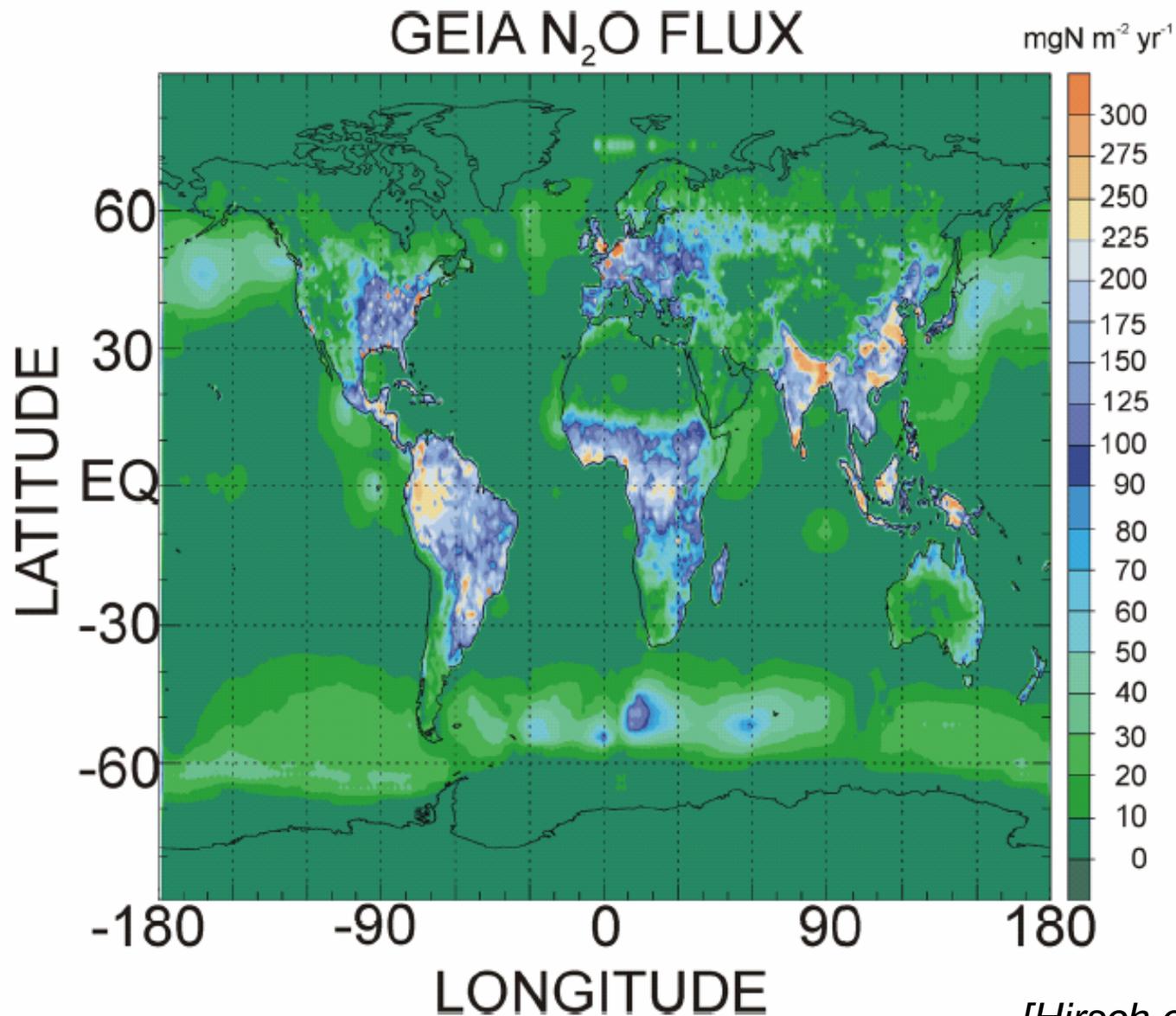
# Kiruna, 01.03.2000



Treibhausgas-  
Profile in der  
Stratosphäre

*[Heidelberg unpublished data]*

# Globale Verteilung der N<sub>2</sub>O - Quellen



# Die Rolle von $N_2O$ im globalen Stickstoffkreislauf

