

Moving towards a sustainable world

Sinn und Unsinn der Abtrennung und Speicherung von Kohlendioxid (CO₂)

Prof. Dr. Olav Hohmeyer

Universität Flensburg

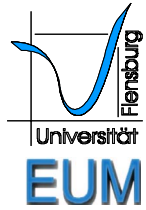
Former Vice Chair WG III IPCC

Mitglied des Sachverständigenrates für Umweltfragen

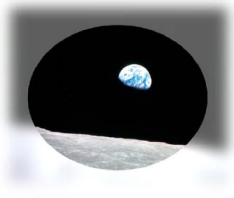


Moving towards a sustainable world

Struktur des Vortrags (Was erwarten Sie?)

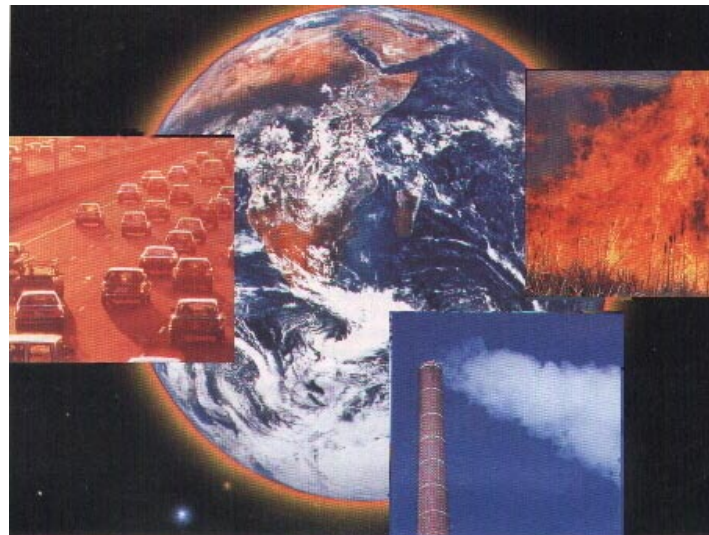


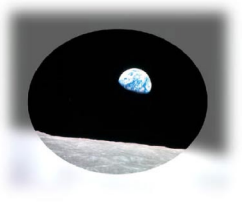
- Der vom Menschen verursachte Klimawandel
- Was ist zu tun?
- Vier Möglichkeiten CO₂ aus dem Energiebereich zu vermeiden
- Ist CCS ein Beitrag zur Lösung des Klimaproblems?
- Warum CCS für Kohlekraftwerke dem Klimaschutz schadet?



Moving towards a sustainable world

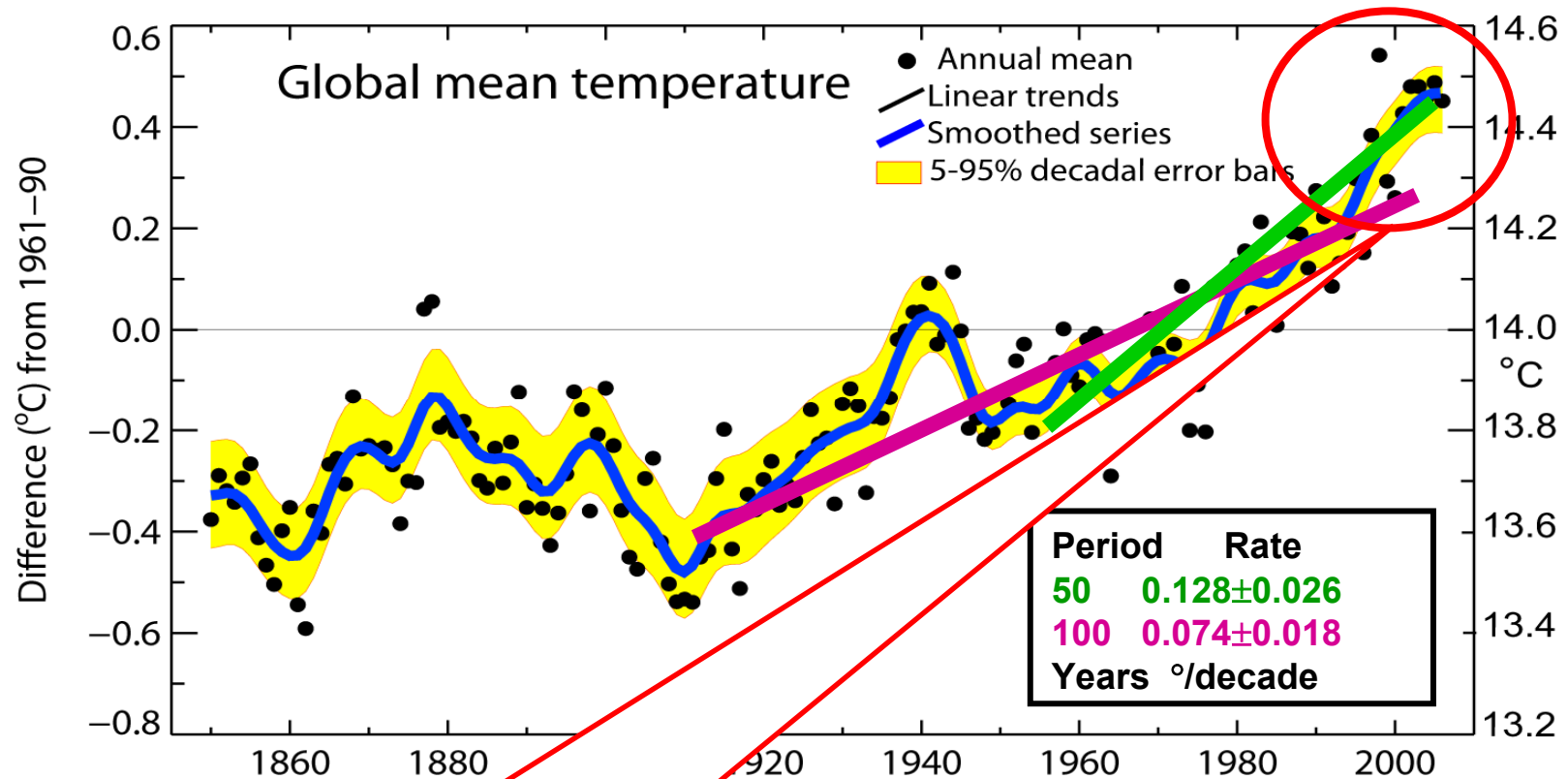
Der vom Menschen verursachte Klimawandel





Moving towards a sustainable world

Beschleunigter globaler Temperaturanstieg



Wärmste 12 Jahre seit 1850:

**1998, 2005, 2003, 2002, 2004, 2006,
2001, 1997, 1995, 1999, 1990, 2000**

Quelle: Pachauri und Jallow, 6.2.2007



Menschlicher Einfluss auf den Klimawandel

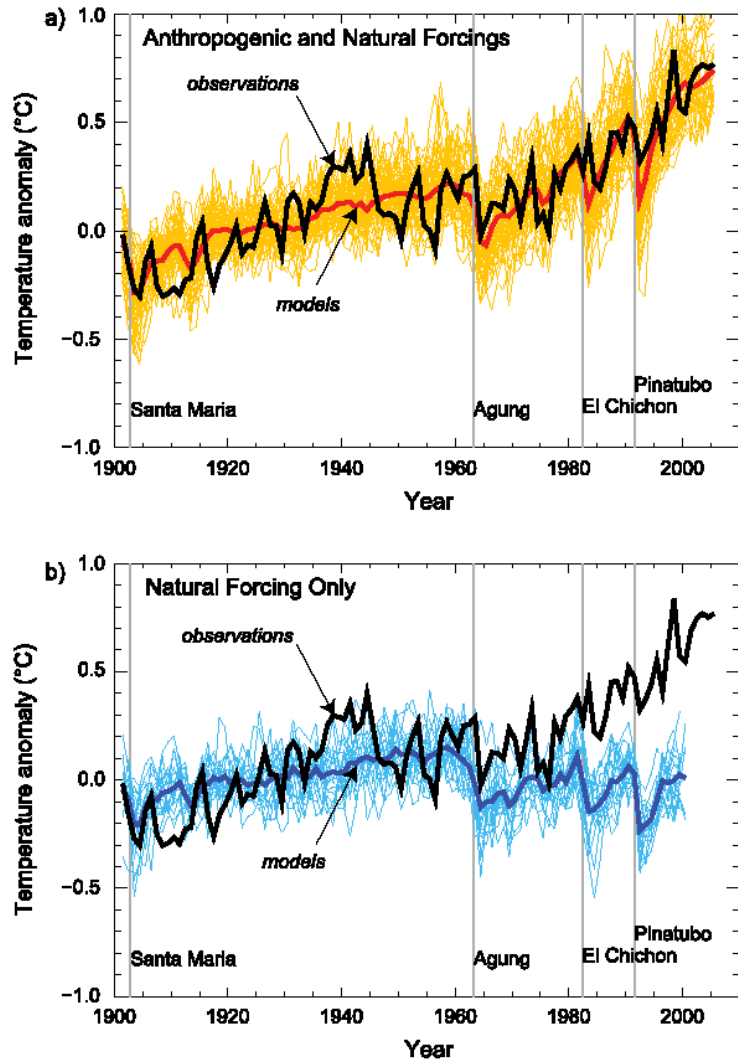
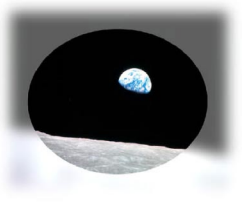


