

Erdöl, Erdgas, Kohle

Prof. Dr. Martin U. Schmidt

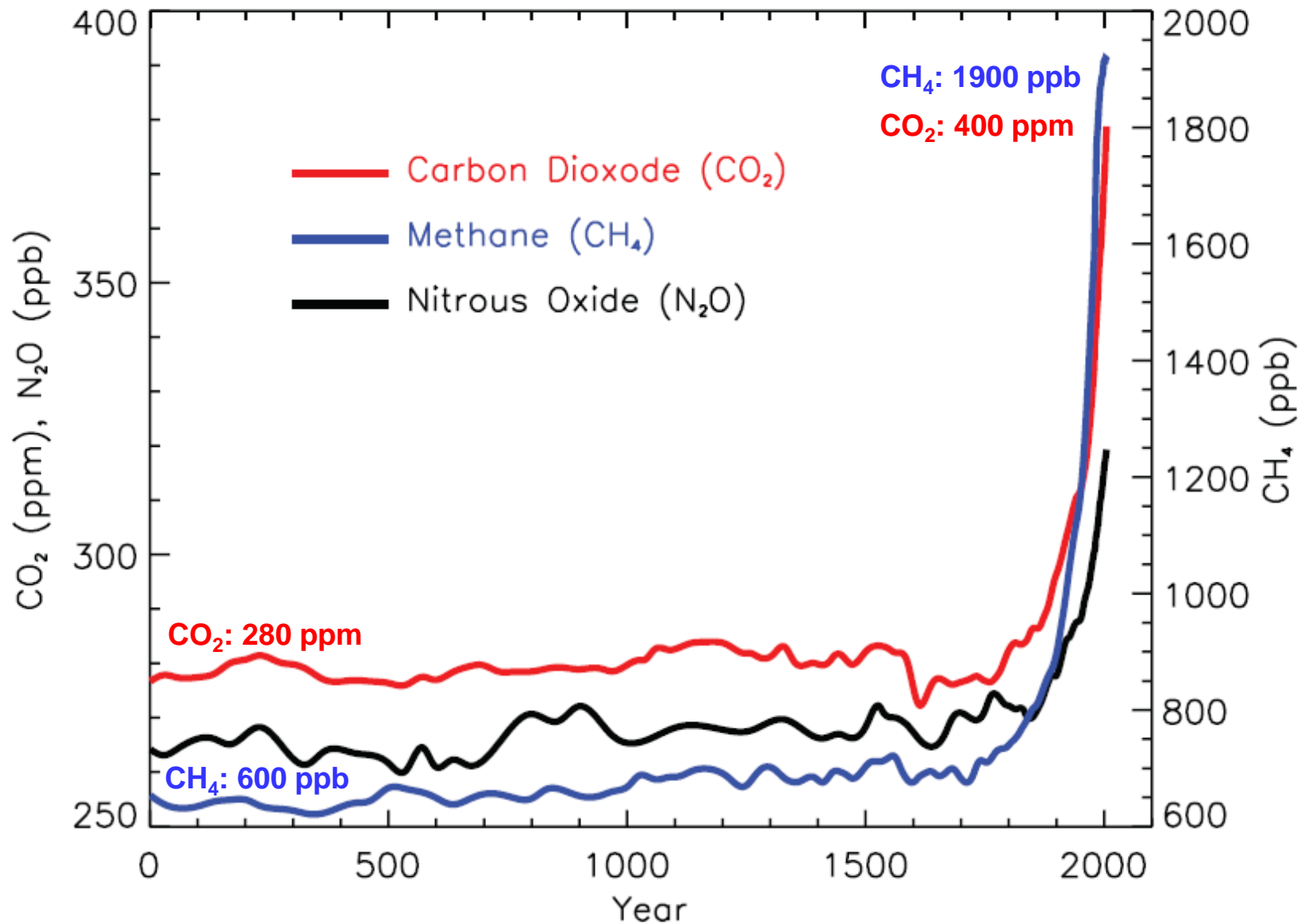
Institut für Anorganische und Analytische Chemie der Goethe-Universität Frankfurt

Tel.: 069 798 29171

m.schmidt@chemie.uni-frankfurt.de

Büro: Chem. Institute, Raum N140/315

Veränderung der CO₂- und Methan-Konzentrationen



aus: International Panel for Climate Change (IPCC), Fourth Assessment Report, 2007/2014

1. Erdgas

Zusammensetzung des Erdgases:

- Trockenes Erdgas: CH_4 (Methan)
- Nasses Erdgas: CH_4 , C_2H_6 , ...bis C_5H_{12} , und andere

Außerdem: Spuren von Wasser

Problem:

CH_4 und H_2O bilden Gashydrate (d.h. Kristalle aus CH_4 und H_2O), die erst bei ca. 7°C schmelzen

=> Verstopfung der Gaspipelines

Gegenmaßnahmen: - Gas trocknen (aufwändig)

- Methanol zusetzen
- Andere Stoffe zusetzen, die verhindern, dass die Gashydrat-Kristalle so groß werden, dass sie die Pipelines verstopfen.

2. Erdöl



Ehemalige Erdölförderung auf dem Kühkopf bei Stockstadt in Südhessen
Insgesamt wurden in Südhessen von 1952 bis 1994 1 Mio t gefördert.

Erdöl



Rüttelmaschine: Schwere Platten versetzen den Boden in Schwingungen (Dez. 2011)

2. Erdöl

Mittlere Zusammensetzung des Erdöls (in Gewichts-%):

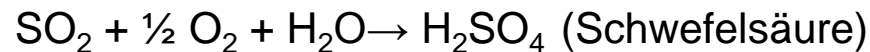
C: 85 - 90 %
H: 10 - 14 %
O: 0 - 2 %
N: 0,1 - 2 %
S: 0.1 - 7 %

} Also im Mittel etwa -CH₂-

Problem bei S: Muss aus dem Brennstoff (z.B. Diesel oder Heizöl) entfernt werden (aufwändig).

Schiffsdiesel: stark schwefelhaltig.