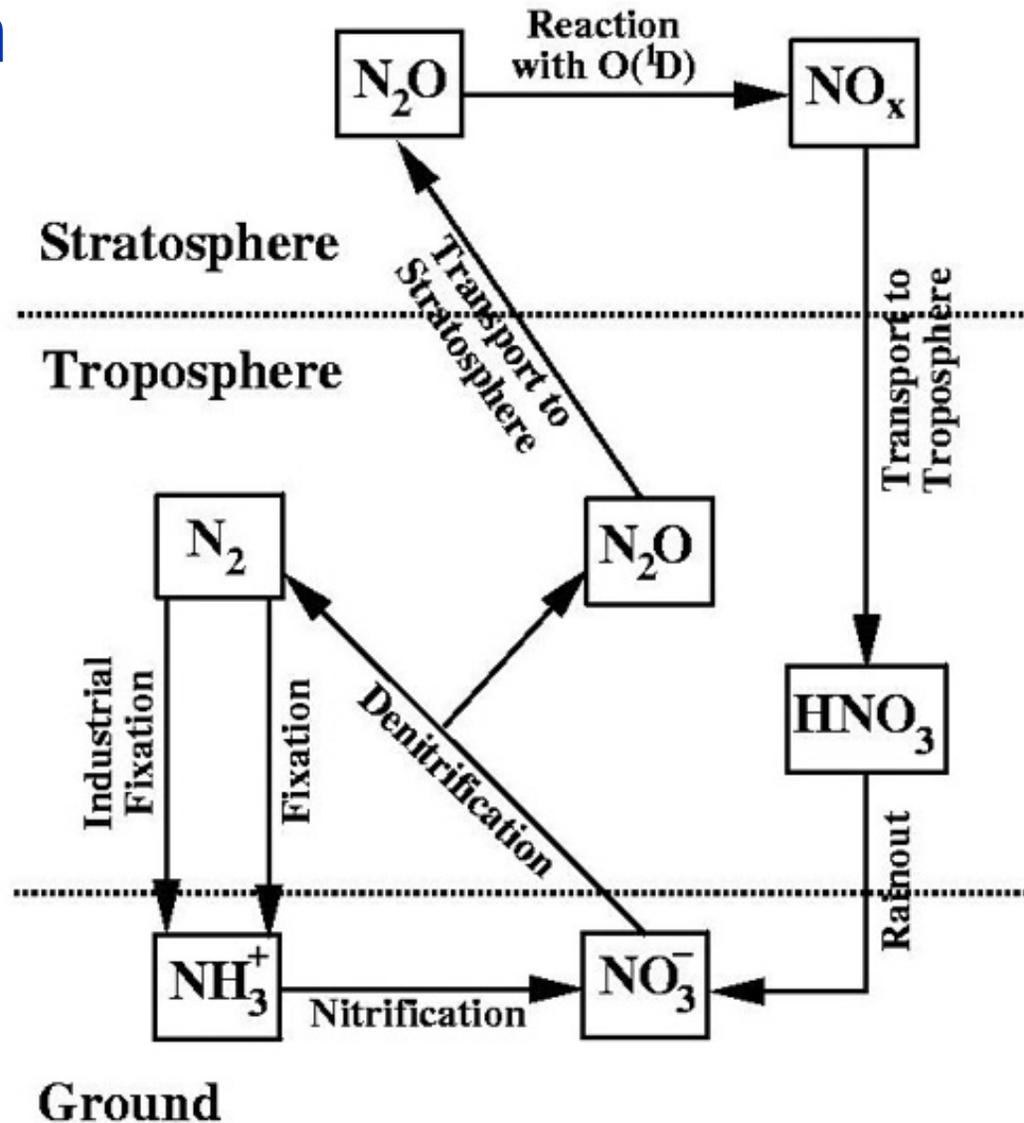


Figure 2. Simplified schematic of flows within the nitrogen biogeochemical cycle. Boxes indicate forms of nitrogen while arrows indicate processes converting nitrogen from one form to another.