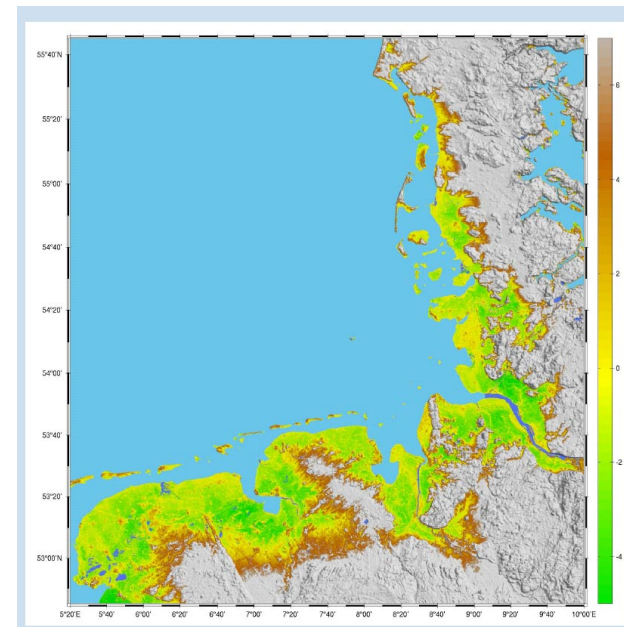
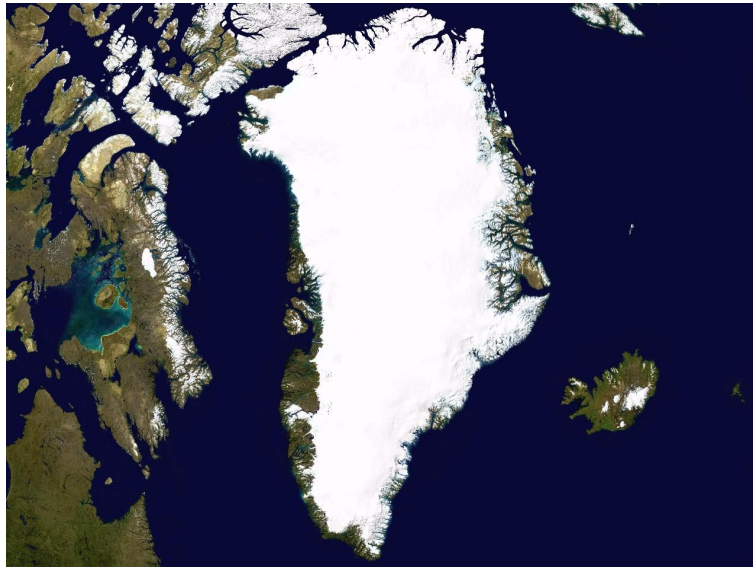
Figure TS.23. (a) Global mean surface temperature anomalies relative to the period 1901 to 1950, as observed (black line) and as obtained from simulations with both anthropogenic and natural forcings. The thick red curve shows the multi-model ensemble mean and the thin lighter red curves show the individual simulations. Vertical grey lines indicate the timing of major volcanic events. (b) As in (a), except that the simulated global mean temperature anomalies are for natural forcings only. The thick blue curve shows the multi-model ensemble mean and the thin lighter blue curves show individual simulations. Each simulation was sampled so that coverage corresponds to that of the observations. {Figure 9.5}

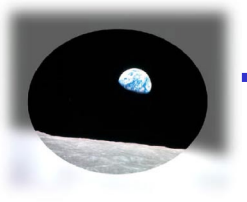
Quelle: IPCC 2007a (WG I TS S.62)



Moving towards a sustainable world

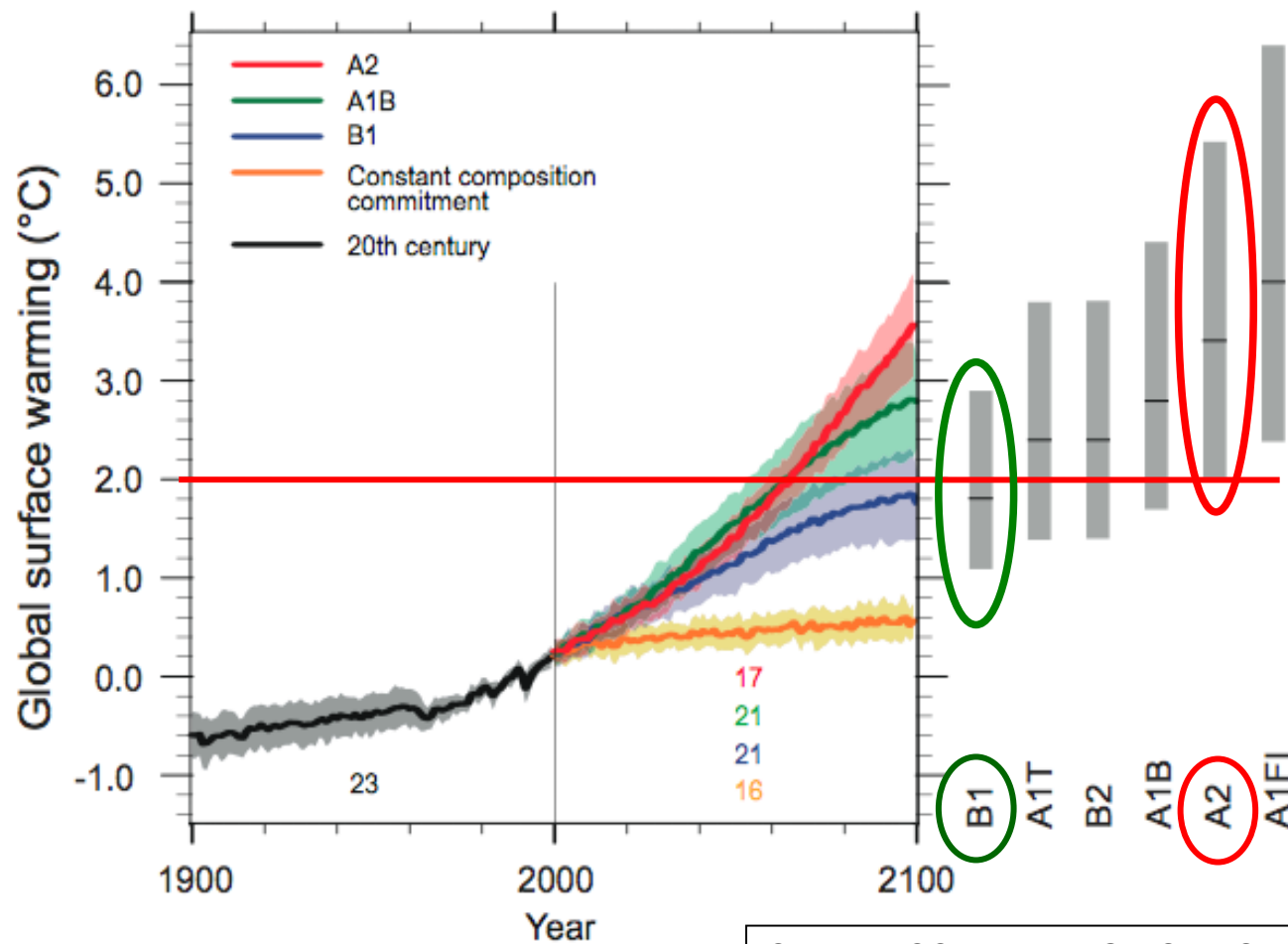
Auswirkungen des Klimawandels





Moving towards a sustainable world

Temperaturanstiegsszenarien bis 2100 (AR4)



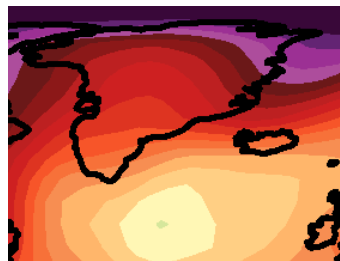
Quelle: IPCC 2007a (WG I, SPM S.14)



Temperaturanstieg bis 2100 nach Szenario A2 und B1 (AR4)

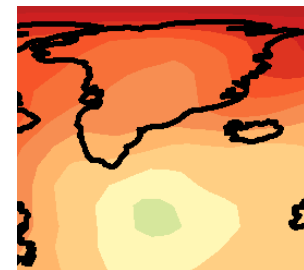
Erwärmung über Grönland 2090-2099:

- B1: 1 – 3°C (Süd- bis Nordspitze)
- A2: 2,5 – 7,5°C (,Weiter so!')

