

# **Ringvorlesung**    **Uni Flensburg, 8.Mai 2008**

**CO<sub>2</sub> - Speicherung:  
Rettungsanker für die Kohle?**



**GREENPEACE**

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

# ***Inhalt***

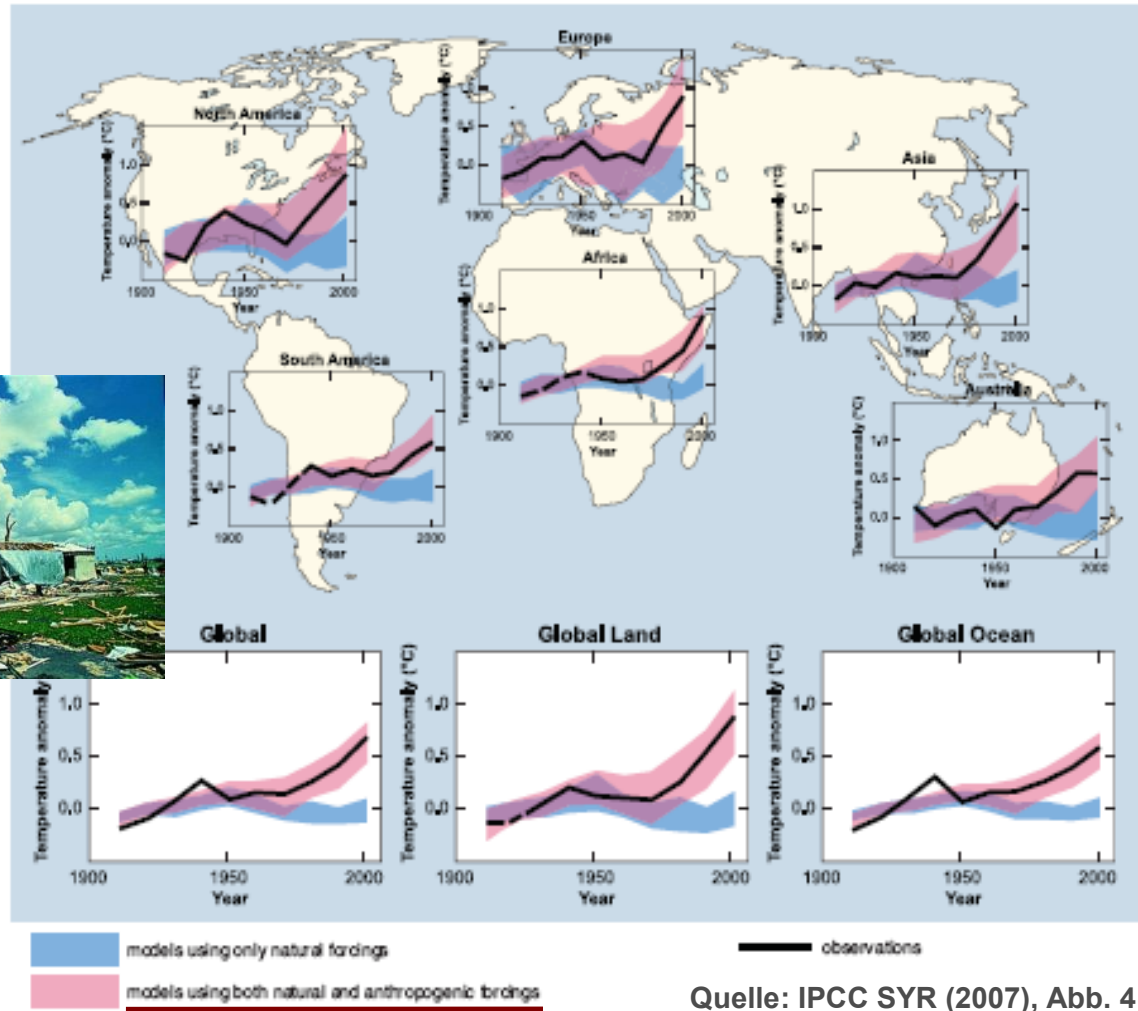
1. Problem: Klimawandel
  2. Kohle
  3. CCS
  4. Erneuerbare eine Alternative
  5. Zusammenfassung
- ... Resumee, Fazit, Fragen, Antworten ...

# 1. Problem: Klimawandel



Steigende Temperaturen  
 Meeresspiegelanstieg  
 Trinkwasserverlust  
 Extremwetter  
 Artensterben ...

Global and continental temperature change



Quelle: IPCC SYR (2007), Abb. 4

GREENPEACE

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

# Anthropogene Verursacher

## Global anthropogenic GHG emissions

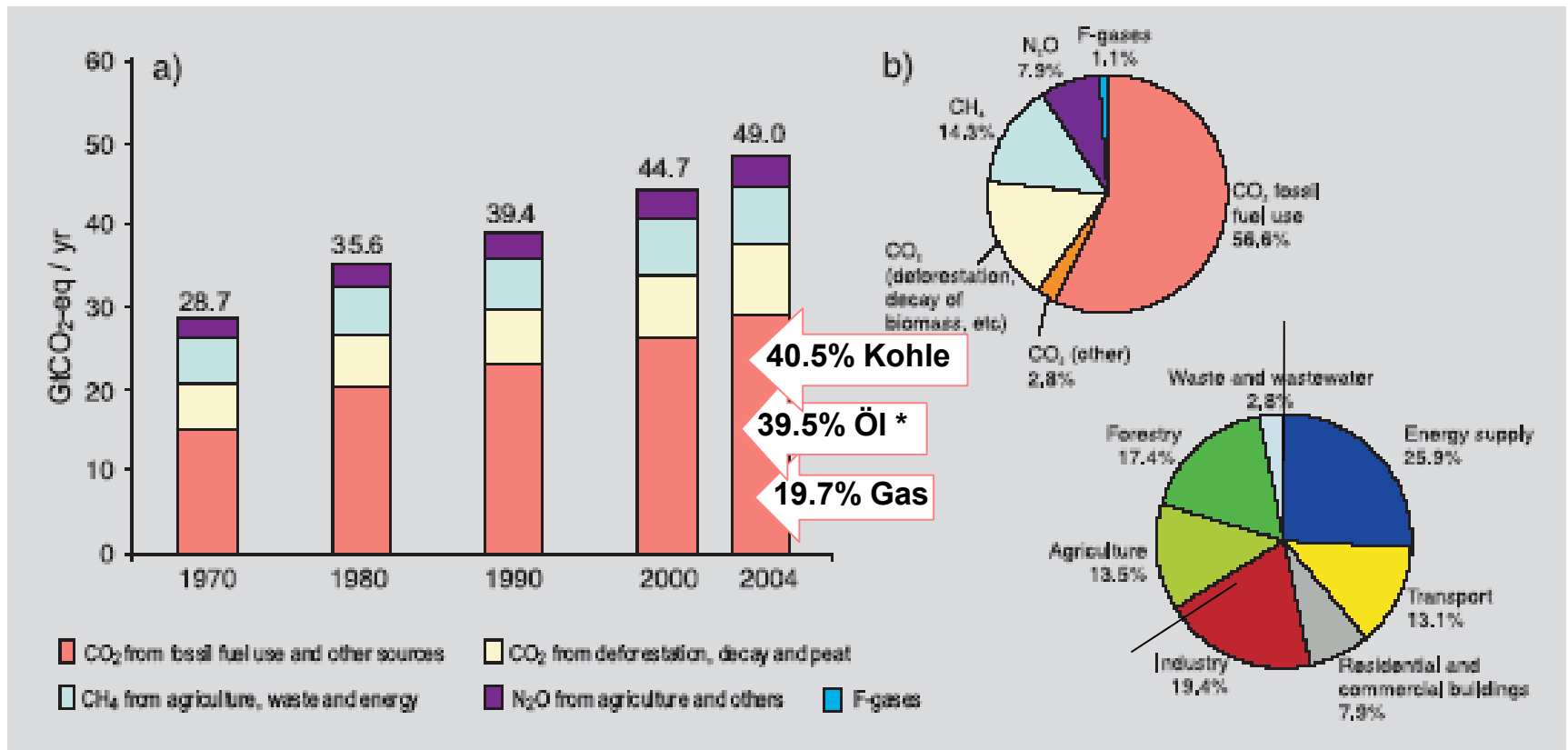


Figure SPM.3. (a) Global annual emissions of anthropogenic GHGs from 1970 to 2004.<sup>5</sup> (b) Share of different anthropogenic GHGs in total emissions in 2004 in terms of carbon dioxide equivalents (CO<sub>2</sub>-eq). (c) Share of different sectors in total anthropogenic GHG emissions in 2004 in terms of CO<sub>2</sub>-eq. (Forestry includes deforestation.) (Figure 2.1)

Quelle: IPCC SYR (2007), Abb. 3  
\* IEA Energy Statistics 2007

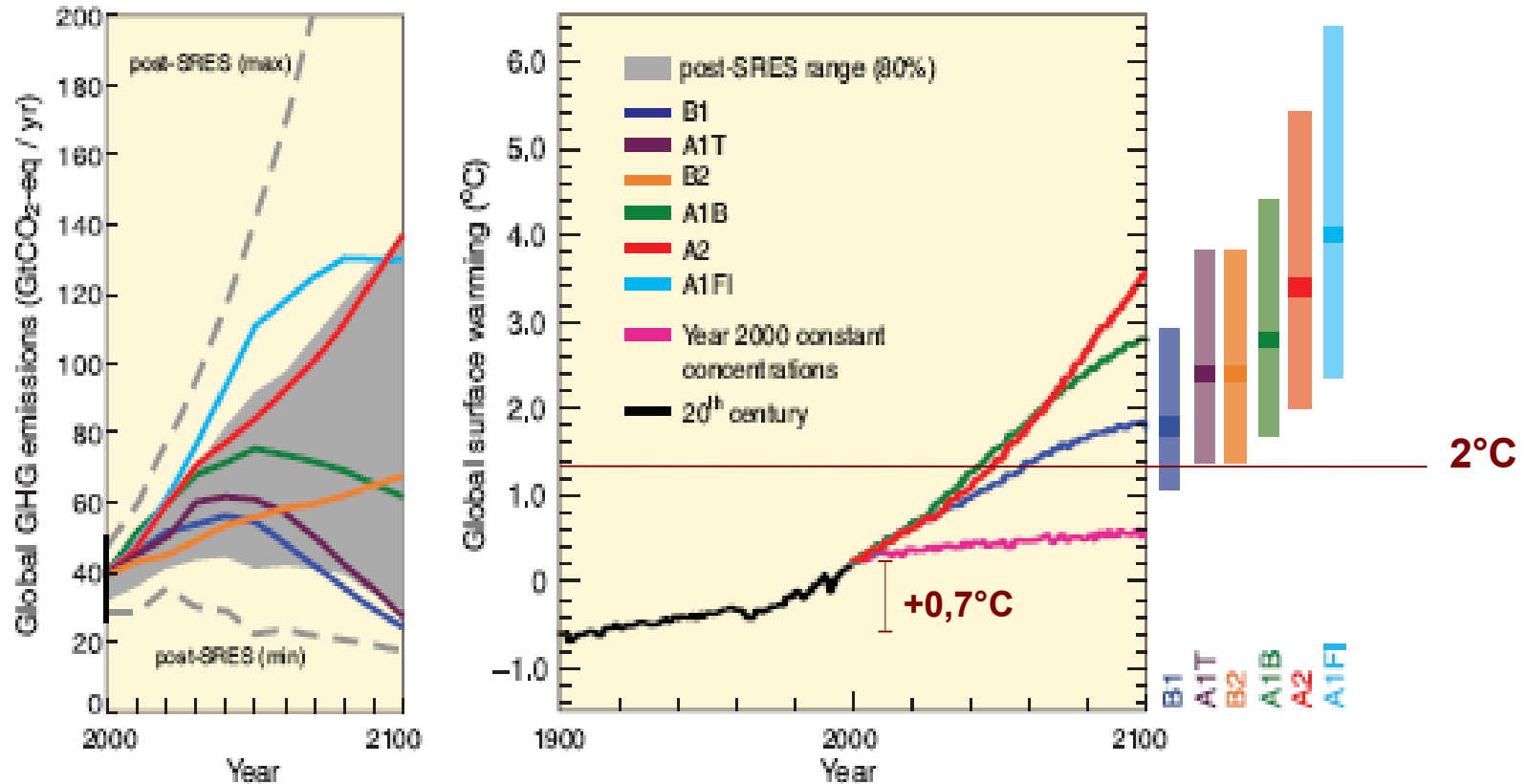
GREENPEACE

www.greenpeace.de

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

# Ausblick

Scenarios for GHG emissions from 2000 to 2100 (in the absence of additional climate policies)  
and projections of surface temperatures



Quelle: IPCC SYR (2007), Abb. 5

# Ziel

Gefährlichen Klimawandel verhindern, d.h. Globale Erwärmung auf unter **2°C** gegenüber vorindustrieller Zeit begrenzen

Vermeidung: "Tipping Point" Kollaps Eisschilde, Tauen Permafrost...

