

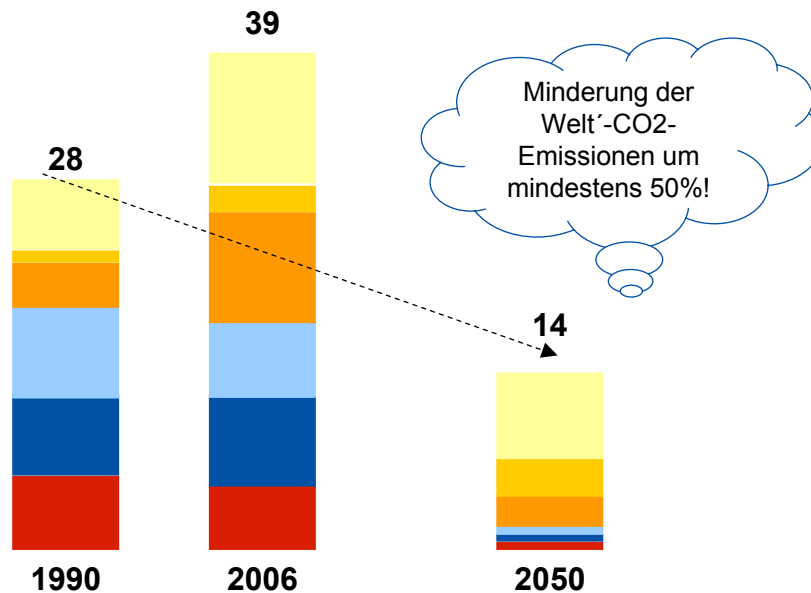
Warum CCS?

Jörg Kerlen
RWE Power AG, Energiepolitik

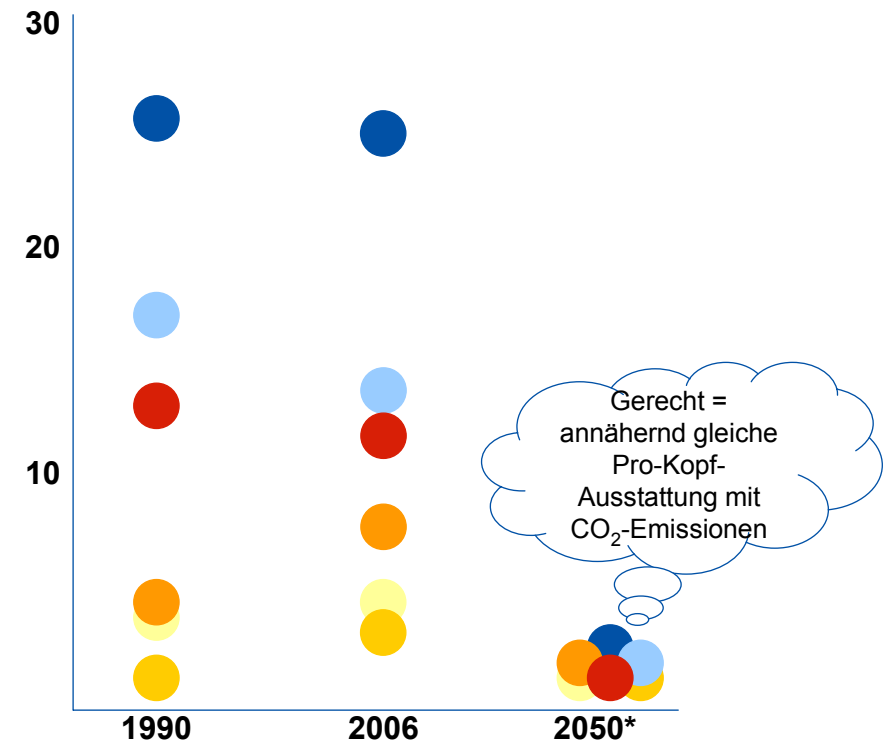
VORWEG GEHEN

Klimawandel ist eine gewaltige energiewirtschaftliche Herausforderung

Welt-CO₂-Emissionen
[Mrd. Tonnen, ohne LULUCF/LUCF]

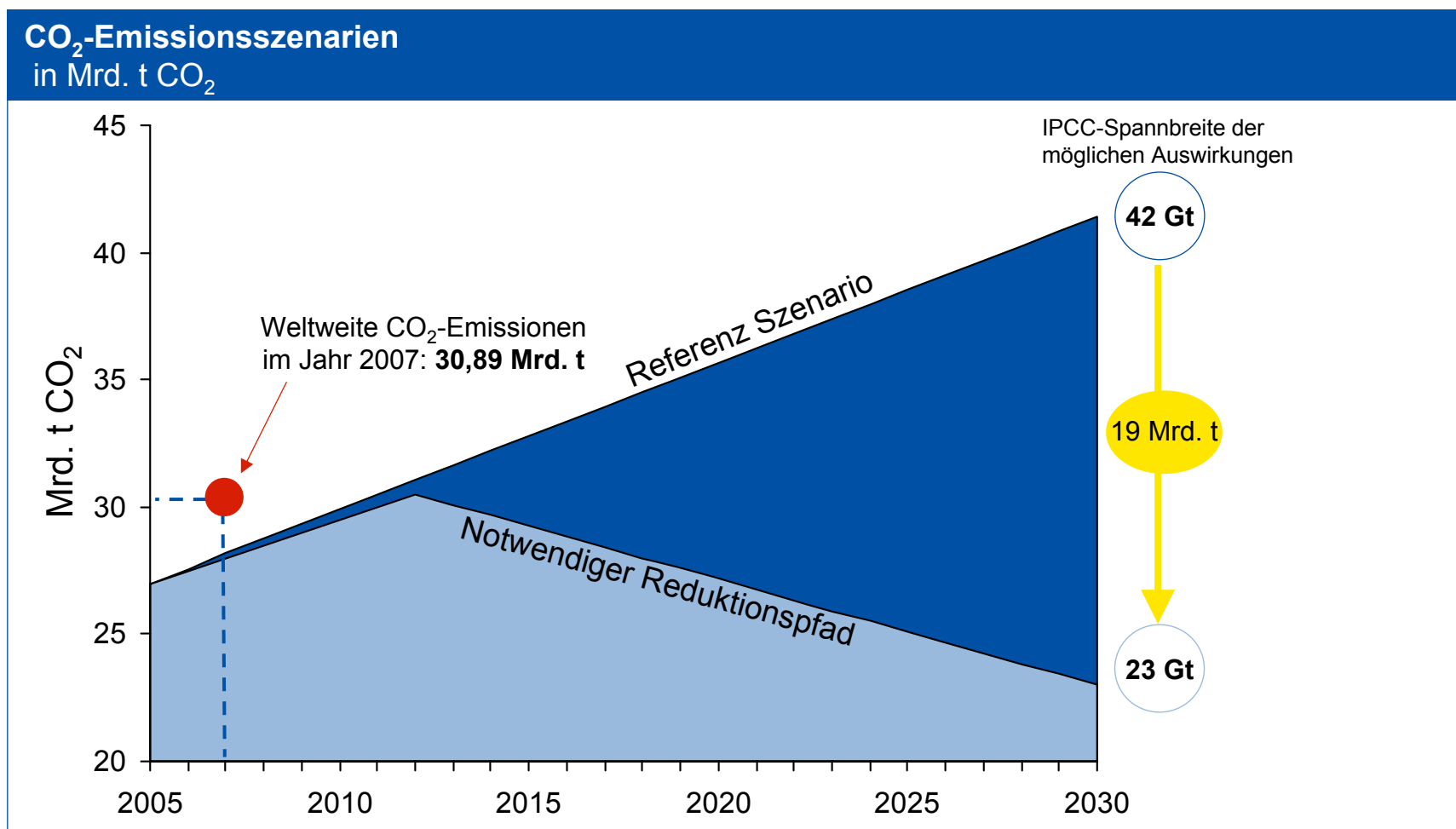


CO₂-Emissionen pro Kopf
[Tonnen pro Einwohner und Jahr]



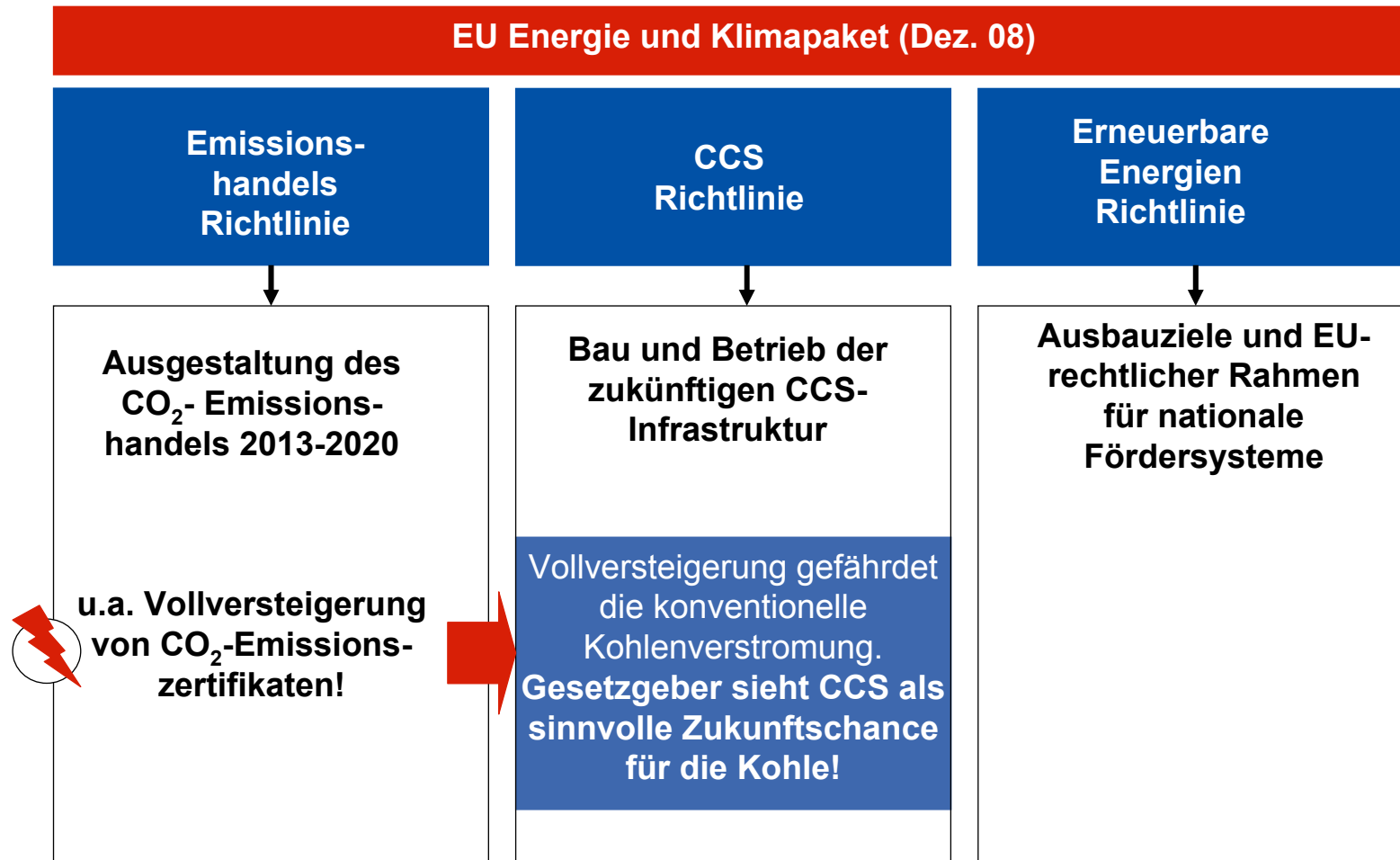
■ EU
 ■ USA
 ■ Andere Annex I
 ■ China
 ■ Indien
 ■ Andere Non-Annex I

Bis 2030 müssen zur Begrenzung des Temperaturanstiegs auf 2,5°C jährlich 19 Mrd. t CO_{2äq} eingespart werden.