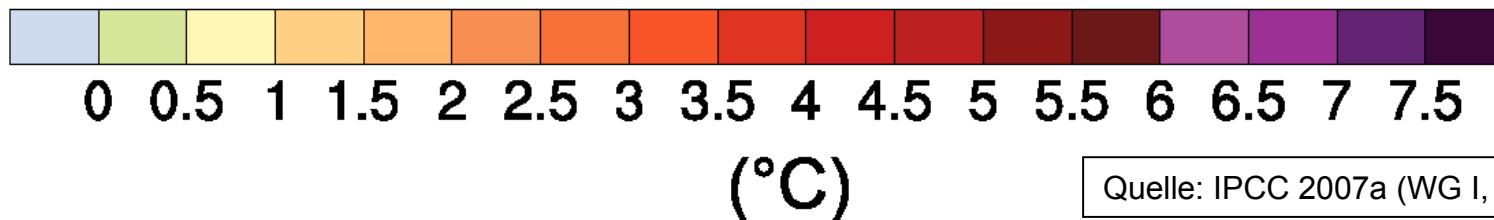
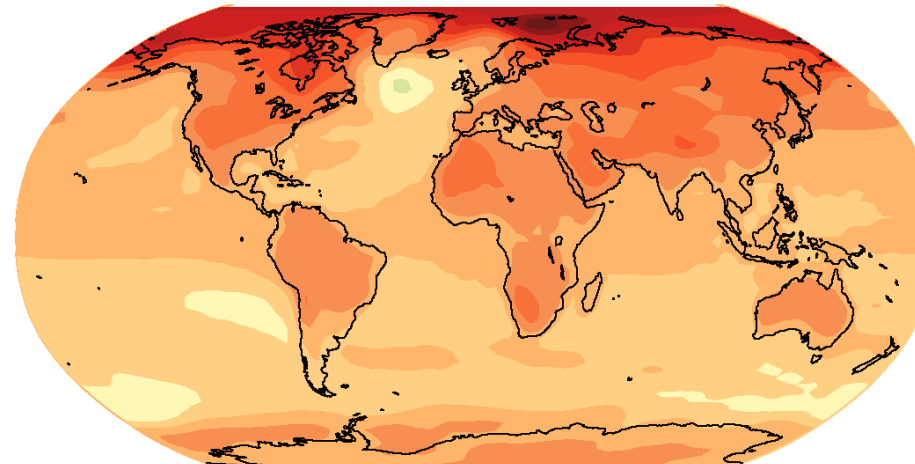
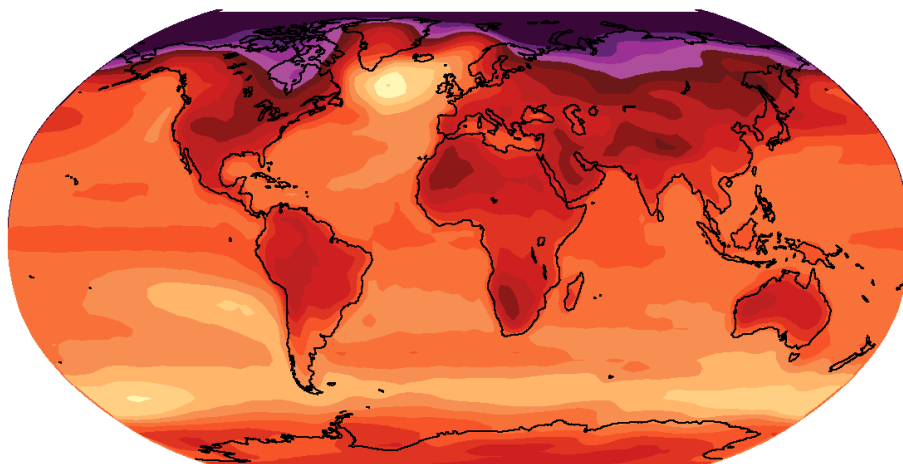


A2

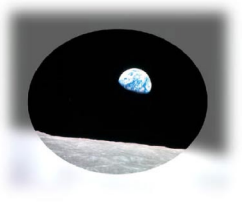
**Kritischer Wert 3°C (TAR)
Eisvolumen für
7m Meeresspiegelanstieg**



B1



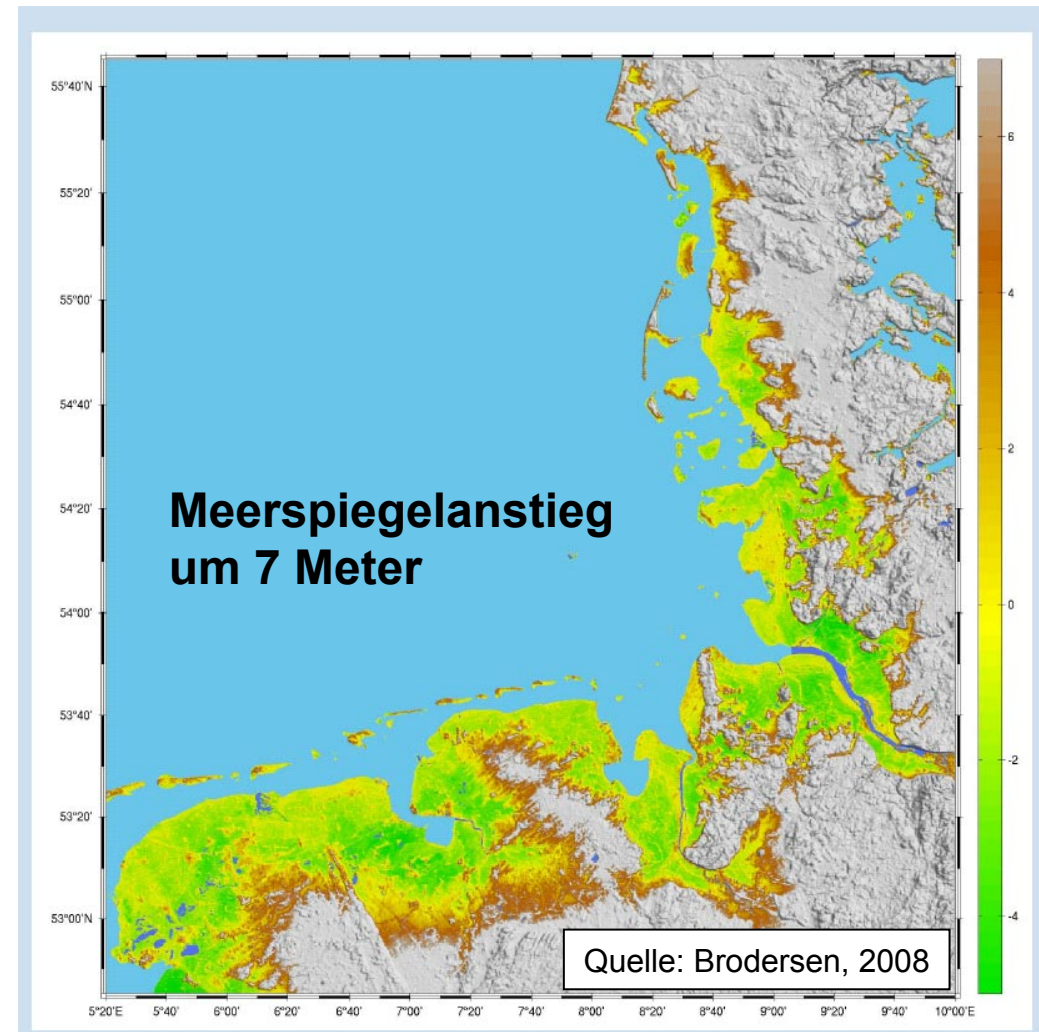
Quelle: IPCC 2007a (WG I, SPM S.15)

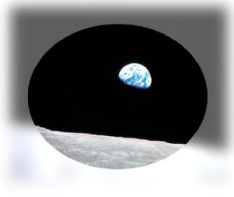


Moving towards a sustainable world

Grönland und die Nordseeküste

- Überflutungen in den Nordseeküstenländer als Auswirkung eines Anstiegs des Meeresspiegels um sieben Meter
- der Anstieg wird einige Jahrhunderte dauern, wird aber in den nächsten 40 Jahren ausgelöst!

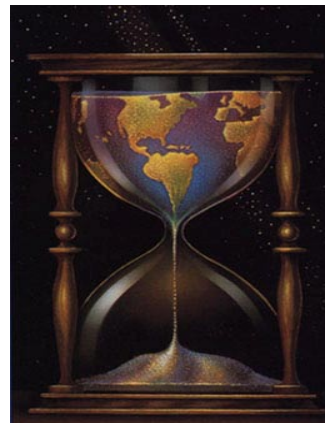


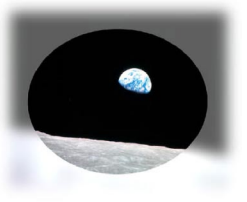


Moving towards a sustainable world

Was ist zu tun?