Category	CO <sub>2</sub> concentration at stabilization (2005 = 379 ppm) <sup>(b)</sup>	CO <sub>2</sub> -equivalent Concentration at stabilization including GHGs and aerosols (2005 = 375 ppm) <sup>(b)</sup>	Peaking year for CO <sub>2</sub> emissions <sup>(a, c)</sup>	Change in global CO <sub>2</sub> emissions in 2050 (% of 2000 emissions) <sup>(a, c)</sup>	Global average temperature increase above pre-industrial at equilibrium, using "best estimate" climate sensitivity <sup>(d, (e))</sup>	Global average sea level rise above pre-industrial at equilibrium from thermal expansion only <sup>(f)</sup>
	ppm	ppm	Year	Percent	°C	metres
I	350 – 400	445 – 490	2000 – 2015	-85 to -50	2.0 – 2.4	0.4 – 1.4
II	400 – 440	490 – 535	2000 – 2020	-60 to -30	2.4 – 2.8	0.5 – 1.7
III	440 – 485	535 – 590	2010 – 2030	-30 to +5	2.8 – 3.2	0.6 – 1.9
IV	485 – 570	590 – 710	2020 – 2060	+10 to +60	3.2 – 4.0	0.6 – 2.4
V	570 – 660	710 – 855	2050 – 2080	+25 to +85	4.0 – 4.9	0.8 – 2.9
VI	660 – 790	855 – 1130	2060 – 2090	+90 to +140	4.9 – 6.1	1.0 – 3.7

Peak Emissionen spätestens 2015

Bis 2050:  
> -50% global  
> -80% IL

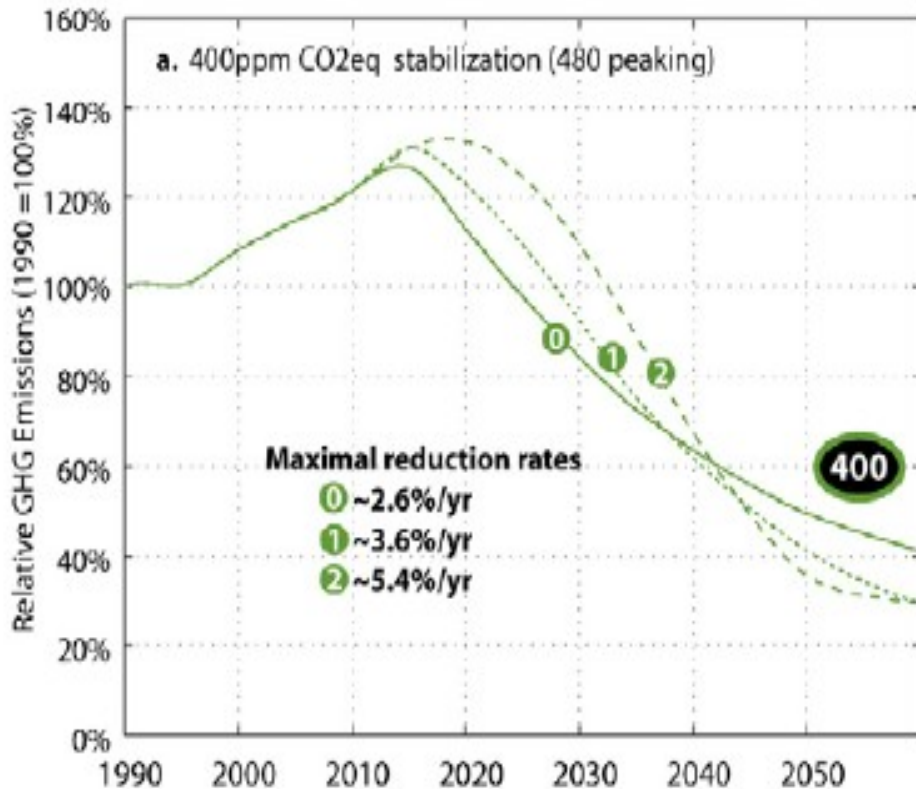
Quelle: IPCC SYR (2007), Tab. 6

GREENPEACE

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

# Verzögerung



Quelle: Meinshausen (2006)

Erhöht

Risiko Überschreiten 2°C  
Handlungsdruck  
Kosten  
Notwendige Reduktionsrate  
Notwendigkeit CCS

DIW: Volkswirtschaftliche Kosten  
Klimawandel in Deutschland bis 2050  
800 Mrd € (bei Nichthandeln)  
Stern: Folgekosten 5% BIP Jahr  
für Jahr

GREENPEACE

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

## 2. Kohle

**WCI: Kohle für weitere  
147 Jahre (gleichbleibende Nutzung)**  
**ABER:**  
**Kohle klimaschädlichster Energieträger**

World coal reserves in gigatons

Verbrauch steigt  
Erweiterte Nutzungsmöglichkeiten  
CTL, H<sub>2</sub>-Produktion



<u>Verbrennen 1tSKE</u>	
Braunkohle	3,25 tCO <sub>2</sub>
Steinkohle	2,68
Gas	1,50

Quelle: Nature Reports, p.29. Vol.2, March 2008 (Data 2005 IEA Report)

**GREENPEACE**

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008



# Deutschland

Elektrizitätssektor gesamt ca. 360 MtCO<sub>2</sub>/a  
Stromproduktion aus Kohle hat zugenommen  
(trotz Emissionshandel)

Ungeachtet der fortschreitenden  
Klimazerstörung

sind in Deutschland 25 neue  
Kohlekraftkraftwerke geplant\*.

Politik schaut zu bzw. ermun-  
tert die Energieversorger  
sogar.

\* Stand: März 2008

GREENPEACE



www.greenpeace.de

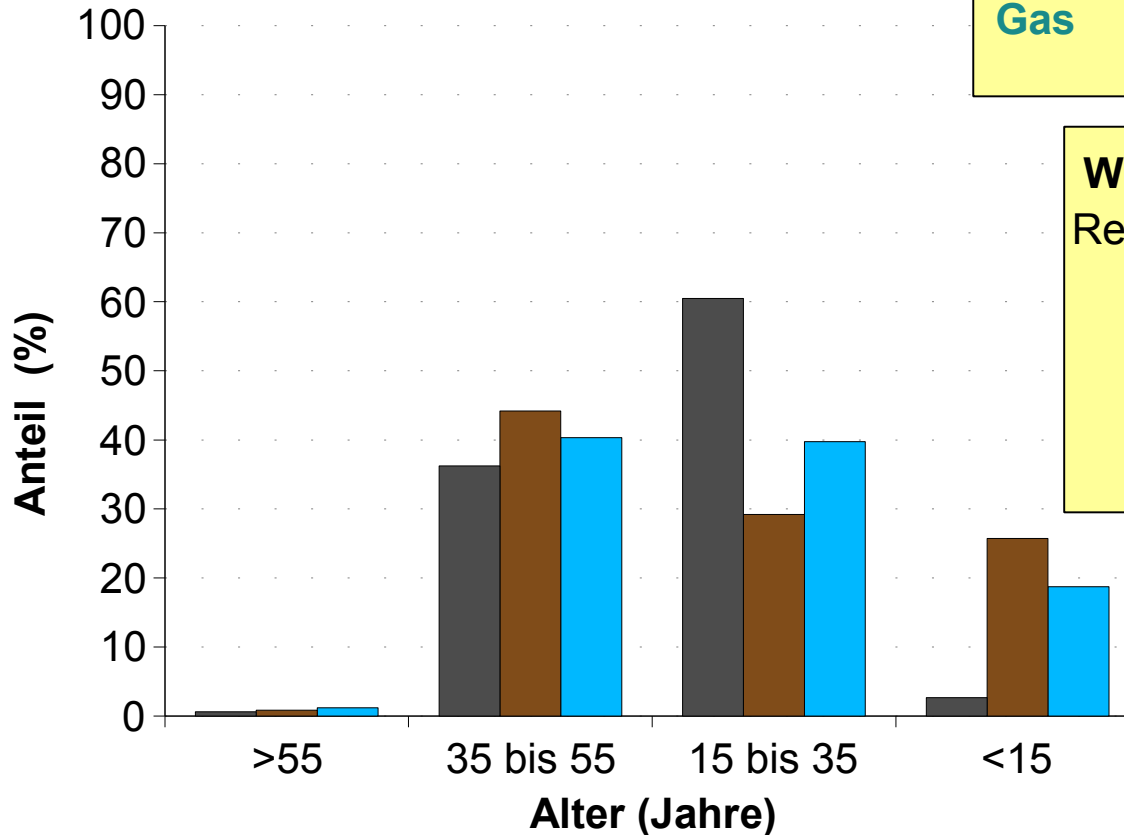
© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

# ***Rechtfertigung der Kohle***

## Begründung für Neubauten

- Erneuerung = Klimaschutz : Neue Kraftwerke sind **effizienter** und sparen gegenüber Altanlagen CO<sub>2</sub> ein.
- Atomausstieg
- Kohle = Versorgungssicherheit (heimisch, preiswert), Grundlast
- Erneuerbare Energien schaffen es nicht (so schnell), sind teuer
- **CCS**: In Zukunft sind Kohlekraftwerke CO<sub>2</sub>- arm. Wir bauen Kraftwerke „capture ready“, dann können wir sie nachrüsten.