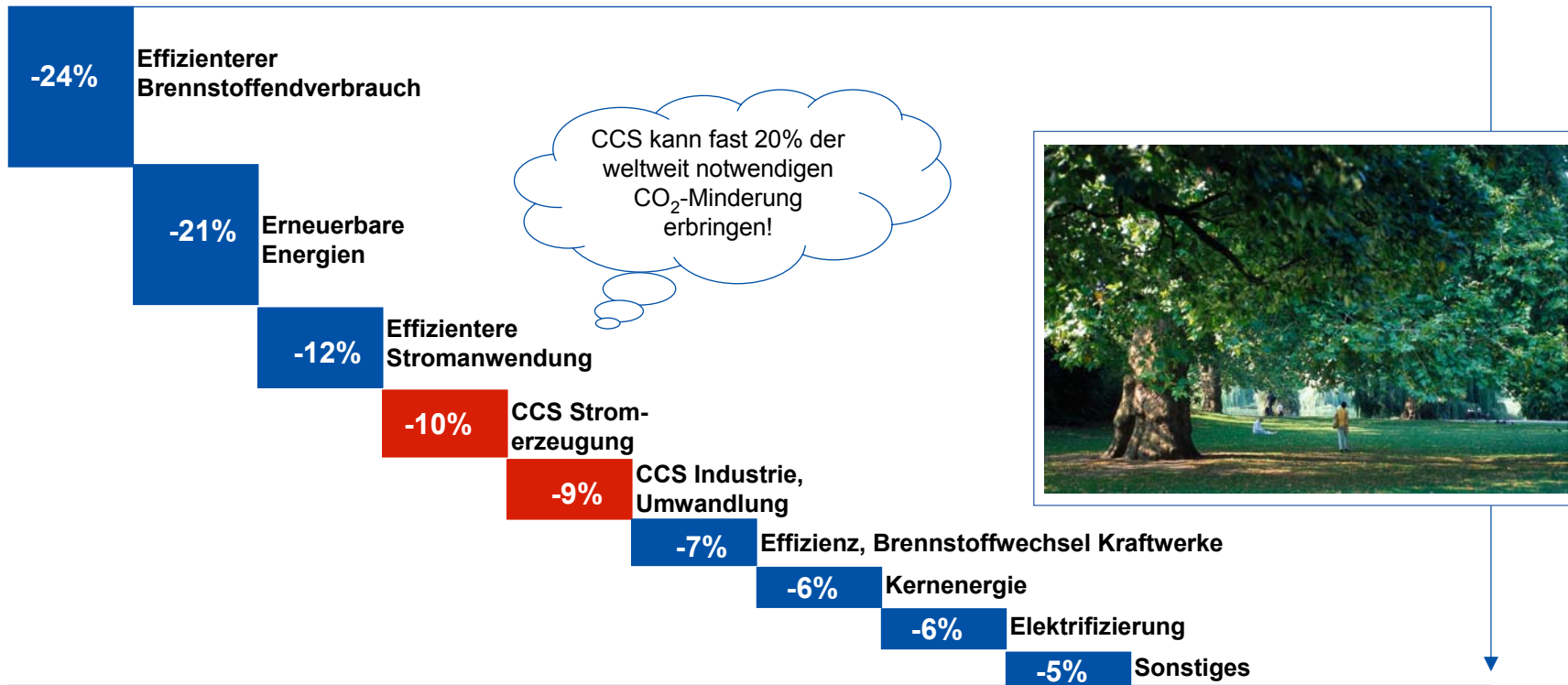
Quelle: IEA World Energy Outlook (WEO) 2007; IPCC

Die EU räumt mit CCS der Kohle eine Zukunftschance ein



CCS ist ein unverzichtbarer Pfeiler für den Klimaschutz

62 Mrd. t CO₂/a Baseline-Szenario für 2050 = 100%

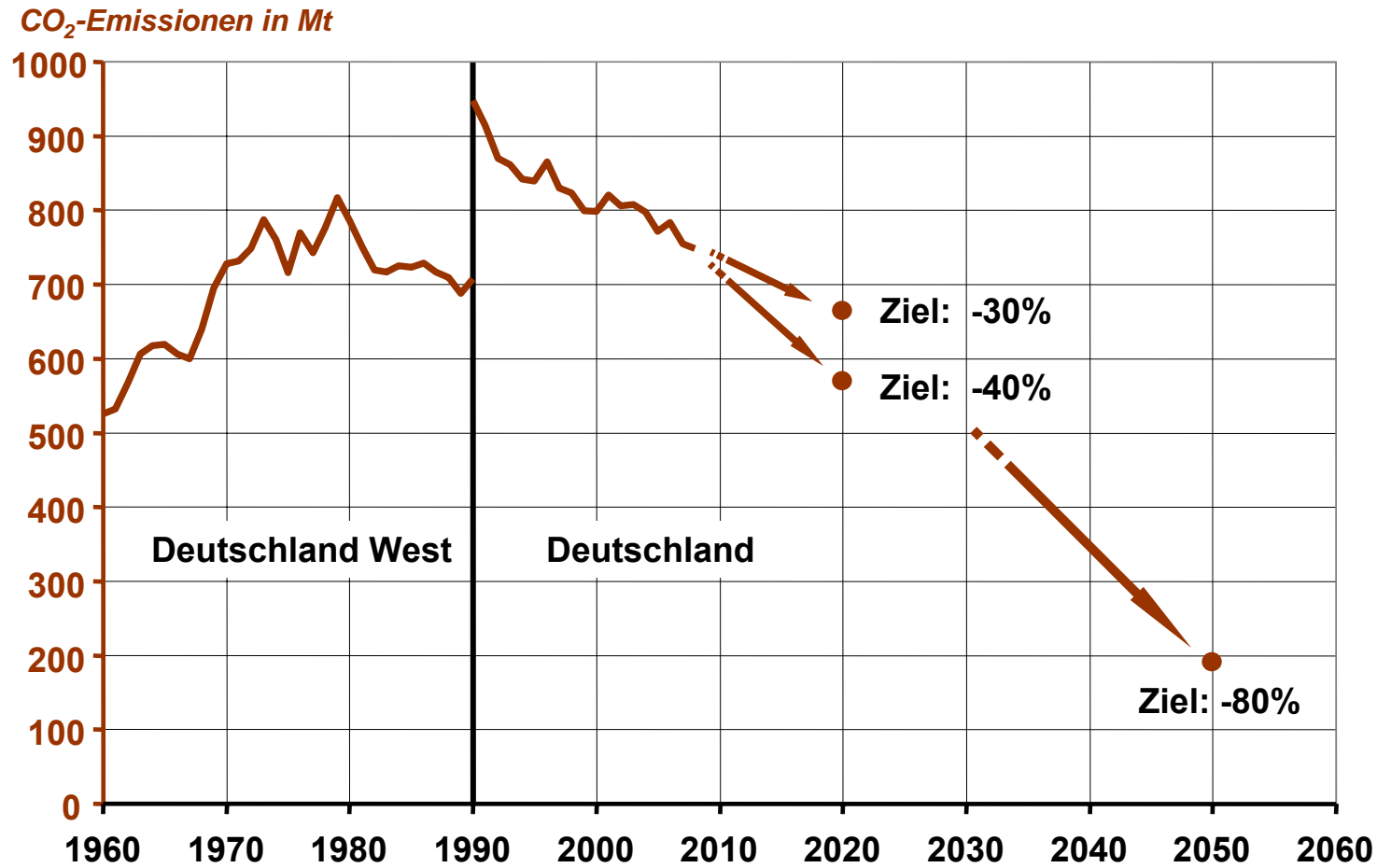


CCS kann fast 20% der weltweit notwendigen CO₂-Minderung erbringen!



14 Mrd. t CO₂/a 450 ppm-Stabilisierungsszenario

Klimaschutzziele sind ambitioniert

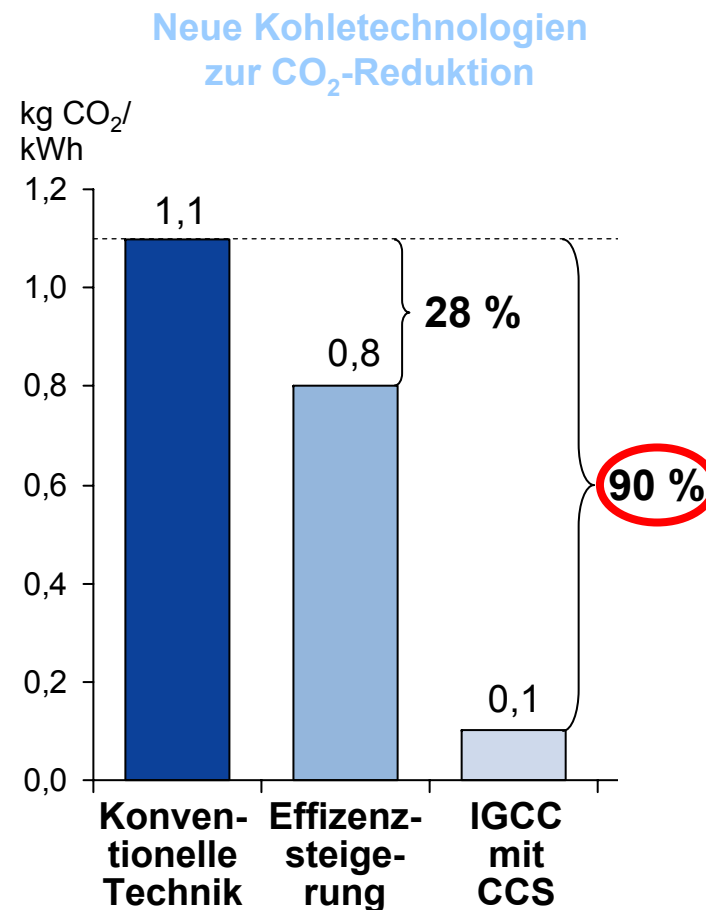


Quelle: BMWi

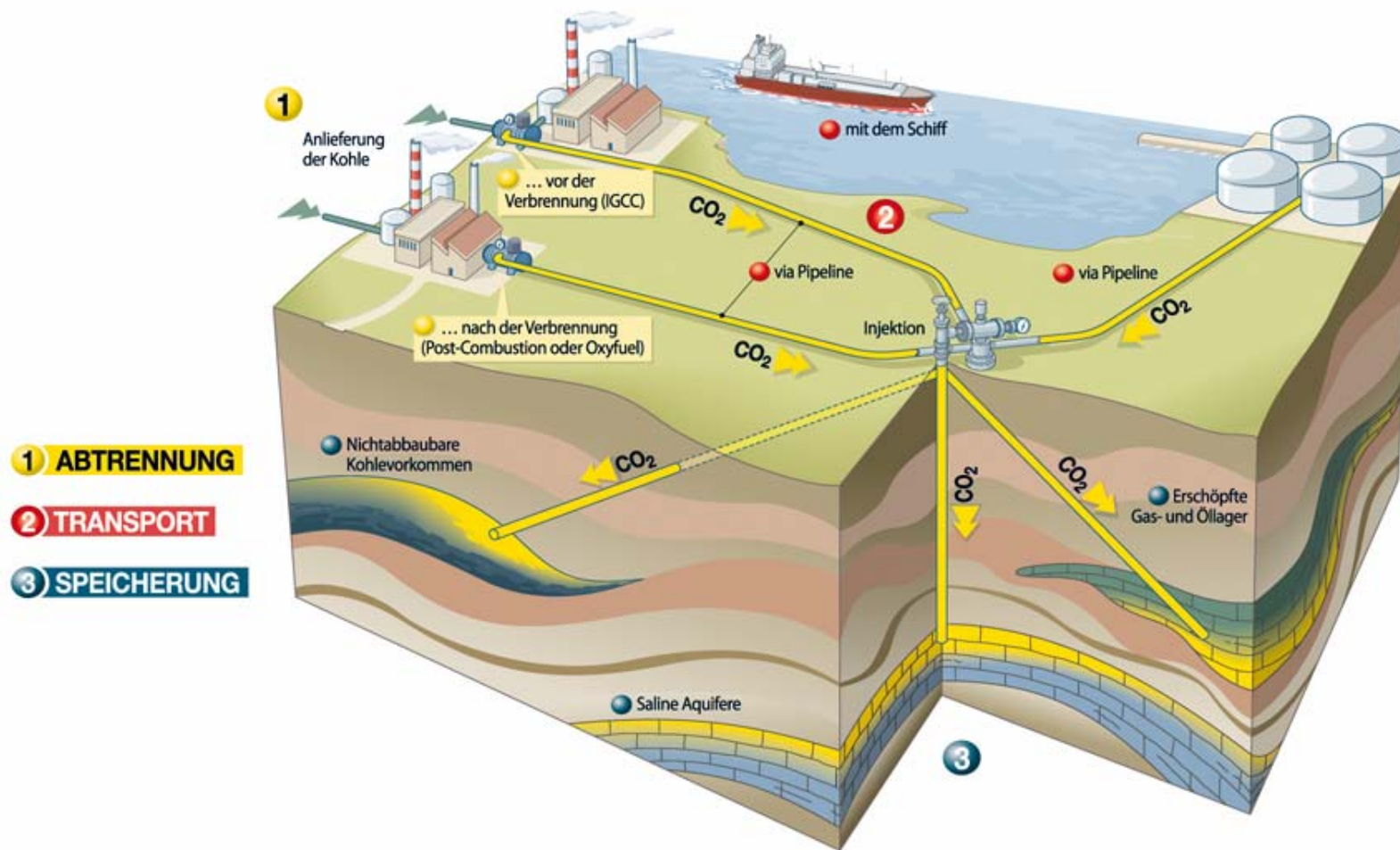
VORWEG GEHEN

Ohne Entwicklung von CCS sind globale Emissionsziele nicht zu erreichen

- **CO₂-Emissionen** steigen energiebedingt **von 26 Mrd. t (2005) auf 62 Mrd. t (2050)**
[Baseline-Szenario der IEA]
- **Halbierung** der aktuellen CO₂-Emissionen auf 14 Mrd. t im Jahr 2050 **bedeutet Absenkung um 48 Mrd. t** gegenüber dem Baseline-Szenario.
- **CCS** kann zur **Absenkung rund 10 Mrd. t** (20%) beitragen. Davon entfallen mehr als die Hälfte auf die Stromerzeugung.
- **Kosten für Minderung** der CO₂-Exposition steigen **ohne CCS** um 1,3 Billionen USD. (+ 71 %)
[lt. IEA]