Beim Verbrennen: $S + O_2 \rightarrow SO_2$



Die Schwefelsäure bildet Tröpfchen, die als
Wolkenkondensationskeime dienen

=> Lange Wolkenfahnen (bis hunderte km lang)

2. Erdöl

Struktur der Moleküle im Erdöl:

- Ketten: $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-(CH}_2\text{)}_n\text{-CH}_3$ $n = 1 - 30$ und mehr

- Verzweigte Ketten

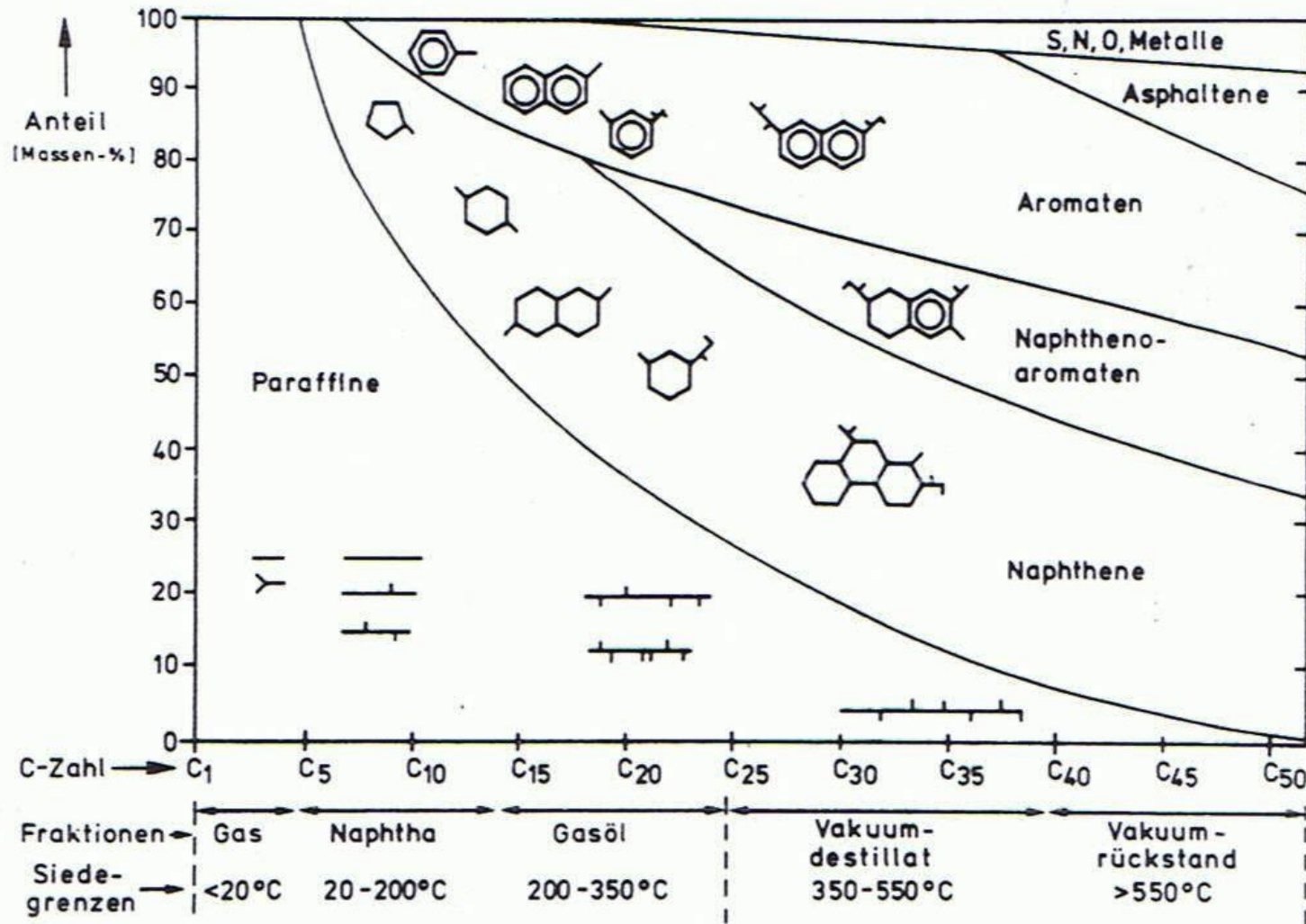
- Ringe

- Aromaten

usw.

2. Erdöl

Zusammensetzung des Erdöls:



aus: Keim, Behr, Schmitt, Grundlagen der industriellen Chemie

Erdöl-Verarbeitung

Erster Schritt der Erdölverarbeitung: Destillation

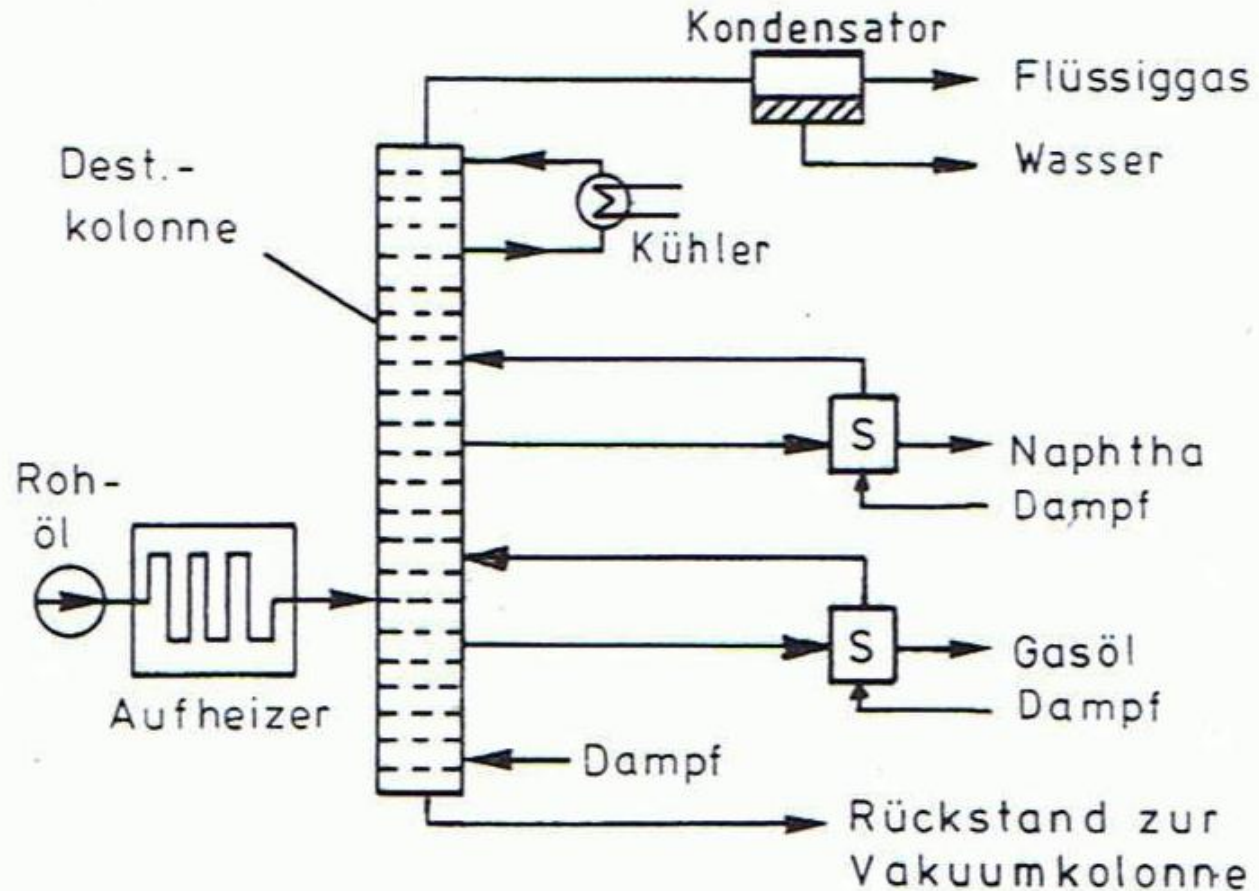


Abb. 3.1/11: Fließbild einer atmosphärischen Destillation (S = Stripper)

Erdöl-Verarbeitung

Zur Erdöl-Destillation:

Größenordnung: in einer Anlage ca. 1000 t/Stunde (= 300 Liter pro Sekunde)

Kolonnen: 40 - 80 Böden, Höhe bis 60 m

Kolonnentypen in der Erdöldestillation: Glockenböden oder Ventilböden (Heute meist Ventilböden)

Für andere Verwendungen: häufig Füllkörperkolonnen.

Glockenböden



Glocke



Demonstrations-Glockenböden
aus der Petrochemie

(RVT Process Equipment GmbH)



Glockenboden
(RVT Process Equipment GmbH)