# Erneuerung



Planung [Greenpeace 3/2008]	MtCO <sub>2</sub> /a:
<b>Braunkohle</b> 3.435 MW	24
<b>Steinkohle</b> 20390 MW	105
<b>Gas</b>	

**Wirkungsgradsteigerung Kohle-KW:**  
Reduktion CO<sub>2</sub> in Bezug auf Altanlagen:

**45 Mt\***

***NETT; reicht aber nicht !***  
***- 129 Mt CO<sub>2</sub> bleiben! -***

\*Annahme:

Bk alt 35%, neu 43%

Stk alt 35%, neu 48%

Bk 43% - spez. E. 930gCO<sub>2</sub>/kWh

Stk 43% - 770gCO<sub>2</sub>/kWh

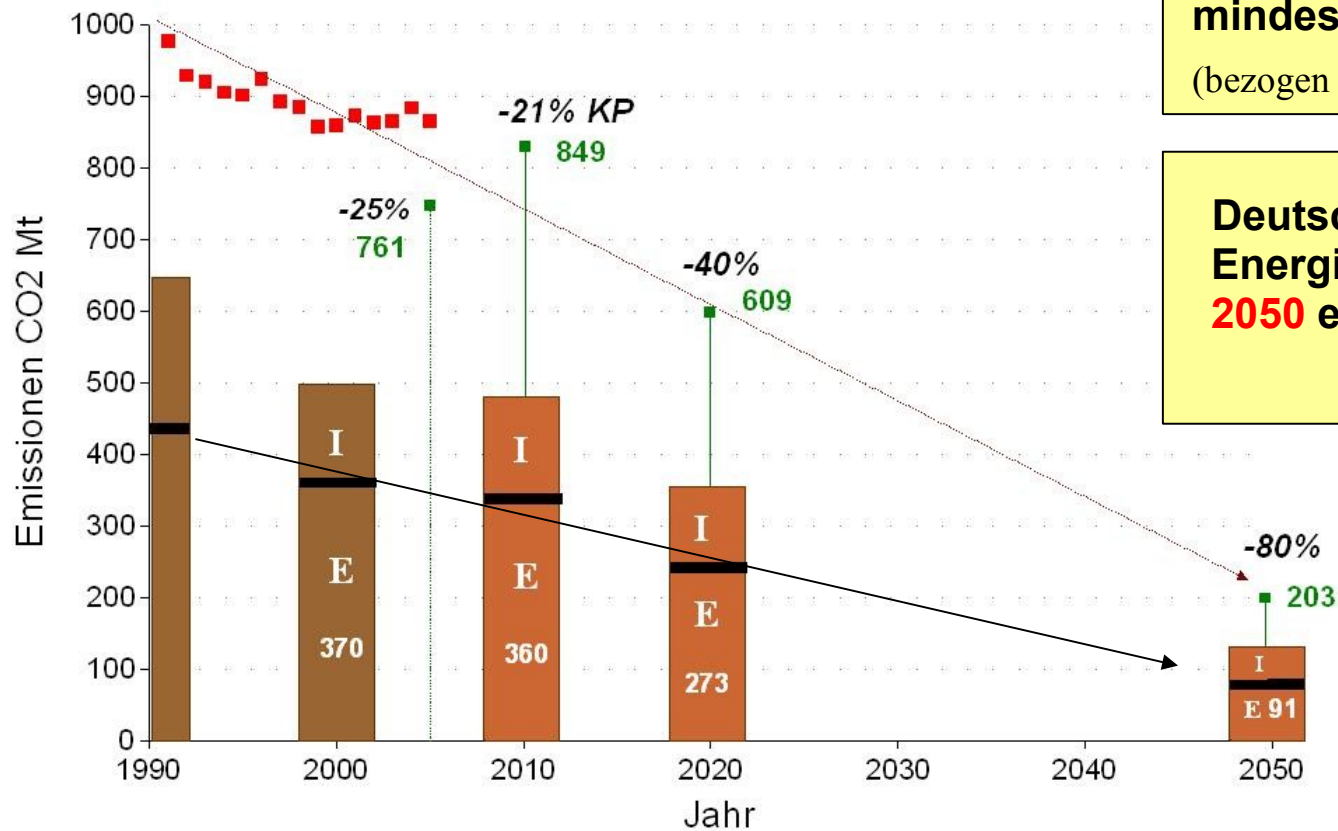
G: 43% - 465gCO<sub>2</sub>/kWh

**GREENPEACE**

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

# Kohle vs Klimaschutz



Treibhausgase müssen bis **2050** global mehr als halbiert werden, d.h. für Industrieländer: mindestens - 80% (bezogen auf 1990)

Deutschland 2050: 203 Mt Energiewirtschaft hat in **2050** ein CO<sub>2</sub>- Budget von ca. 91 Mt

E = Energiewirtschaft; I = Industrie

Bruttostromerzeugung 2002: 139,7 GW; 603,8 TWh (Daten: BMWA 2005)

GREENPEACE

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

## **3. CCS**

Die Hoffnung, in einer CO<sub>2</sub> reduzierten Welt weiterhin

Kohle verbrennen zu können / zu müssen

CO<sub>2</sub> Emissionen sollen nicht vermieden, sondern „verbuddelt“ werden.

CCS noch in der F&E; möglicher Einsatz ab 2020 - 2030

**CCS „Carbon Dioxide Capture and Storage“**

**CO<sub>2</sub> Abscheidung – Transport - Lagerung**

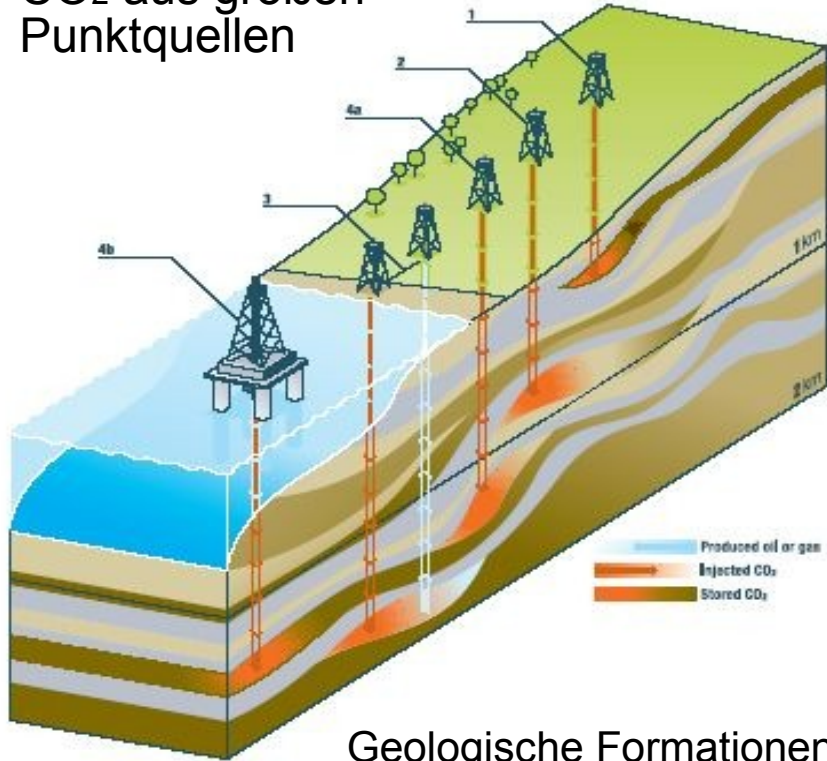
**GREENPEACE**

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

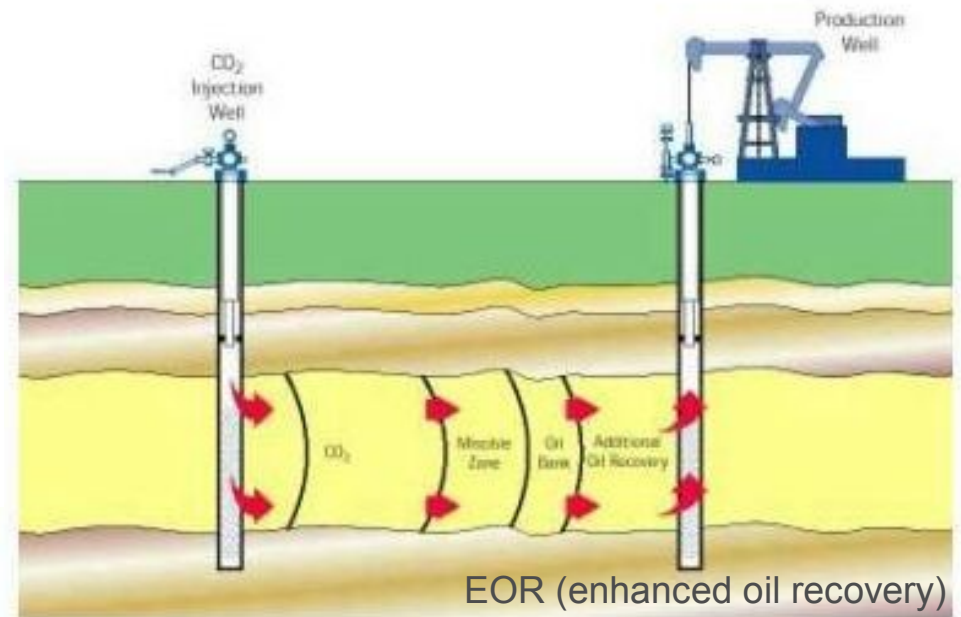
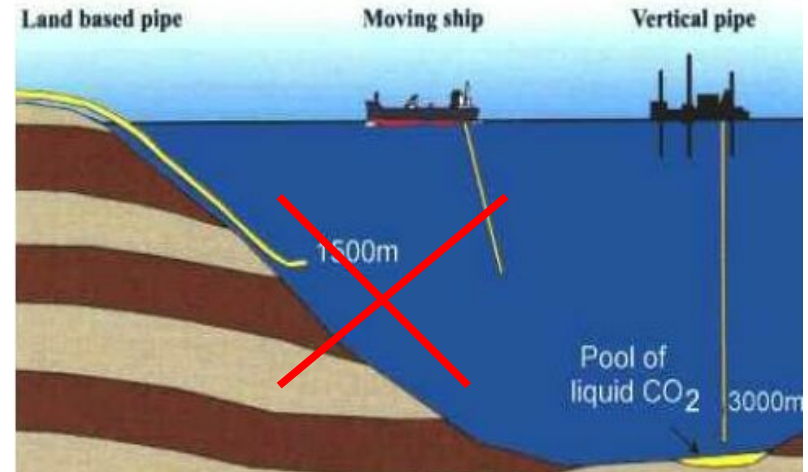
# CCS – wie wo