CCS-Technologie mit drei Prozessschritten



CCS: Projektplanung und -aufgaben innerhalb des RWE Konzerns

RWE Power

Erzeugung



Kraftwerk mit CO₂-Abscheidung. Wirtschaftlich sinnvoller Standort in Goldenberg bei Hürth/Köln

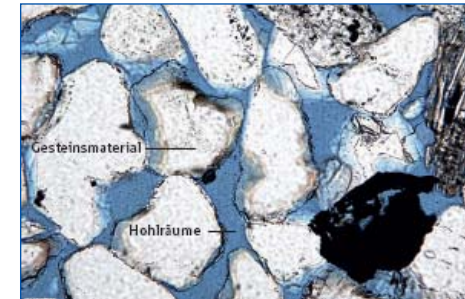
RWE Dea

Transport



Pipeline für Transport des CO₂ ist unter ökonomischen, ökologischen und Sicherheitsaspekten sinnvollste Variante

Speicherung



Saline Formationen in Norddeutschland eignen sich grundsätzlich zur Speicherung von CO₂

Politische und öffentliche Akzeptanz ist Grundvoraussetzung für Erfolg des Gesamtprojekts:

- > Enge, partnerschaftliche Zusammenarbeit mit Landespolitik
- > Transparente Kommunikation mit Anwohnern und Bürgern

3 Technologien zur CO₂-Abscheidung

CO₂-Rauchgasreinigung (RWE-Projekt):

- > dem eigentlichen (konventionellen) Kraftwerksprozess nachgeschaltet
- > CO₂ wird mit Hilfe chemischer Waschsubstanzen aus dem Rauchgas absorbiert
- > Vorteil: Nachrüstbarkeit für moderne (capture ready) Kraftwerke

Oxyfuel:

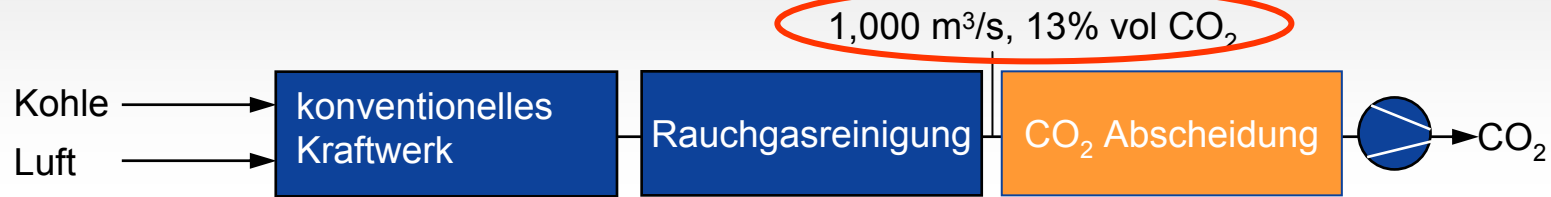
- > Herstellung reinen Sauerstoffs in einer Luftzerlegungsanlage
- > Verwendung von reinem Sauerstoff statt Luft für den Verbrennungsprozess
- > Durch hohen CO₂-Anteil im Rauchgas einfache Abtrennung möglich

IGCC (RWE-Projekt):

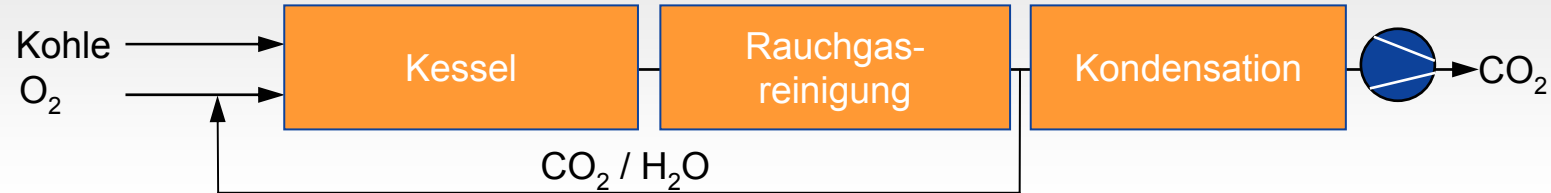
- > Vergasung des eingesetzten Brennstoffs (Kohlevergasung)
- > Abtrennung des CO₂ aus dem katalytisch entstehenden wasserstoffreichen Synthesegas, Verstromung des Synthesegases in einer GuD-Turbine
- > Vorteil: weitere Optionen für die Verwendung des Synthesegases

3 CCS-Technologien

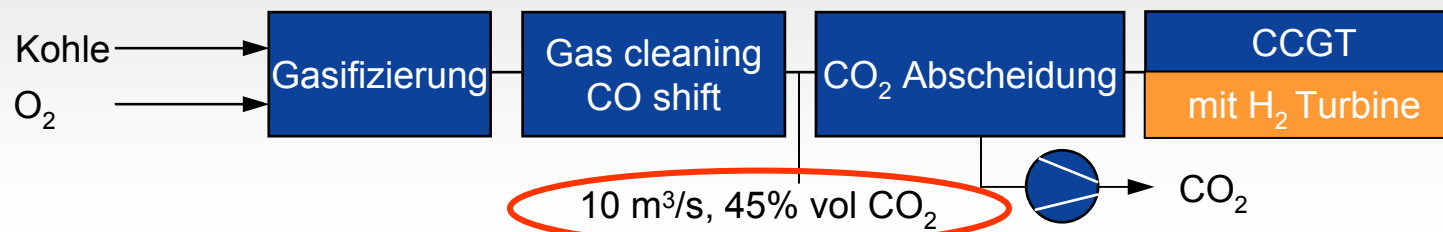
1) Konventioneller Kraftwerksprozess mit CO₂-Rauchgaswäsche – RWE Projekt



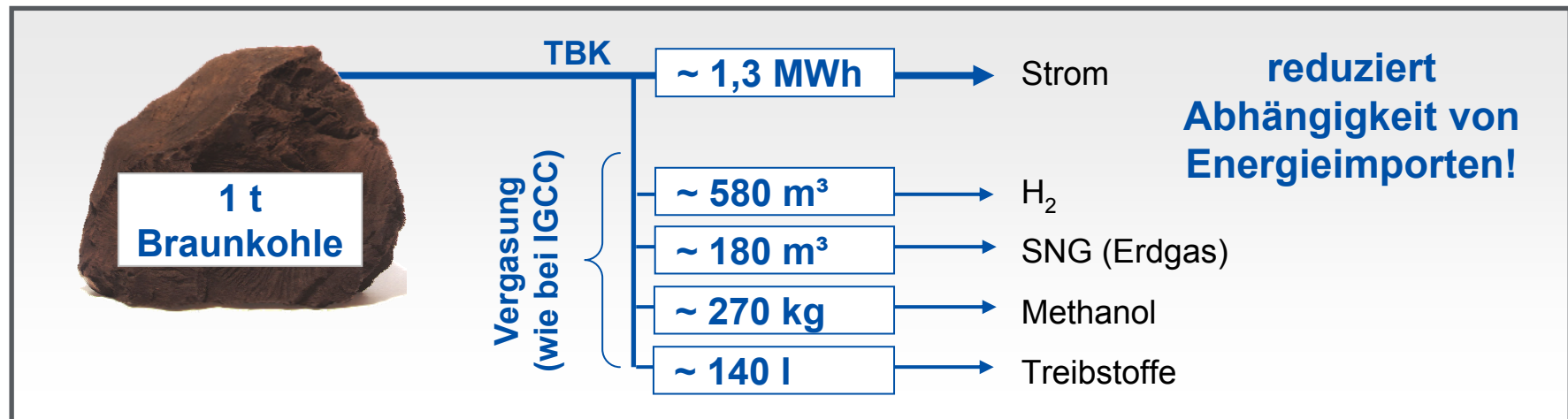
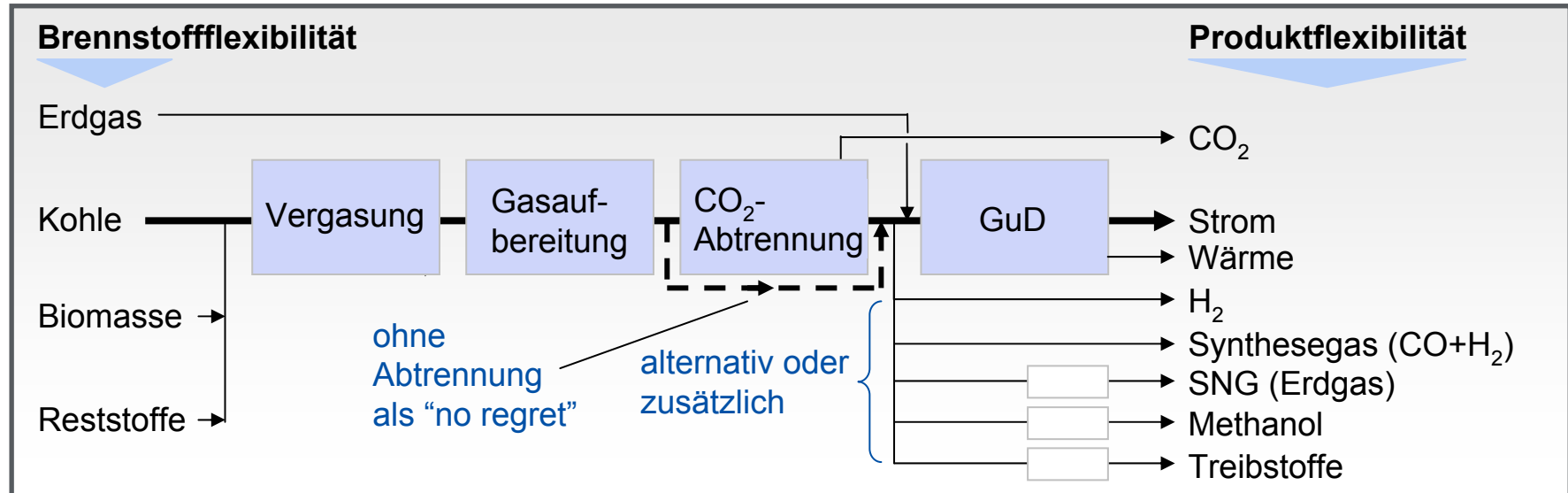
2) Oxyfuel Prozess



3) IGCC Prozess (integrated gasification combined cycle) – RWE Projekt



IGCC bietet Flexibilität sowohl auf der Brennstoff- als auch auf der Produktseite



RWE will in Hürth-Knapsack investieren: Demo-Kraftwerk mit CO₂-Abtrennung und -Speicherung (2 Mrd. € Investment)



- > Basistechnologie: IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle)
- > Elektr. Leistung: 450 MW_{brutto}
- > Abscheiderate: Rund 90 % des entstehenden CO₂
- > CO₂-Speicherung: 2,6 Mio. t/a in tiefen salinen Formationen Norddeutschlands
- > Inbetriebnahme: Ende 2015 bei optimalen Rahmenbedingungen

RWE Power hat eigenes Kraftwerks- und Vergasungs-Know-how und RWE Dea besitzt das Basis-Know-how für die CO₂-Speicherung.

