



# **CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung - im Verhältnis zu anderen Technologien und Strategien für den Klimaschutz**

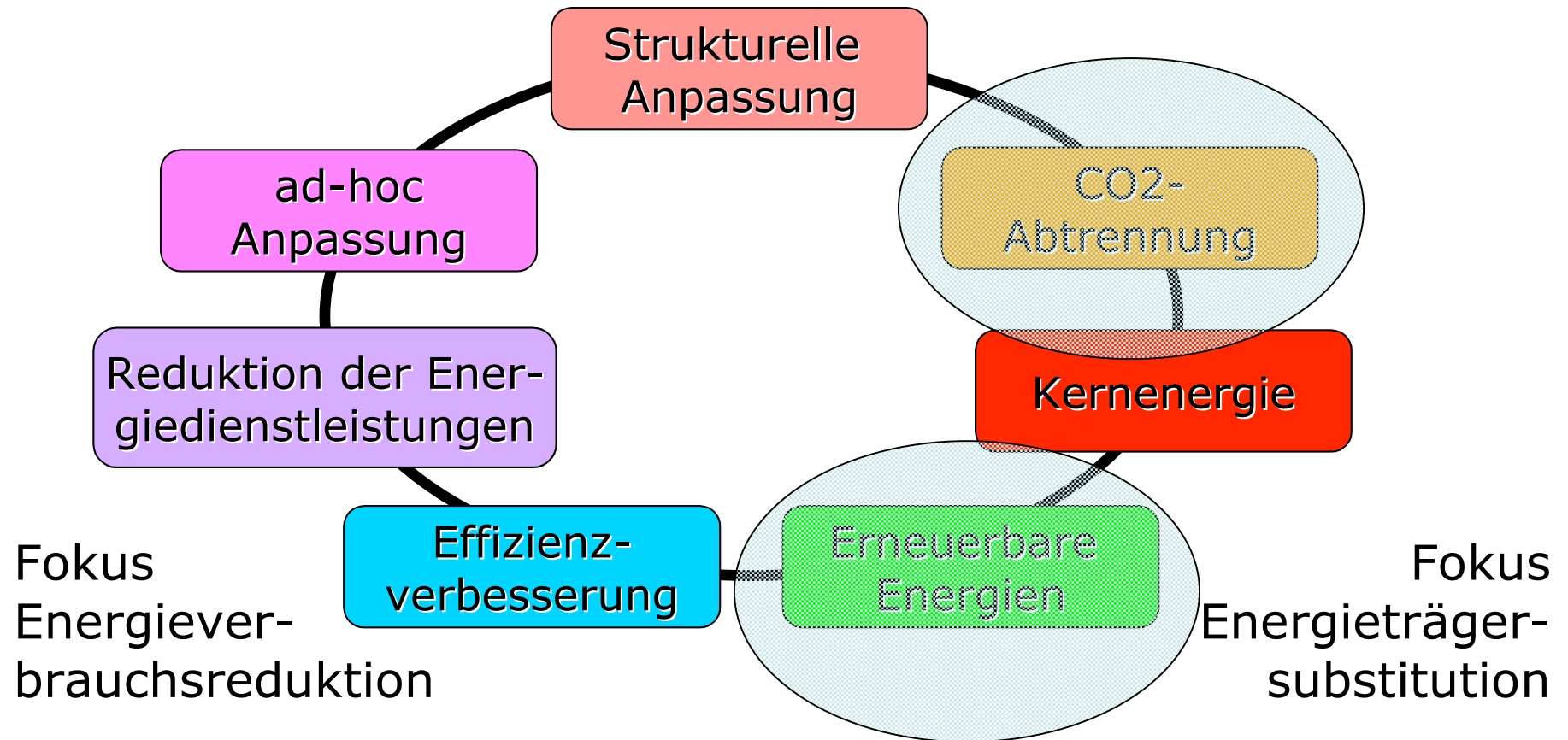
**CCS aus deutscher Perspektive  
Germanwatch-WI Expertenworkshop**

**Dr. Manfred Fishedick**

**11.Mai 2005**

# Was soll miteinander verglichen werden? Klimaschutzoptionen in der Übersicht

Fortsetzung des fossilen expansiven Pfades



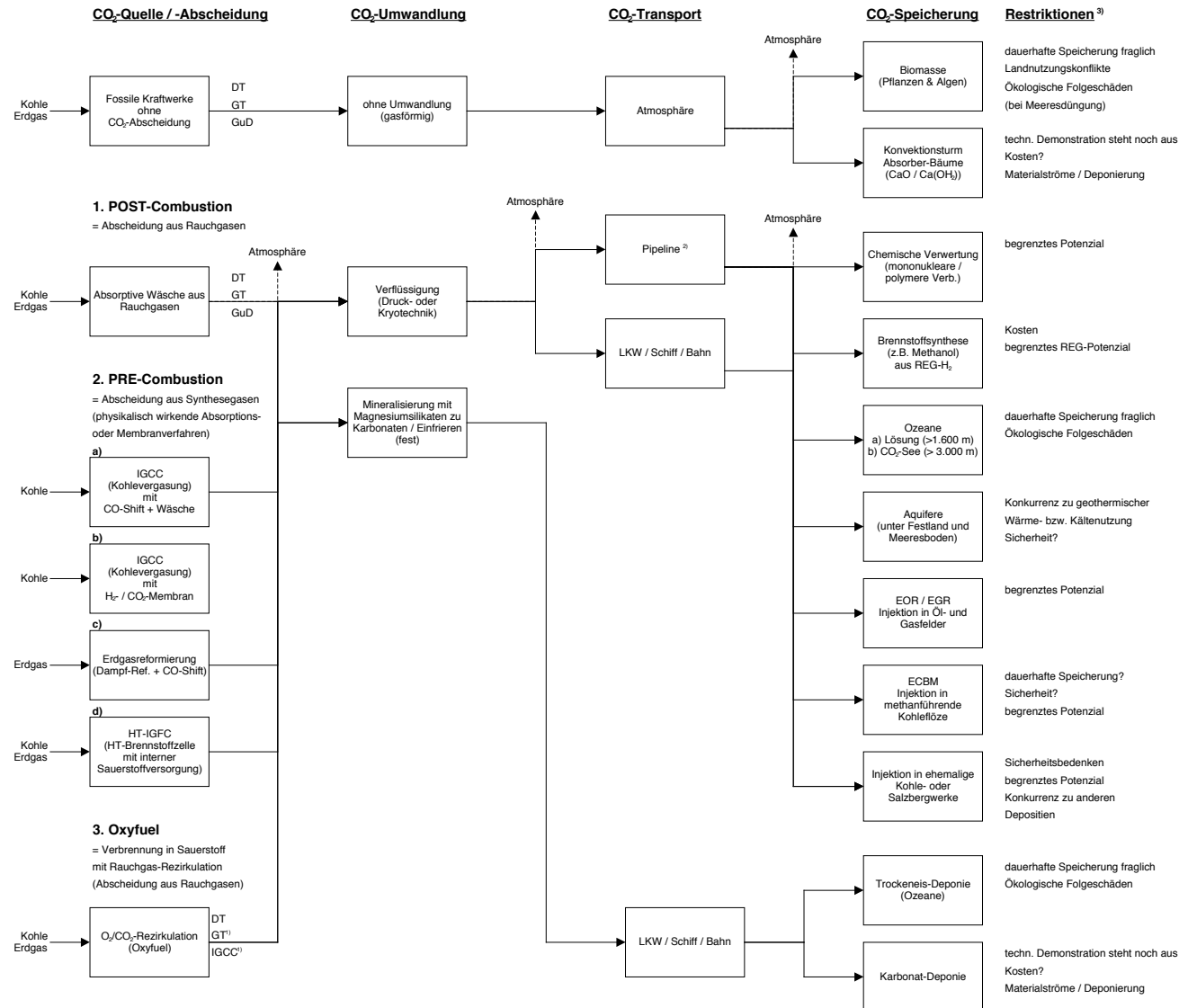
## Wie soll verglichen werden?

### Systematische Bewertung an Hand von Vergleichskriterien

- Technologischer Entwicklungsstand und zeitliche Verfügbarkeit (Kompatibilität Kraftwerksersatzbedarf, F&E-Bedarf)
- Potenzial und dessen geografische Verteilung
- Ökonomische Bilanz
- Ökologische Bilanz (energetische Kennwerte, Umweltwirkungen gemäß Ökobilanz, ökologische Langzeitfolgen und -risiken)
- Sicherheitsrisiken (z.B. Langzeitstabilität)
- Systemkompatibilität
- Technologische Impulse für den globalen Klimaschutz (Übertragbarkeit auf Entwicklungsländer)
- Industriepolitische Chancen
- Kippmomente