Die verbleibende Zeit zu handeln





Welche Entwicklungspfade vermeiden die schlimmsten Klimafolgen?

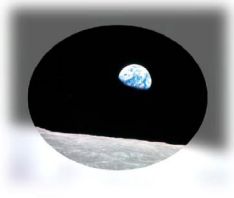
Table SPM.5: Characteristics of post-TAR stabilization scenarios [Table TS 2, 3.10]^{a)}

Category	Radiative forcing (W/m ²)	CO ₂ concentration ^{c)} (ppm)	CO ₂ -eq concentration ^{c)} (ppm)	Global mean temperature increase above pre-industrial at equilibrium, using “best estimate” climate sensitivity ^{b), c)} (°C)	Peaking year for CO ₂ emissions ^{d)}	Change in global CO ₂ emissions in 2050 (% of 2000 emissions) ^{d)}	No. of assessed scenarios
I	2.5-3.0	350-400	445-490	2.0-2.4	2000-2015	-85 to -50	6
II	3.0-3.5	400-440	490-535	2.4-2.8	2000-2020	-60 to -30	18
III	3.5-4.0	440-485	535-590	2.8-3.2	2010-2030	-30 to +5	21
IV	4.0-5.0	485-570	590-710	3.2-4.0	2020-2060	+10 to +60	118
V	5.0-6.0	570-660	710-855	4.0-4.9	2050-2080	+25 to +85	9
VI	6.0-7.5	660-790	855-1130	4.9-6.1	2060-2090	+90 to +140	5
Total							177

- a) The understanding of the climate system response to radiative forcing as well as feedbacks is assessed in detail in the AR4 WGI Report. Feedbacks between the carbon cycle and climate change affect the required mitigation for a particular stabilization level of atmospheric carbon dioxide concentration. These feedbacks are expected to increase the fraction of anthropogenic emissions that remains in the atmosphere as the climate system warms. Therefore, the emission reductions to meet a particular stabilization level reported in the mitigation studies assessed here might be underestimated.
- b) The best estimate of climate sensitivity is 3°C [WG 1 SPM].
- c) Note that global mean temperature at equilibrium is different from expected global mean temperature at the time of stabilization of GHG concentrations due to the inertia of the climate system. For the majority of scenarios assessed, stabilisation of GHG concentrations occurs between 2100 and 2150.
- d) Ranges correspond to the 15th to 85th percentile of the post-TAR scenario distribution. CO₂ emissions are shown so multi-gas scenarios can be compared with CO₂-only scenarios.

Quelle: IPCC 2007 (TS WG III, S. 19)

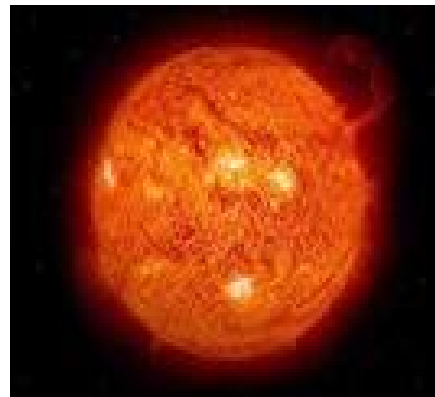
(Vorindustrielle Temperatur ca. -0,4°C unter 1960-1990)



Moving towards a sustainable world

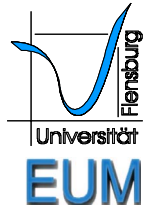
Was ist zu tun?

Welche Möglichkeiten haben wir?





Fossile Energieträger – der Kern des Problems (Beispiel Deutschland)

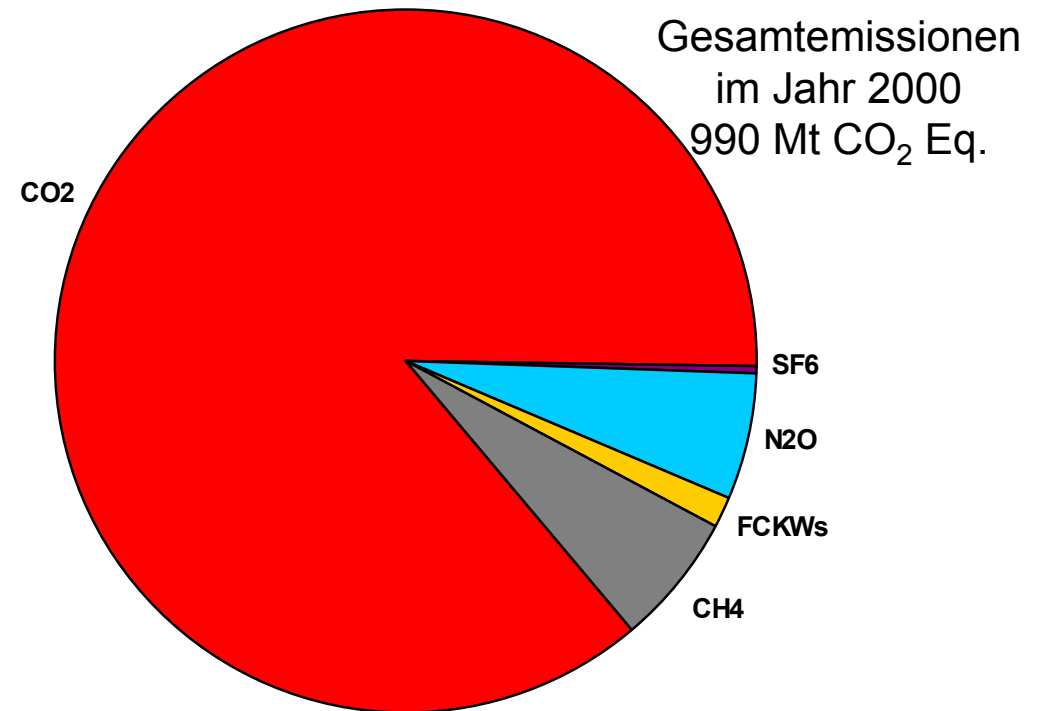


Treibhausgasemissionen in D 2000

Anteile GHGs in D 2000:

- CO₂: 87%
- CH₄: 6%
- N₂O: 6%
- HFCS/PFCS: 1%
- SF₆: 0,25%

CO₂ zu 97% aus
Energieumwandlung!



**Fossile Energieträger
sind 85% des Problems**

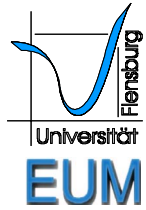
Quelle: BMU 2003, S. 32 und
UBA 2002, S. 31



Moving towards a sustainable world

Dekarbonisierung der Energieversorgung

Vier Optionen



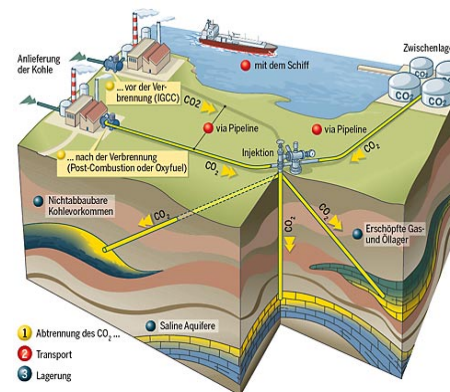
- Kernenergie
- ‚Saubere‘ fossile Brennstoffnutzung (CCS)
- Effizienzsteigerung und Einsparung
- Regenerative Energiequellen
 - Solarenergie
 - Windenergie
 - Biomasse
 - Wasserkraft
 - Geothermie

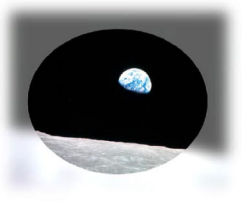


Moving towards a sustainable world

Was ist zu tun?