Effektive CO₂-Vermeidungsmenge

Basiskraftwerk

(Braunkohle): Wirkungsgrad 50 % \Rightarrow spez. CO₂-Emissionen 800 g/kWh

1. Schritt: Wirkungsgradminderung um 10 %-Punkte
Es wird entsprechend dem Wirkungsgradverhältnis 25 % mehr CO₂ gebildet

Wirkungsgrad 40 % \Rightarrow spez. CO₂-Bildung 1.000 g/kWh

2. Schritt: Abtrennung und Speicherung von 90 % des gebildeten CO₂
d. h. Restemissionen von 10 % des gebildeten CO₂

CCS-Kraftwerk: Wirkungsgrad 40 %
CO₂-Abtrenngrad 90 % } \Rightarrow spez. CO₂-Emissionen 100 g/kWh

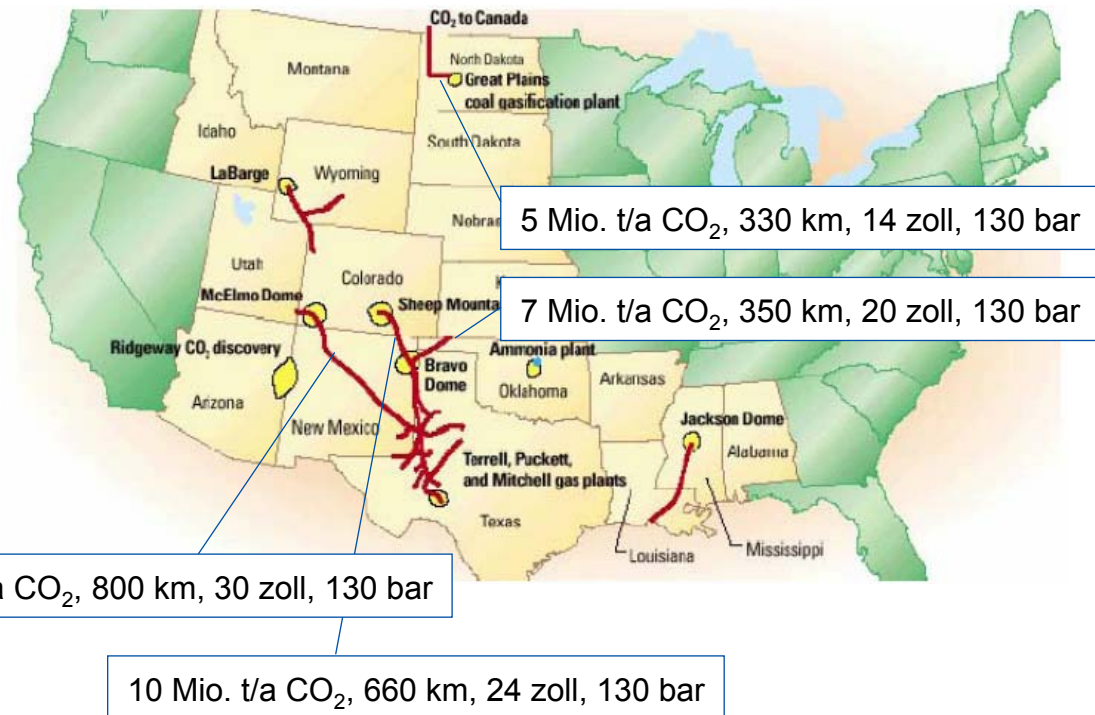
Verhältnis der CO₂-Emissionen 100 g/kWh zu 800 g/kWh: 12,5 %

D. h. effektive CO₂-Vermeidung: 87,5 %

Klimaschutz-Pipeline: Über 30 Jahre Erfahrung mit CO₂-Transport in den USA

In den USA wird seit den 70er Jahren CO₂ zur verbesserten Ölausförderung in Öllagerstätten verpresst.

Dafür werden ca. 35 Mio. t CO₂ jährlich über ein rd. 3.000 km langes Pipeline-Netz weitgehend reibungslos transportiert.



In den USA ist der Transport von CO₂ in Pipelines unter Bundesbestimmungen eingestuft worden als „High Volatile / Low Hazard and Low Risk“

Basisdaten Pipeline

Leitungsdurchmesser	16“ - 30“
Leitungsdruck	200 bar
Leitungsverlegung	erdverlegt, Regelüberdeckung mind. 1,50 m (bei Gasfernleitungen 1,20 m)
Schutzstreifen	10 m beidseitig
Korrosionsschutz	Aktiv: Kathodischen Korrosionsschutz Passiv: Polyethylen-Außenumhüllung
Lecküberwachung	Temperaturbegleitmessung (LWL-Kabel) spez. bei CO ₂ -Pipeline möglich, auf ca. 1 m genau Leckageortung möglich
Einrichtungen zum Begrenzen der Austrittsmenge	Absperrstationen ca. alle 20 km
Zwischenstationen	Nach derzeitigen Planungen keine

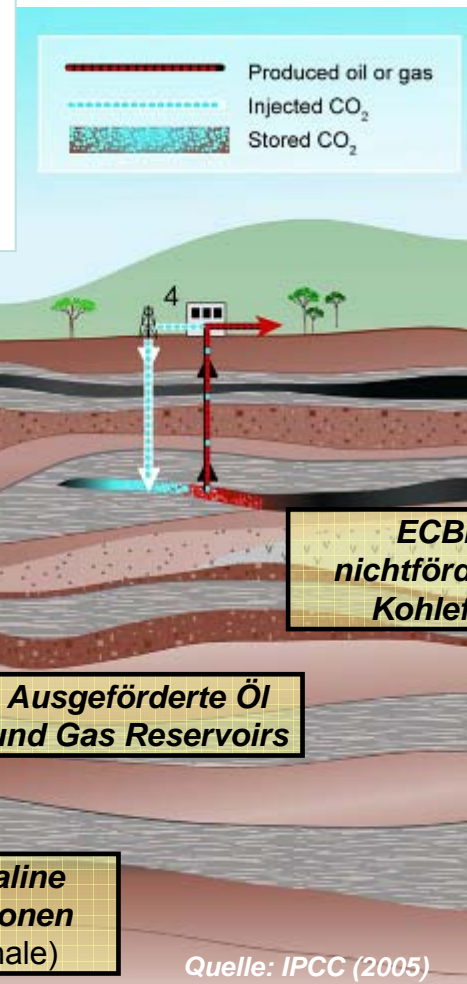
Vergleich Transport von Erdgas & CO₂

Erdgas	CO ₂
<p><i>Schutz gegen Innenkorrosion</i></p> <p>Überprüfung des Wassergehaltes</p>	<p><i>Wie bei Erdgas</i></p>
<p><i>Einrichtungen zum Verhindern unzulässiger Drücke und Temperaturen</i></p> <p>Druck- und Temperaturüberwachung</p>	<p><i>Wie bei Erdgas</i></p>
<p><i>Einrichtungen zum Begrenzen der Austrittsmenge</i></p> <p>Schieberstation ca. alle 20 km</p>	<p><i>Wie bei Erdgas</i></p>
<p><i>Einrichtungen zum Feststellen austretender Stoffe</i></p> <p>Mengenmessung</p>	<p><i>Wie bei Erdgas</i></p> <p>Zusätzlich durch Temperaturbegleitmessung (Sensorkabel) hochgenaue Leckageortung möglich (auf ca. 1 m genau)</p>
<p><i>Langlaufende Risse</i></p> <p>DIN 10208 über die Charpy-Schlagarbeit geregelt (erhöhte Materialzähigkeit)</p>	<p><i>Wie bei Erdgas</i></p> <p>Zusätzlich: Einbau von Crack arrestors (Wulste zur Längrissbegrenzung) oder höhere Anforderungen an Materialzähigkeit</p>

CO₂ Speichermöglichkeiten

Kriterien bei der Speichersuche

- > **Speicherung** → Ausreichende Speicherkapazität
- > **Injektivität** → Mächtige, zusammenhängende Speicherformation
- > **Sicherheit** → dichtes Deckgestein mit hoher Mächtigkeit, zusätzliche Speichermechanismen
- > **Tiefenlage** → > 1.000 m, stellt sicher dass CO₂ keinen Phasenübergang hat



Tiefe Saline Formationen (DSF)
(Synclinale/Flach)

ECBM / nichtförderbare Kohleflöze

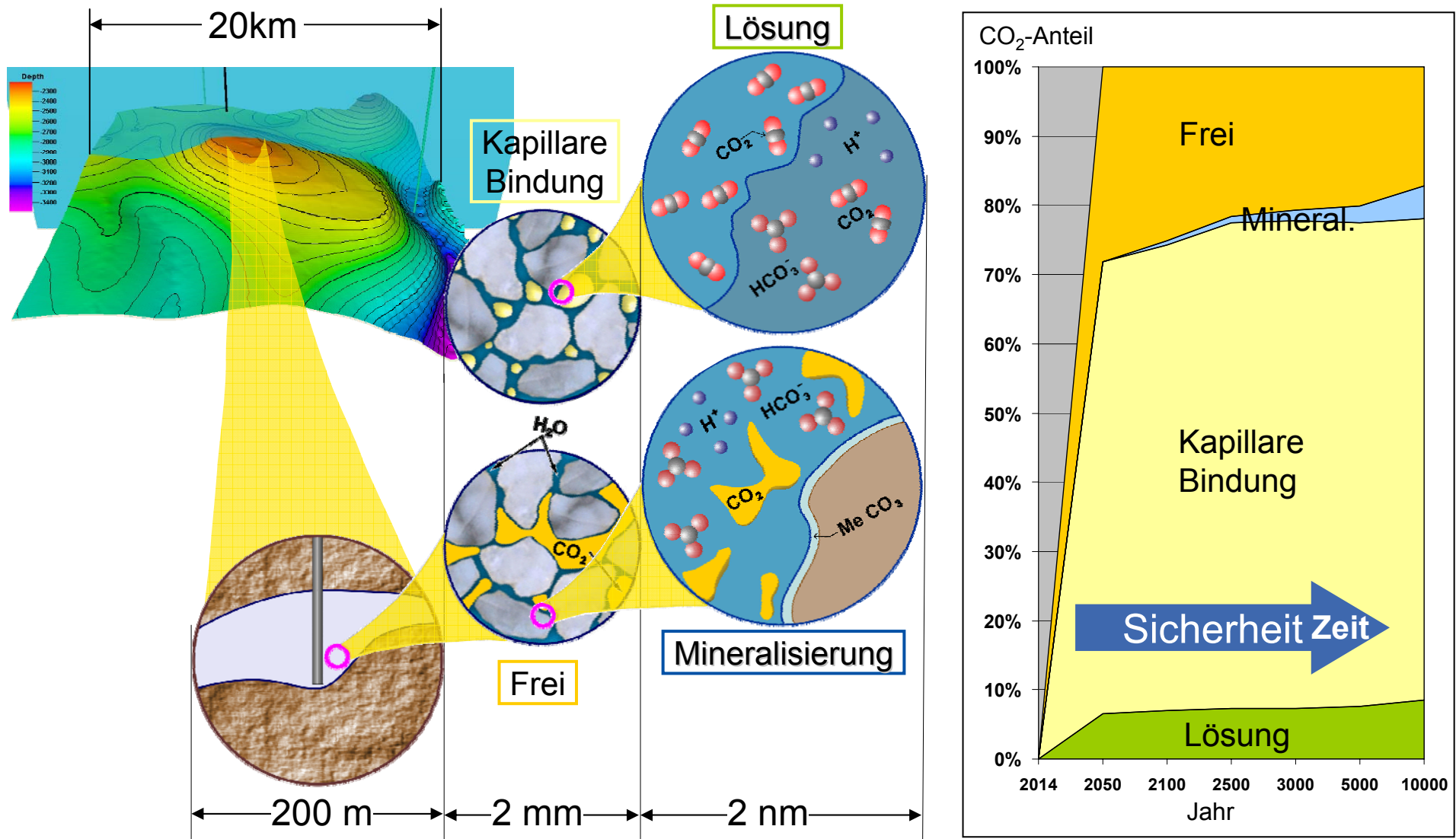
Ausgeförderte Öl und Gas Reservoirs

EOR / EGR

Tiefe Saline Formationen (Antiklinale)