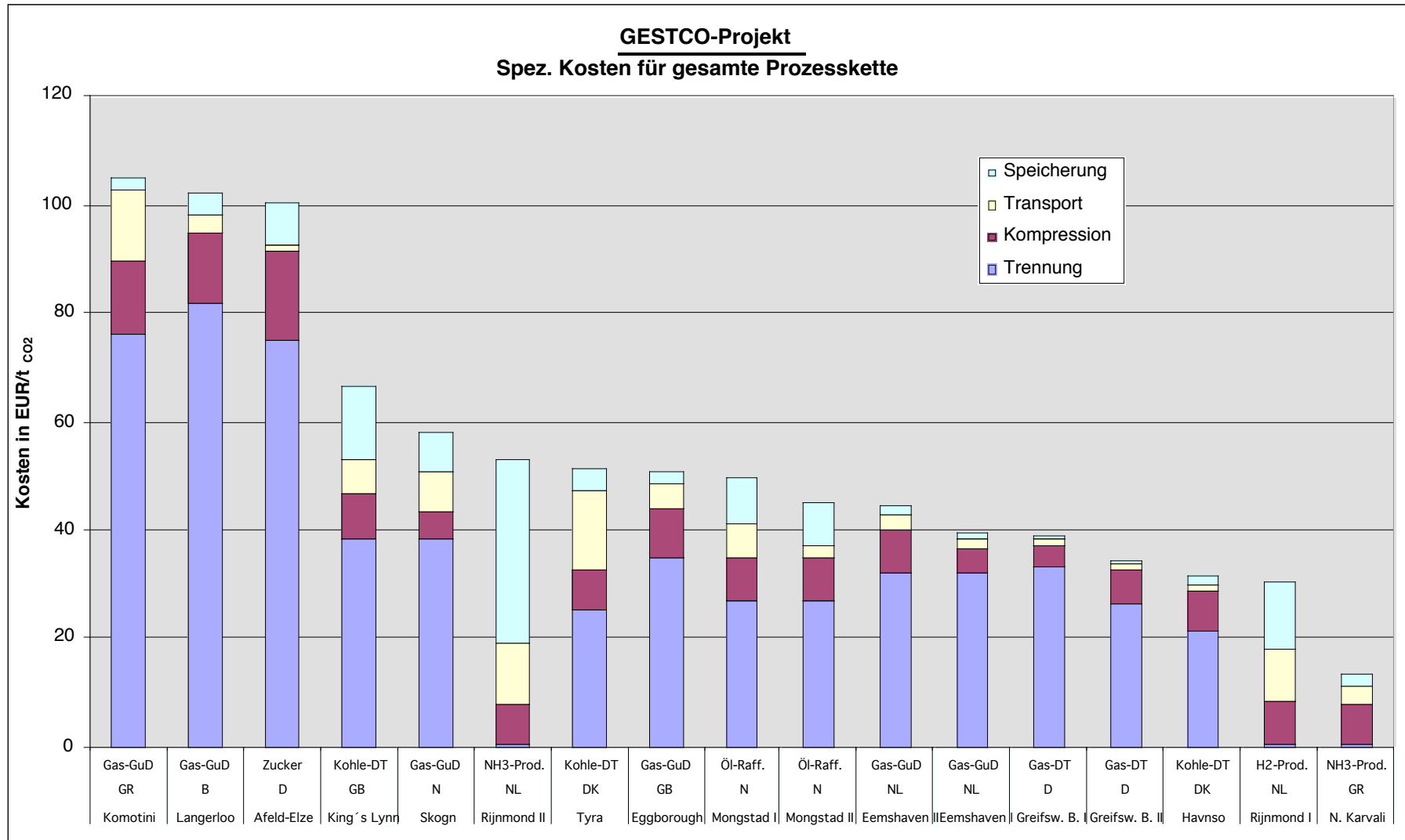
# Vorbemerkung

## CCS ist nicht gleich CCS: Vielfalt der Optionen

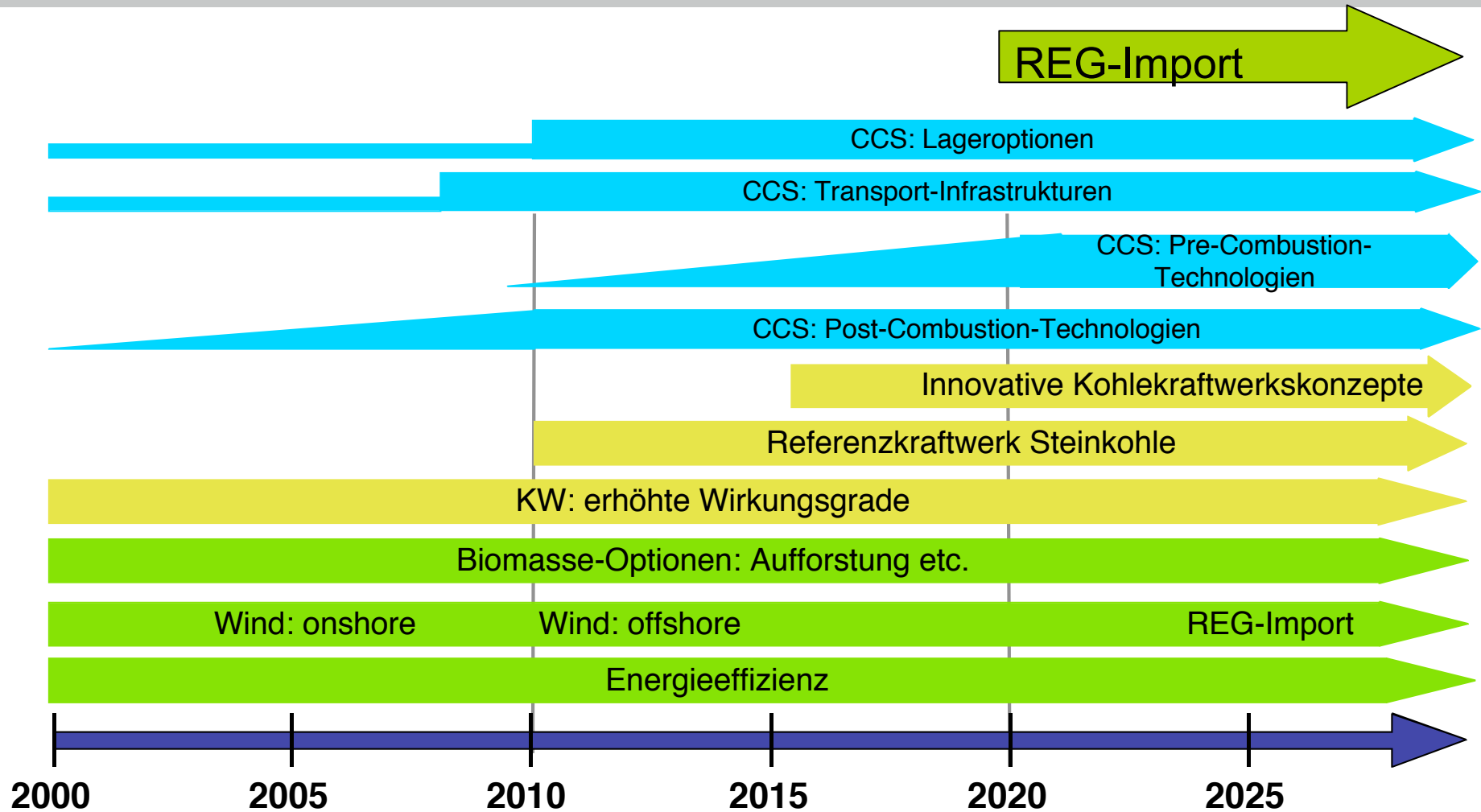


**Anm.:**  
 1) Entwicklung modifizierter GT erforderlich (Arbeitsmittel CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>)  
 2) Transport in überkritischem Zustand (p > 74 bar / T > 31°C)  
 3) Für alle Speichermethoden gilt:  
 Rechtliche Rahmenbedingungen größtenteils noch ungeklärt

# Vorbemerkung: CCS ist nicht gleich CCS - große Kostenbandbreite CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten



# Vergleichende Betrachtung: Technologischer Entwicklungsstand

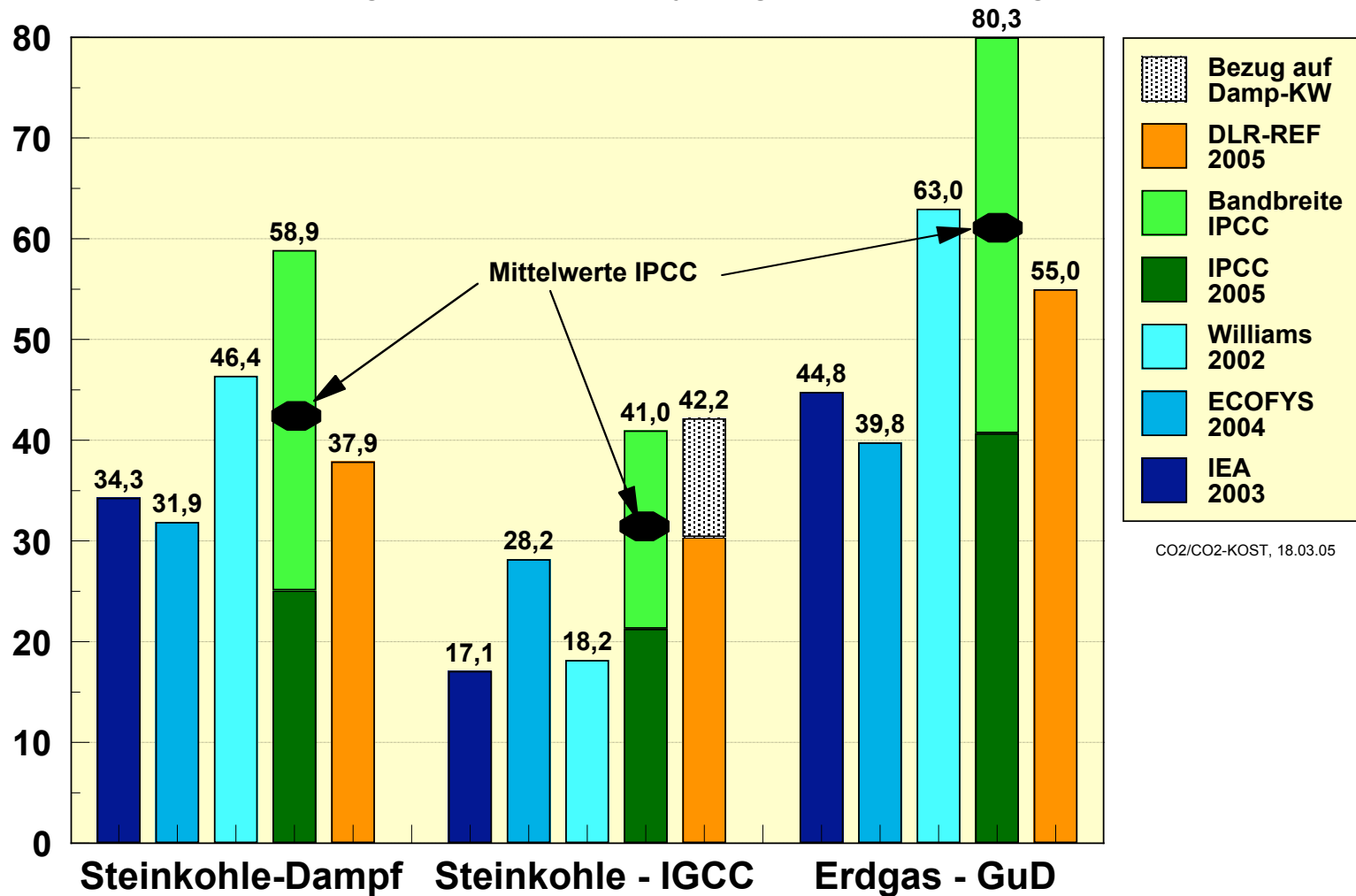




# Vergleichende Betrachtung: Kosten

## Kosten der CO<sub>2</sub>-Vermeidung durch CCS (ohne Transport und Lagerung) - Hohe Unsicherheiten

- Brennstoffkosten 2020, untere Variante; normierte Eckdaten, (IPCC nur Umrechnung auf EUR 2004); auf das jeweilige KW ohne CCS bezogen -