# Inhalt:

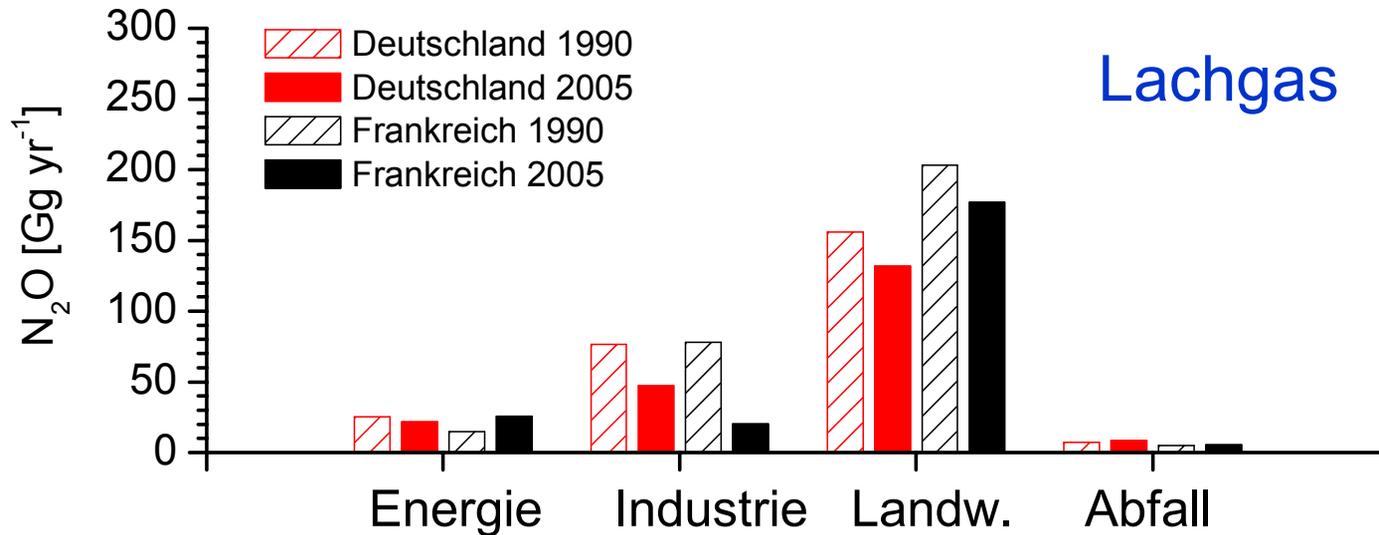
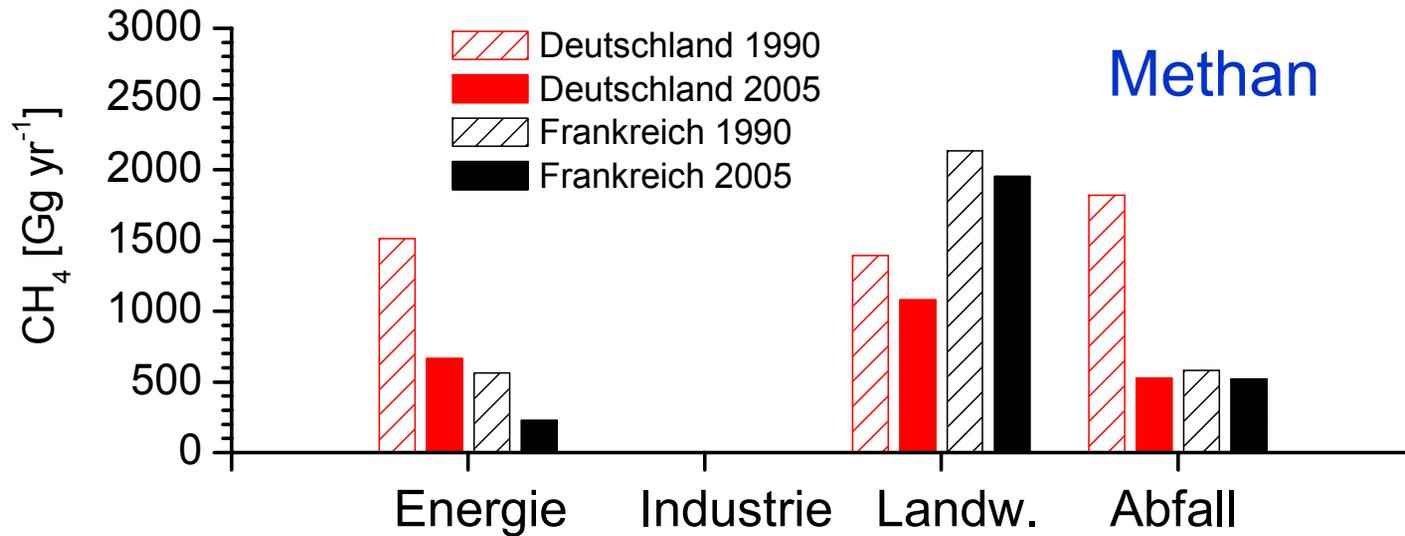
Die Bedeutung von atmosphärischem Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) für die Strahlungsbilanz der Erde