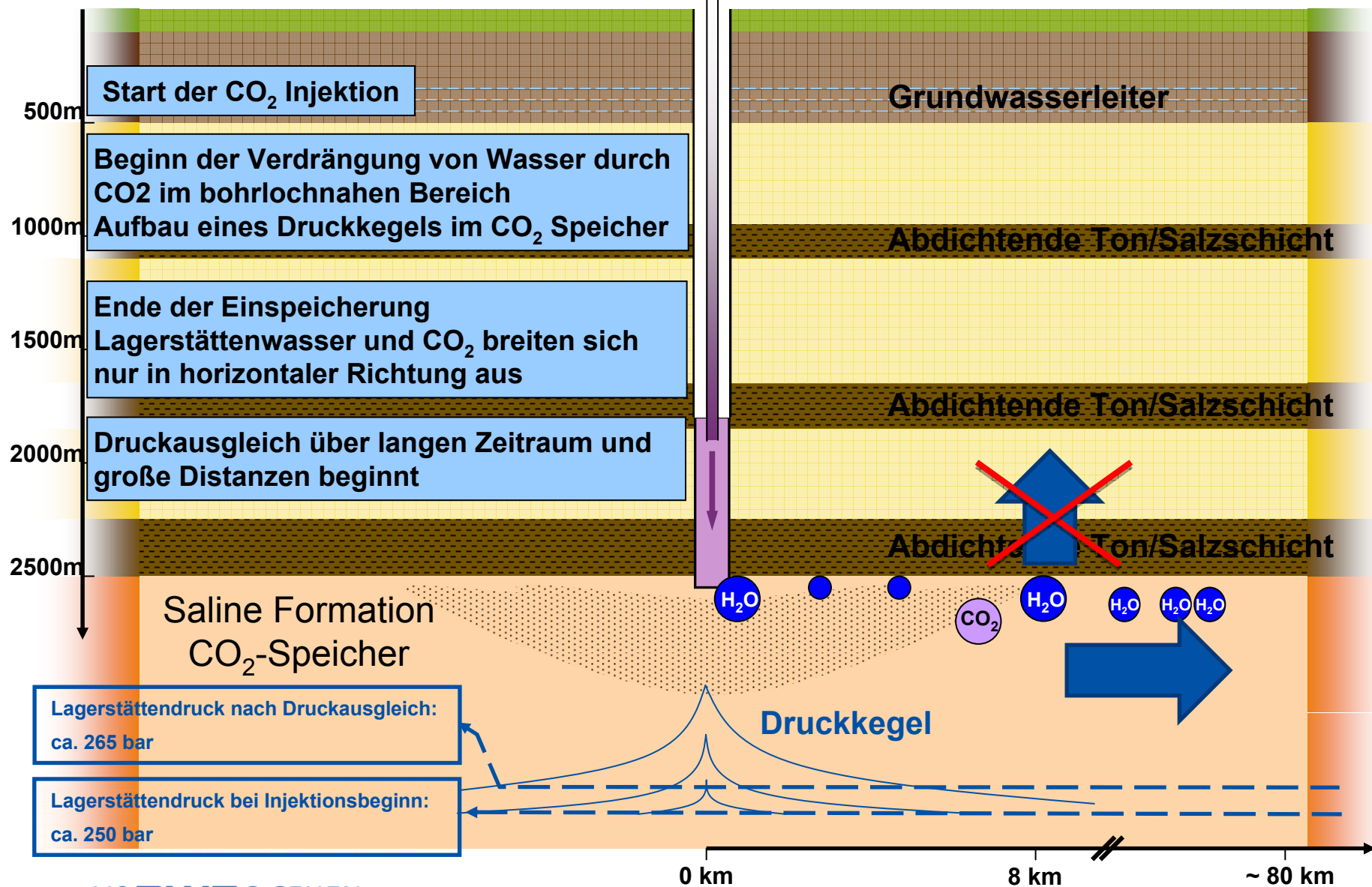
Quelle: IPCC (2005)

CO₂-Speicherung in tiefen salinen Formationen



CO₂ lässt sich langfristig sicher im Untergrund speichern, da der größte Anteil fixiert und so auch der Druck in der Lagerstätte abgebaut wird.

CO₂ Injektion in die Lagerstätte

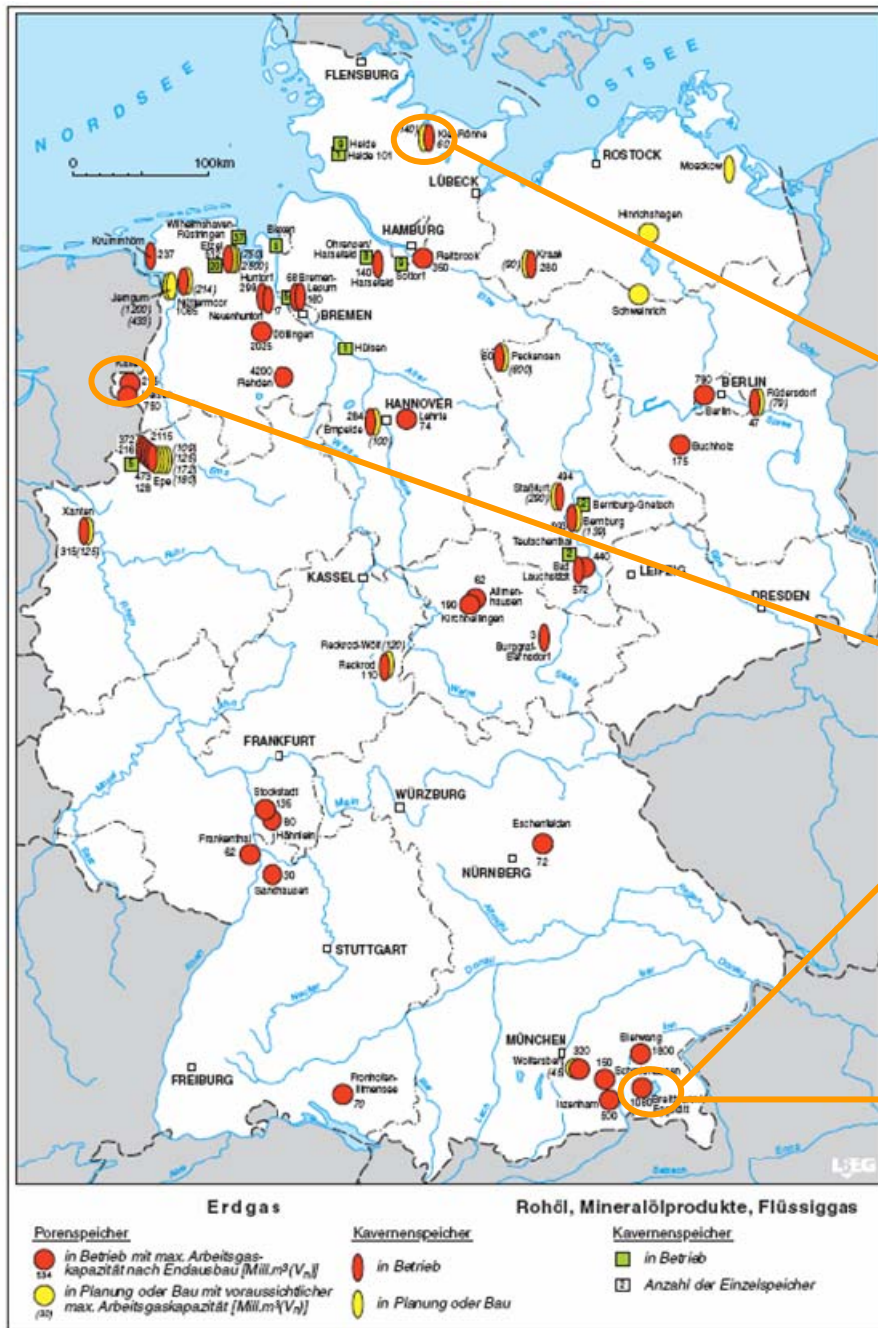


Porenspeicher und Kavernen werden in Deutschland bereits für Erdgas genutzt

Auch in Schleswig-Holstein werden bereits unterirdische Gasspeicher genutzt

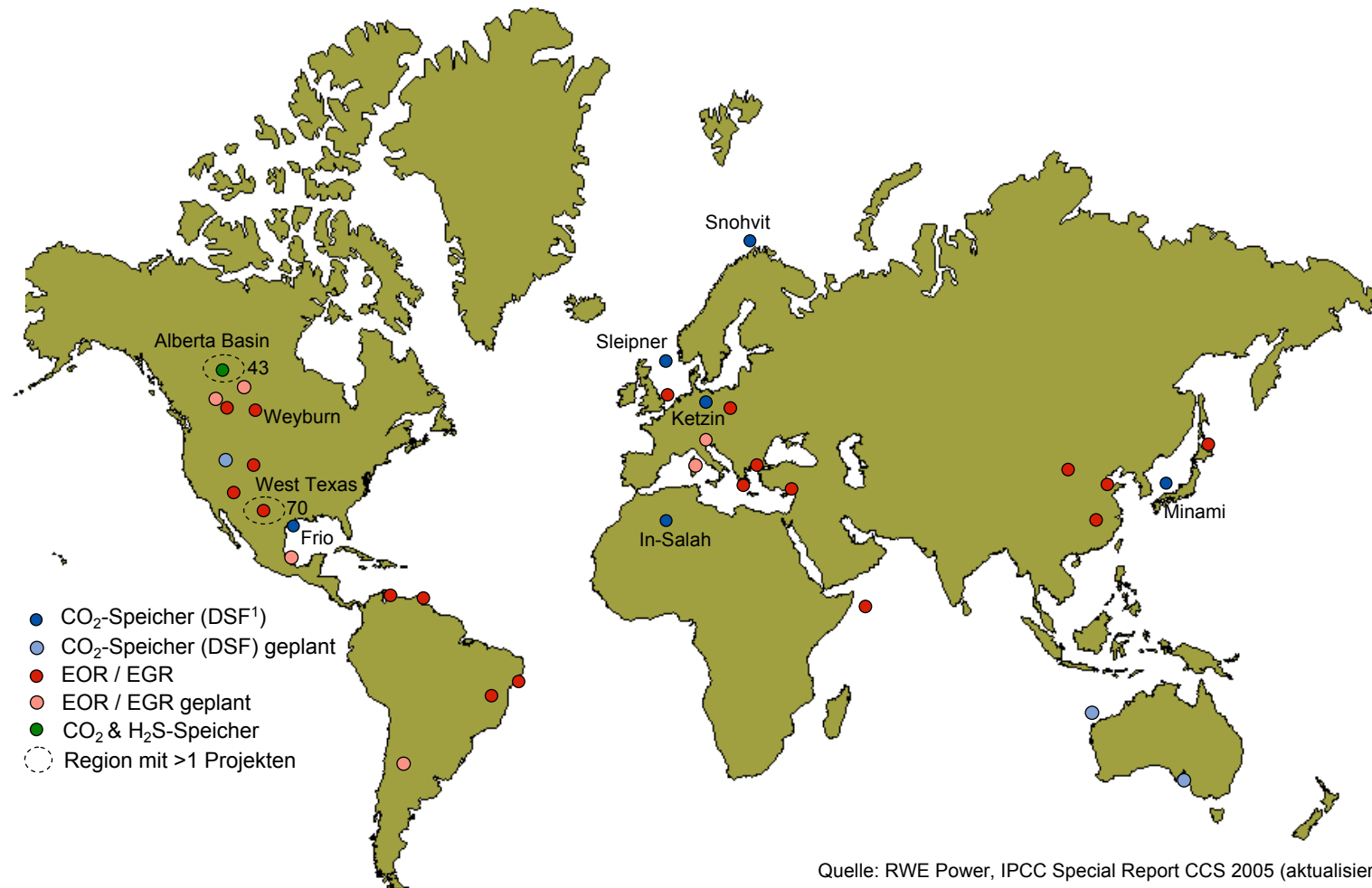
RWE besitzt umfangreiche Erfahrung mit dem sicheren Betrieb von Porenspeichern, wie sie auch für CO₂ vorgesehen sind