CO<sub>2</sub> aus großen  
Punktquellen



Geologische Formationen

salinare Aquifere, Öl-Gasfelder,  
tiefe Kohleflöze, Salzstöcke



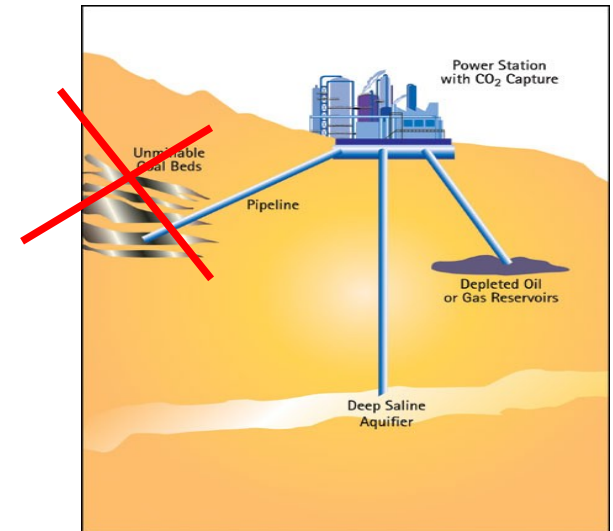
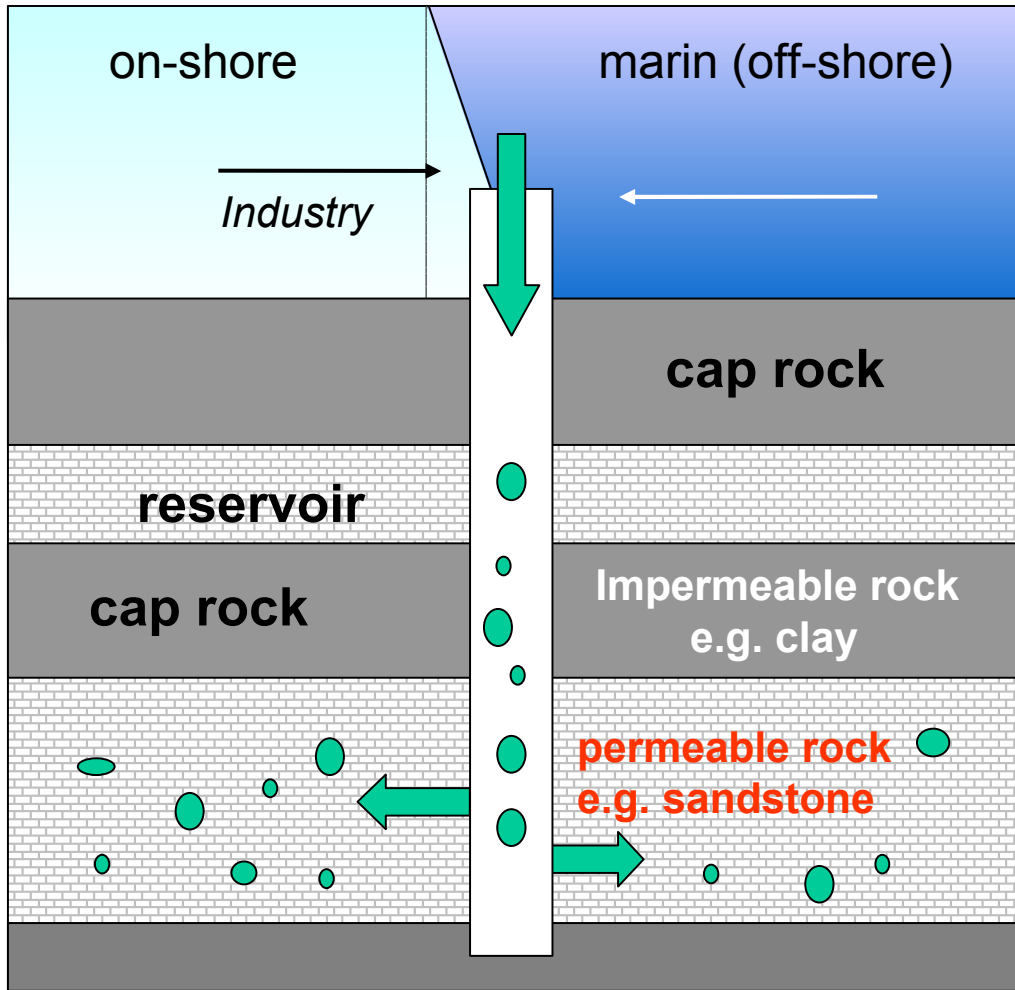
EOR (enhanced oil recovery)

GREENPEACE

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

# Speicherung



**Reservoir  
tiefer als 800 m**

**GREENPEACE**

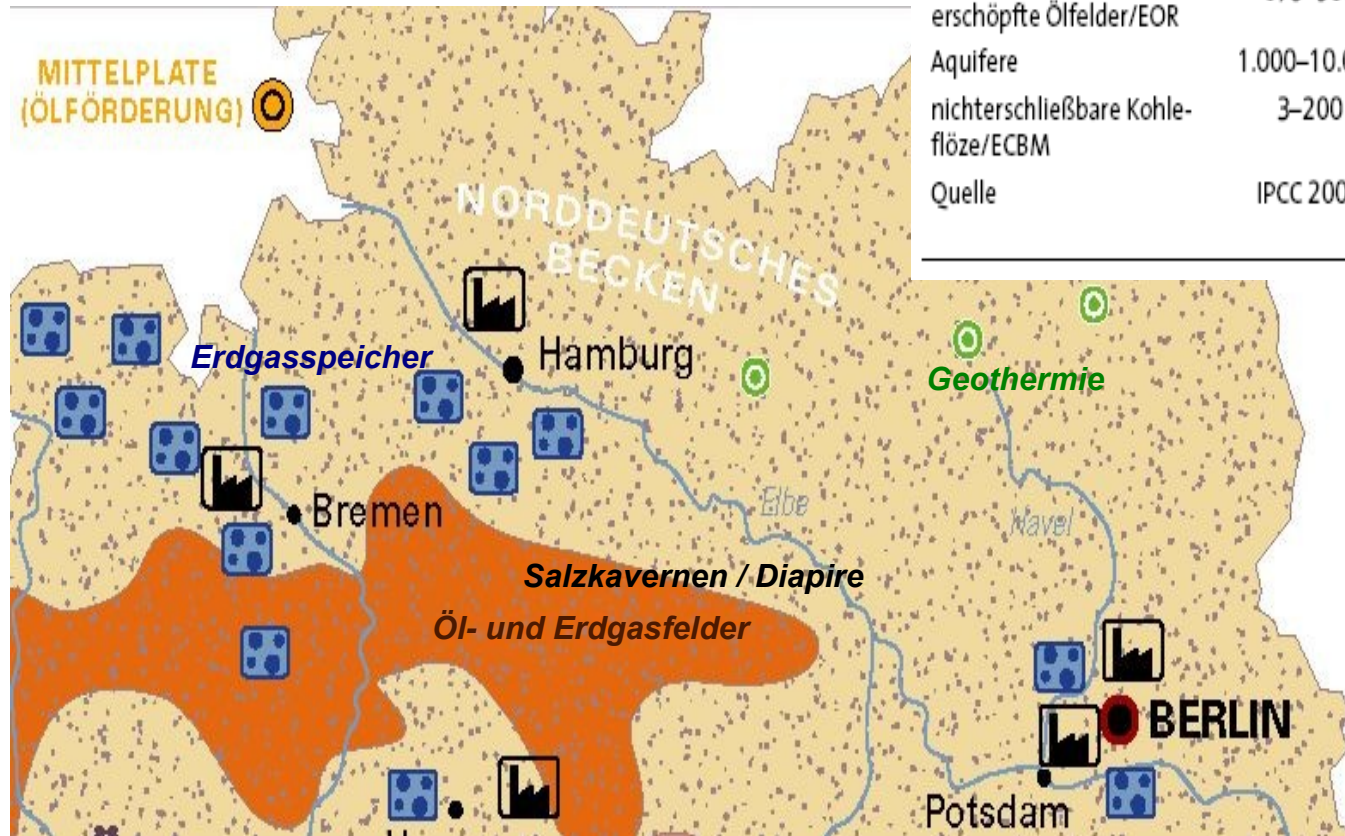
[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

# Speicherpotenziale

Lagerungsoption	Kapazität (In Mrd. t CO <sub>2</sub> )		
	global	Europa	Deutschland
erschöpfte Gasfelder	675-900	31-163	3
erschöpfte Ölfelder/EOR		4-65	0,1
Aquifere	1.000-10.000	1-47	12-28
nichterschließbare Kohleflöze/ECBM	3-200	0-10	0,4-1,7
Quelle	IPCC 2005	Hendriks et al. 2004	Christensen et al. 2004

\*Quelle: RECCS (2008)



**Deutschland:  
statische Reichweite  
30-60 Jahre\***  
[= 1 Kraftwerksgeneration]

GREENPEACE

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008



# Risiken



Art des Risikos

lokales Risiko für Mensch,  
Tier und Umwelt

globales Risiko für  
das Klima

spontaner Austritt von CO<sub>2</sub>  
(»Unfall«)

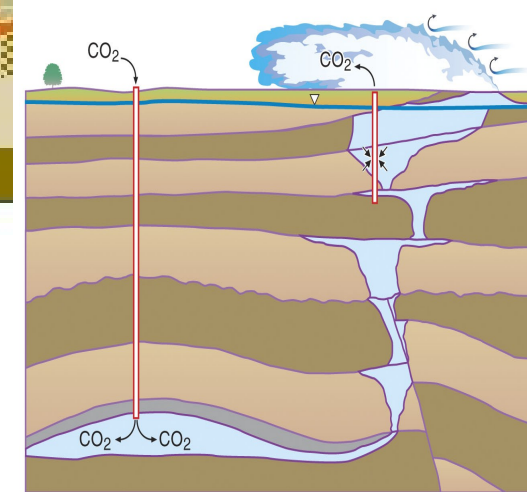
kurzfristige, vorübergehende, massive  
Einwirkung, im schlimmsten  
Fall lebensbedrohlich

Freisetzung der abge-  
schiedenen CO<sub>2</sub>-  
Mengen

langsame, graduelle Leckage  
aus dem Speicher

chronische und schleichende Be-  
drohung von Grundwasser, Flora  
und Fauna im Boden, eventuelle  
Gefahr für Menschen an Punktquel-  
len

Freisetzung der abge-  
schiedenen CO<sub>2</sub>-  
Mengen



Quelle: UBA 2006a, S.58

GREENPEACE

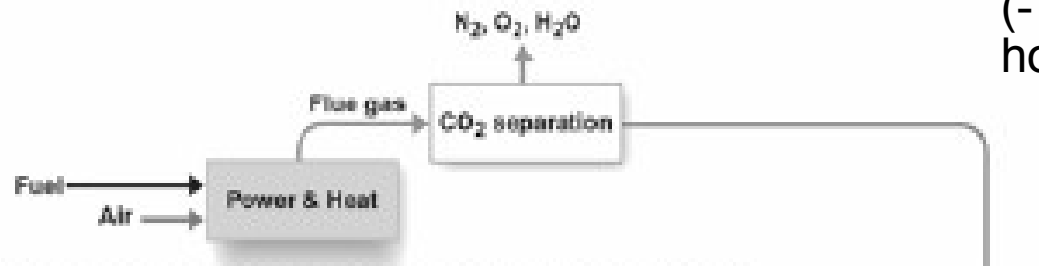
[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

# Abscheidung (Kraftwerk)

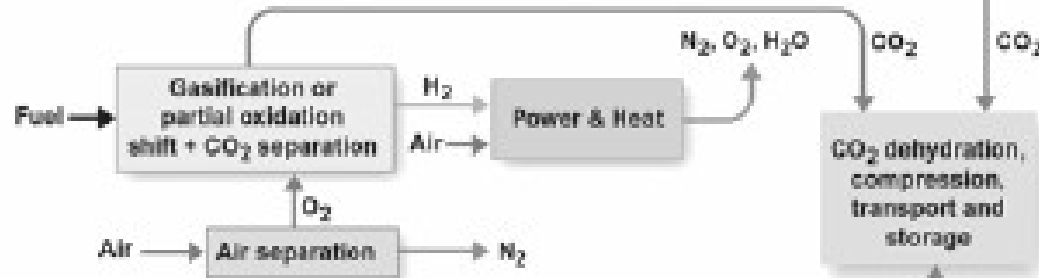
Energieintensiv  
(+10 bis 44%)  
Wirkungsgradverlust  
(- 8 bis 14 %Punkte)  
hoher Wasserbedarf

Post-combustion capture



Pre-combustion capture

IGCC



O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> recycle (oxyfuel) combustion capture



= 50% Abscheidung bei Vollast oder 50% Auslastung

## Double demo plant at Jämschwalde 250 MW<sub>el-eq</sub> initial estimates

	Without CCS	Oxyfuel train*	Postcombustion train**
Boiler net electrical equivalent output	250 MW	191.5 MW	169 MW
Net electrical efficiency, condensing mode	36 %	31.5 %	24.5 %
CO <sub>2</sub> stored per year		1,100,000	1,200,000