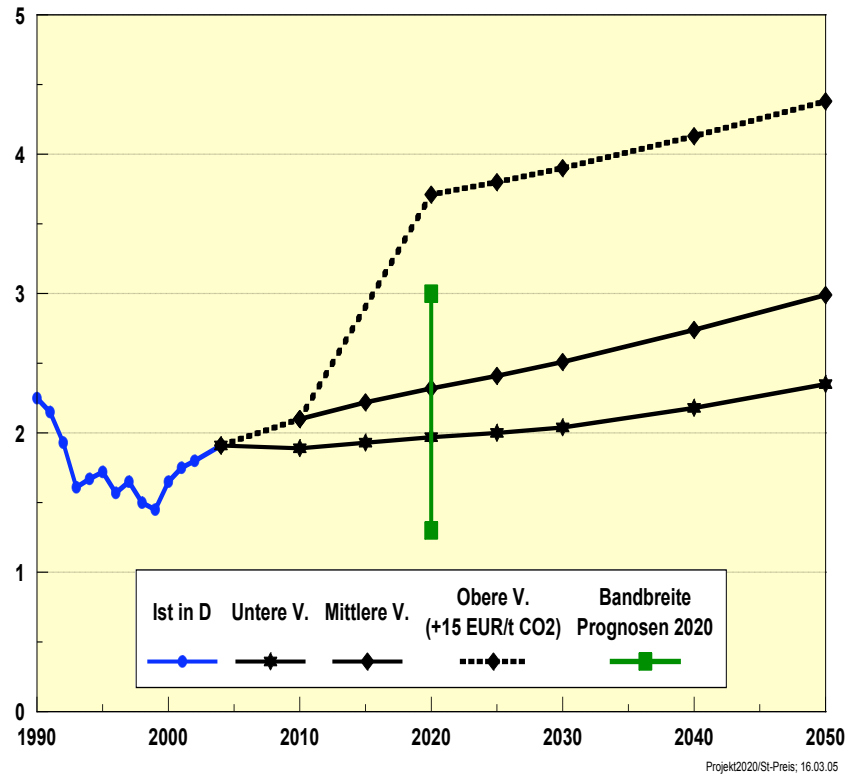


# Vergleichende Betrachtung: Kosten

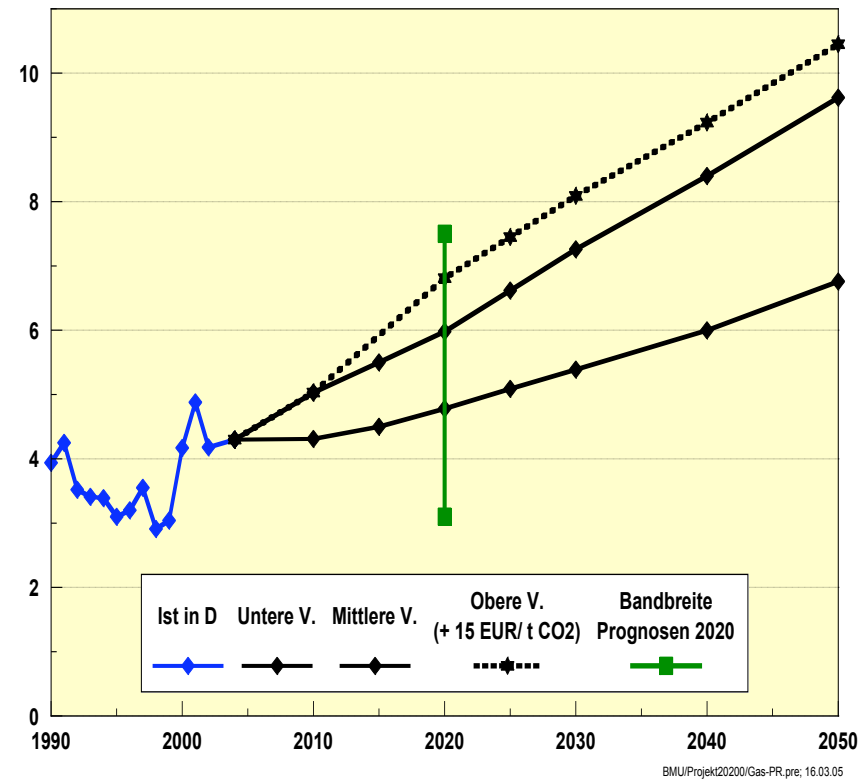
## Potentiell sinkende Anlagenkosten versus steigende Brennstoffpreise