Ventilböden



Ventilboden

Firma Euroslot kdss

Ventilböden



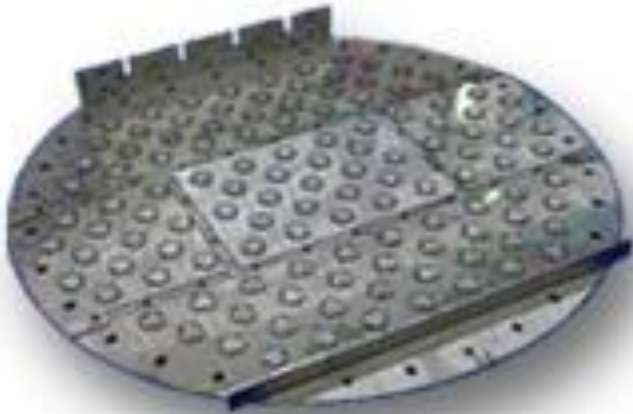
Ventilboden

Firma Euroslot kdss

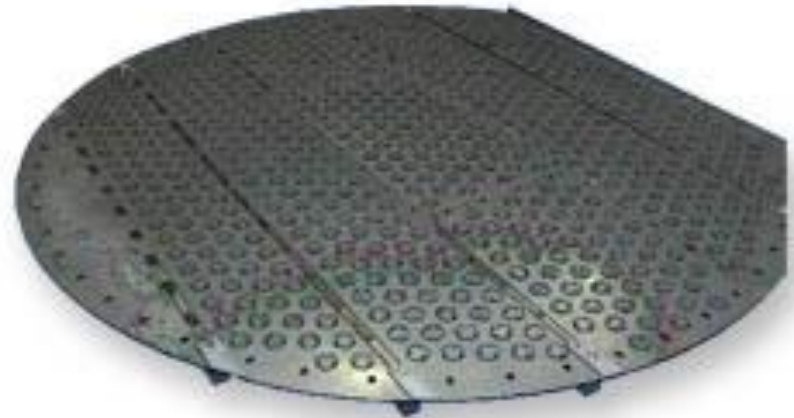


Ventilboden
Firma Euroslot kdss

Ventilböden



Ventilboden, Durchmesser 1300 mm
Nienhaus Destillationstechnik GmbH



Ventilboden, Durchmesser 2400 mm
Nienhaus Destillationstechnik GmbH

Füllkörperkolonne



Ausschnitt aus einer Füllkörperkolonne

Füllkörperkolonne



Füllkörper

Füllkörperkolonne



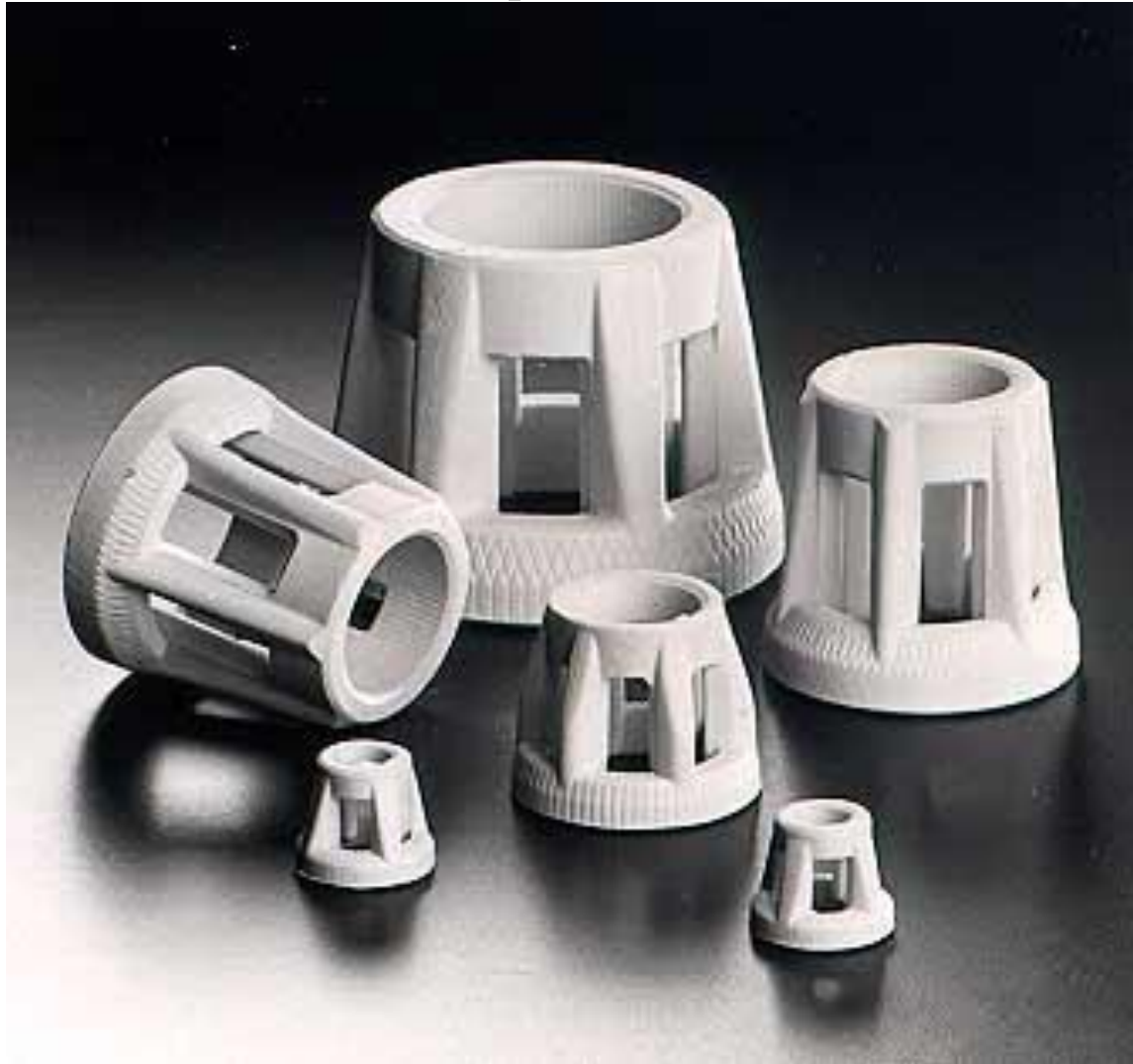
Sattel-Füllkörper aus Keramik

Füllkörperkolonne



Raschigringe aus Keramik

Füllkörperkolonne



Füllkörper aus Keramik

Erdöl-Verarbeitung

Naphtha:

Naphtha hat eine Oktanzahl von 60-75 (Benzin: 92-100)

Zur Verbesserung der Oktanzahl:

- Umwandlung von n-Alkanen in iso-Alkane, Ringe und Aromaten (höhere Oktanzahl)
- Früher: Zusatz von Bleitetraethyl (giftig), bei der Verbrennung entsteht giftiges Bleioxid
- Heute: Zusatz von Antiklopfmitteln wie z.B. Methyl-*tert.*butylether (MTBE), $\text{CH}_3\text{-O-C}(\text{CH}_3)_3$
Aber: MTBE findet sich in fast allen Regen- und Schnee-Proben in Deutschland (Untersuchungen von Prof. Püttmann)

3. Kohle

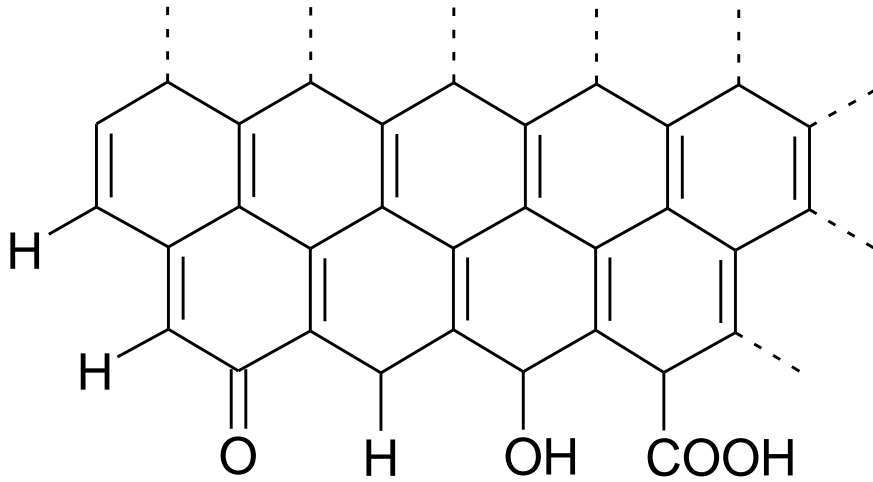
Zusammensetzung der Kohle (in Gewichts-%):

	C	H	O	
Braunkohle:	65-70	5-10	20-25	
Steinkohle:	80-90	5-8	3-13,	also etwa $C_1H_1O_{0,1}$
Anthrazit:	90-95	3-8	2-3	

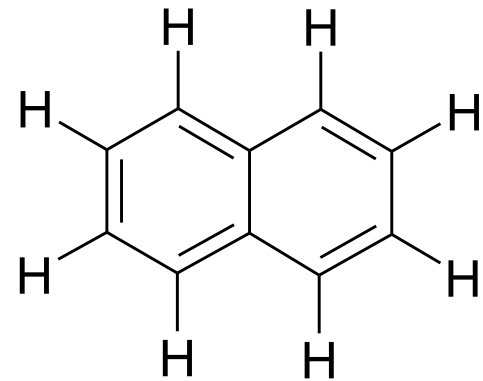
Struktur von Kohle:

- nicht nur Graphit-Schichten, sondern mit Wasserstoff, Sauerstoff etc. am Rande der Schichten
- auch Einzelmoleküle, z.B. Naphthalin (Kohle enthält 15-45 % extrahierbare Anteile)

3. Kohle



Beispiel für einen Ausschnitt aus Kohle



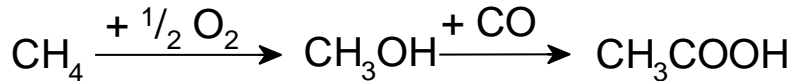
Naphthalin

Verwendung von Erdgas, Erdöl und Kohle

Chemische Verwendung von Erdgas:

Erdgas => Methanol => Essigsäure => Medikamente (z.B. Aspirin), Kunststoffe,

Babywindeln, Zigarettenfilter usw.