Unterirdische Gasspeicher werden auch in Feriengebieten ohne Probleme betrieben



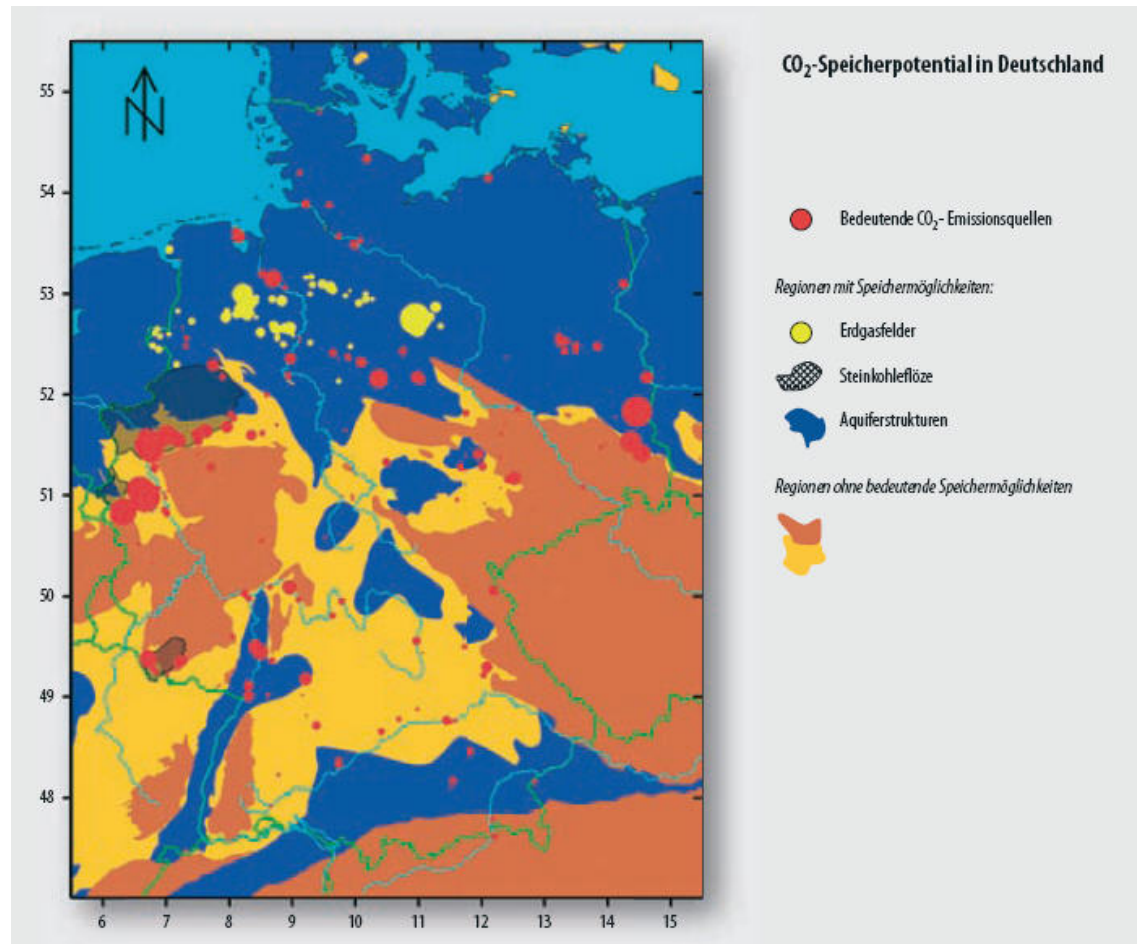
Weltweit werden derzeit Erfahrungen mit CO₂-Injektionen an über 100 Standorten gesammelt

Aktive und geplante CO₂-Speicherprojekte



Quelle: RWE Power, IPCC Special Report CCS 2005 (aktualisiert 2008)

Geografische Verteilung von CO₂-Speicherpotenzialen in Deutschland



Die BGR schätzt das Speicherpotential für Deutschland auf ca. 20 +/- 8 Gt. Es befindet sich vornehmlich in den nördlichen Bundesländern.

International anerkannte Wissenschaftler unterstützen CCS



„Ohne die Möglichkeit, CO₂ aus Kohlekraftwerken abzuscheiden und im Untergrund zu lagern, ist globaler Klimaschutz kaum möglich.“

Dr. Edenhofer, Ko-Vorsitzender der Arbeitsgruppe III des Weltklimarates (IPCC), 29.6.2009



„Ein ambitionierter internationaler Klimaschutz ist ohne Carbon Capture and Storage nicht möglich.“

Prof. Dr. Schellnhuber, Direktor des Potsdam-Institutes für Klimafolgenforschung, 23.1.2009



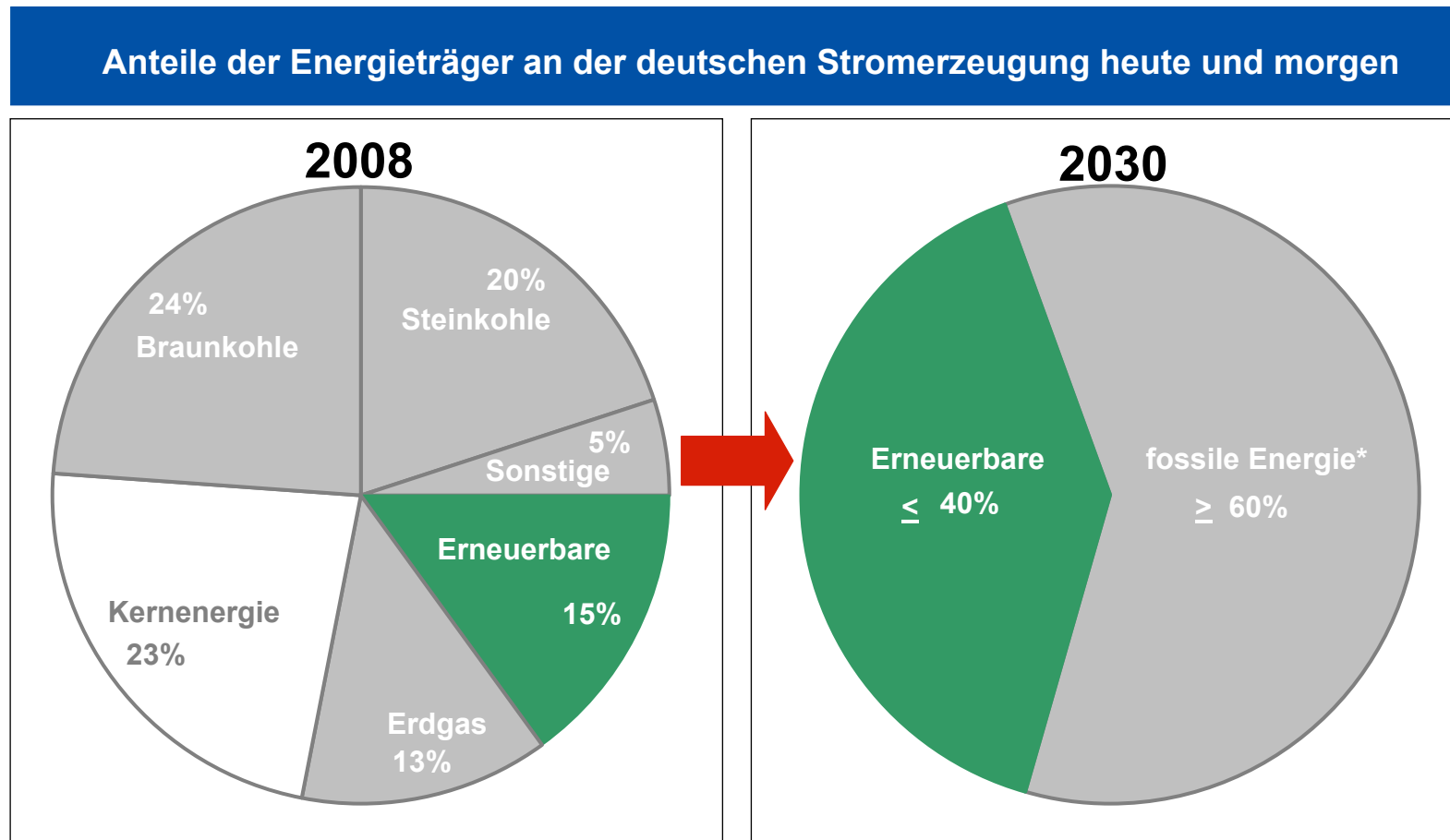
„Wer dies [die unterirdische Lagerung von CO₂] ablehnt, verhält sich klimapolitisch unverantwortlich.“

Dr. Matthes, Koordinator Energie und Klimaschutz im Öko-Institut, 2.7.2009



„Ich weiß, dass es einige Bereiche der Gesellschaft, einige Organisationen gibt, die glauben, dass CO₂-Abscheidung und -Speicherung auf gewisse Weise unethisch oder unmoralisch oder ungeeignet sind. Aber ich meine, dass dies ein sehr begrenzter Blickwinkel ist. Wenn wir uns der Herausforderung des Klimawandels stellen wollen, müssen wir meines Erachtens jede mögliche Maßnahme, jede mögliche Technologie, die wir hervorbringen können, so schnell wie möglich einsetzen, perfektionieren und kommerzialisieren.“ Dr. Pachauri, Vorsitzender des Weltklimarates (IPCC), 7.5.2008

Kohle wird auch in Deutschland noch viele Jahrzehnte unverzichtbar bleiben



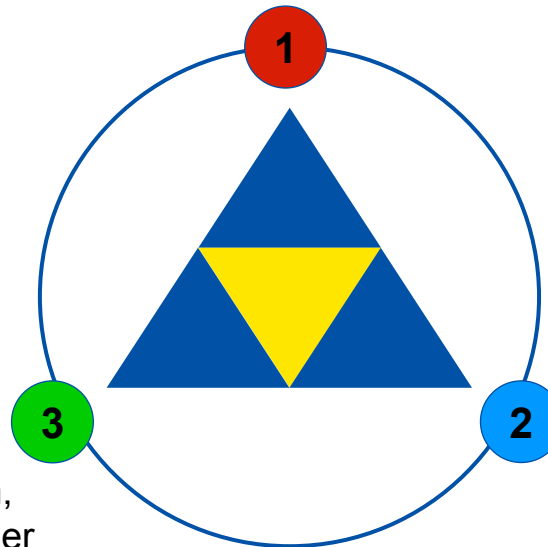
Alle Erzeugungstechnologien müssen sich an den Kriterien nachhaltiger Energieversorgung messen lassen

**Balance der energiepolitischen Ziele
ist das Kriterium für nachhaltige Energieversorgung**



Für eine klimafreundliche, sichere und wirtschaftliche Energieversorgung müssen drei Hebel gleichermaßen eingesetzt werden

CO₂-armer Strommix aus Erneuerbaren, Kohle mit CCS, Kernkraft und Gas



Verstärkter Einsatz von Strom, insbesondere bei Mobilität, aber auch bei Raumwärme und anderen Sektoren

Konsequente Ausschöpfung der wirtschaftlichen Effizienzpotentiale in allen Bereichen

Bei Umsetzung aller Aspekte ist Senkung der CO₂-Emissionen in der Stromerzeugung von 80%* bis 2050 möglich

- > Verdreifachung der Windkraftkapazität (insb. Repowering und Offshore)



- > Modernisierung und Umstellung der Kohleverstromung auf CCS

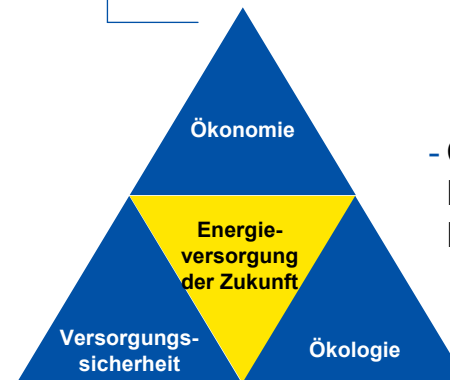


- > Laufzeitverlängerung (und später Ersatz) von Kernkraftwerken



* gegenüber 1990

- Kostengünstige Kohle und Kernkraft
- Windenergie bei den erneuerbaren Energien mit dem größten Potential



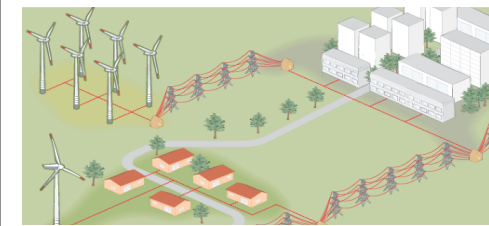
- CCS, Kernenergie und Erneuerbare sind CO₂-arme Erzeugungsoptionen

- Kohle und Uran sicher und langfristig verfügbar
- Fluktuierende Einspeisung der erneuerbaren Energien in das System verbessert

Drei gleichberechtigte Säulen einer nachhaltigen Stromerzeugung



- > Erneuerbare Energien sind von den Preisschwankungen der internationalen Primärenergiemärkte nicht betroffen
- > Unerschöpfliche Energiequelle
- > Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit verbessern sich



Onshore-Anlage mit Netzeinspeisung



- > Braunkohle ist die wichtigste heimische Energieressource in Deutschland
- > Im Wettbewerb bewährt, grundlastfähig und kostenstabil
- > Sehr langfristig verfügbar

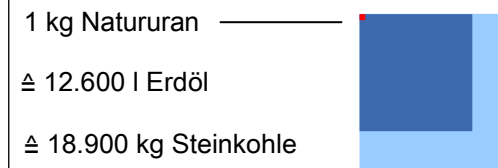
Statische Reichweite Braunkohlenreserven

geologisch	> 400 Jahre
Wirtschaftl. gewinnbar	> 200 Jahre
Genehmigt + erschlossen	~ 40 Jahre