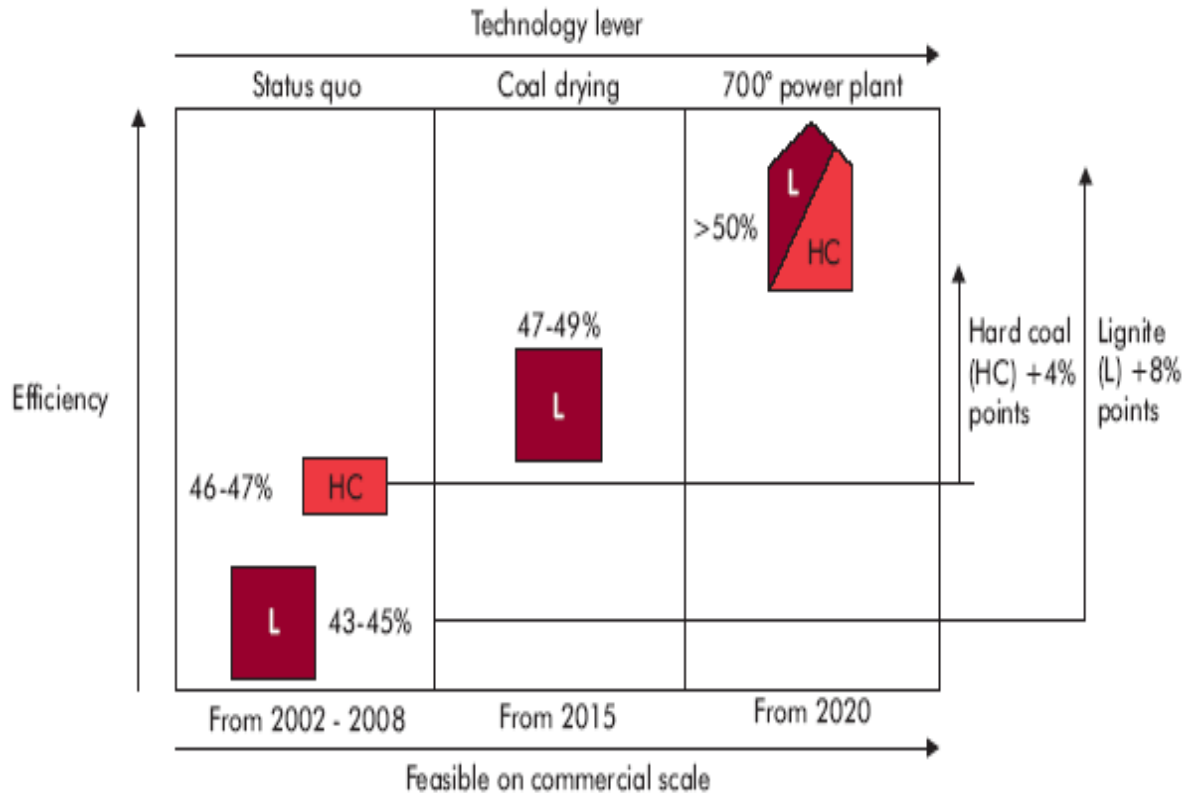
\* new boiler, estimated future performance, dried lignite, drying not included

Quelle: Jordal et al. (2006)

Quelle: Vattenfall (2008)

GREENPEACE

# Vorrang Wirkungsgradsteigerung



Quelle: IEA/CIAB (2008)

Quelle: Vattenfall (2008)

Einführung CCS wird Wirkungsgrad von Kraftwerken in 50er Jahre des letzten Jahrhunderts zurück werfen.

CCS-Kohlekraftwerke werden auch dann nicht CO<sub>2</sub>-frei sein.

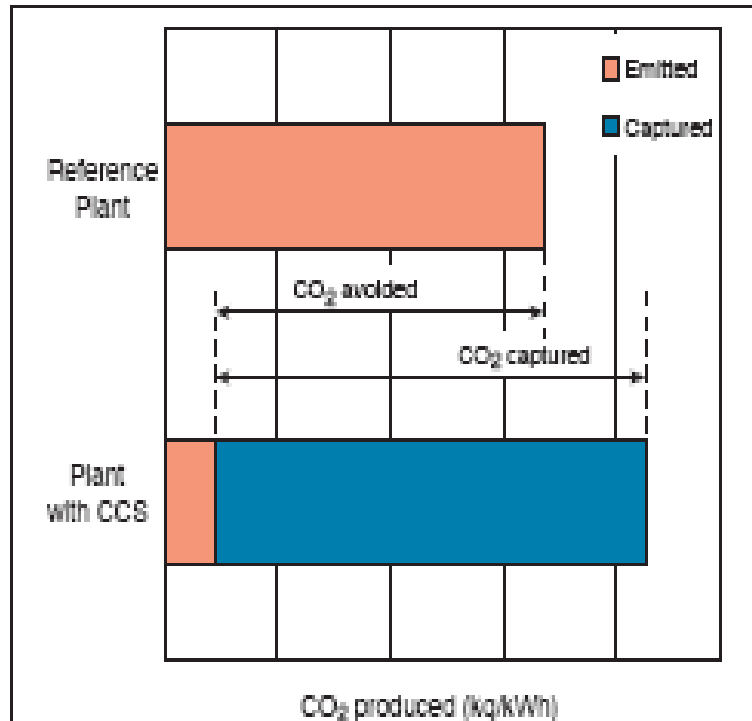
The key project figures - as based on existing, amine-based Postcombustion capture technology:

CO <sub>2</sub> stored per year	1,800,000 tonnes	
Potential storage capacity	> 30 years	
	With CCS, predicted	Without CCS
Power plant net output	305 MW	376 MW
Efficiency, condensing mode	38 %	47 %

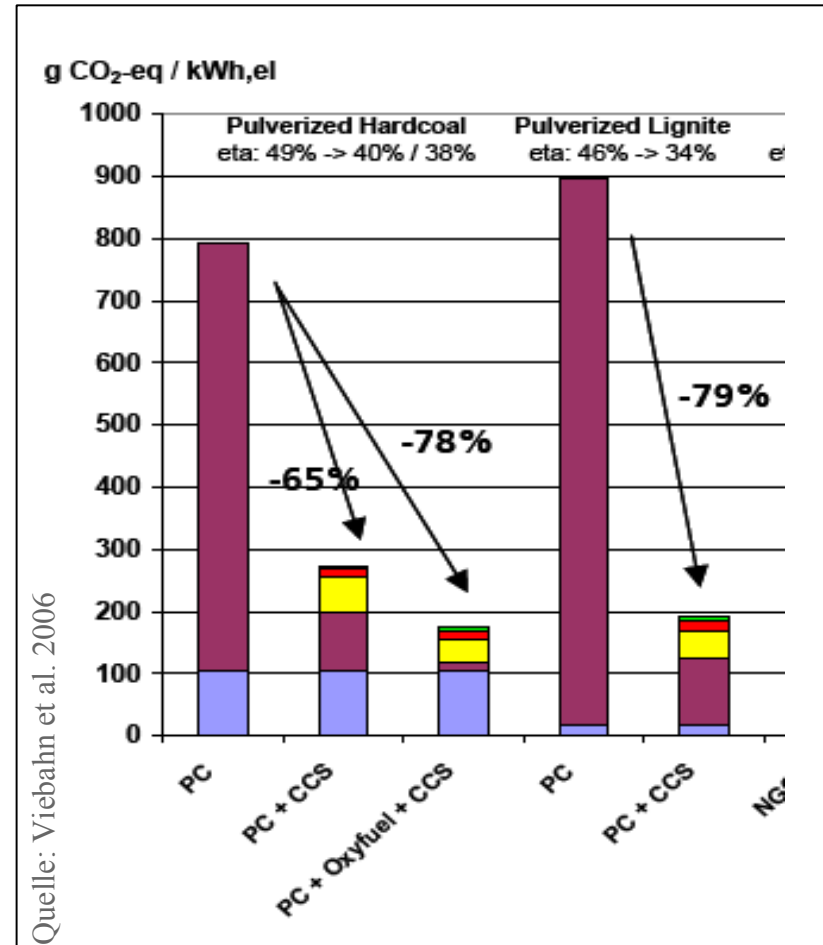
GREENPEACE

# Emissionen

Gesamte Prozesskette:

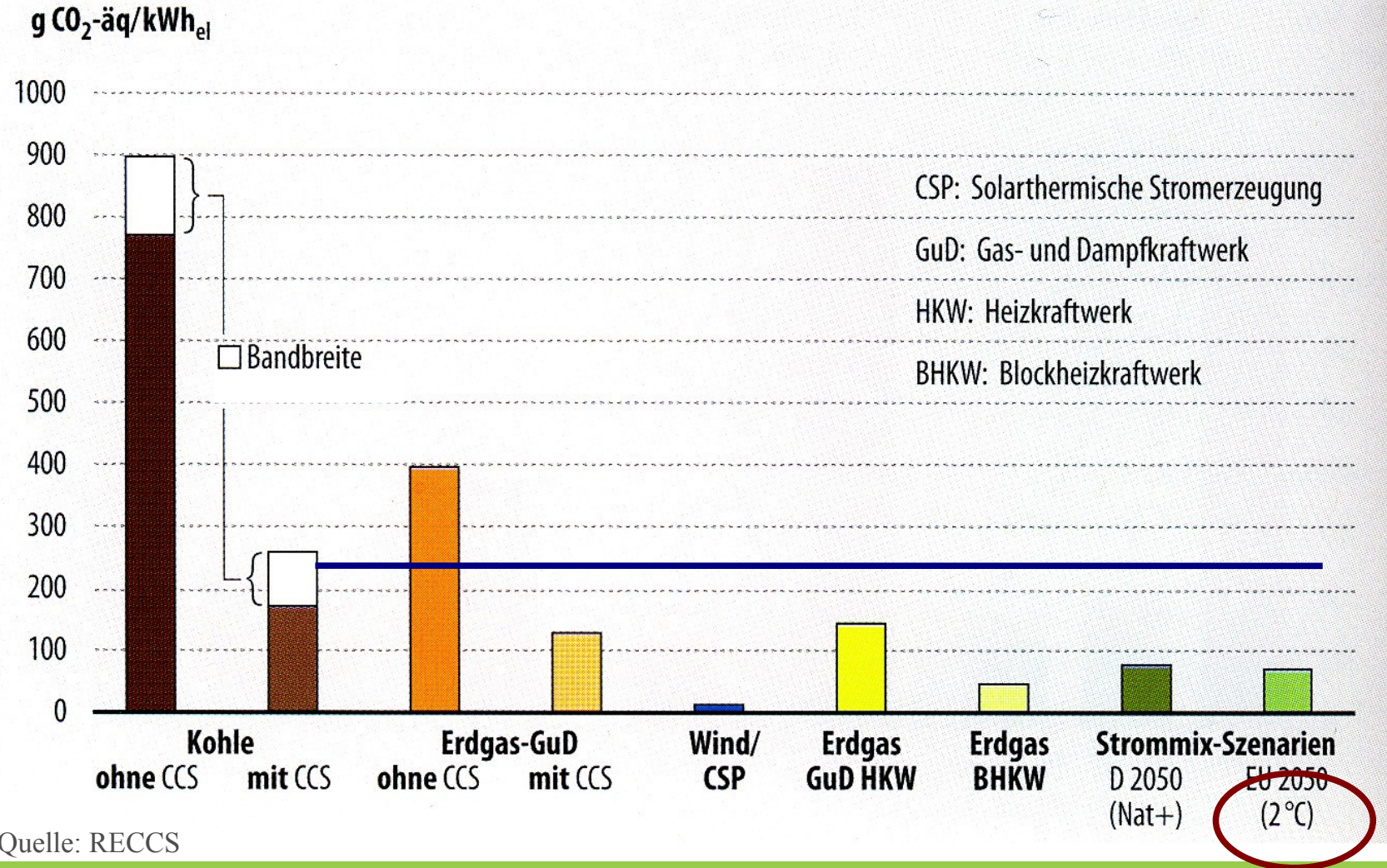


Quelle: IPCC SRCCS (2005)