Globale Quellen und Senken von atmosphärischem Methan

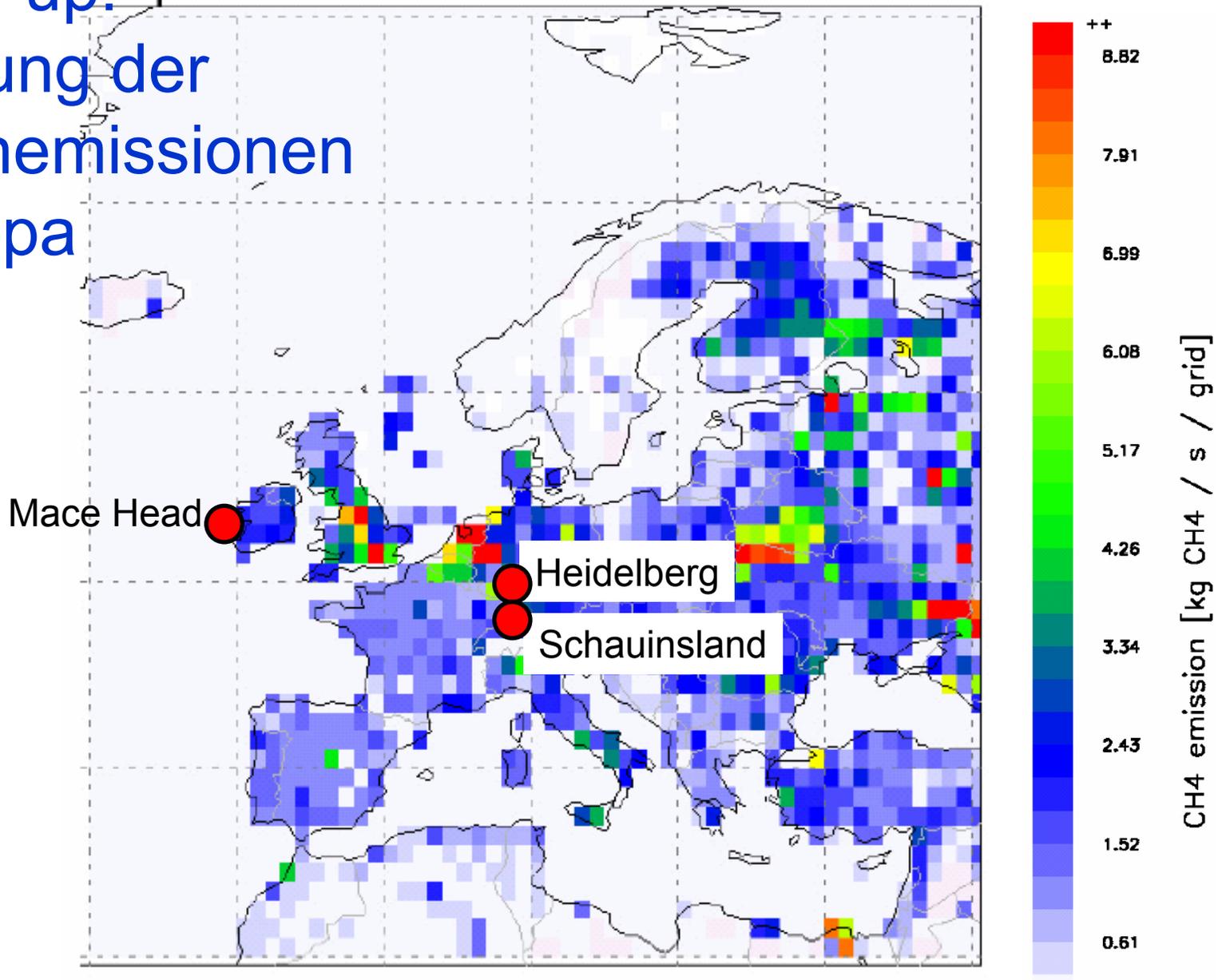
Globale Quellen und Senken von atmosphärischem Lachgas

Entwicklung der  $\text{CH}_4$ - und  $\text{N}_2\text{O}$ -Konzentration in Südwest-Europa: Können wir die offiziell angegebenen Emissionsminderungen durch atmosphärische Messungen bestätigen ?

# CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O- Emissionen in Deutschland und Frankreich

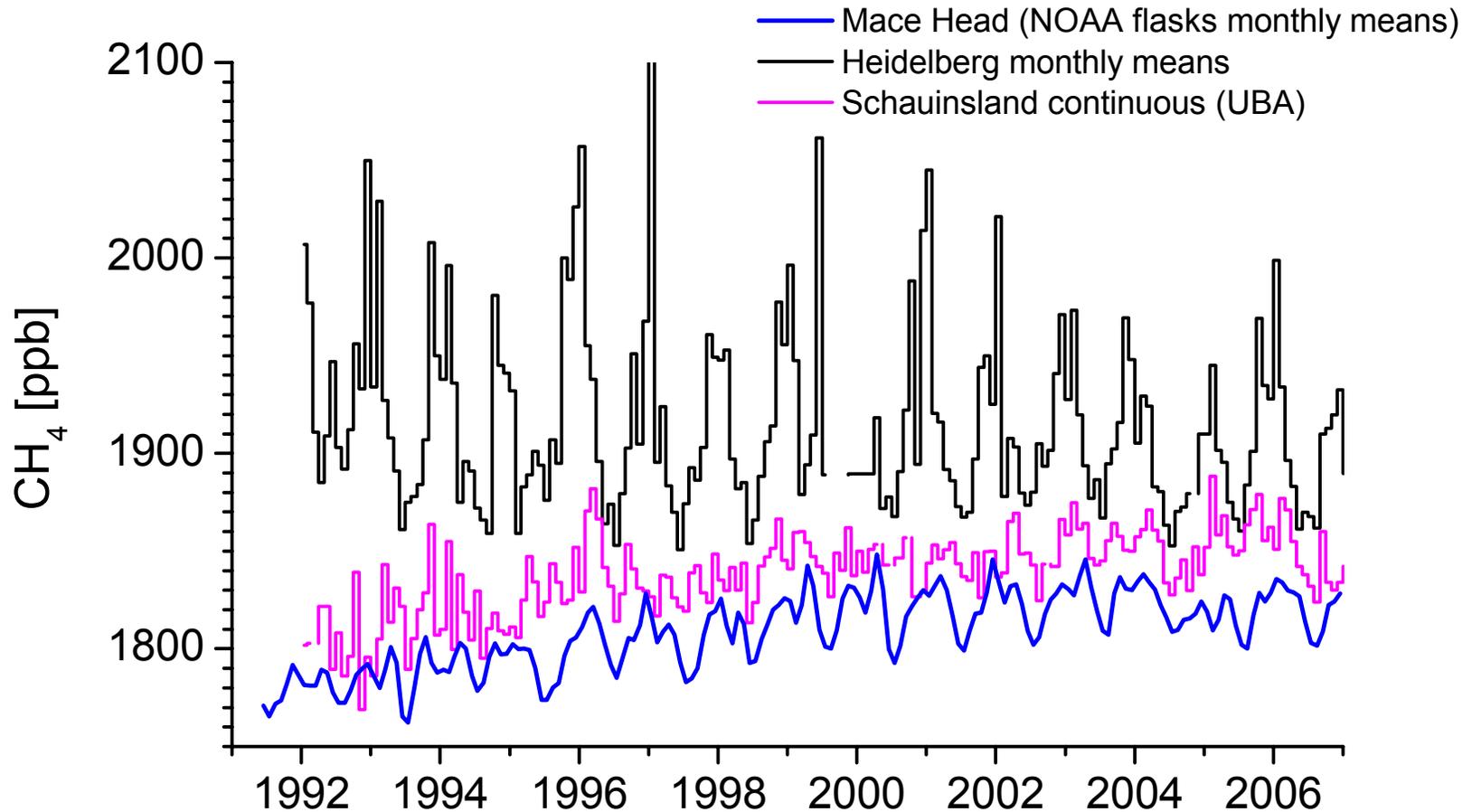


# Bottom-up: Verteilung der Methanemissionen in Europa



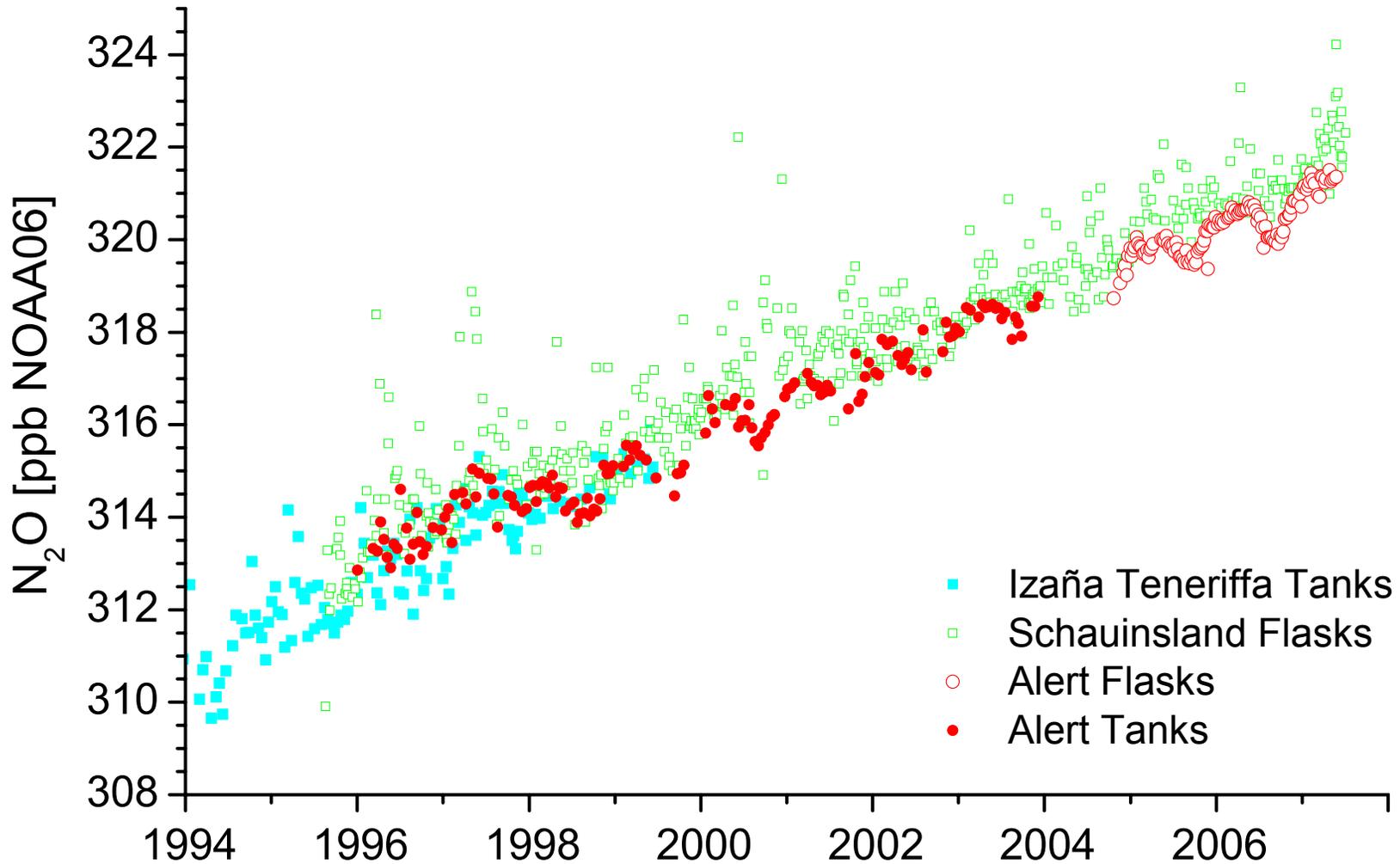
[Bergamaschi et al., 2005]