Die Rolle von CCS





Moving towards a sustainable world

„Clean“ Fossil Fuels (CCS)

- Abtrennung des CO_2 vor oder nach der Verbrennung
 - Generatorgas (H_2 und konzentriertes CO_2)
 - Reinsauerstoffverbrennung
 - Katalytische Abtrennung von CO_2 aus dem Rauchgas
- Langfristige (?) Lagerung von CO_2 ohne Kontakt zur Atmosphäre
 - Alte Öl- und Gaslagerstätten
 - Saline Tiefenaquifere
 - Einbringung in Ozeane

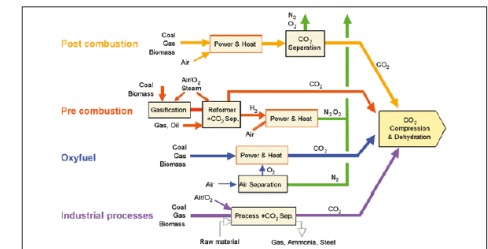


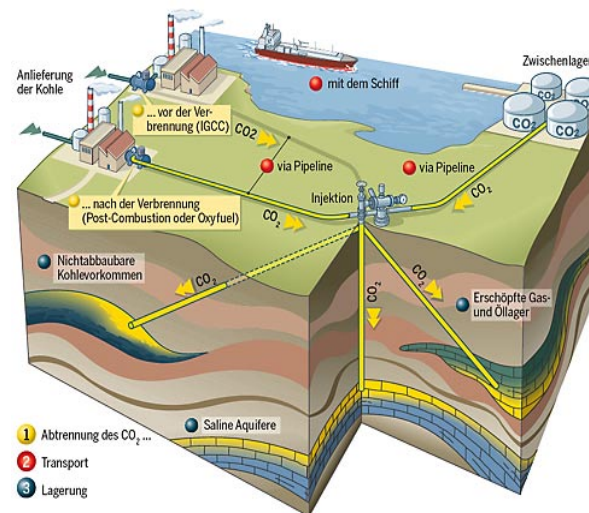
Figure 15.3. Overview of CO_2 capture processes and systems.



Moving towards a sustainable world

Was ist zu tun?

Die Gefahren der Speicherung von CO₂



Gefahren von CCS

CO₂-Speicherung: Austrittspfade

- A Durch Kapillaren im Deckgebirge
- B Freies CO₂ leckt in oberen Aquifer (Verbindung)
- C CO₂ dringt durch Öffnungen im Deckgebirge in oberen Aquifer
- D CO₂ bewegt sich zur Gasblase und erhöht dort den Gasdruck und die Durchlässigkeit des Einschlusses
- E CO₂ entweicht durch schlecht verschlossenes oder unverschlossenes altes Bohrloch
- F Lösung des CO₂ in Wasser, das es aus dem Bereich des Einschlusses transportiert
- G Natürlicher Wasserfluss transportiert CO₂ an die Oberfläche

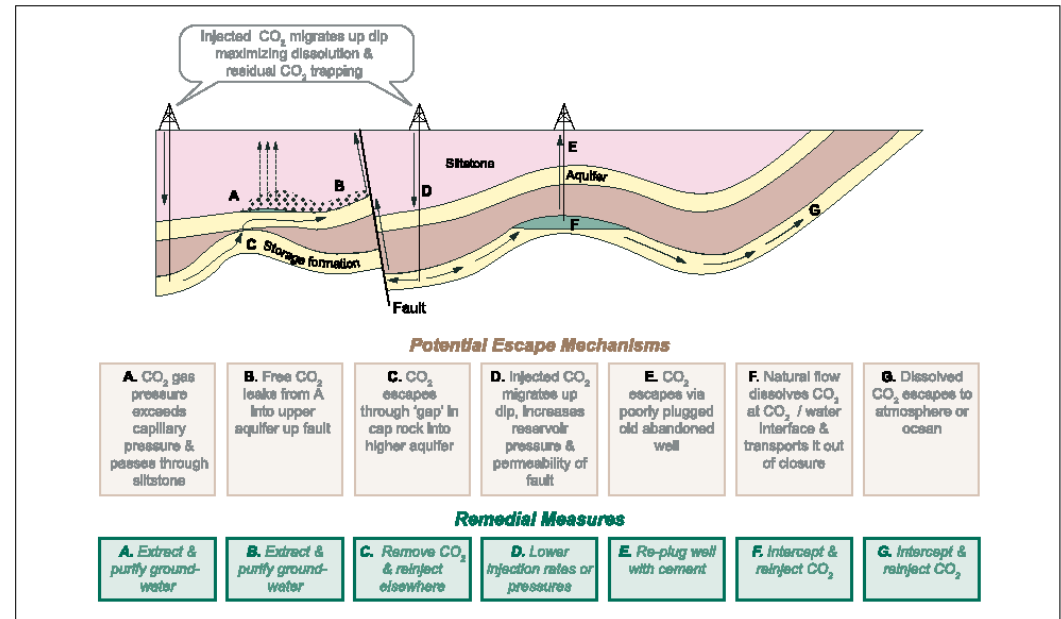


Figure TS.8. Potential leakage routes and remediation techniques for CO₂ injected into saline formations. The remediation technique would depend on the potential leakage routes identified in a reservoir (Courtesy CO2CRC).

Quelle: IPCC 2005 (TS SR CCS, S. 26)



Moving towards a sustainable world

CCS: Zu unsicher und zu früh

- CO₂-Speicherung in Aquiferen ist nicht erprobt
- Die Dichtigkeit des Deckgebirges der Aquifere ist unbekannt
- Geologische Reaktionen von CO₂ und Deckgebirge sind nicht erforscht
- Austritt von CO₂ kann für Menschen gefährlich werden
 - 100% CO₂ führen zum Erstickten (Senken, Kanäle, Brunnen)
 - weniger als 10% können bereits erhebliche Gesundheitsschäden verursachen



Moving towards a sustainable world

Gefahren von CCS

Wie wirkt CO₂ auf den Menschen?

- 0,038%: Konzentration in der Luft
- 0,15%: Hygienischer Innenraumluftrichtwert für frische Luft
- 0,3%: MIK-Wert, unterhalb keine Gesundheitsbedenken bei dauerhafter Einwirkung (max. Innenraumkonz.)
- 0,5%: Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert)
- 1,5%: Zunahme des Atemzeitvolumens um mehr als 40%
- 4%: Konzentration in der Atemluft beim Ausatmen
- 5%: Auftreten von Kopfschmerzen, Schwindel, Bewusstlosigkeit
- 8%: Bewusstlosigkeit, Krämpfe, Eintreten des Todes nach 30 – 60 Minuten

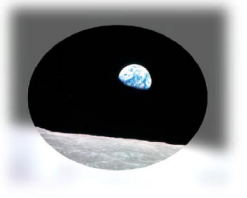


Wo können schon jetzt höhere CO₂ Konzentrationen auftreten?

CO₂ als Produkt von Gärprozessen z.B. in:

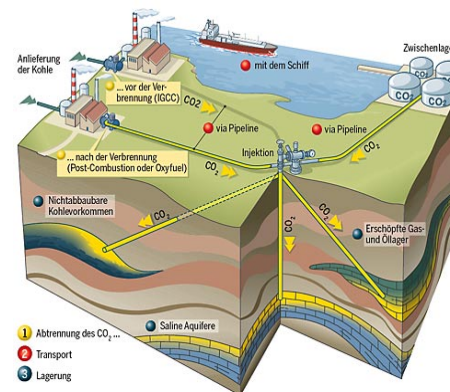
- Futtersilos
- Weinkeller
- Jauchegruben
- Biogasanlagen

Bei unzureichender Lüftung können sich CO₂-Seen bilden, da CO₂ schwerer ist als Luft