Quelle: Viebahn et al. 2006

# Emissionen



GREENPEACE

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

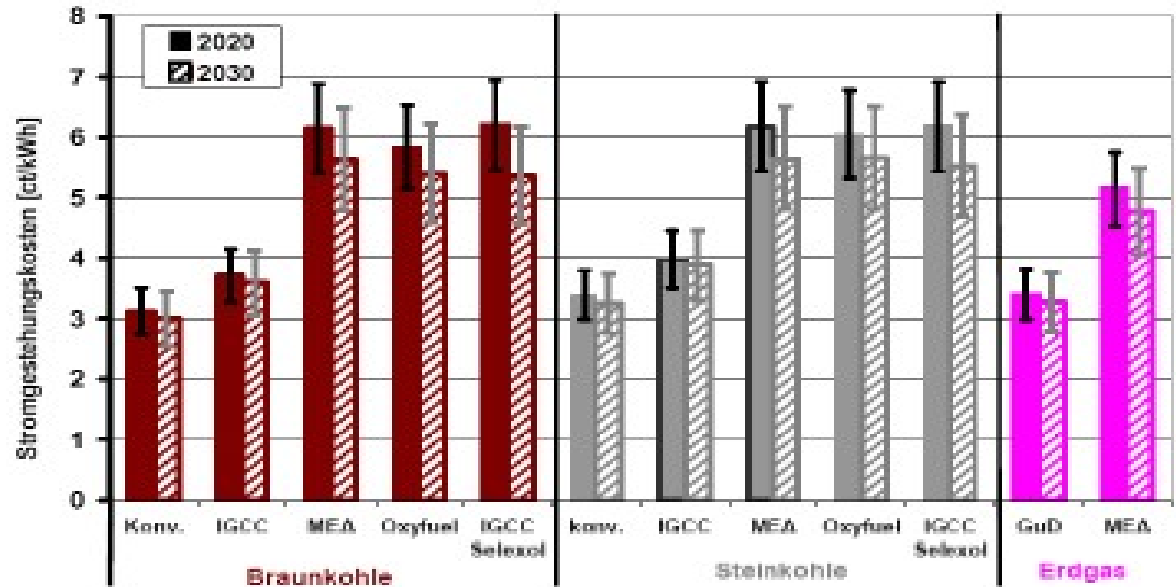
© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

# Kosten

Quelle: TAB – CCS 2008

Verdopplung (2020)  
Stromgestehungskosten

Kosten für Vollast



Speicherkosten Euro/t CO<sub>2</sub>)  
bei einer Tiefe von

1.000 m      2.000 m      3.000 m

	1.000 m	2.000 m	3.000 m
Aquifer (an Land)	1,8	2,7	5,9
Aquifer (offshore)	4,5	7,3	11,4
Erdgasfeld (an Land)	1,1	1,6	3,6
Erdgasfeld (offshore)	3,6	5,7	7,7
leeres Ölfeld (an Land)	1,1	1,6	3,6
leeres Ölfeld (offshore)	3,6	5,7	7,7

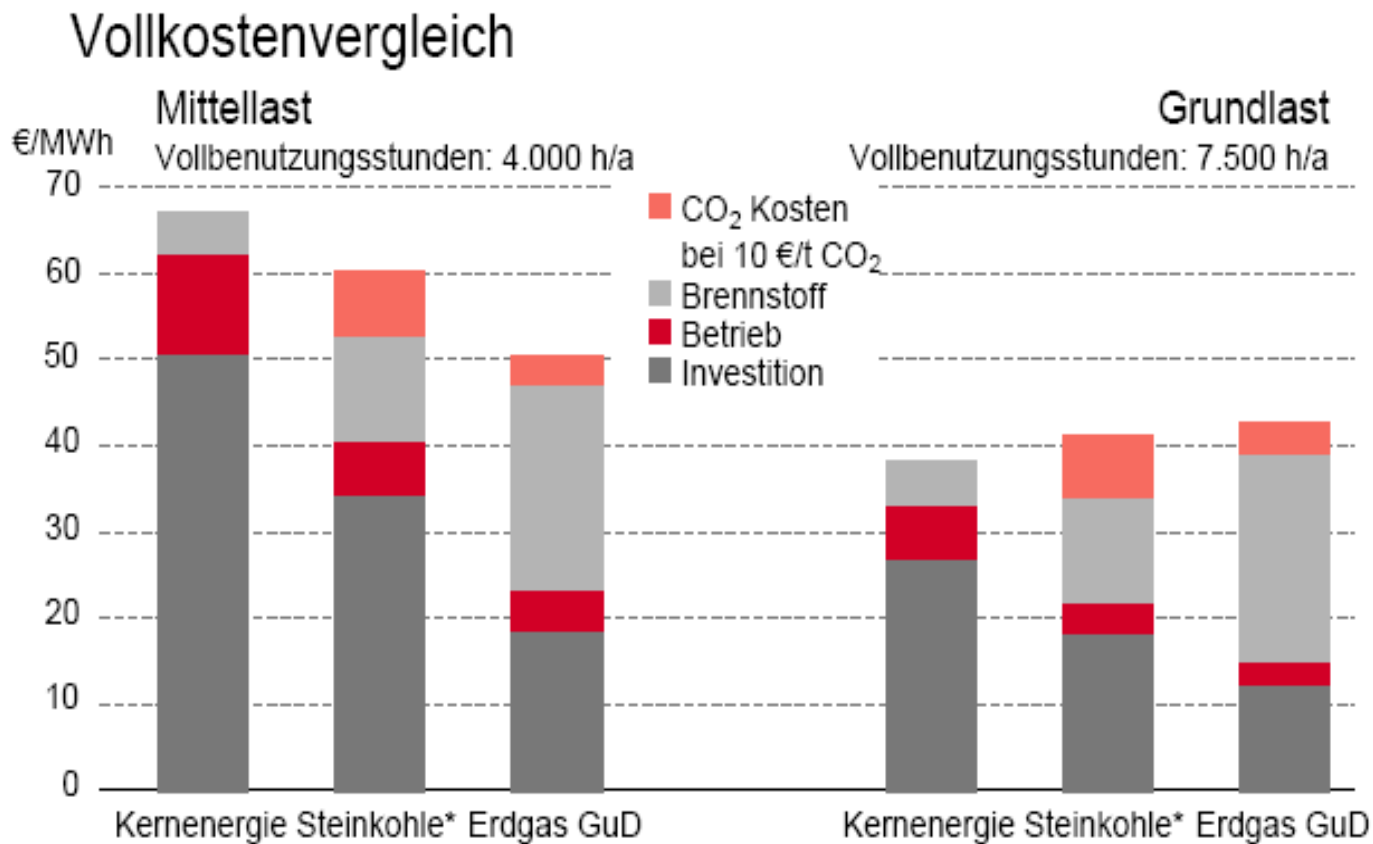
= CO<sub>2</sub>- Vermeidungskosten  
von 35-50 € in 2020  
(weitere Reduzierung erwartet)  
  
+ Transport + Lagerung  
(kaum Kostenreduktion möglich)

GREENPEACE

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

# Vorrang Grundlast (Großkraftwerk – “volle Power”)



Kosten ohne CCS Grundlast - Mittellast

Aus: Eon-Vortrag Fischer 2006  
\*100% Versteigerung

GREENPEACE

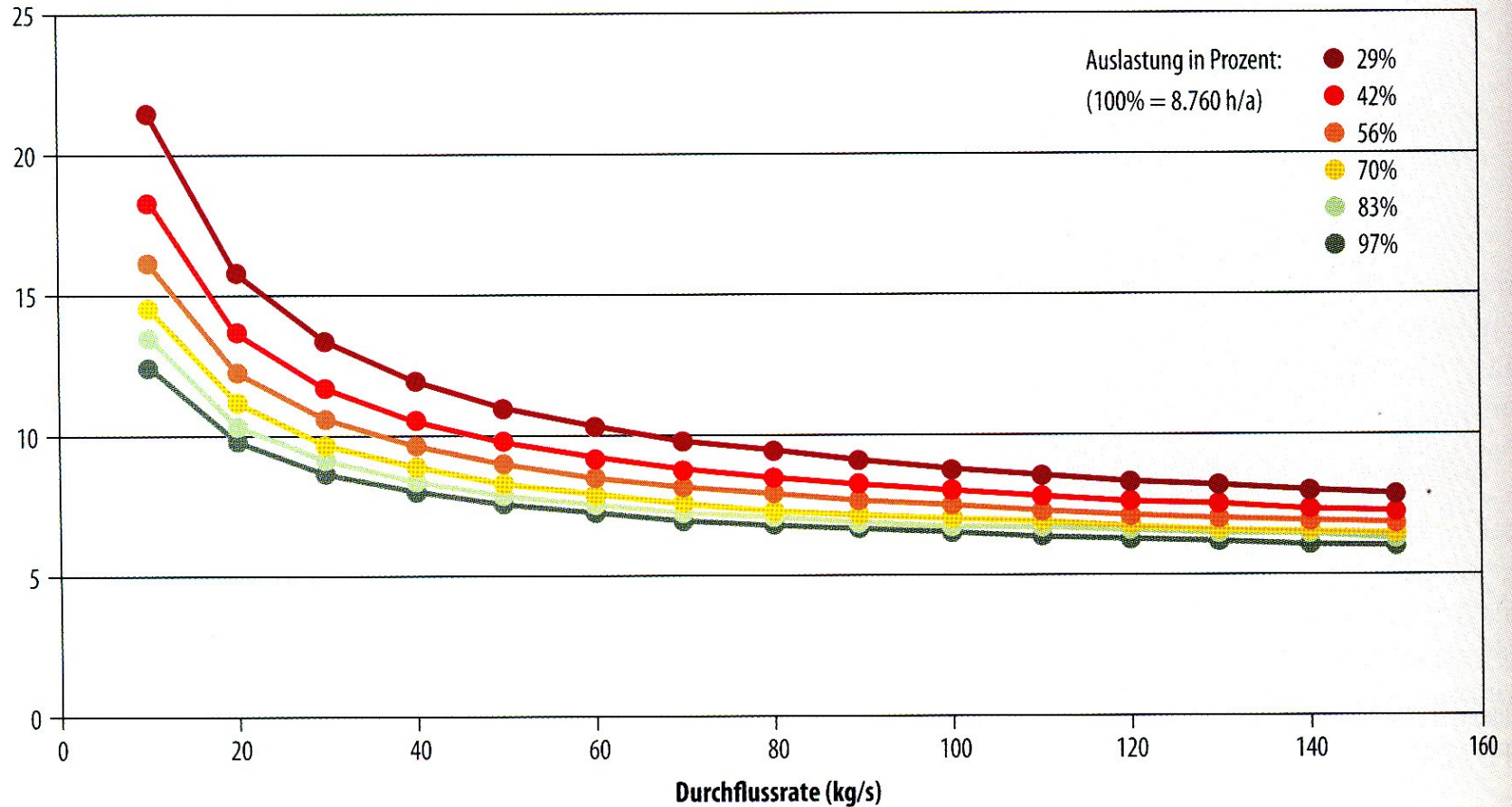
[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