Chemische Verwendung von Erdöl:

Fast die ganze organische Chemie basiert auf Erdöl, z.B.

Erdöl => Ethen => Polyethylen (PE, Kunststoff)

Erdöl => Propen => Polypropylen (PP, Kunststoff)

Erdöl => Xylol => Terephthalsäure => PET-Flaschen

Die meisten Farbpigmente, Medikamente, usw. basieren auf Erdöl.

Chemische Verwendung von Kohle:

z.B. Naphthalin (aus Steinkohlenteer) => β -Naphthol => Azopigmente (Bildzeitungsrot)

siehe
Vorlesung
"Technische
Chemie"
(im SS)

Tatsächliche Hauptverwendung von Erdgas, Erdöl und Kohle (> 95%):

Verbrennen / Energiegewinnung

Aus chemischer Sicht ist das eine Verschwendung natürlicher Rohstoffe!

4. Primärenergieverbrauch

	Welt ca. 2004	Deutschland 2014
Erdöl	36 % (Tendenz fallend)	34 %
Erdgas	22 % (Tendenz steigend)	21 %
Kohle	23 % (Tendenz fallend)	Steinkohle 13 % Braunkohle 12 %
Kernenergie	7 %	8 % (2010: 11 %)
Erneuerbare Energien:	12 %	11 %
Sonstiges :		0,6 %

4. Primärenergieverbrauch

Aufschlüsselung der erneuerbaren Energien in Deutschland 2014

Von den 11,3 % sind:

Biomasse	5,8 %
Wind	1,6 %
Abfälle und Deponiegas	1,0 %
Biokraftstoffe	0,8 %
Photovoltaik	1,0 %
Wasserkraft	0,5 %
Wärmepumpe	0,3 %
Solarthermie	0,2 %
Geothermie	0,06 %

5. CO₂-Problematik

CO₂-Erzeugung in kg je kWh Brennstoffeinsatz

Braunkohle	0,40	schlechterer Brennwert als Steinkohle
Steinkohle	0,33	$C + O_2 \rightarrow CO_2$
Heizöl	0,27	$-CH_2- + 1\frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$
Erdgas	0,20	$CH_4 + 2 O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$
Photovoltaik	"0,00"	aber: Herstellung der Solarzellen!
Windenergie	"0,00"	
Wasserkraft	"0,00"	
Kernenergie	"0,00"	aber: ungelöstes Problem der Endlagerung

=> Es wäre unsinnig, neue Kohle- oder Ölkraftwerke zu bauen.

Und es ist total unsinnig, Braunkohle-Kraftwerke zu subventionieren.

CO₂-Problematik

Problem Grundlast / Spitzenlast / Variable Verbraucher

Grundlast: Kohle, Öl, Kernenergie (Kraftwerke lassen sich kaum schnell herunterfahren oder anfahren)

Variable Erzeugung: Wasserkraft, Wind, Sonne, Erdgas

Auswege:

- 1) Regulierung durch variable Verbraucher:
 - Nachtstrom (Nachtspeicherheizungen)
 - einige Industrieanlagen, die viel Strom verbrauchen, z.B. Lichtbogenöfen
- 2) "Stromspeicherung": Pumpspeicherwerke
- 3) Verbundnetz, z.B. geplante Starkstromkabel durch die Nordsee, um England, Skandinavien und Deutschland zu verbinden

Kommentar: Wenn Deutschland die Windenergie weiter ausbauen will, braucht man Verbundnetze, Pumpspeicherwerke und Gaskraftwerke. Es ist unsinnig, neue Kohlekraftwerke (Grundlast) zu bauen.

Treibhauseffekt

Natürliche Treibhausgase:

- Wasser (62 % des natürlichen Treibhauseffektes (Menge!))
- CO₂ (22 %)
- O₃ (7 %)
- N₂O (4 %, kleinere Mengen, aber Treibhauseffekt 300x so hoch wie CO₂)
- CH₄ (2,5 %, kleinere Mengen, aber Treibhauseffekt 25x so hoch wie CO₂)

Natürlicher Treibhauseffekt: ca. + 32°C

Mittlere Temperatur auf der Erde:

- Ohne Treibhauseffekt: ca. -18°C (Annahme: Gleiche Albedo)
- Mit Treibhauseffekt: +14°C

Treibhauseffekt

Anthropogene Treibhausgase:

- CO₂ (65 % des anthropogenen Treibhauseffektes)
- CH₄ (17 %)
- N₂O (6 %) (*aus mikrobiellem Abbau in Böden, Nitrat-Düngung, Treibhauseffekt 300x so hoch wie CO₂*)
- Halogenierte Kohlenwasserstoffe, insbesondere FCKW (13 %)

Emissionen von Treibhausgasen in Deutschland (2014):

- CO₂: 87,9 % des anthropogenen Treibhauseffektes
- CH₄: 6.2 %
- N₂O: 4,2 %
- Fluorierte Gase (FCKW, FKW, HFKW, SF₆, NF₃): 1,6 %

Treibhauseffekt

Fluorkohlenwasserstoffe: z.B. CF_4

Verwendung:

- Kältemittel in Klimaanlage (als Ersatz für FCKW)
- Treibgase in Sprays
- Löschmittel

Vorteil gegenüber FCKW: Keine Zerstörung der Ozonschicht.