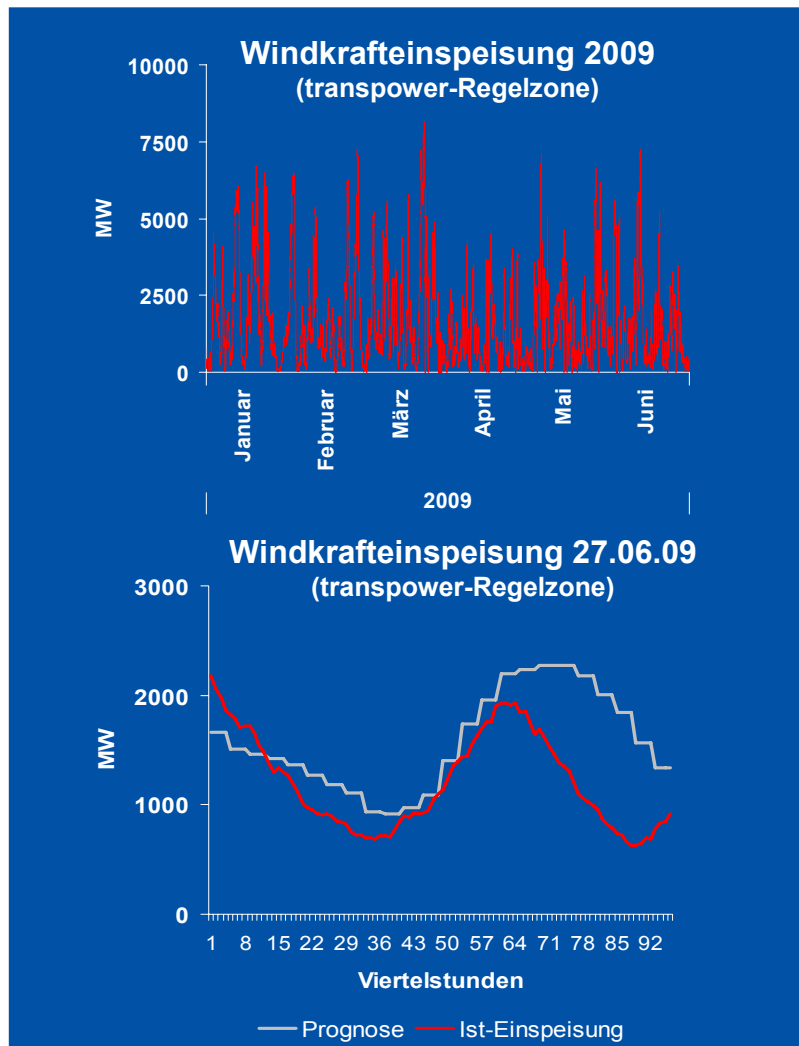


- > Brennstoffbedarf gering aufgrund hoher Energiedichte
- > Förderregionen politisch stabil, Reichweite Uran > 200 Jahre
- > Sehr geringer Anteil der Brennstoffkosten an den Erzeugungskosten (3-5%)

Energiedichte Uran



Erneuerbare Energien und Kohlenkraftwerke harmonisieren



Problem: Windkraft ist extrem volatil und nicht präzise vorhersagbar

Lösung:

① Innovative Speicher

z.B. Elektromobilität



z.B. Druckluftspeicher



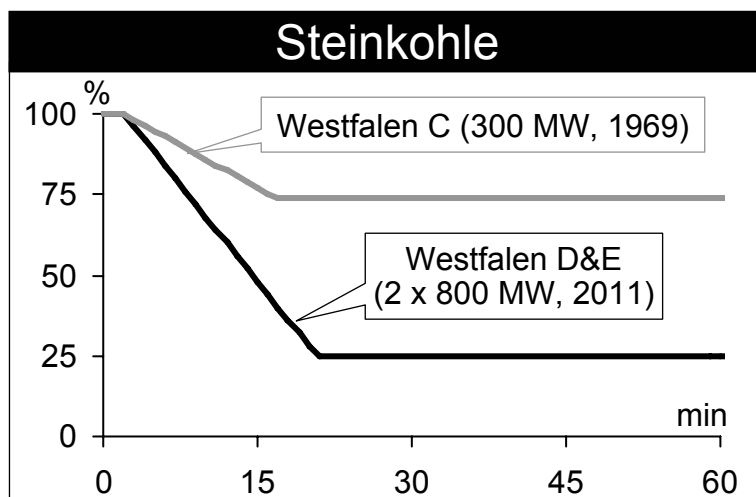
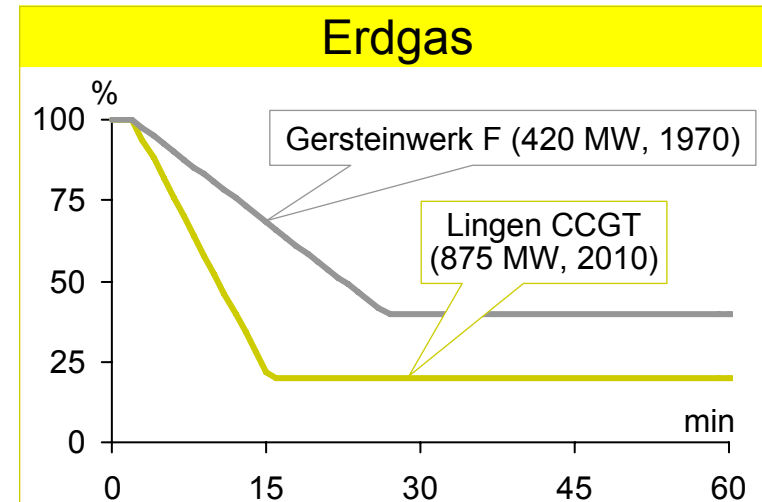
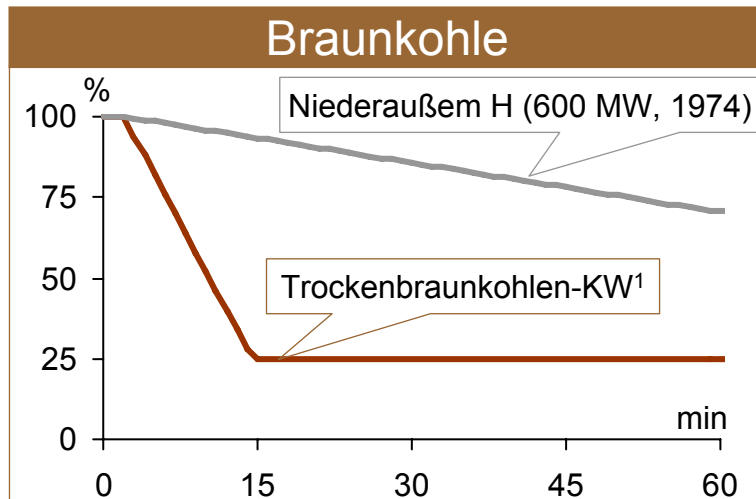
② Flexiblere Kohlekraftwerke IGCC-CCS

Kohlekraftwerke sind flexibler als man oft denkt. Durch IGCC können sie noch regelfähiger werden!



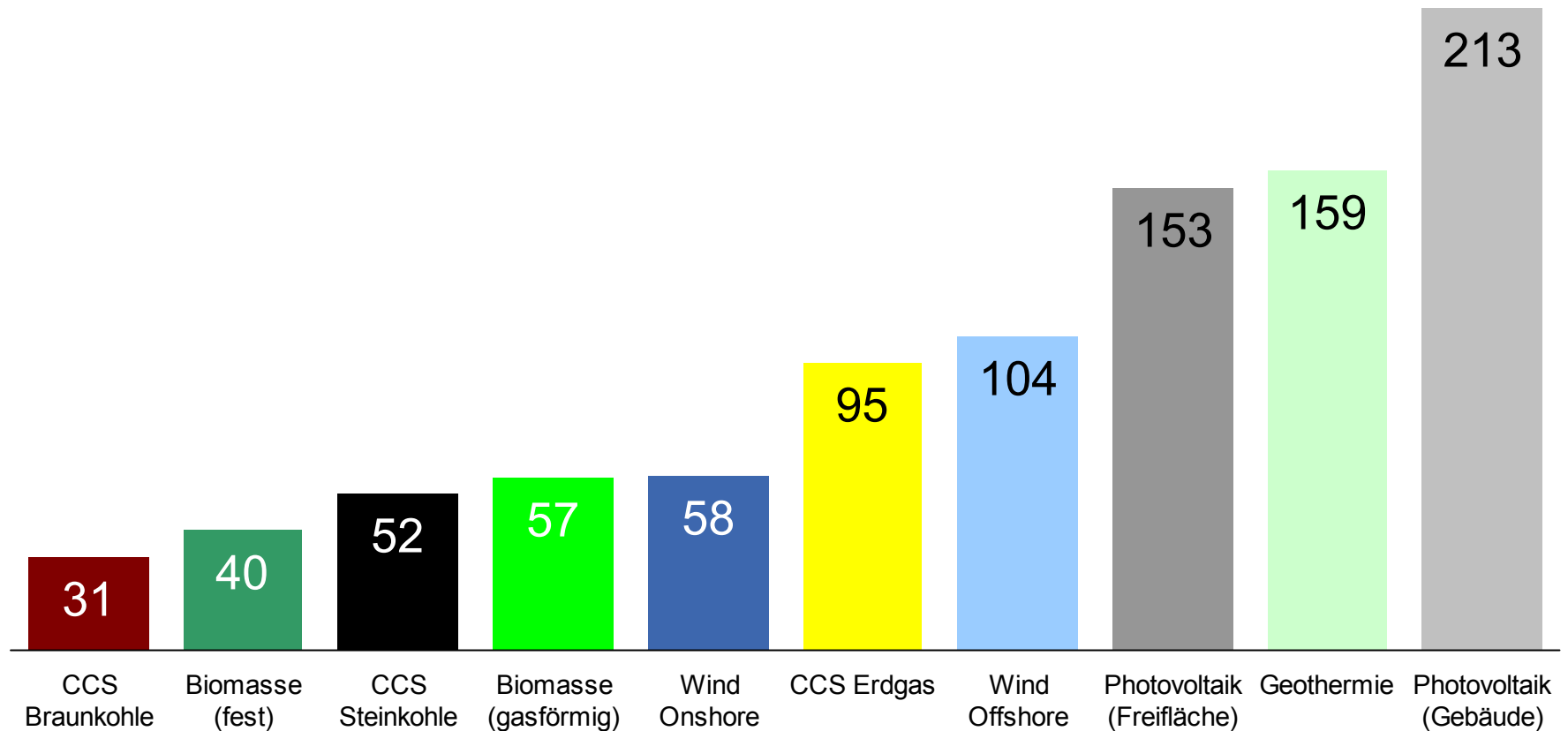
Neue Kohlekraftwerke können Wind- und Solarenergie besser integrieren

Lastrampen älterer und neuer Anlagen im Vergleich (gilt für An- und Abfahrvorgänge)



- > Neue Braun- und Steinkohlekraftwerke zeigen nahezu gleiche Einsatzflexibilität wie neue GuD-Kraftwerke.
- > Flexible Anlagen können durch schnellere An- und Abfahrvorgänge auf Lastschwankungen reagieren.
- > In Stunden hoher Lastunterschiede entsteht am Markt eine Preisamplitude, die einen flexiblen Einsatz auch bei neuen Kohlekraftwerken vorteilhaft macht.