# Kosten Transport

Kompressionskosten (EUR/Tonne CO<sub>2</sub>)

Quelle: RECCS



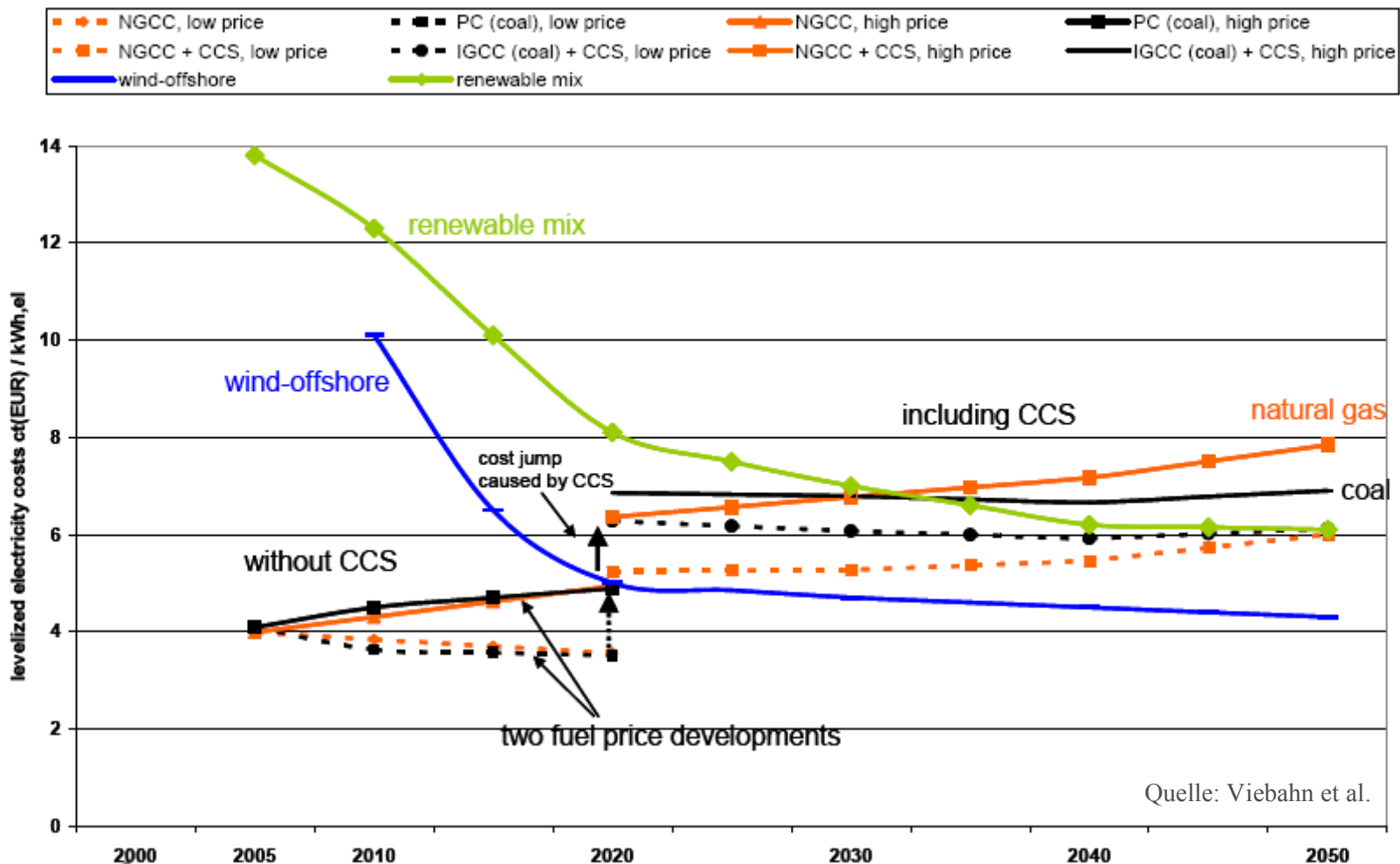
GREENPEACE

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

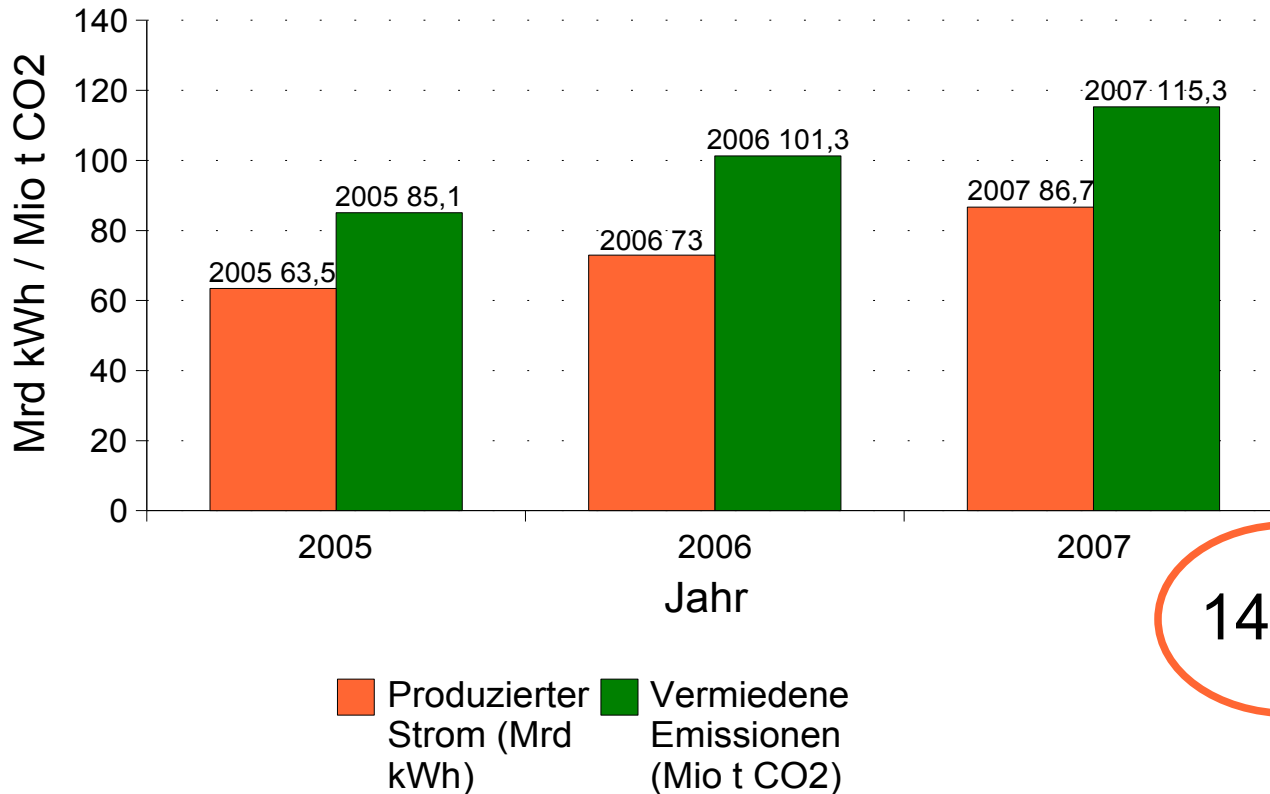
© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008



# Kosten Vergleich mit REG



# 4. Erneuerbare Energien



Entwicklung  
Erneuerbarer  
Energien in  
Deutschland:

Zuwachs 2006-7:  
+13,7 Mrd kWh  
-14 MtCO<sub>2</sub>

14,1%

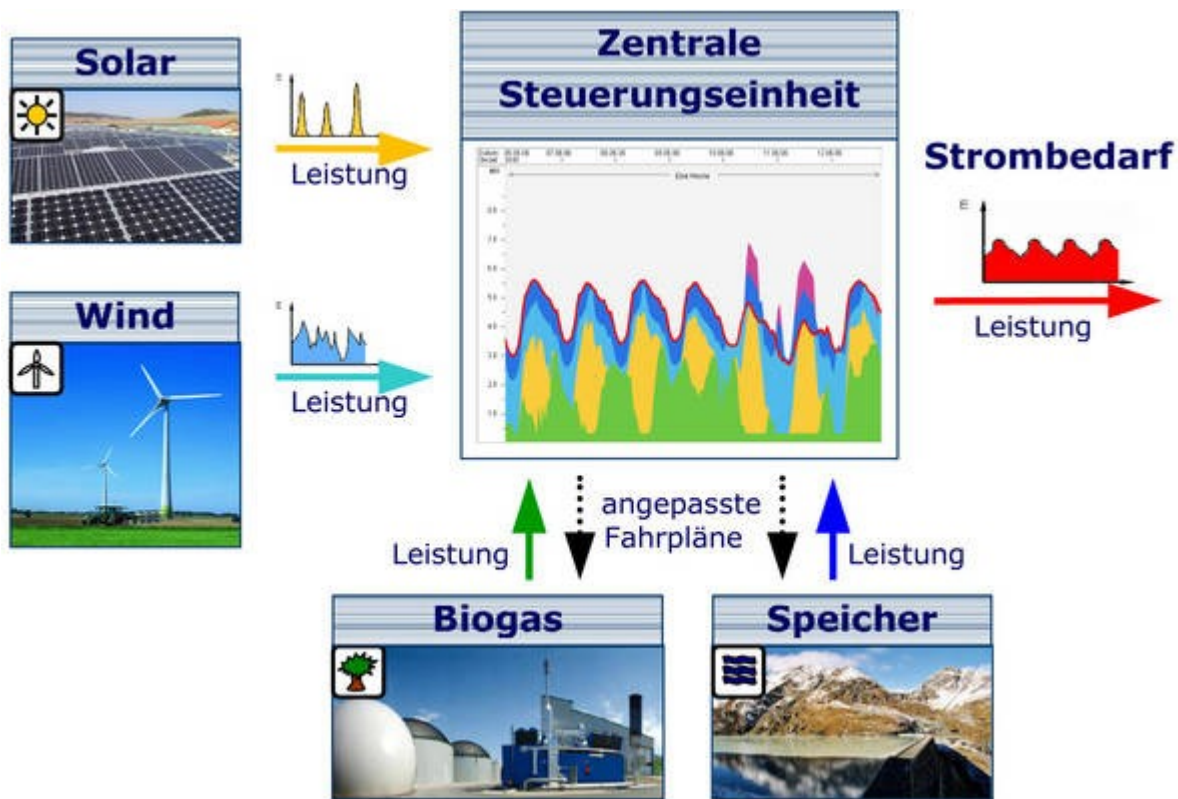
Daten: BEE, Stand 08.01.2008

GREENPEACE

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

# Versorgungssicher



Beispiel:  
Kombikraftwerk auf  
Basis Erneuerbarer Energien

11 Windanlagen, 4 Biogas- und 20 Solaranlagen sowie ein Pumpspeicherkraftwerk sind durch eine zentrale Steuerungseinheit miteinander verbunden.

Das Kombikraftwerk zeigt im Kleinen, was auch im Großen möglich ist: eine jederzeitige Vollversorgung durch Erneuerbare Energien. Das Regenerative Kombikraftwerk passt sich dabei minutengenau an den tatsächlichen Bedarf an. Es deckt Bedarfsspitzen ab und speichert in "ruhigen Zeiten" nicht benötigte Strommengen.