Brennstoffpreis in Euro/GJ

Kohle

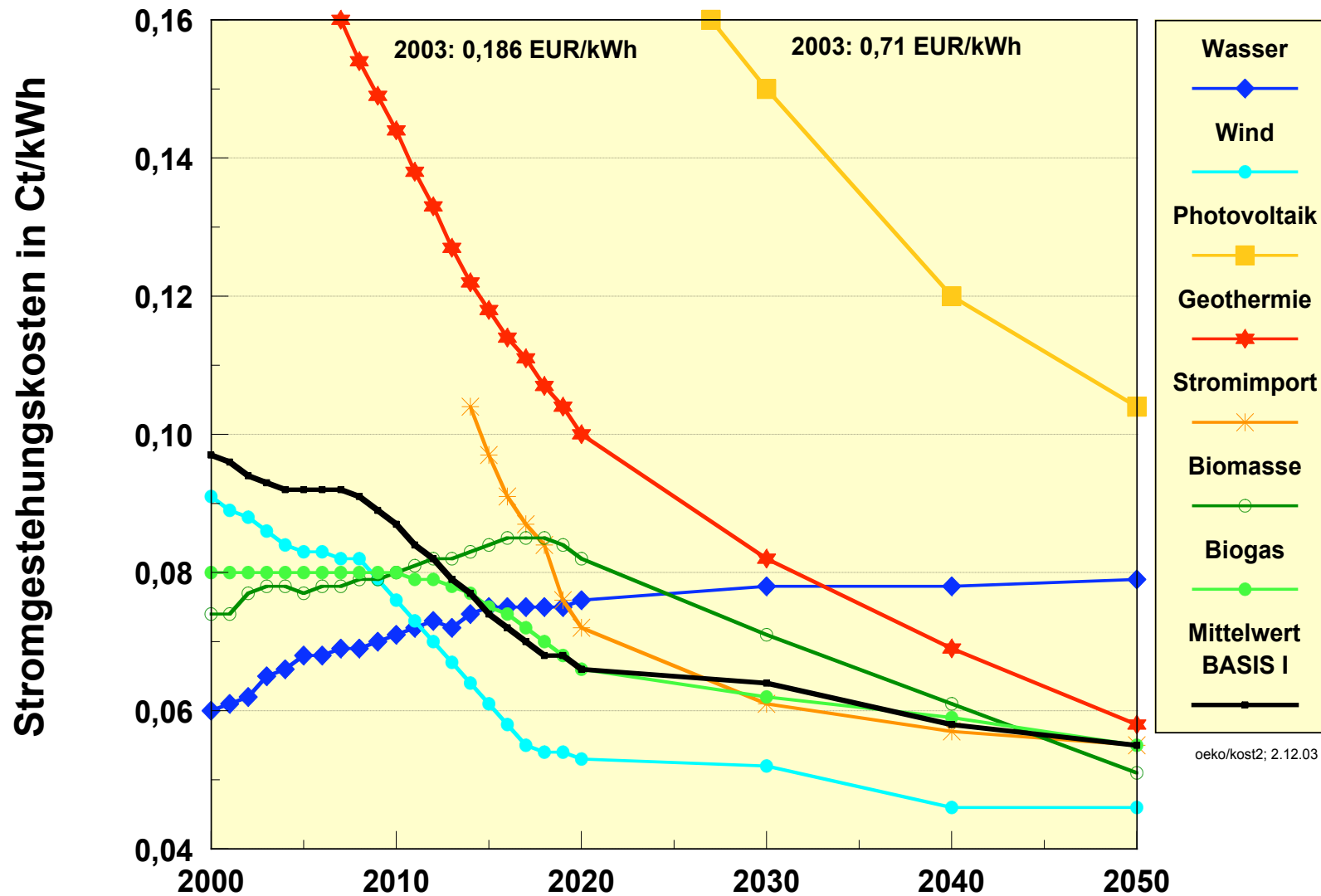


Erdgas



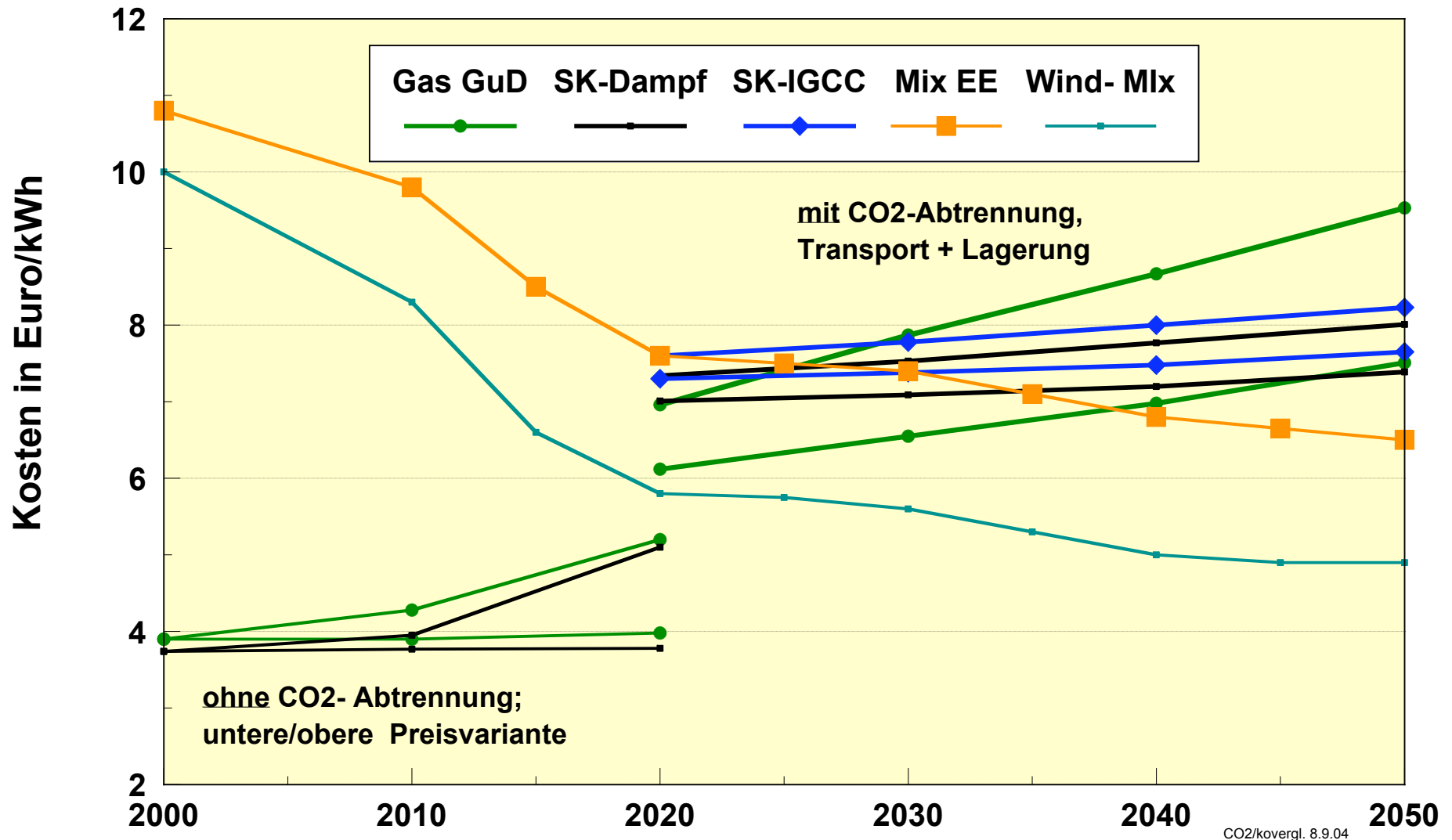
# Vergleichende Betrachtung: Kosten

## Kostenverlauf neuer EE- Referenzanlagen (Lernkurveneffekte)



# Vergleichende Betrachtung: Kosten

## Wettlauf der Optionen oder parallele Marktentwicklung



## Vergleichende Betrachtung: Kosten

### Vorläufige Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von CCS (Strom)

- noch große Kostenunsicherheiten, auch bei Verwendung gleicher Eckdaten in zitierten Untersuchungen sind zukünftige Brennstoffpreissteigerungen nicht bzw. nur unzureichend berücksichtigt.
  - Stromkosten mit CCS liegen in 2020 bei 7,0 – 7,8 ct/kWh (SK) bzw. bei 6,1 – 7,0 ct/kWh (EG), wenn technische Eckdaten erreicht werden; davon entfallen auf Transport und Lagerung 0,55 (Erdgas) bis 1,0 ct/kWh (Steinkohle); Kosten mit CCS sind in 2050 um mindestens 0,5 (Steinkohle) bzw. um 1,5 ct/kWh (Erdgas) teurer.
  - CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (2020) liegen für Steinkohle bei 35 -45 €/t (mit Lagerung bei 45 - 55 €/t), für Erdgas bei 50 – 60 €/t (mit Lagerung bei 65 – 75 €/t).
- CCS ermöglicht Kostenvergleich fossiler Energiebereitstellung mit erneuerbaren Energie „auf gleicher Augenhöhe“ (CO<sub>2</sub>-frei bzw. CO<sub>2</sub> - arm)
- Stromerzeugung mit CCS liegt im Bereich zukünftiger Kosten der Strom-Erzeugung aus erneuerbaren Energien, wenn Brennstoffpreise langfristig nur moderat steigen