CO₂-Vermeidungskosten 2020 für Technologien zur Stromerzeugung aus gesamtwirtschaftlicher Sicht in EUR/t CO₂

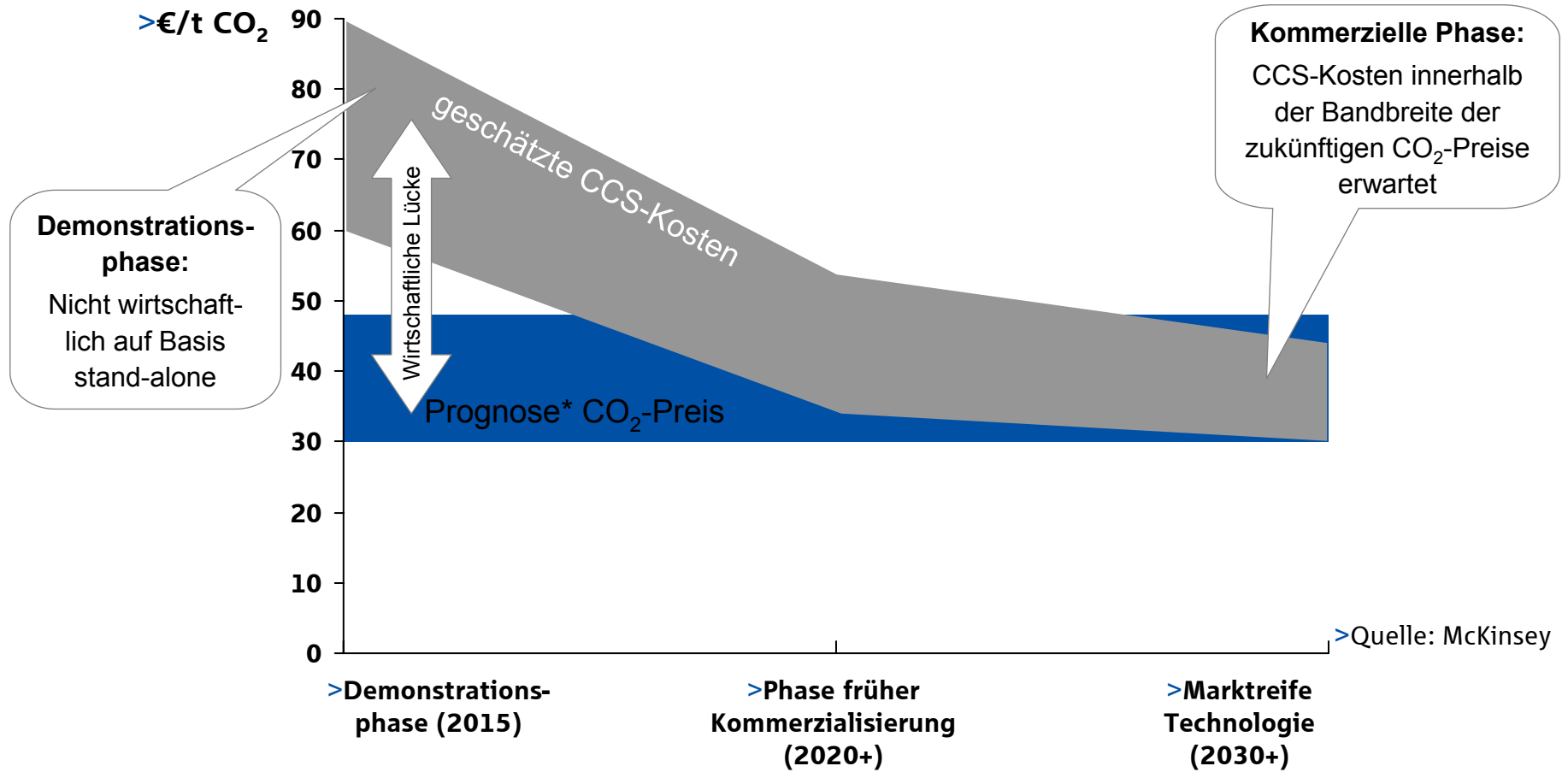


Quelle: McKinsey & Company, Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland, Sektorspektive Energie, Berlin im September 2007, S. 48 und 55

Ökonomische Effekte der Einführung von CCS

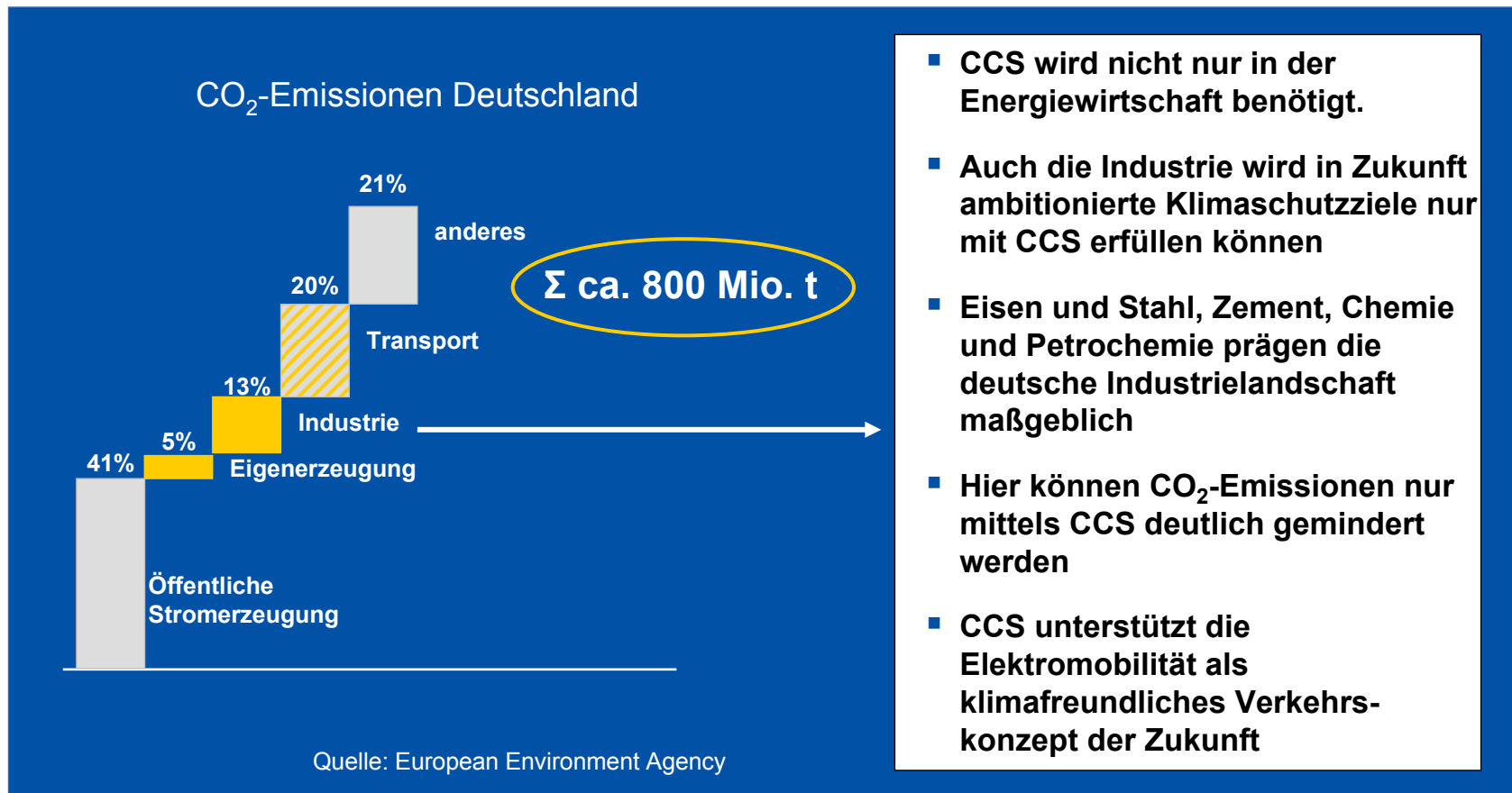
Merkmal	Unterschiede zwischen dem Szenario „mit CCS“ und dem Referenzszenario „ohne CCS“ bei identischer CO ₂ -Reduktion in der Stromerzeugung um 50 % bis 2030	
	rückläufiger Stromverbrauch (Variante 1)	konstanter Stromverbrauch (Variante 2)
Veränderungen im Kraftwerkspark 2020 bis 2030	weniger Gaskraftwerke - mehr Kohlekraftwerke mit CCS	
Ausgaben für importierte Brennstoffe 2016 bis 2030	Reduzierung um 28,6 Mrd. €	Reduzierung um 37,4 Mrd. €
Großhandelspreis für Strom im Jahr 2030	- 17 %	- 22 %
Ökonomischer Vorteil des Strompreiseffekts bis 2030	52 Mrd. €	66 Mrd. €
Auswirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt 2016 bis 2030	+ 100 Mrd. €	+ 145 Mrd. €
Zahl der Erwerbstätigen im Durchschnitt der Jahre 2016 bis 2030	+ 45.500	+ 66.000

Wirtschaftlichkeit von CCS im CO₂-Emissionsrechtehandel



* CO₂-Preise für 2015 basierend auf 2008-15 Prognosen von Deutsche Bank, New Carbon Finance, Soc Gen, UBS, Point Carbon, später als konstant angenommen

Ohne CCS wird Deutschland kaum ein Industriestandort bleiben können



CCS bietet Zukunftschancen auch für die energieintensive Industrie

Industrielle CO₂-Emissionen beispielhaft aus Schleswig-Holstein (2008)



Kraftwerke und industrielle Feuerungsanlagen

5,2 Mio. Tonnen



Zementfabriken

Holcim Lägerdorf
ca. 450 Beschäftigte

1,1 Mio. Tonnen



Raffinerien

Raffinerie Heide
ca. 500 Beschäftigte

0,6 Mio. Tonnen

Auch diese CO₂-Emissionen müssen in Zukunft durch CCS vermieden werden!

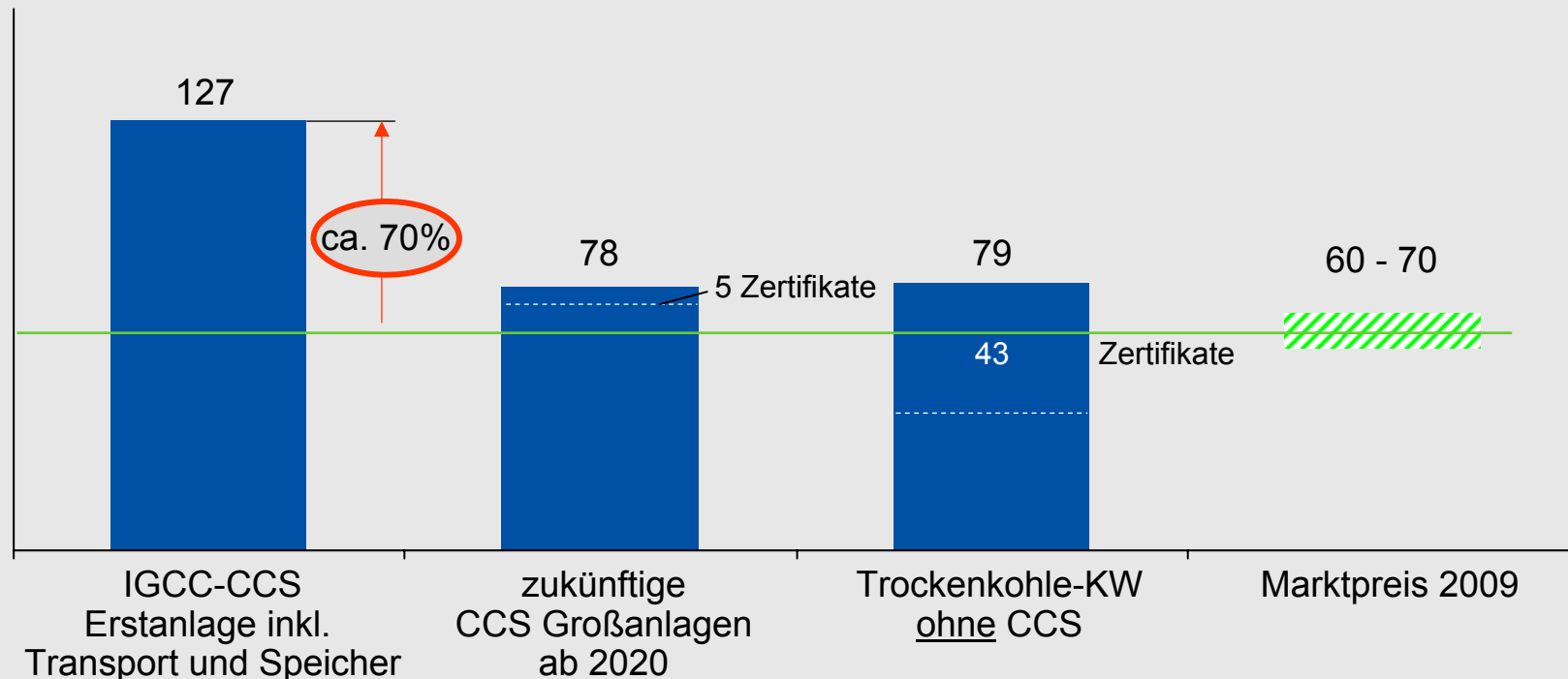
Fazit: Im klimafreundlichen Energiemix der Zukunft ist CCS unentbehrlich

- CCS ist unerlässlich, um gefährlichen Klimawandel zu vermeiden
- Alle klimafreundlichen Technologien zur Stromerzeugung müssen vorurteilslos entwickelbar sein, damit unsere Energieversorgung nachhaltig bleibt
- Erneuerbare Energien und Kohlenkraftwerke ergänzen sich
- CCS ist neben der Anwendung in Kraftwerken eine Zukunftstechnologie für Deutschland und Schleswig-Holstein

Back-up

Wirtschaftliche Perspektiven von CCS

Stromerzeugungskosten in €/MWh*
(EEO base case, 8% Kapitalverzinsung)



*) Finanzmathematische Durchschnittskosten in heutigem Geldwert (Stand 2008)

- Kommerzielle IGCC-CCS Folgeanlagen können aus heutiger Sicht wettbewerbsfähig sein gegenüber modernen BK-Kraftwerken ohne CCS (TBK).
- Die zusätzlichen Kosten der „first-of-its-kind“ IGCC-CCS-Anlage und die Risiken erfordern die Förderung durch die EU und nationale Regierungen.