Daten: <http://www.kombikraftwerk.de/index.php?id=19>

# 5. Zusammenfassung

- Nicht vor 2020
- Wirkungsgradverlust (um bis zu 14 Prozentpunkte)
- Erhöhung Rohstoffeinsatz um bis zu 44 Prozent für gleichen Stromoutput (= mehr Bergbau, mehr Umweltschäden, stark erhöhter Wasserbedarf)
- Hohe Kosten (aktuell 50-100€/tCO<sub>2</sub>, Ziel: 20-25€)
- Annähernd Verdopplung Stromgestehungskosten
- Heute Bau neuer Kohlekraftwerke! “capture ready“ Farce (Platzvorhalt, nicht technische Vorbereitung)
- Aufbau neuer Pipeline-Infrastruktur notwendig
- Immernoch hohe Emissionen
- Speicherplatz begrenzt
- Zementierung fossiler Energieversorgung auf Basis von Großkraftwerken
- Ausbremsung Ausbau Erneuerbarer Energien
- Subventionierung der Kohle wird fortgesetzt, durch z.B. Übernahme der Folgekosten der Speicherung (Aushebelung Verursacherprinzip)

# ***Versuch einer Antwort***

## ***CO<sub>2</sub>-Speicherung Rettungsanker für die Kohle?***

Kurzfristig Ausrede heute für den Bau neuer Kohlekraftwerke

Rettungsanker wird CCS vermutlich nicht, da die Unabwäg-  
die Unabwägbarkeiten und Kosten groß sind und die THG  
aus CCS-Kohlekraftwerken langfristig gesehen auch zu hoch  
sein werden (80% bis 2050).

Langfristig Ölverknappung eröffnet Kohle mit CCS neue Einsatz-  
möglichkeiten

# ***Kohlekraft = Auslaufmodell***

## **Lösung: Immer weniger Kohle hocheffizient nutzen**

- Verzicht auf neue Braunkohlekraftwerke (und -tagebaue)
- Verzicht auf neue Groß-Steinkohlekraftwerke (Bedarfsangepasst: klein, volle KWK, Brennstoffwechsel Gas)
- Ausbau Energieeffizienz und Erneuerbare Energien

**-40 % Klimaschutzziel bis 2020**

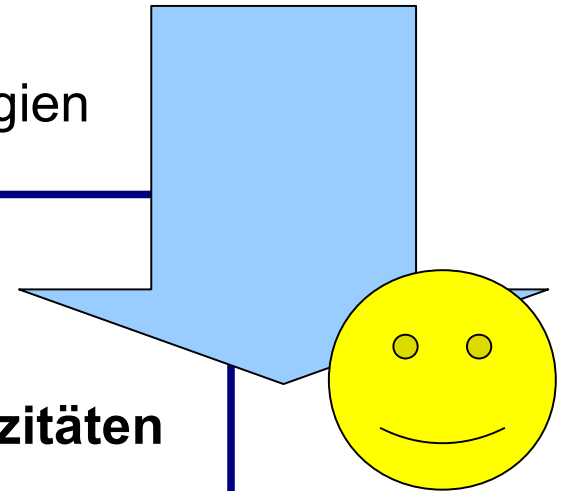
**Reduktion Importabhängigkeit -30%**

**Keine Deckungslücke, sondern Überkapazitäten**

**Verminderung von Umweltschäden**

**Schaffung von Arbeitsplätzen**

**Strompreisstabilität**

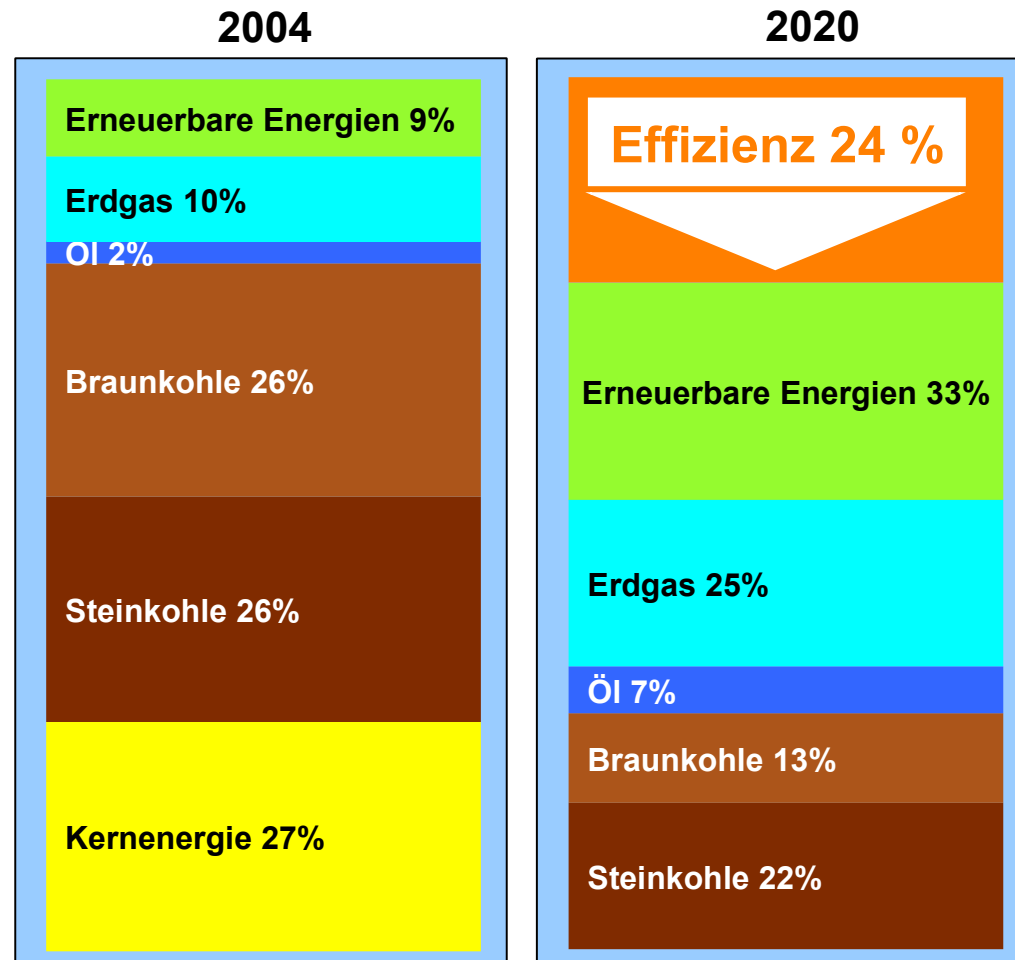


# Es fehlt der politische Wille

Alternativen

„energy[r]evolution“

„Plan B“



Quelle: Plan B. (Daten: BMU 2006, eigene Berechnungen)

GREENPEACE

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

# ***Eine Antwort auf die Frage, ... und wenn CCS nicht klappt?***

CEO Vattenfall

Lars Göran Josefsson:

„Dann haben wir ein echtes Problem. Dann müssen wir die Dämme höher bauen.“

Quelle: Die Zeit, 4. April 2007



**GREENPEACE**

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008



# Literatur

BMU (2007): RECCS Strukturell – ökonomischer – ökologischer Vergleich regenerativer Energietechnologien (RE) mit Carbon Capture and Storage (CCS)

TAB (2008): CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Lagerung bei Kraftwerken. Sachstandsbericht zum Monitoring „Nachhaltige Energieversorgung“

Greenpeace (2008): Falsche Hoffnung CCS.

MIT (2007): The future of coal.

IEA (2008): Clean Coal Technologies – accelerating commercial and policy drivers for deployment (CIAB – Coal Industry Advisory Board)

Greenpeace energy[r]evolution, Plan B  
IPCC 4. Sachstandsbericht

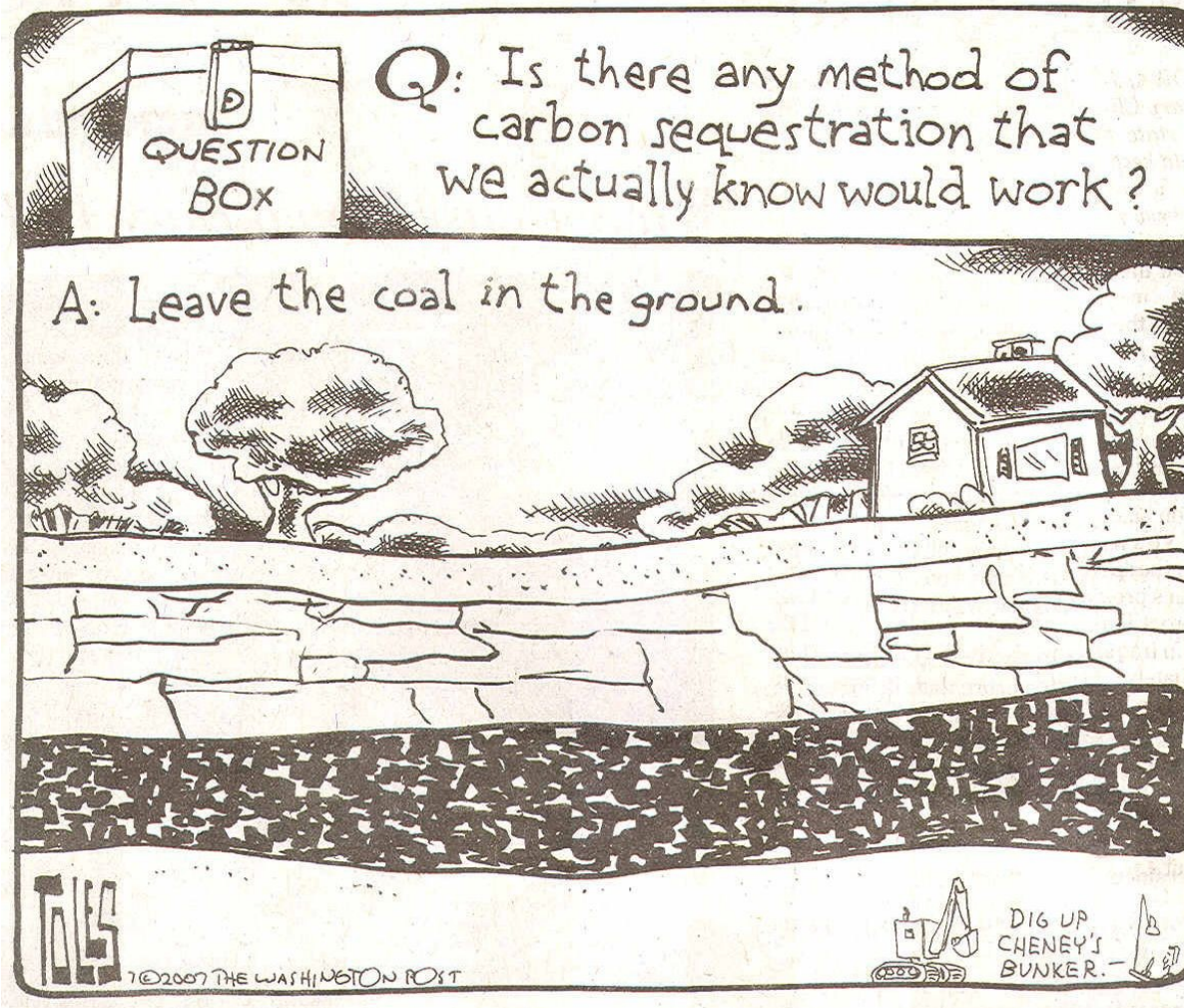
**GREENPEACE**

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008

**Danke**

*Tom Toles*



Quelle: Washington Post

16 July 2007

thanks to

Elizabeth Wilson

**GREENPEACE**

[www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

© Dr. Gabriela von Goerne, 05/2008