# CH<sub>4</sub> „Gradienten“ über Südwest-Europa



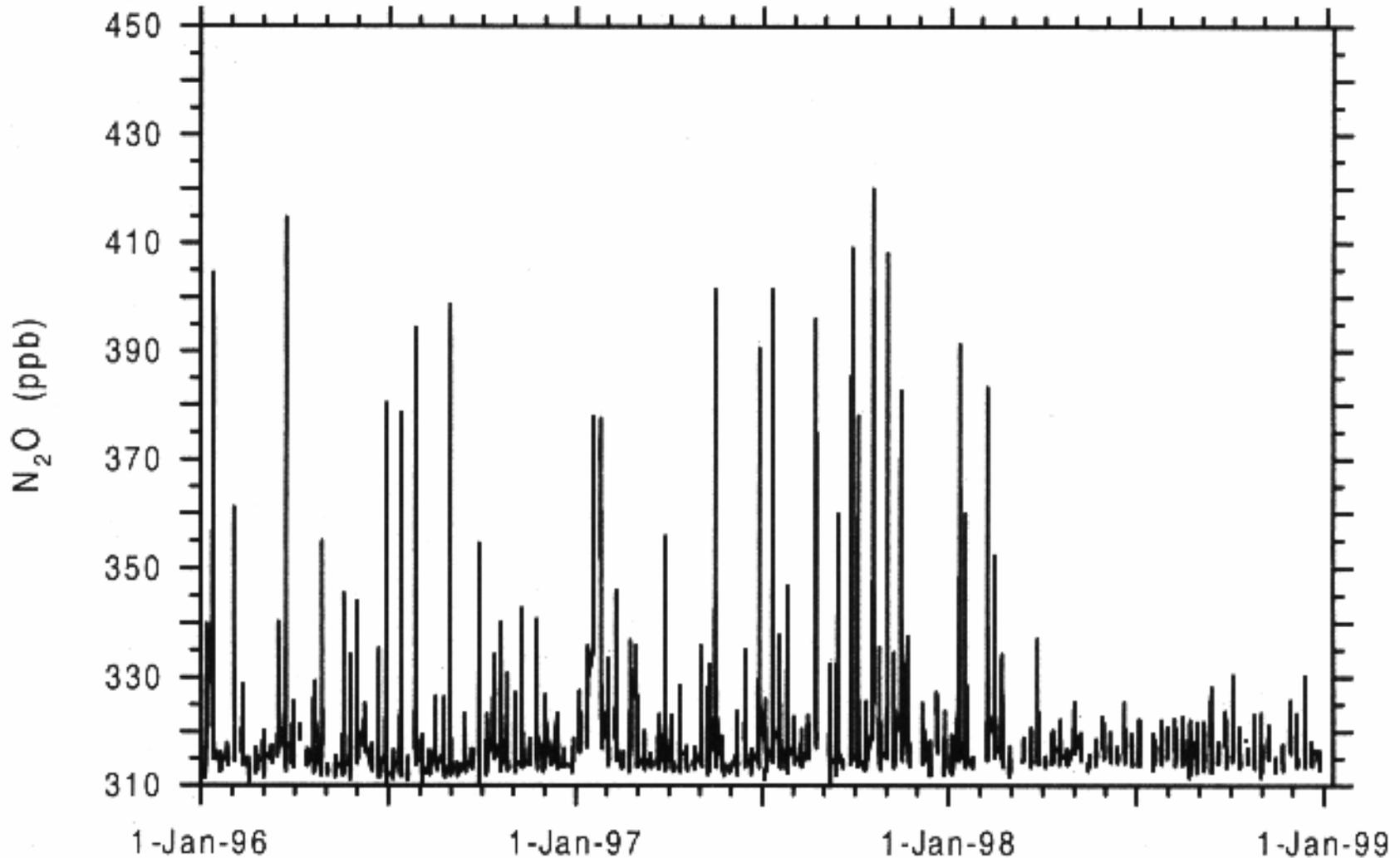
[Levin et al., 1999; NOAA/GMD, Umweltbundesamt and Heidelberg unpublished data]