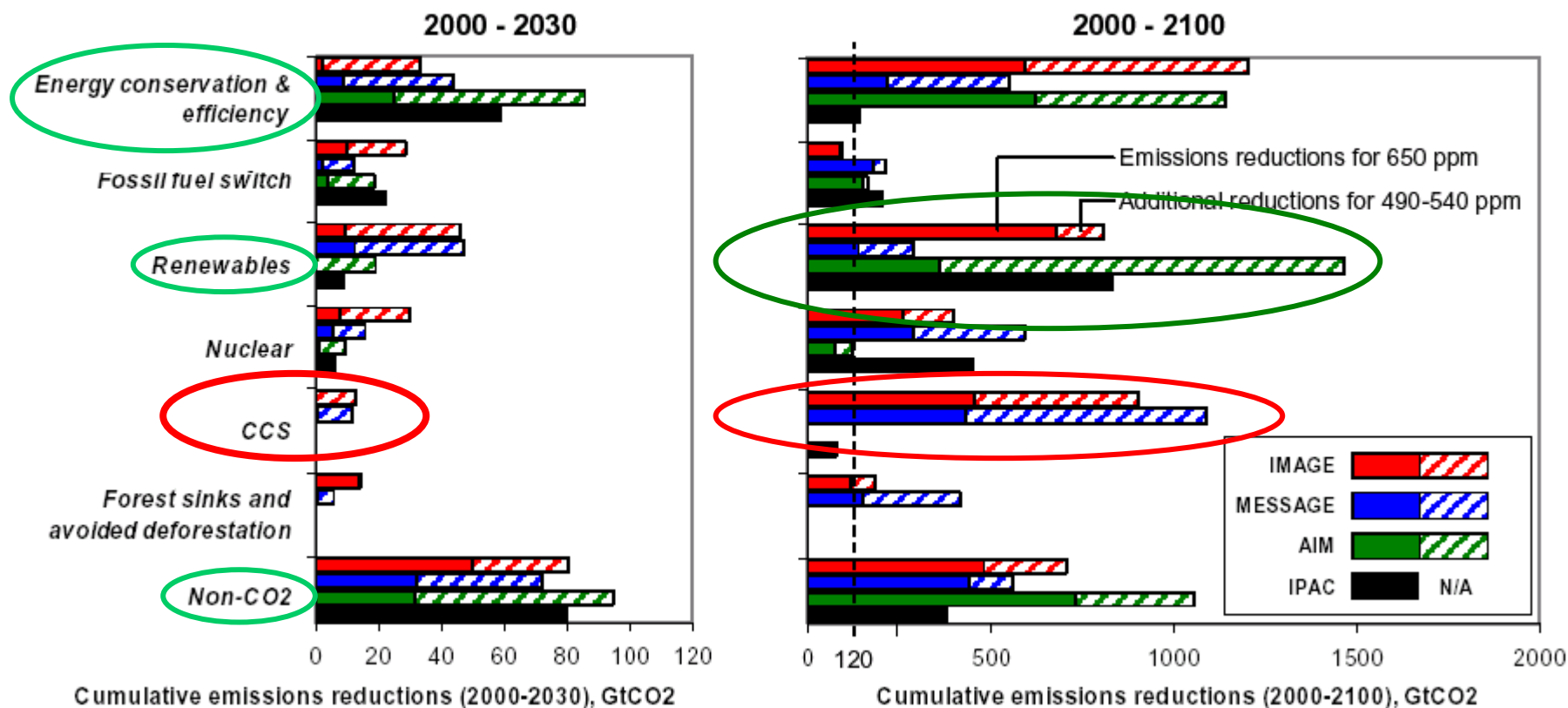
Moving towards a sustainable world

Ist CCS ein Beitrag zu Lösung des Klimaproblems?

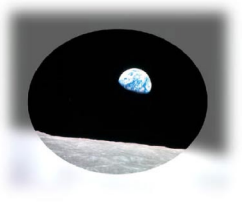




Die Rolle von CCS bis 2030 und 2100 (650 / 490-550ppmv CO₂-eq)

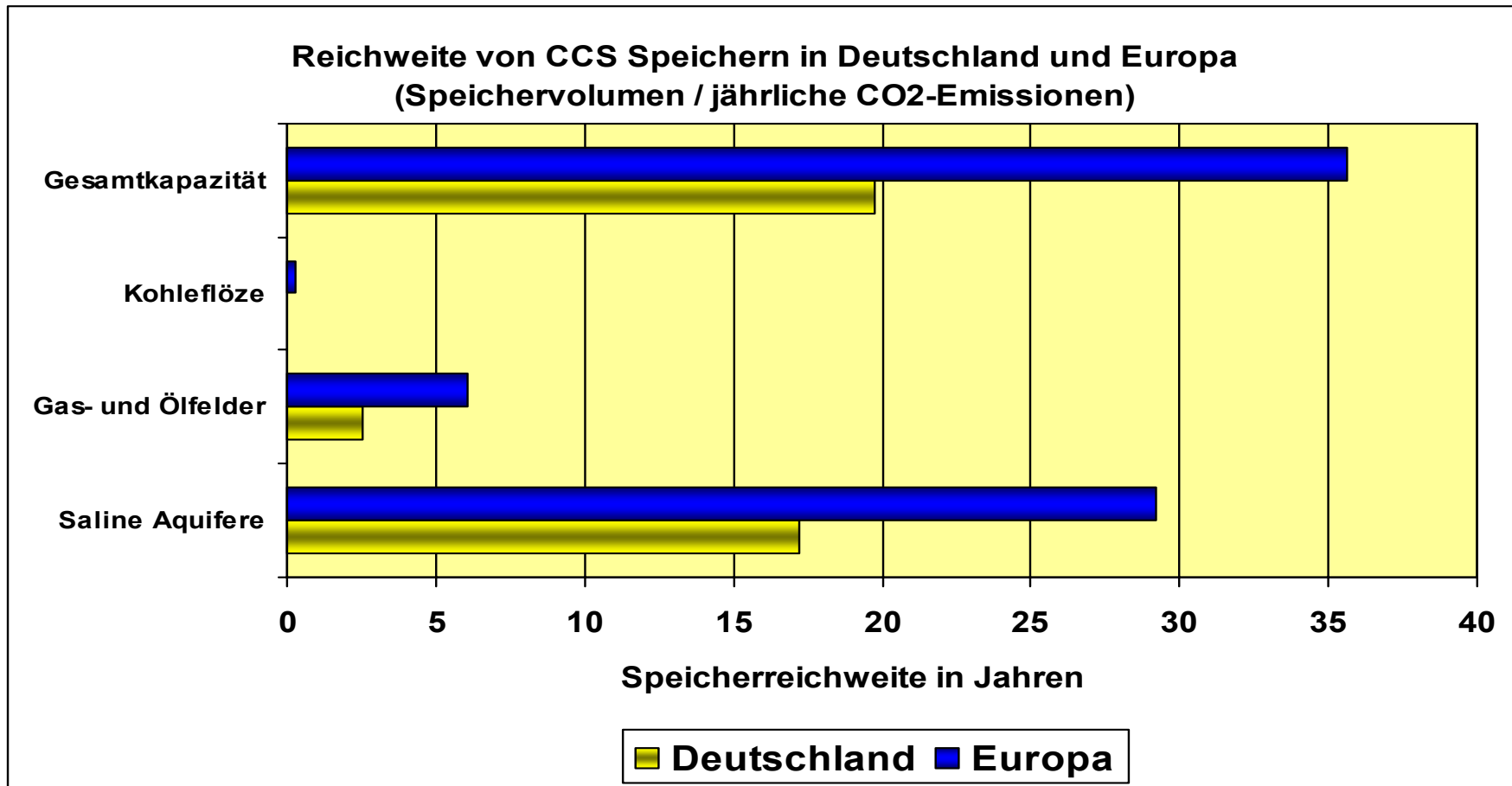


Quelle: IPCC 2007 (SPM WG III, S. 25)

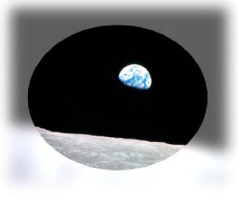


Moving towards a sustainable world

Speicherkapazitäten für CO₂ in Deutschland und Europa

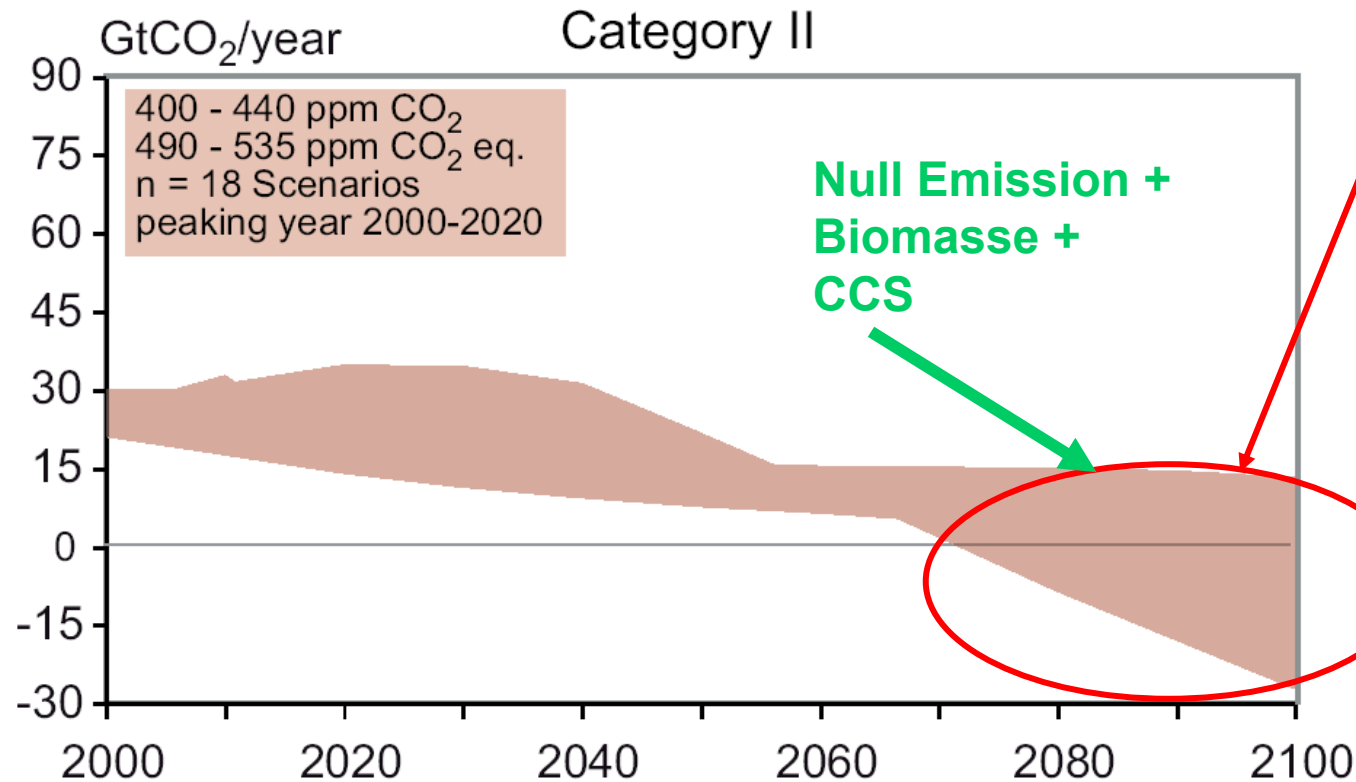


Quelle: EU Geocapacity Project 2009, p.21



Moving towards a sustainable world

CCS Speicherkapazität benötigen wir für notwendige negative Emissionsbilanz



Treibhausgasemissionen bis 2100 zur Einhaltung einer CO₂-Stabilisierungskonzentration von 400 – 440 ppm CO₂