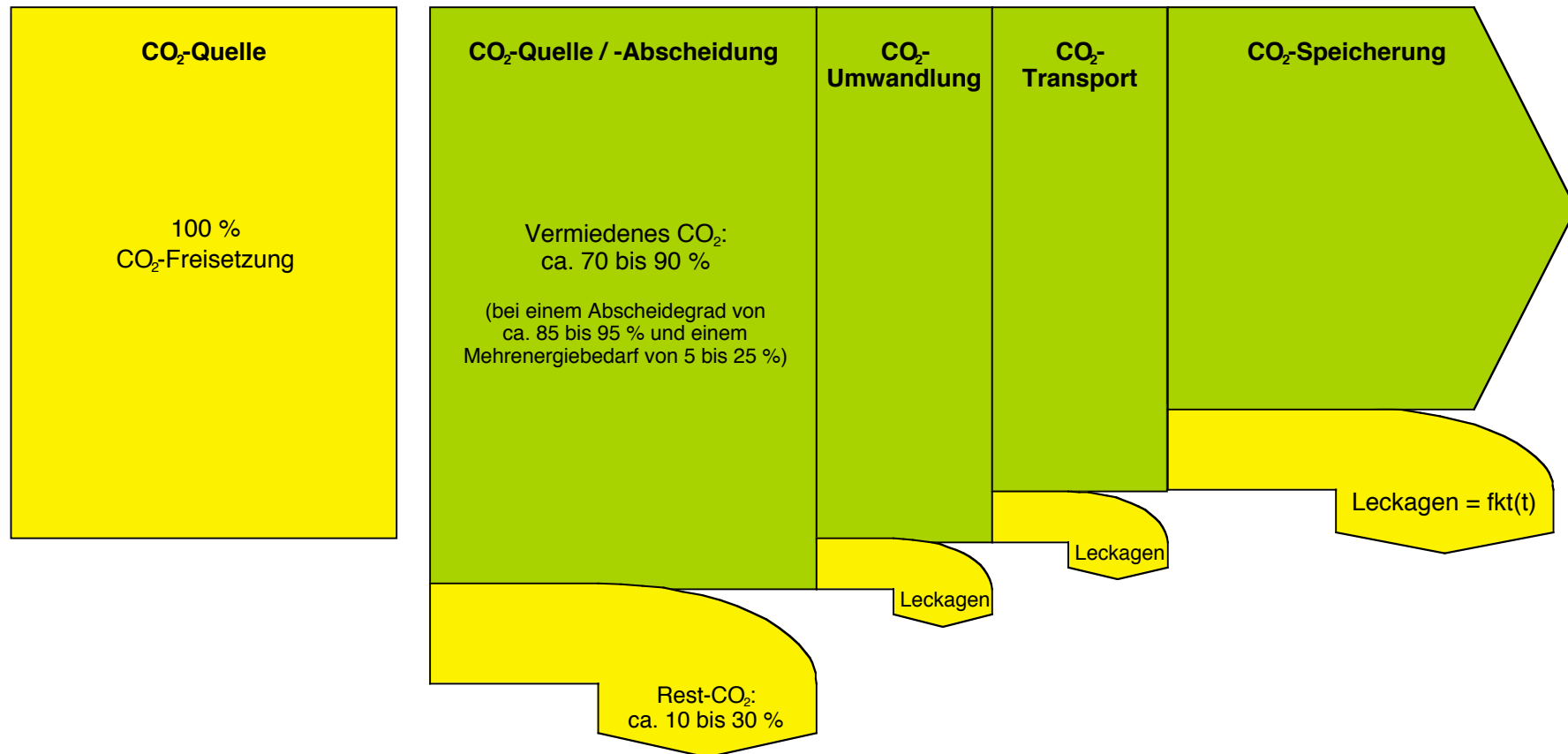
# Vergleichende Betrachtung: Ökologie

## Hohe Wirkungsgradverluste und unvollständiger Abscheidegrad

### „CO<sub>2</sub>-armes“ kein „CO<sub>2</sub>-freies“ Kraftwerk?

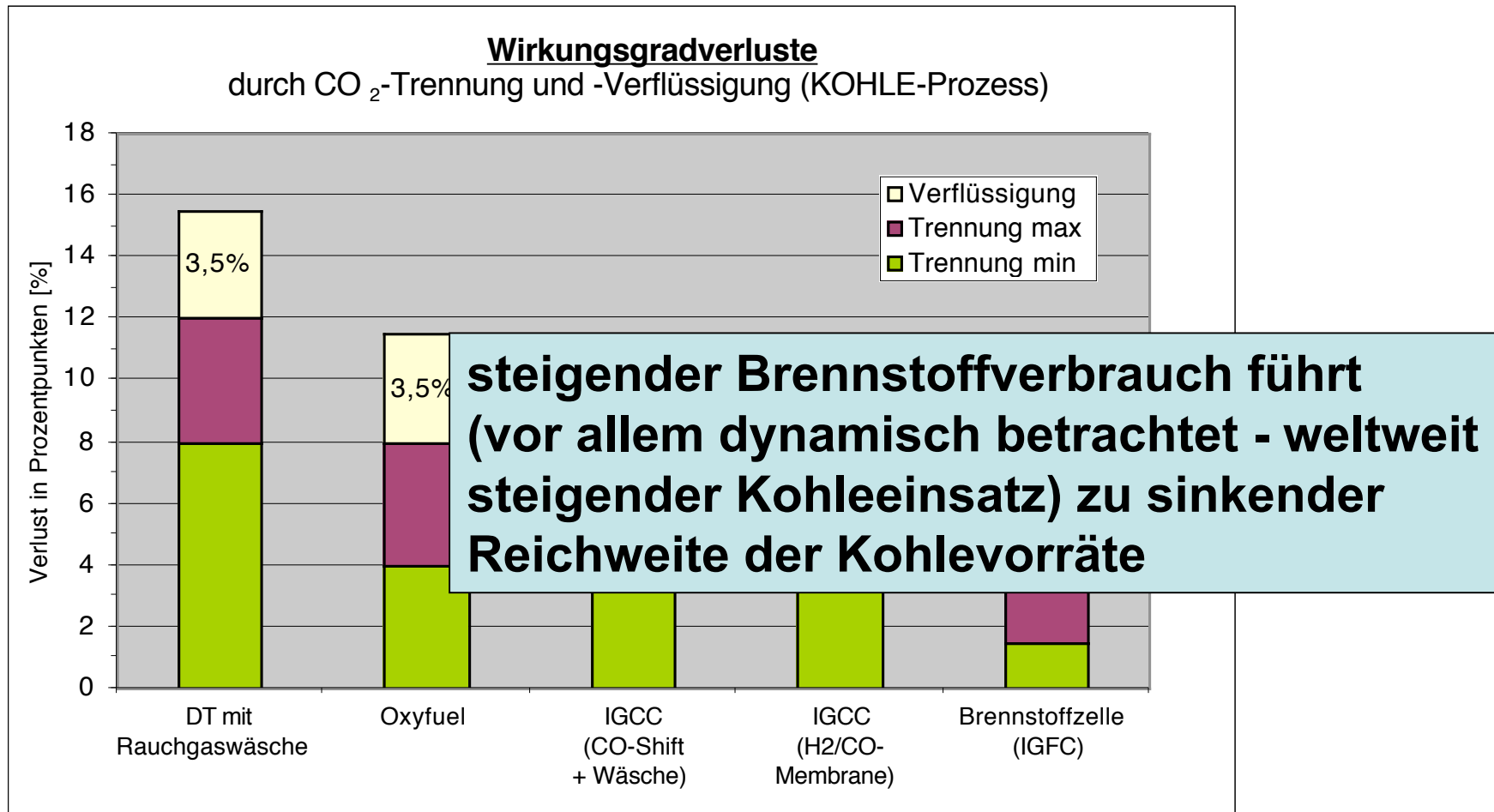
REFERENZKRAFTWERK

KRAFTWERK mit CO<sub>2</sub>-ABSCHEIDUNG



# Vergleichende Betrachtung: Ökologie

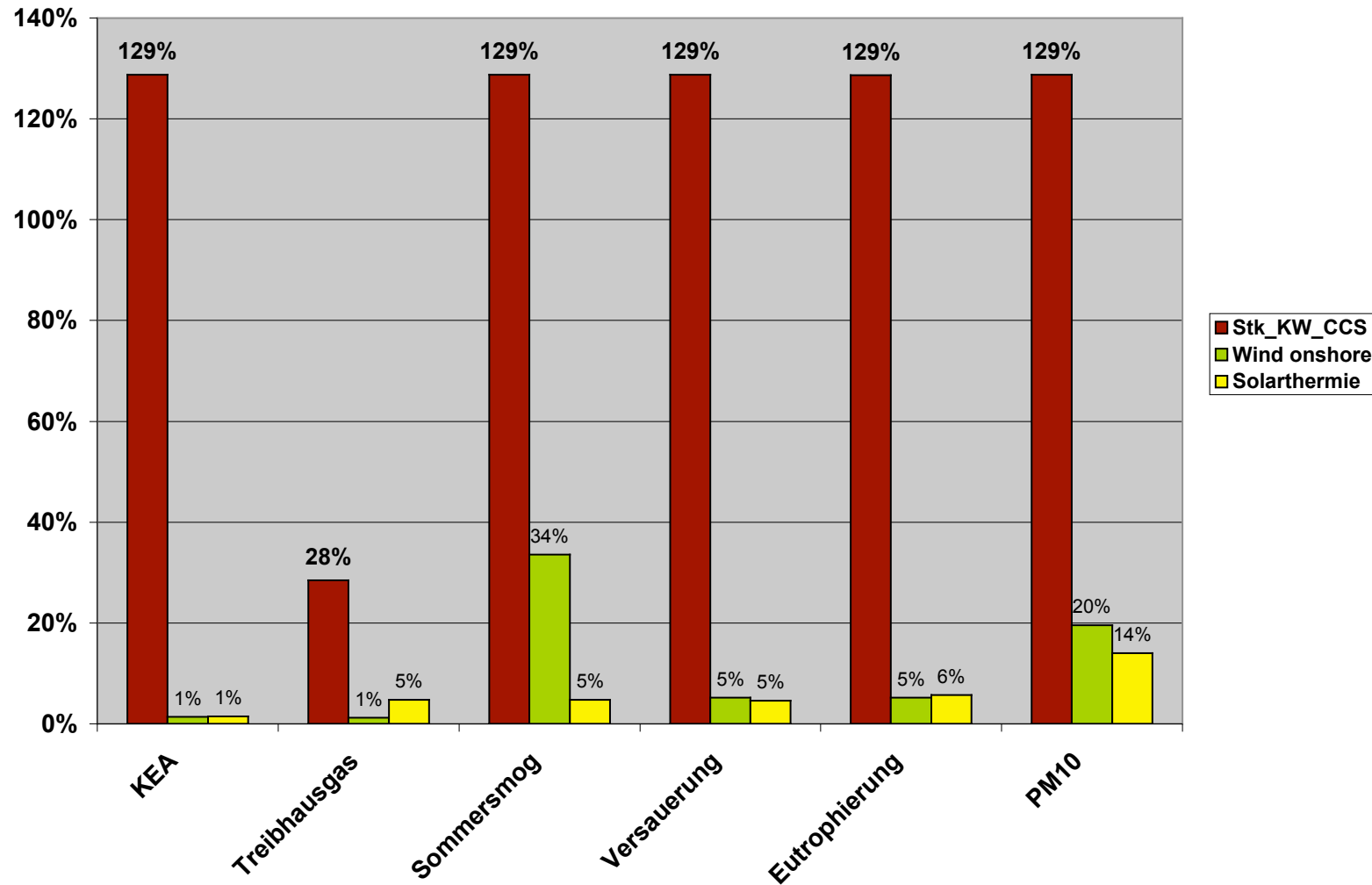
## Wirkungsgradverluste (Kohlekraftwerk mit CCS)



Quelle: G. Göttlicher

# Vergleichende Betrachtung: Ökologie

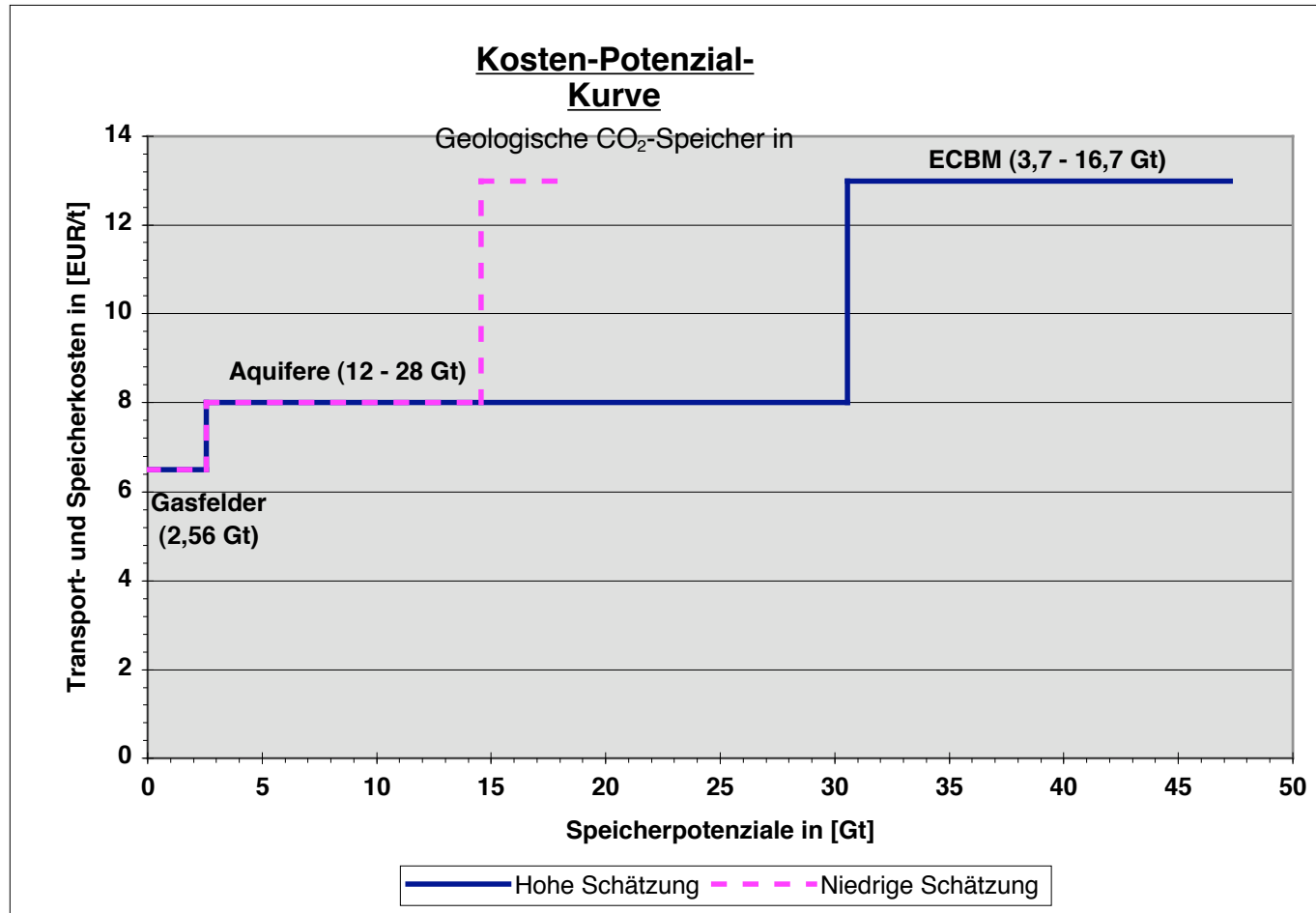
## Steinkohle-KW mit / ohne CO<sub>2</sub>-Abscheidung im Vergleich



Steinkohle\_KW mit 90% CO<sub>2</sub>-Abscheidung, Wirkungsgrad -8,3% (100% = Stk\_KW ohne Abscheidung)