# N<sub>2</sub>O „Gradienten“ über Europa



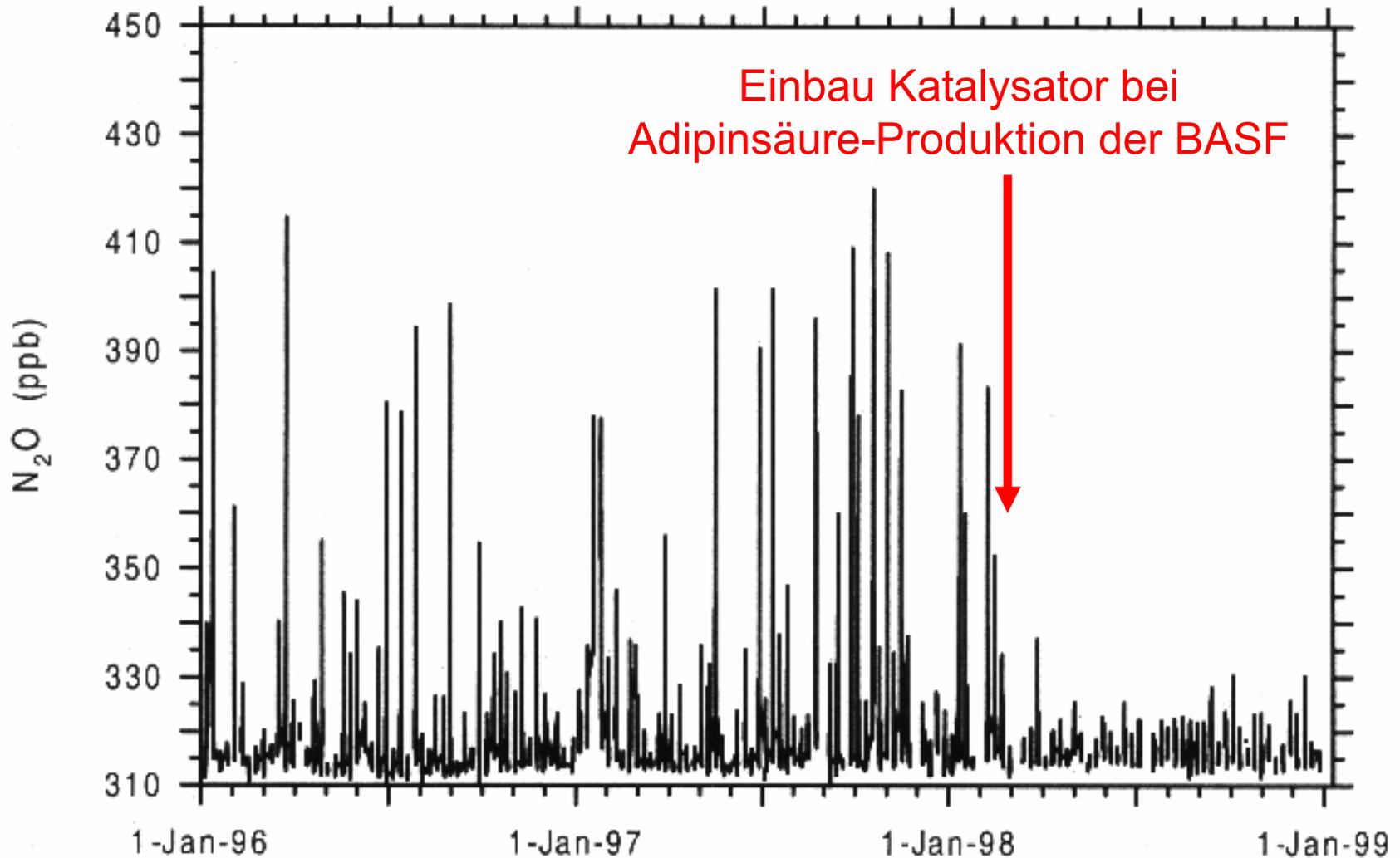
*[Heidelberg unpublished data]*

# Regionale N<sub>2</sub>O Variationen im Rhein-Neckar-Raum: Heidelberg



[Schmidt et al., 2001]