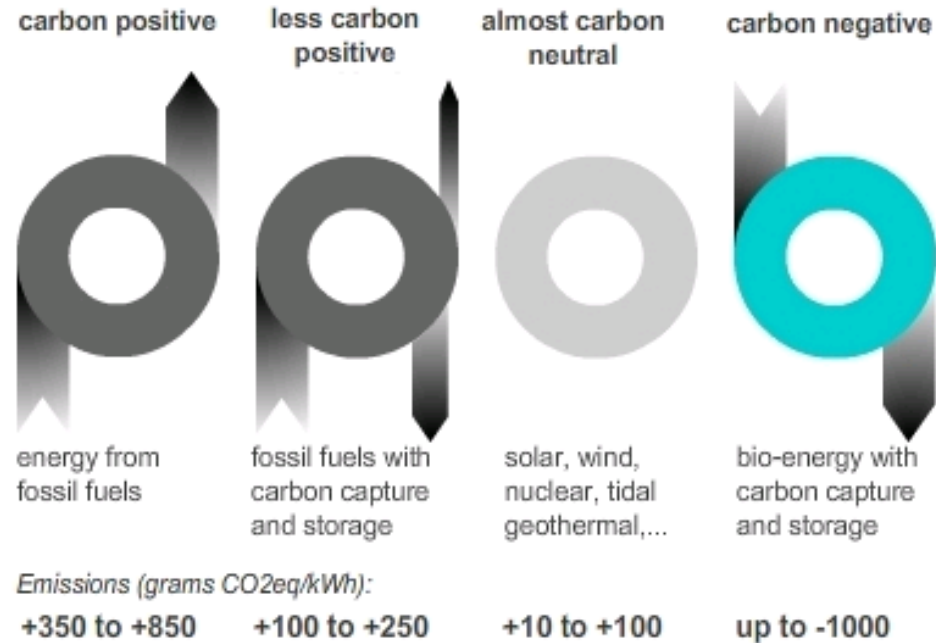
Quelle: IPCC 2007 (SPM WG III, S. 7)



Moving towards a sustainable world

Biomasse mit CCS hat die notwendige negative Emissionsbilanz

Carbon balance of energy from different systems



Quelle: news.mongabay.com/bioenergy/2008/09/first-ccs-pilot-plant-online-carbon.html

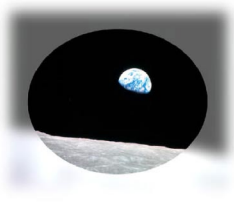
TABLE 5: COST OF POWER GENERATION WITH AND WITHOUT CAPTURE AND STORAGE OF CO₂

Process	Cost of electricity (c/kWh)	CO ₂ emission (gCO ₂ /kWh)
BIGCC (no CO ₂ capture)	8.1	Nil
BIGCC (CO ₂ capture)	16.5	(Net reduction: 1050 gCO ₂ /kWh)
IGCC (no CO ₂ capture)	4.8	763
IGCC (CO ₂ capture)	7.3	142

Cost of electricity in capture cases includes 1c/kWh for transmission and storage
Coal is 1.5\$/GJ. IGCC uses a Shell-type gasifier

Biomasse CCS: -1050 g/kWh
Kohle CCS: + 142 g/kWh
Kohle ohne CCS: + 763 g/kWh

Quelle: Audus und Freund 2004, S.7)

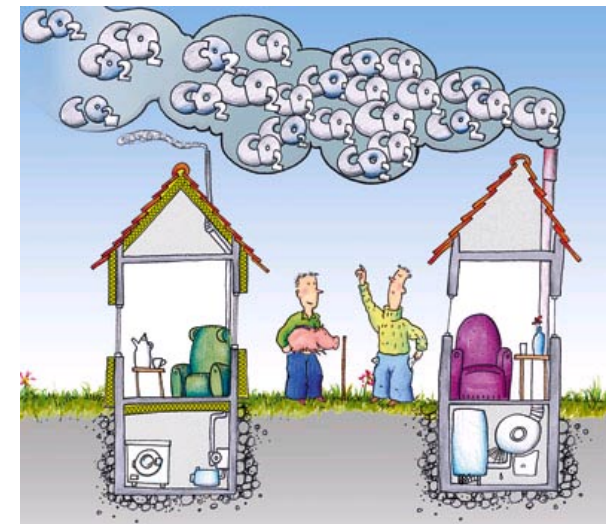


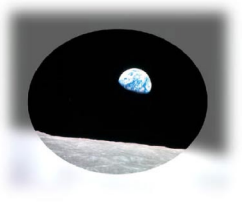
Moving towards a sustainable

Was ist zu tun?

Welche Möglichkeiten haben wir?

Regenerative Energiequellen und rationelle Energienutzung



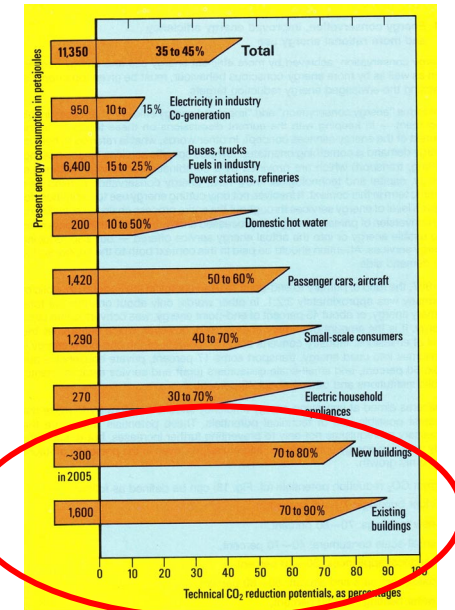


Moving towards a sustainable world

Alternativen zu CCS

1. Effizienzsteigerung

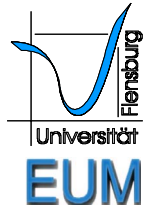
- Energieeffizienzsteigerungen sind auf allen Stufen der Nutzungsketten möglich
- Je nach Bereich kann der spezifische Primärenergiebedarf um bis zu 90% gesenkt werden (Raumwärme)
- Im Schnitt ist eine Reduzierung des spezifischen Energiebedarfs um 35-50% möglich
- Der Raumwärmebedarf macht ca. 1/3 unseres Endenergiebedarfs in Deutschland aus (3.300 PJ)