# Vergleichende Betrachtung: Potenziale

Theoretisches CCS-Potenzial: 30 bis 70 Jahre (nur Punktquellen, ohne ECBM) ist auf nationaler Ebene zeitlich begrenzt



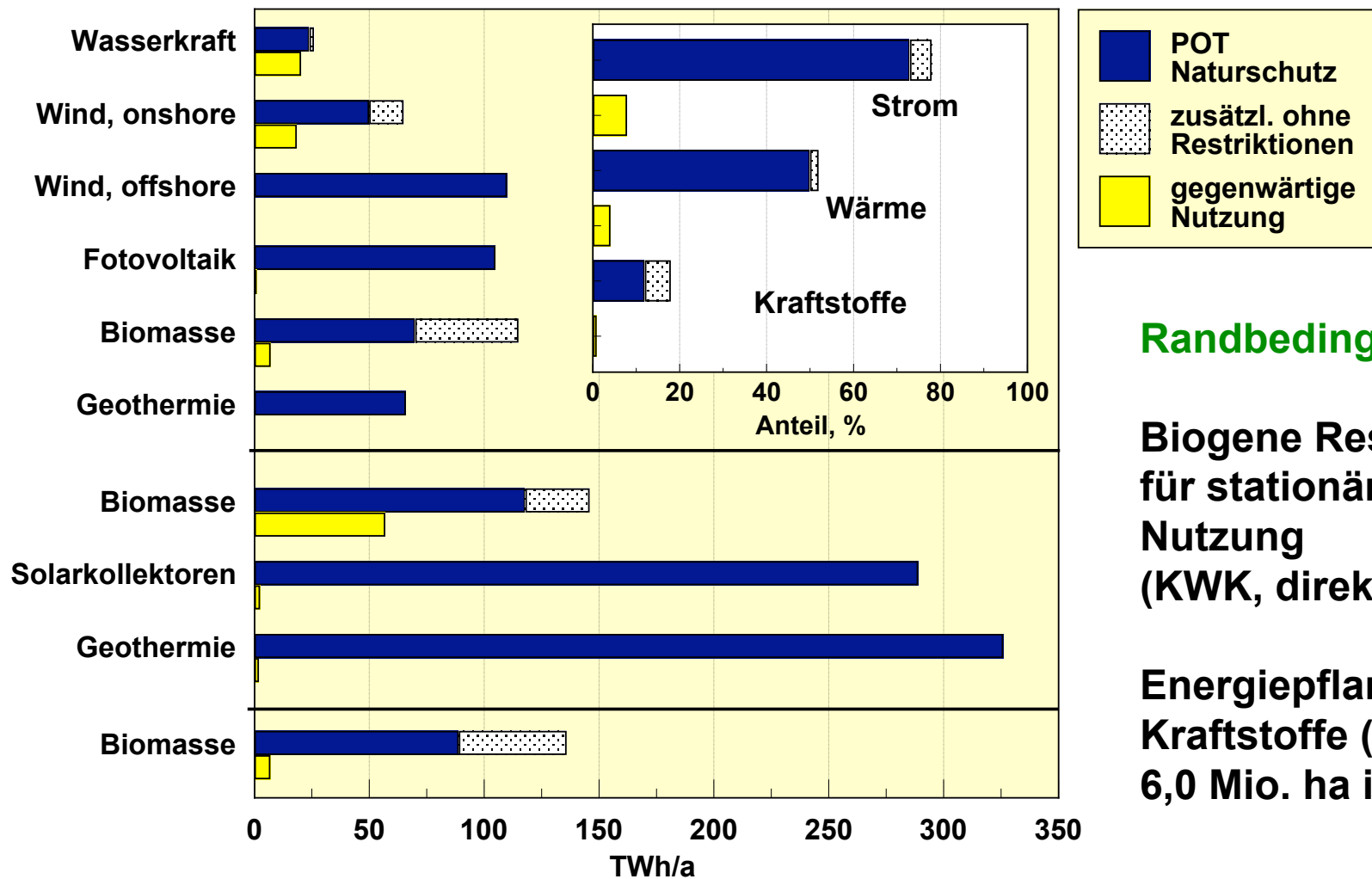
Quelle: BGR (Potenziale) / ECOFYS 2004 (Kosten aus Grafik für Westeuropa übernommen)

Emissionen aus Punktquellen: 393 Mio. t, Zusatzemissionen bei Abscheidung von 30% angenommen; bei Aquifere sind nur sog. Struktur-Aquifere berücksichtigt

# Vergleichende Betrachtung: Potenziale

## Inlands – Potenziale erneuerbarer Energien dauerhaft verfügbar

- Endenergie, Szenario B -



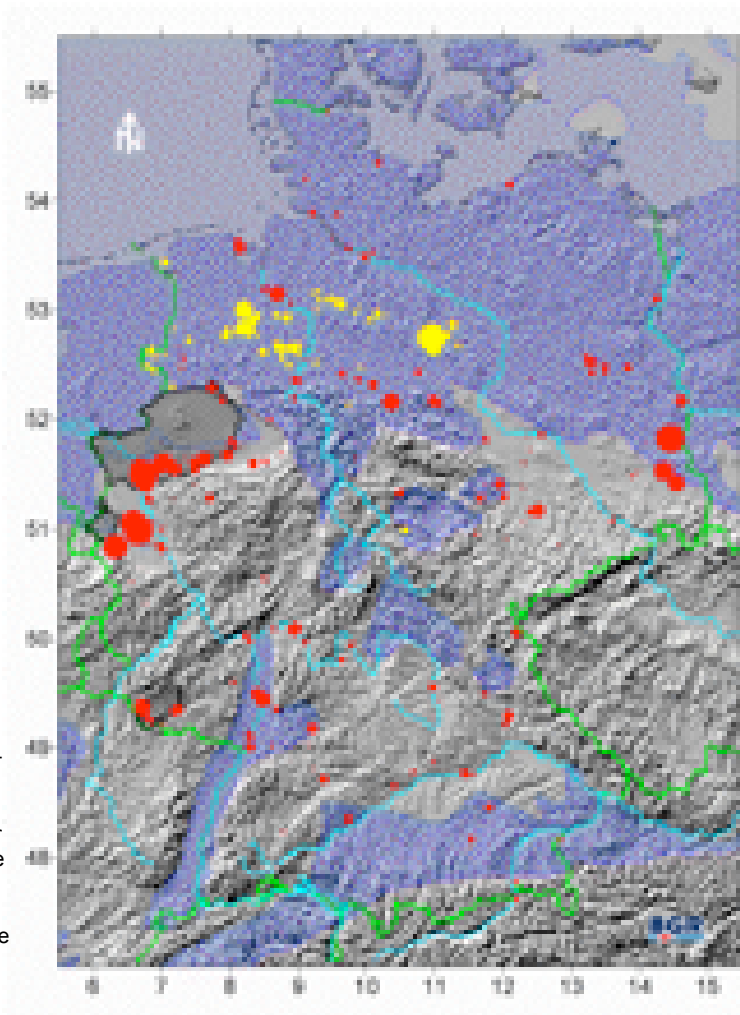
**Randbedingung:**

**Biogene Reststoffe für stationäre Nutzung (KWK, direkt)**

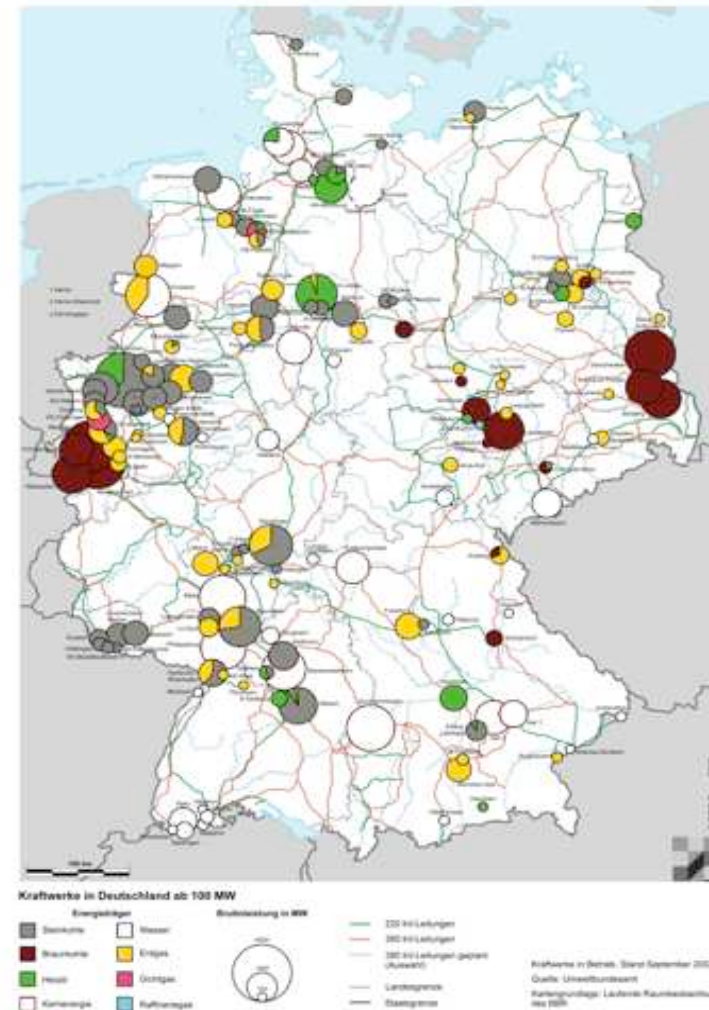
**Energiepflanzen für Kraftstoffe ( 4,1 bzw. 6,0 Mio. ha in 2050 )**