Treibhauswirkung:

- Viel stärker als CO_2
- Wert je nach Verbindung, z.B. CF_4 : 7390x so stark wie CO_2
- Langlebig in der Atmosphäre (CF_4 : 50 000 Jahre)

Einsatz wird reduziert (Montreal-Protokoll, 2016)

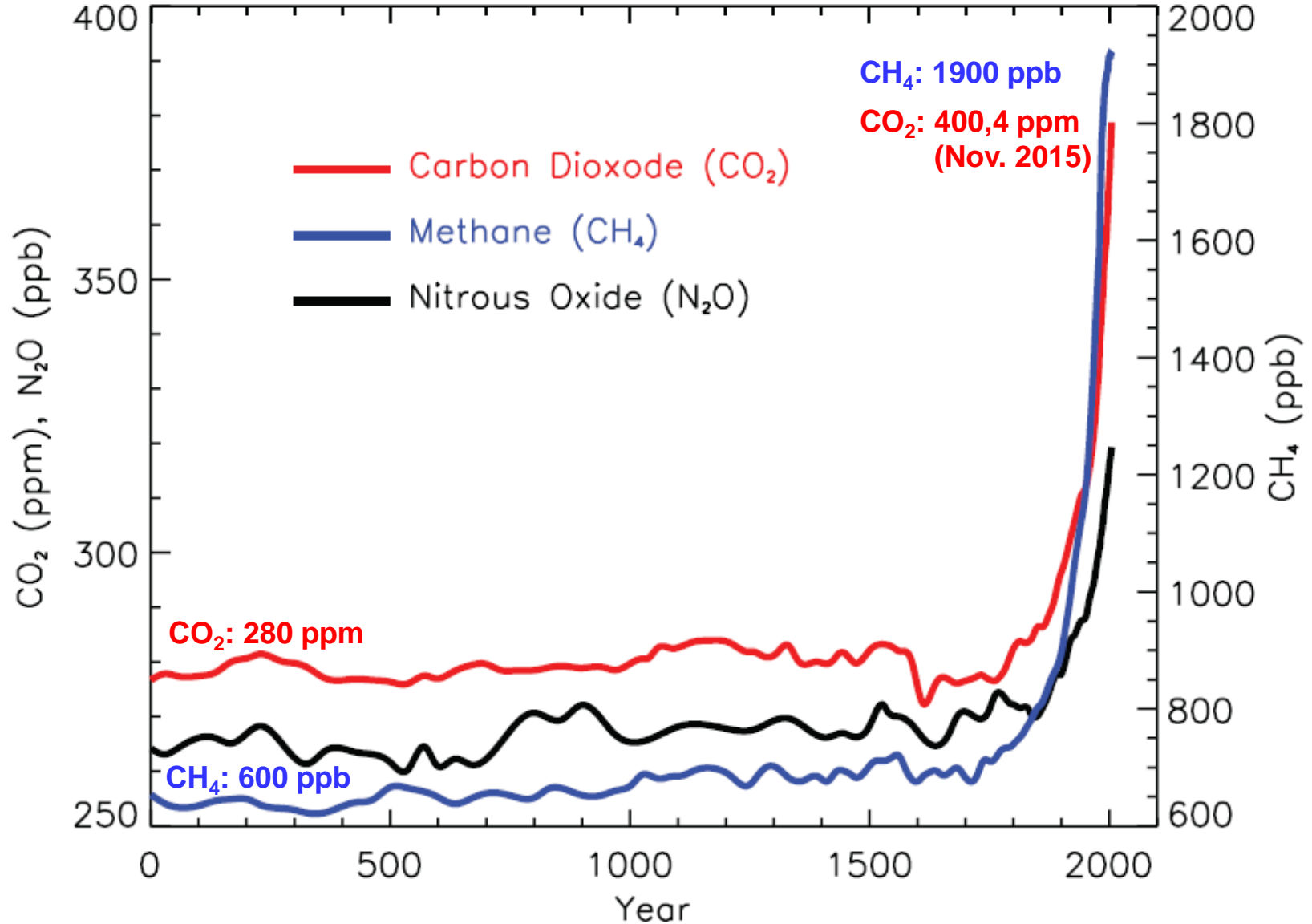
- Industrieländer: Reduktion bis 2036 um 85%
- andere Länder: Bis 2045/2047 um 85%

Treibhauseffekt

Anthropogener Treibhauseffekt weltweit insgesamt:

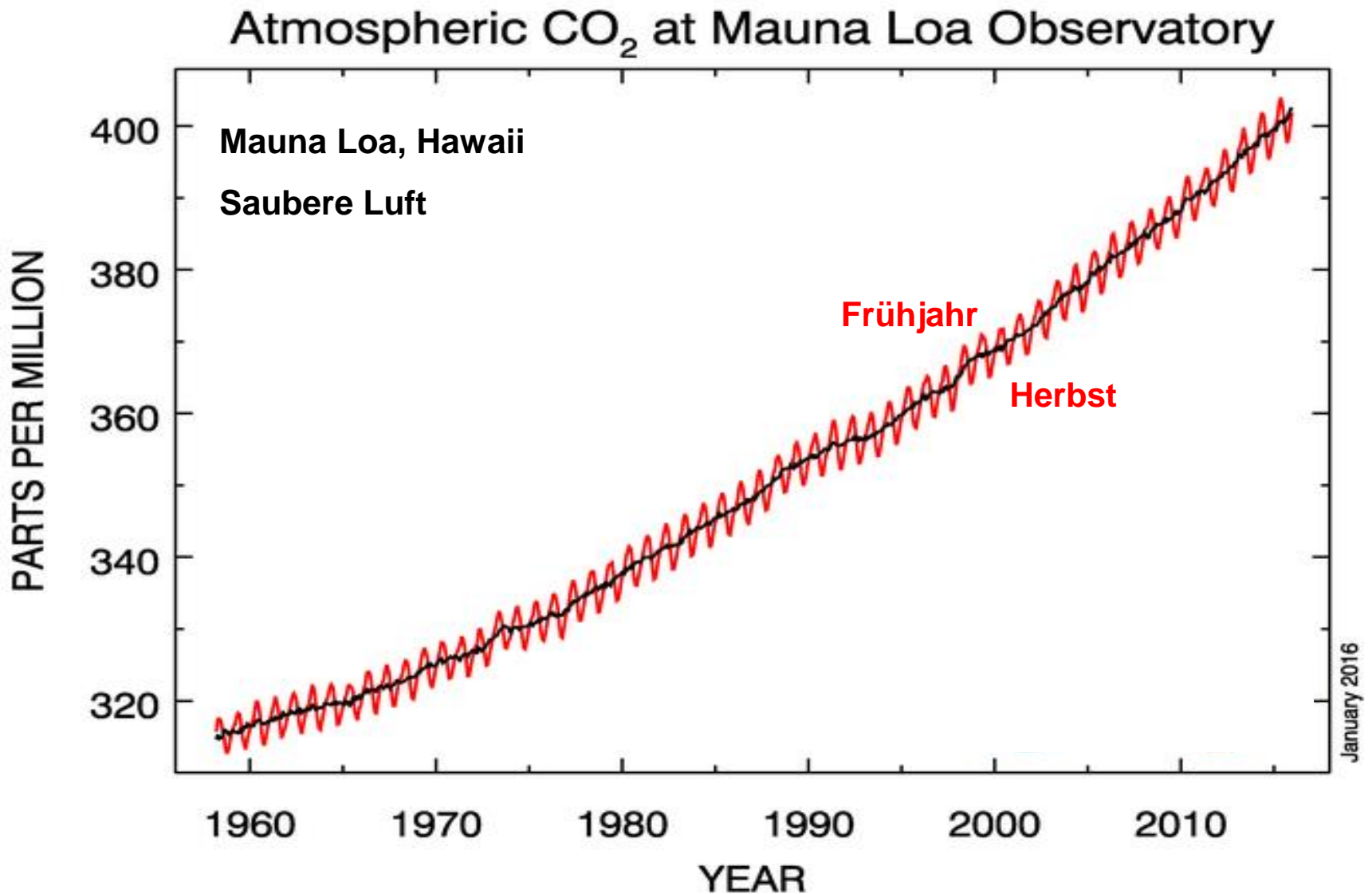
Seit 1900: Temperaturanstieg um $+1^{\circ}\text{C}$, nimmt aber stark zu

Veränderung der CO₂- und Methan-Konzentrationen



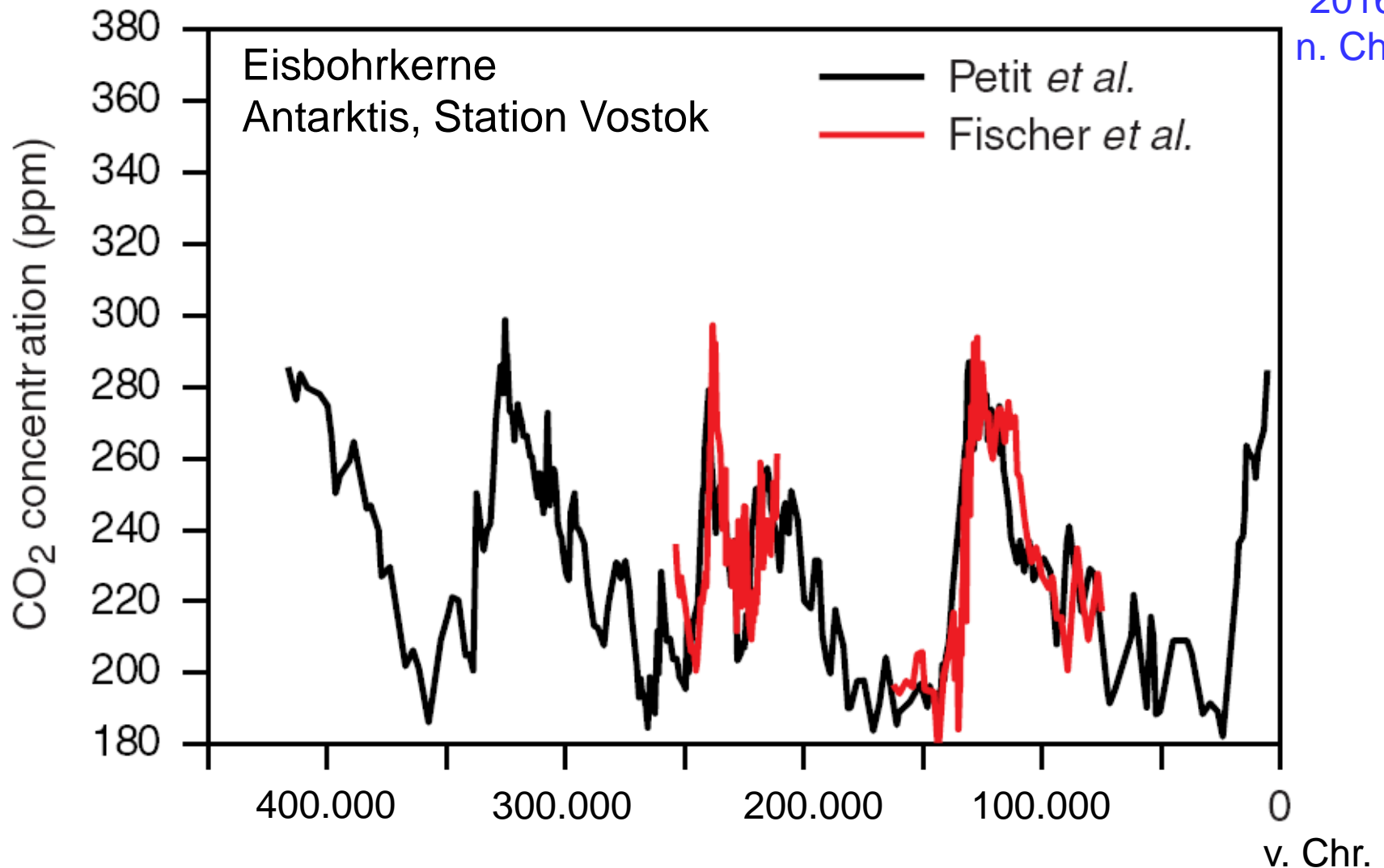
aus: International Panel for Climate Change (IPCC), Fourth Assessment Report, 2007

Veränderung der CO₂-Konzentrationen



Quelle: NOAA Earth System Research Laboratory, 2016

Veränderung der CO₂-Konzentrationen



aus: Petit, J.R. et al., *Nature* **399**, 429-436 (1999); Fischer, H. et al., *Science* **283**, 1712-1714 (1999).