Alternative zu CCS

2. Regenerative Energiequellen



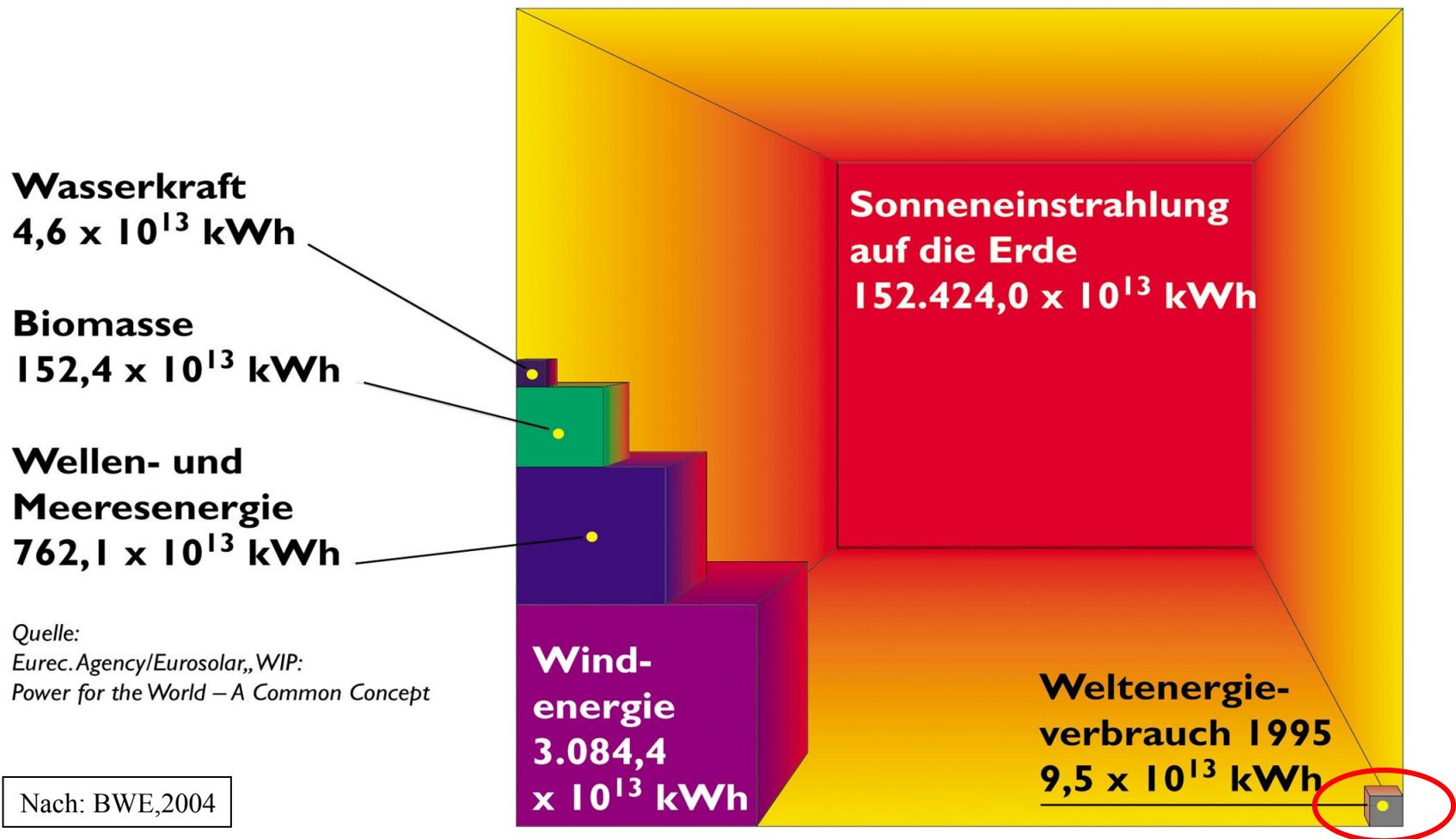
Regenerative Energiequellen:

- sind relativ teuer zu nutzen (ca. gleiche Kosten wie CCS!)
- Sonnen-, Wind- und Wellenenergie schwanken im Angebot
- bei hohem Marktanteil Speicherung notwendig
- stehen noch Milliarden Jahre zur Verfügung
- emittieren kein zusätzliches CO₂
- die jährliche Sonneneinstrahlung beträgt das 10.000-fache des Weltenergieverbrauchs (3,5 Mill. EJ/a)



Moving towards a sustainable world

Das Angebot erneuerbarer Energien



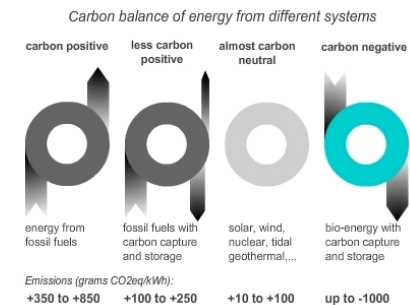
1/10000 der eingestrahltten Solarenergie kann unseren gesamten Energiebedarf decken!

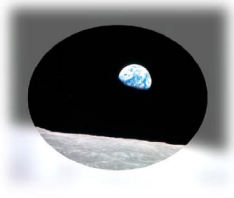


Moving towards a sustainable world

Konsequenz: Wir brauchen kein CCS für Kohlekraftwerke

- Effizienz und regenerative Energiequellen können unseren gesamten Energiebedarf decken
- Sie kosten nicht mehr als Kohle mit CCS
- Biomasse und CCS kann für die notwendigen negativen Emissionen ab 2060 sorgen





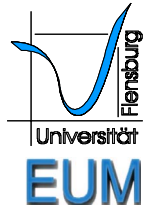
Moving towards a sustainable world

Schlussfolgerungen

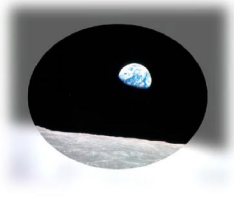


Moving towards a sustainable world

Schlussfolgerungen



- Wir brauchen dringend durchgreifenden Klimaschutz
- Wir brauchen Klimaschutz auf der Basis regenerativer Energiequellen wie Wind, Sonne und Biomasse
- CCS für Kohlekraftwerke verhindert wirksamen Klimaschutz
- Wenn CCS, dann nur für negative Emissionen
- Forschung zu CCS kann wichtig werden
- Alle weiteren Schritte sollten erst nach einer breiten öffentlichen Debatte getan werden



Moving towards a sustainable world

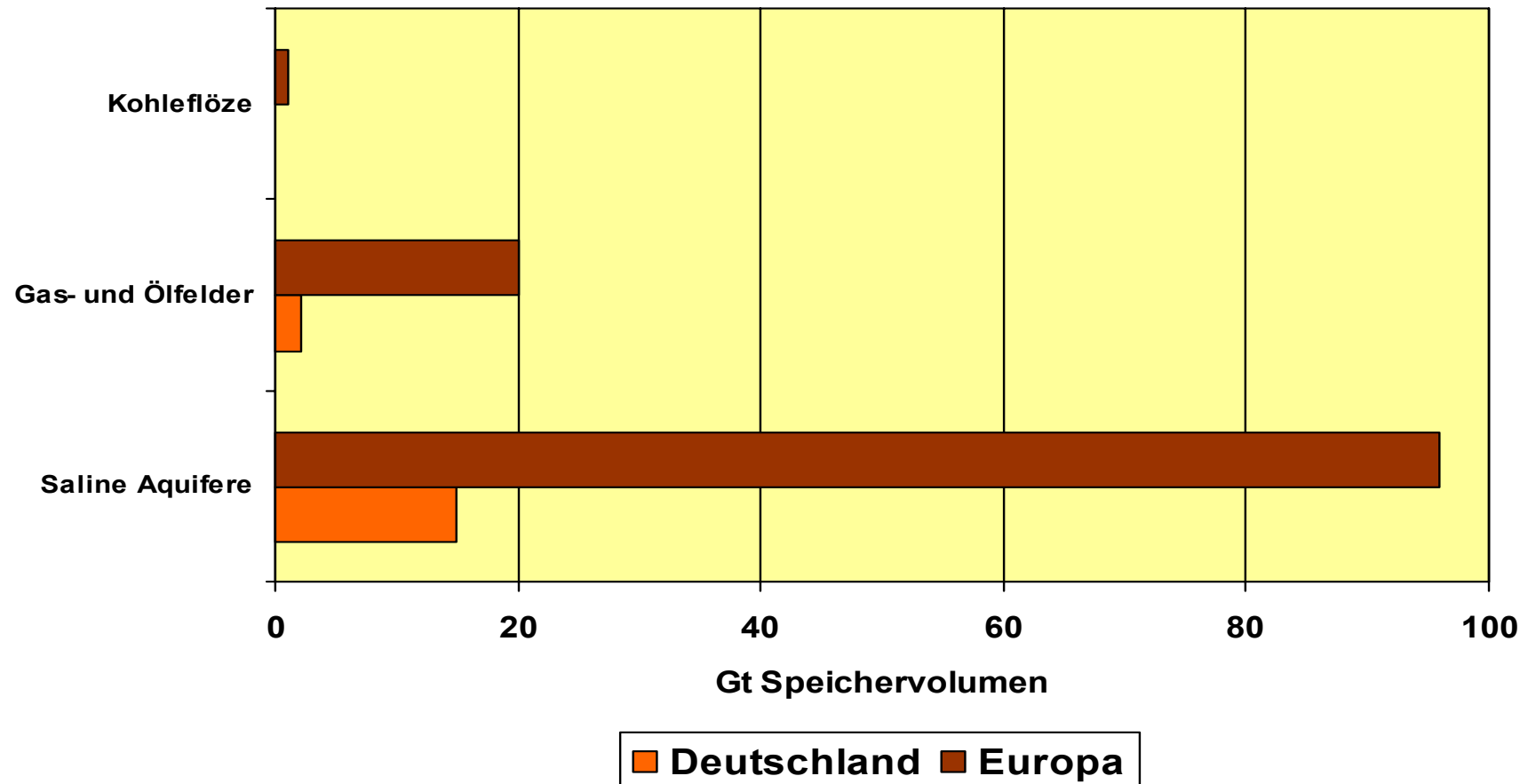


Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Moving towards a sustainable world

Speicherkapazitäten für CO₂



Quelle: EU Geocapacity Project 2009, p.21