# CO<sub>2</sub> Quellen und potenzielle Senken in Deutschland

## Potenzielles Nord-Süd-Gefälle



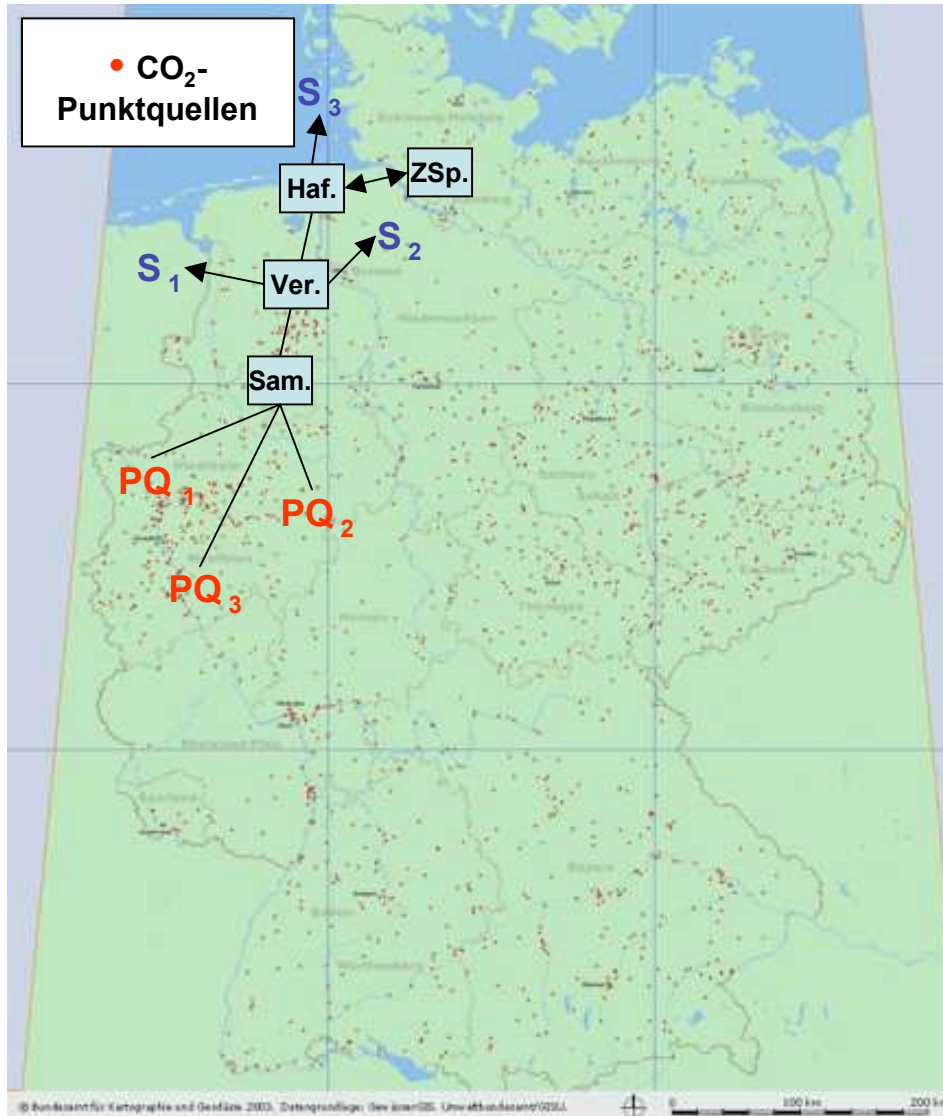
Kraftwerke und Verbundnetze in Deutschland



## Vergleichende Betrachtung: Systemkompatibilität

- Systemkompatibilität
  - mit dem Energiesystem und zukünftigen Anforderungen (z.B. REG-Ausbau, langfristig H2-Infrastruktur)
    - i) Großkraftwerksstruktur versus dezentrale KWK-/REG-Struktur
    - ii) konkurrierende Anwendungen (Geothermie?)
    - iii) Systemverstärkungen (verstärkter Stromfluss von Nord nach Süd durch CCS und offshore Windenergie)
  - mit anderen Klimaschutzoptionen (inkl. Nutzungskonkurrenz)
  - mit der Infrastruktur (Praktikabilität und Durchsetzbarkeit)
  - mit dem Regulierungsrahmen (Integration in das Kyoto-Regime - JI, CDM)
  - mit der Gesellschaft (Akzeptanz, politische Instrumentierbarkeit)
    - i) Leitungsbau
    - ii) Leckagen
    - iii) neue Abhängigkeitsbeziehungen durch Senkenverfügbarkeit?

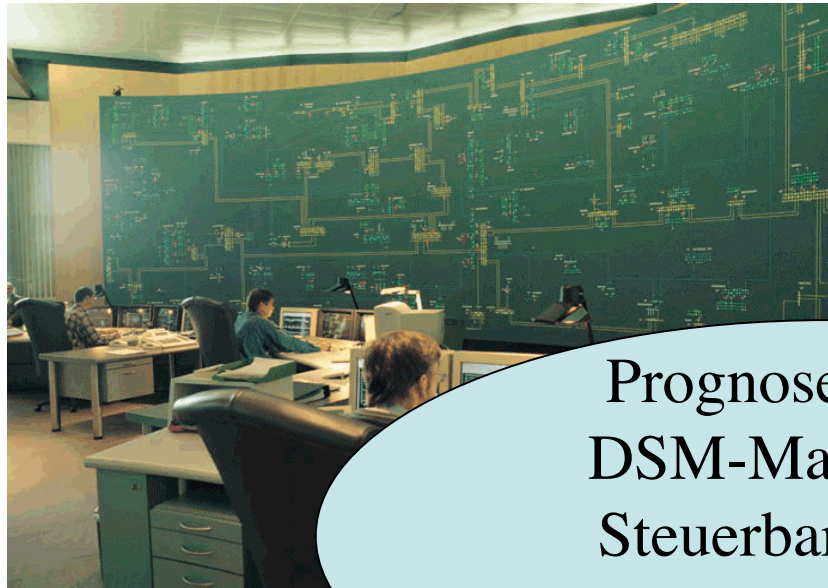
# Vergleichende Betrachtung: Systemkompatibilität Infrastrukturanalyse - viele offene Fragen



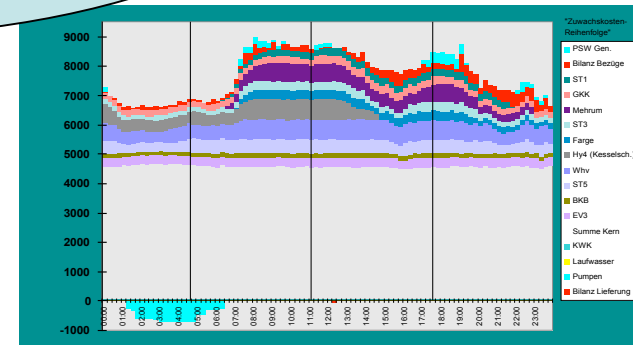
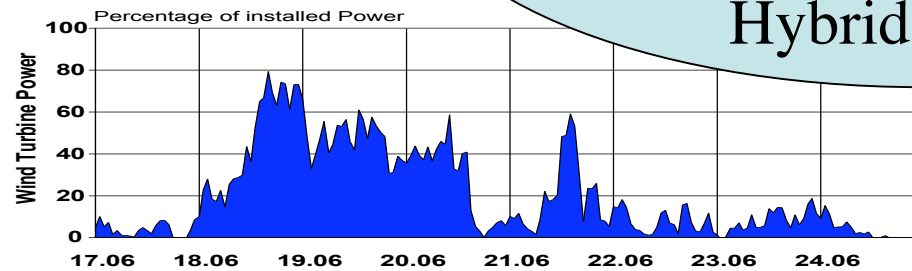
- **Wo liegen zukünftige CO<sub>2</sub>-Senken?**  
Onshore - Offshore?  
Nordwesten - Nordosten...?  
Inland - Ausland?
- **Wann können sie erschlossen werden?**
- **Wann werden sie erschöpft sein?**
- **Wo liegen zukünftige KW-Standorte?**  
Verbrauchernah - Brennstoffnah - Senkennah?  
Zentral - Dezentral?
- **Was transportiere ich?**  
CO<sub>2</sub> - Strom - H<sub>2</sub> - eine Frage des Zeitfensters?
- **Wie transportiere ich?**  
Pipeline - (Schiene - Straße -) Wasser?
- **Welche Infrastruktur benötige ich?**  
Pipelines, Verdichter, Sammler, Zwischenspeicher, Häfen,  
...

# Vergleichende Betrachtung: Systemkompatibilität

Problembereich fluktuierende Einspeisung - Umbau Stromversorgung  
kein Selbstläufer, verstärkte Anforderungen Netz-/Systemintegration