Auswirkungen des Treibhauseffekts

Laut IPCC-Weltklimarat, 2014:

- Anstieg des Meeresspiegels:

- 1901 - 2010: 19 cm
- Bis 2100 um 30-100 cm
- Steigt auch nach 2100 auf jeden Fall einige 100 Jahre lang weiter. (Wegen der Wärmeausdehnung der Ozeane).
- Wenn der grönländische Eisschild schmilzt (Zeitpunkt unbekannt): noch einige 10 cm mehr
- Wenn es so weitergeht wie bisher: Bis 2300 mehr als 3 m möglich

- Anstieg der Temperatur bis 2100: um 2-5°C
(Ziel: 2°C ⇒ max. 450 ppm CO₂ (sehr ehrgeizig))

- Anstieg der Temperatur in den Polarregionen: noch höher (siehe Graphik)

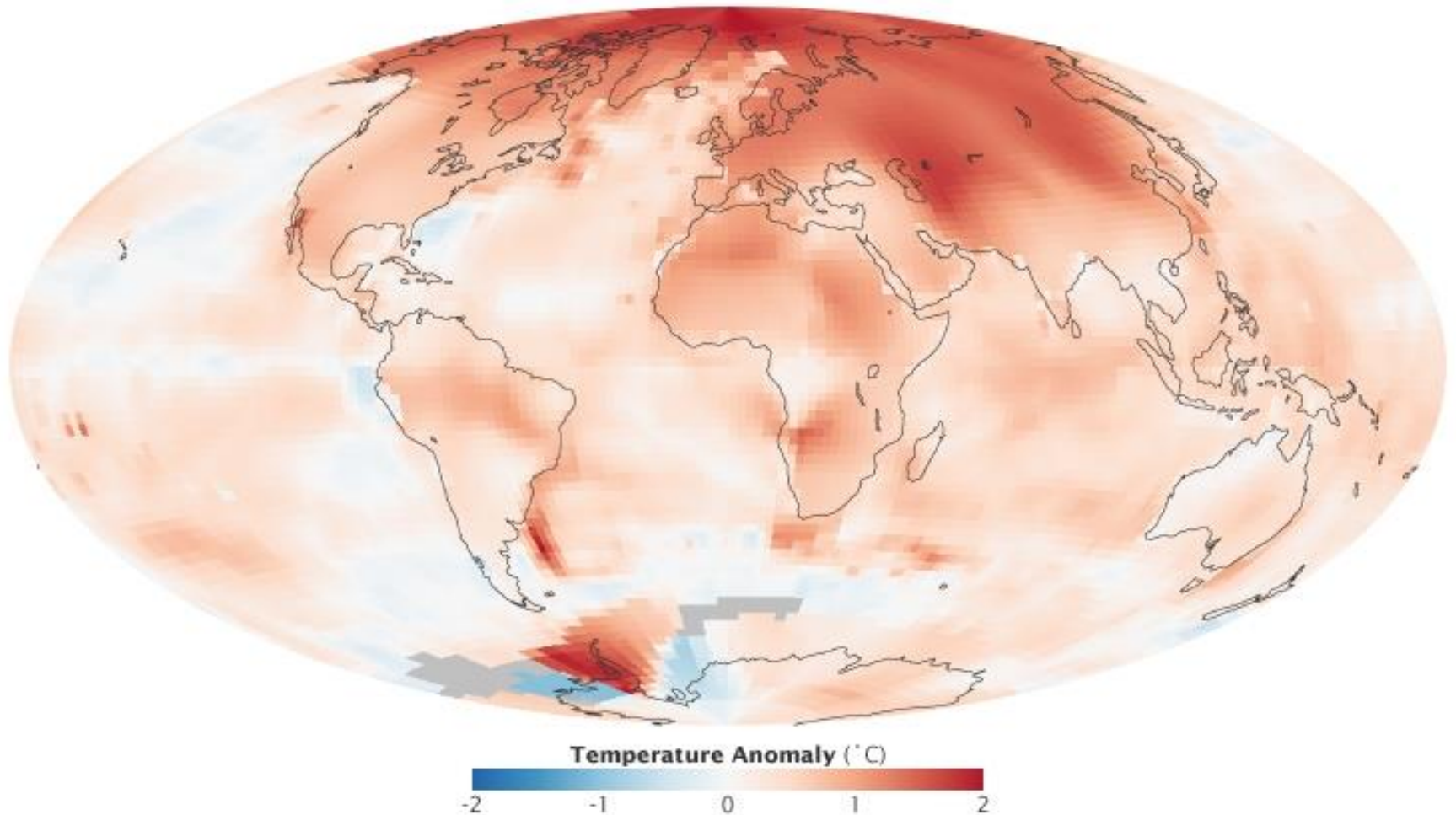
- Abschmelzen von Eis an den Polarregionen

- Durch die zunehmende Temperatur wird das Wetter insgesamt heftiger (mehr und heftigere Stürme etc.)

- usw.

Auswirkungen des Treibhauseffekts

Anstieg der Temperatur in den Polarregionen:



**Anstieg der Oberflächentemperaturen heute (Durchschnitt 2000–2009)
gegenüber den Durchschnittstemperaturen 1951-1980**

Bildquellen:

Glockenböden: RVT Process Equipment GmbH

Ventilböden: 3 Bilder von www.euroslotdkss.com, 2 Bilder von Nienhaus Destillationstechnik GmbH

Füllkörper: public.beuth-hochschule.de, RVT (je 1 Bild),
de.academic.ru (Sattelfüllkörper aus Keramik), www.keramikverband.de (Keramik-Füllkörper)

Alte Erdölpumpe:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6f/Kuehkopf_Oelfoerderung_02.jpg/220px-Kuehkopf_Oelfoerderung_02.jpg

Rüttelmaschine: FAZ, 5.12.2011

CO2-Daten Mauna Loa, 2016: http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html#global_data

Temperaturanstieg, Globalverteilung: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bd/NASA-global-warming-map-1970-79-to-2000-09.jpg>