# Regionale N<sub>2</sub>O Variationen im Rhein-Neckar-Raum: Heidelberg



# Zusammenfassung 1

- Atmosphärisches  $\text{CH}_4$  wird hauptsächlich über Bakterien bei der anaeroben Zersetzung organischen Materials erzeugt  
→ Sumpfgas
- Die wichtigsten anthropogenen Quellen von  $\text{CH}_4$  sind Reisanbau, Tierhaltung, Mülldeponien und Förderung und Verteilung fossiler Energieträger
- Der Abbau von  $\text{CH}_4$  erfolgt im Wesentlichen über OH-Oxidation in der Troposphäre, die mittlere atmosphärische Lebensdauer von  $\text{CH}_4$  beträgt etwa 10 Jahre
- Der Anstieg von  $\text{CH}_4$  seit der Industrialisierung beträgt mehr als 100%, in den letzten fünf Jahren war die globale atmosphärische Konzentration jedoch nahezu konstant

# Zusammenfassung 2

- Lachgas ist ein wichtiges langlebiges ( $\tau \approx 120$  Jahre) Treibhausgas, seine atmosphärische Konzentration ist seit der Industrialisierung um etwa 20% angestiegen, die derzeitige Anstiegsrate beträgt etwa 0.3% pro Jahr
- Natürlichen Quellen von  $N_2O$  sind die tropischen Ozeane ( $\approx 1/3$ ) und Böden ( $\approx 2/3$ ),  $N_2O$  hat keine Senken in der Troposphäre und wird nur in der Stratosphäre durch UV-Photolyse oder angeregte Sauerstoffatome zerstört → lange Lebensdauer
- Die wesentlichen anthropogenen Emissionen von  $N_2O$  stammen aus gedüngten Böden, der Tierhaltung und aus der Industrie (Adipinsäureproduktion)
- Regionale Messungen von  $CH_4$  in Südwestdeutschland zeigen einen deutlichen Rückgang der Emissionen im Einzugsgebiet – ebenso konnte ein Rückgang von  $N_2O$  Emissionen aus Industrieanlagen nachgewiesen werden

Vielen Dank !



# Literaturhinweise

- ALEGAGE: Prinn, R.G., et al. 2000 History of Chemically and Radiatively Important Gases in Air deduced from ALE/GAGE/AGAGE, *J. Geophys. Res.*, 105, 17,751-17,792.
- Blunier, T. et al. 1993. Atmospheric methane record from a Greenland ice core over the last 1000 years. *Geophys. Res. Lett.* 20, 2219-2222.
- Crutzen, P. et al. 1999. On the background photochemistry of tropospheric ozone. *Tellus* 51, 123-146.
- Etheridge, D.M. et al. 1992. Changes in tropospheric methane between 1841 and 1978 from a high accumulation-rate Antarctic Ice Core. *Tellus* 44B, 282-294.
- Frankenberg, C. et al. 2006. Satellite cartography of atmospheric methane from SCIAMACHY on board ENVISAT: Analysis of the years 2003 and 2004. *J. Geophys. Res.* 111, D07303, doi:10.1029/2005JD006235.
- Hirsch, A. et al. 2006. Inverse estimates of the global nitrous oxide surface flux from 1998-2001. *Global Biogeochem. Cycles* 20, GB1008, doi:10.1029/2004GB002443.
- IPCC, 2001, Climate Change 2001. The Scientific Basis. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change ([http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/wg1/index.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm)).
- IPCC, 2007, Climate Change 2007. (Chapter 7) The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (<http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>).
- Levin, I., et al. 1999. Verification of German methane emission inventories and their recent changes based on atmospheric observations. *J. Geophys. Res.*, 104, D3, 3447 - 3456.
- Machida, T. et al. 1995 Increase in the atmospheric nitrous oxide concentration during the last 250 years. *Geophys. Res. Lett.* 22, No. 21, 2921-2924.
- Peixoto, J.P. und A.H. Oort, 1993, *Physics of Climate*, American Institute of Physics, New York, 520 pp.
- Poß, C. 2003. Untersuchung der Variabilität des atmosphärischen Methanhaushalts hochpolare Breiten anhand eines regionalen Trajektorienmodells und der Messung stabiler Isotope. Dissertation Univ. Heidelberg.
- Schmidt, M. et al., 2001. Western European N<sub>2</sub>O emissions – a top down approach based on atmospheric observations. *J. Geophys. Res.* 106, D6, 5507-5516.
- Stein, L.Y. and Y.L. Yung 2003. Production, isotopic composition and atmospheric fate of biologically produced nitrous oxide. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci* 31, 329-356.
- UNFCCC 2007,