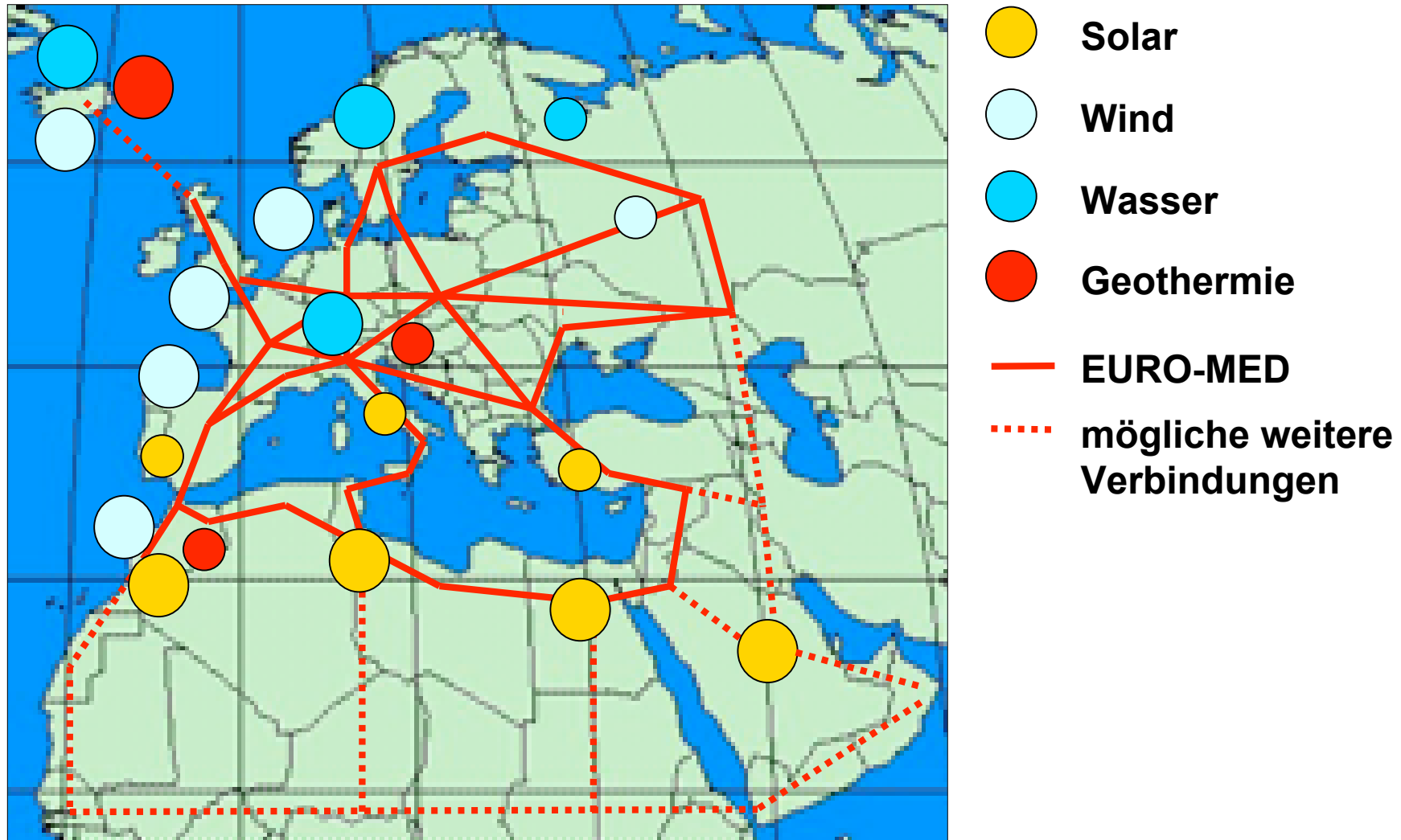


Prognosesysteme  
DSM-Maßnahmen  
Steuerbare Lasten  
Stromspeicher  
Hybridsysteme



# Vergleichende Betrachtung: Systemkompatibilität

## Strukturelle Anforderungen durch Einbindung offshore Windenergie und global link - Stromverbund auf HGÜ-Basis



Quelle: DLR 2002

## Vergleichende Betrachtung Akzeptanz Auch für REG zunehmend bedeutsam

- **Umweltverträglichkeit - Flächenverbrauch, Beeinträchtigung Landschaftsbild, Brutverhalten, Lärm, Diskoeffekt, Vogelschlag**

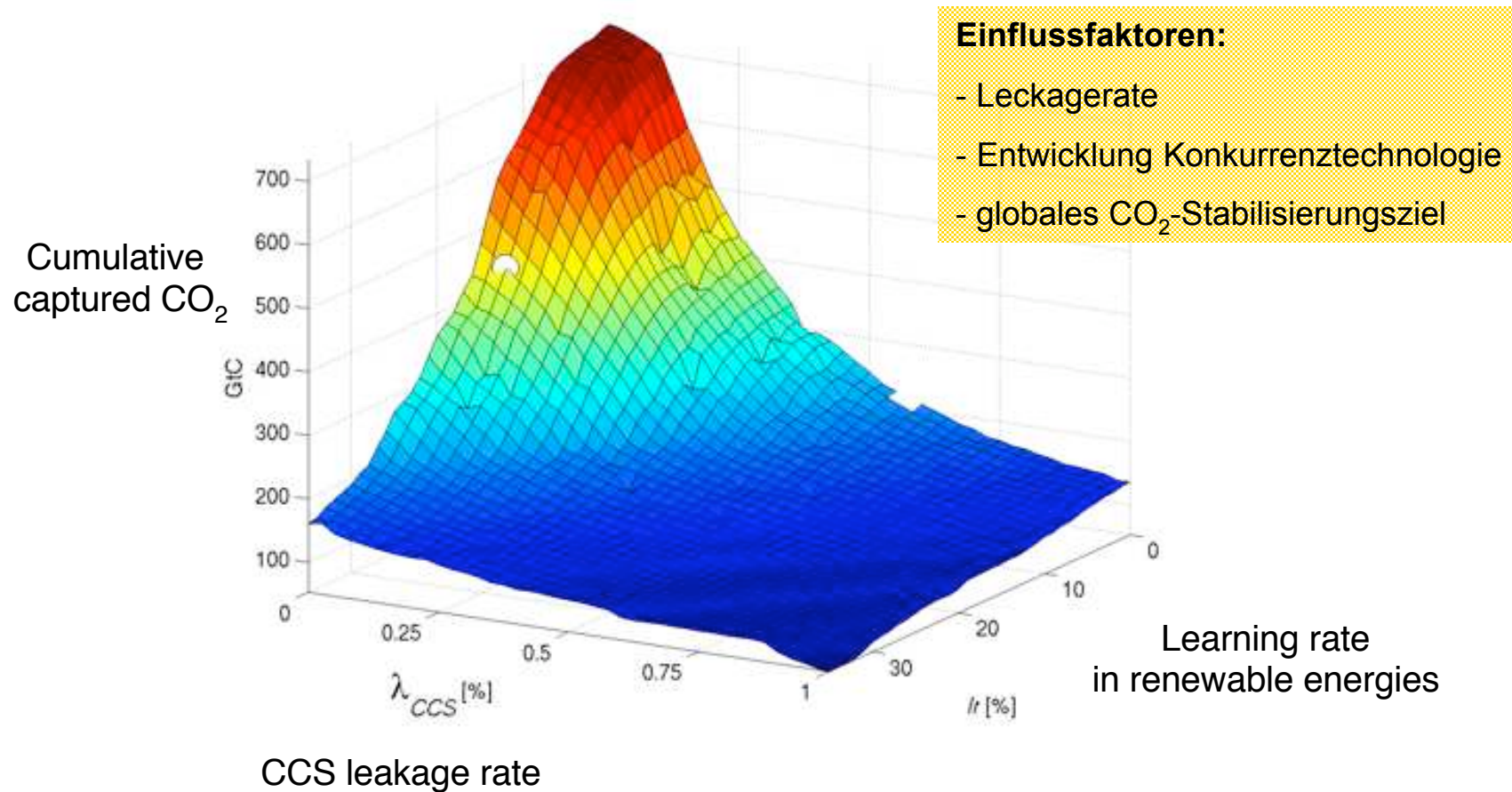
Spezifische Problembereiche

- offshore
- *onshore*
- *Repowering*



# Vergleichende Betrachtung: Industriepolitisches Potenzial

## Sensitivity of captured CO<sub>2</sub> - verbleibende Unsicherheiten



Quelle: Analysen des PIK (2005)

## Vergleichende Betrachtung: Industriepolitisches Potenzial Technologische Impulse für Entwicklungs- und Schwellenländer

### Potenzielle Barrieren

- **Eigentumsrechte (speziell: technologisches Know-how Kraftwerkstechnik) auf einige wenige Akteure/Unternehmen begrenzt**
- **Hohe Zusatzkosten (Sprungfunktion)**
- **Langfristiges Monitoring notwendig**
- **Eingeschränkter Nutzungsbereich (Großkraftwerkstechnik)**
- **Anreizrahmen (CDM- und JI-Fähigkeit)**

### Potenzieller Nutzen

- **Einbindung der flexiblen Mechanismen (CDM, JI)**
- **Doppelte Dividende (zusätzlicher Finanzierungsbeitrag) bei der Anwendung auf Biomasse Anlagen (z.B. Zuckerproduktion - weit verbreitete Technologie in Entwicklungsländer)**

## **Vergleichende Betrachtung: Industriepolitische Potenzial Erneuerbare Energien - heute schon dynamisch wachsende Märkte**

### **Ergebnis International Action Plan (renewables 2004):**

■ **197 Aktionen und Verpflichtungen (bis zum 04.06.2004)**

■ **von:**

- **Vereinte Nationen (UN)**
- **Nationale Regierungen**
- **Internationalen Organisationen (z.B. Weltbank)**
- **Unternehmen**
- **NGO**
- **etc.**

### **Bei Vollständiger Umsetzung:**

■ **CO<sub>2</sub>-Minderung bis 2015 rund 1,2 Mrd. t CO<sub>2</sub> (ca. 5 % der globalen Emissionen, höhere Beitrag als über Kyoto-Protokoll)**

■ **Investitionsumfang von 326 Mrd. US\$**

■ **zusätzlicher Zugang von ca. 1 Mrd. Menschen zu moderner Energie**

# Hypothesen und offene Fragen

- **CCS eröffnet die Chance für eine „CO<sub>2</sub>-arme“ Nutzung fossiler Energieträger**
- **CCS ist im Verhältnis zu anderen Klimaschutzoptionen zu sehen und kann diese ggf. mittel- bis langfristig ergänzen**
- **Für die erste Erneuerungswelle des Kraftwerkspark kann CCS noch keinen signifikanten Beitrag leisten**
- **Mindestens in den nächsten zwei Dekaden muss Klimaschutz auf den bekannten Bausteinen REG/REN basieren - Dynamik (F+E, Marktpenetration) hier unbedingt aufrechterhalten**
- **Differenzierte vergleichende Betrachtung noch erforderlich (CCS und andere Klimaschutzoptionen - national/weltweit)**
- **Stärkerer Fokus auch auf nicht-technische Aspekte im Bereich CCS erforderlich (z.B. Akzeptanz, Kipppunkte, LCA's, Infrastrukturanalysen)**
- **Offene Fragen sukzessive klären - keine vorschnellen Festlegungen vornehmen, keine Schnellschüsse**

**Wissenschaftszentrum  
Nordrhein-Westfalen**

Institut Arbeit  
und Technik



Kulturwissenschaftliches  
Institut

**Wuppertal Institut für  
Klima, Umwelt, Energie  
GmbH**



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

**Kontakt:**

**Dr. Manfred Fishedick**

**Wuppertal Institut**

**Döppersberg 19**

**42103 Wuppertal**

**0202-2492-121**

**0202-2492-198 (FAX)**

**0202-2492-109 (Sekretariat)**

**[Manfred.Fishedick@wupperinst.org](mailto:Manfred.Fishedick@wupperinst.org)**