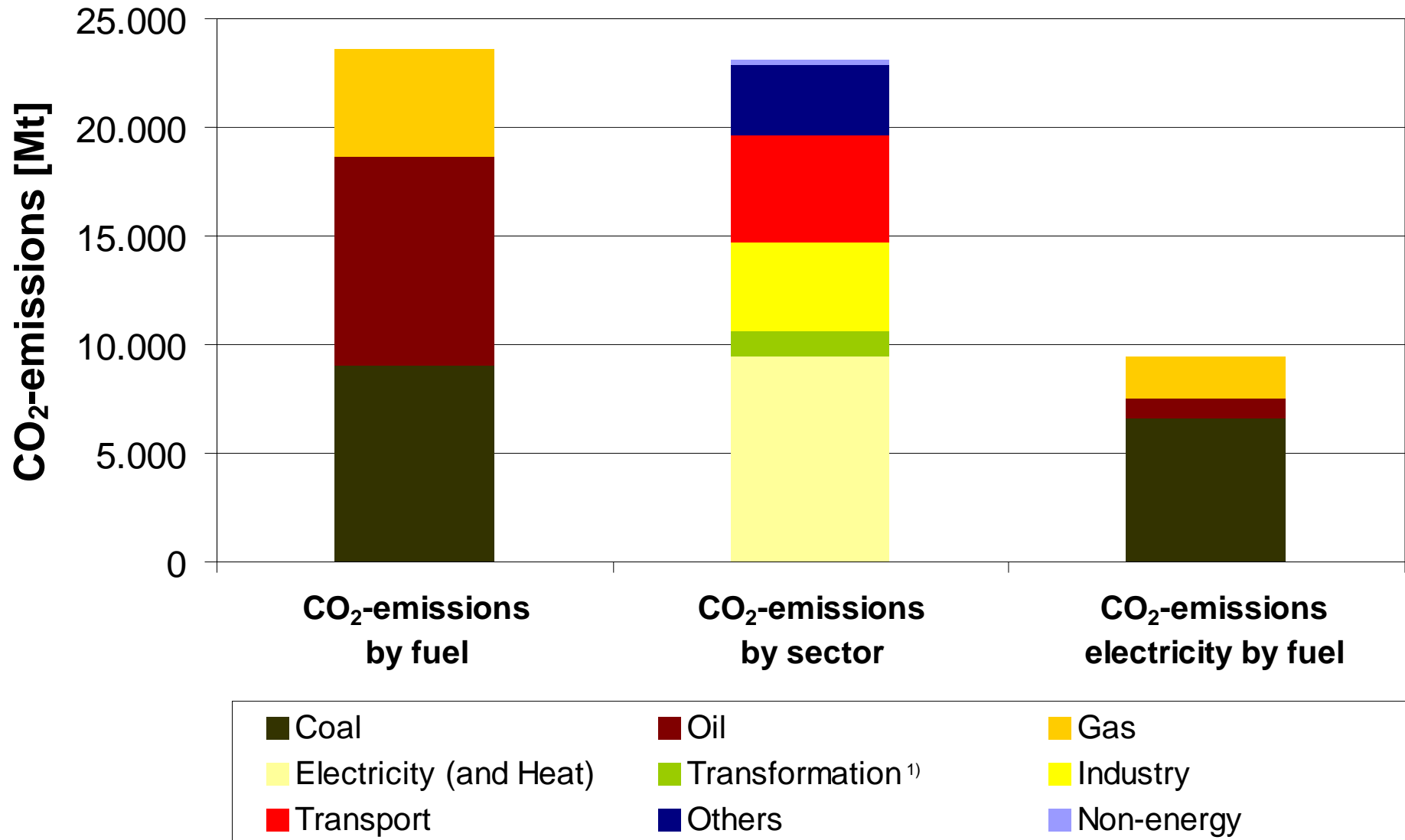


Wege zum CO₂-freien Kohlekraftwerk

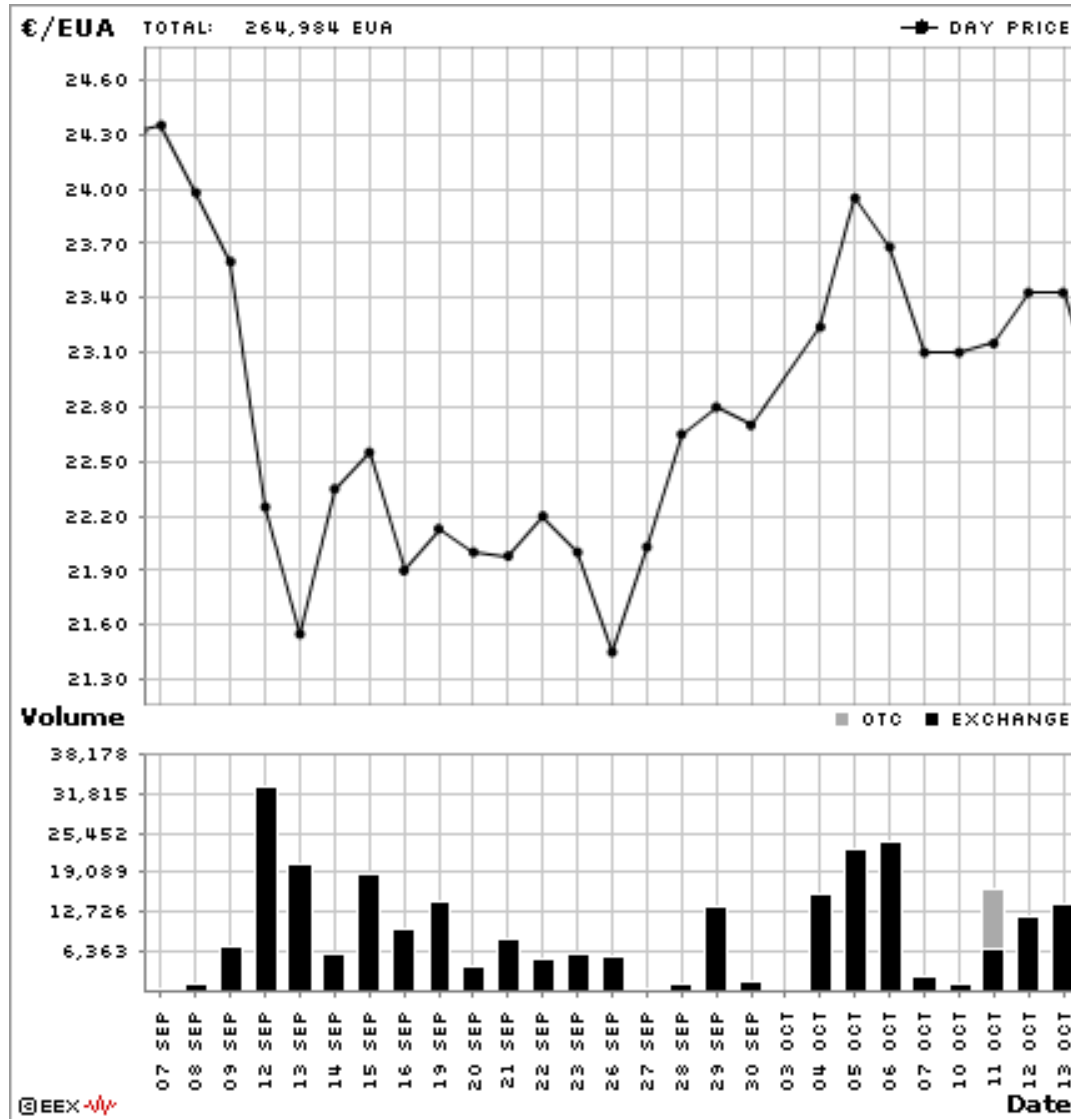
Prof. Dr. Günter Scheffknecht

CO₂-Emissionen weltweit (2002)



Emissionshandel an der EEX

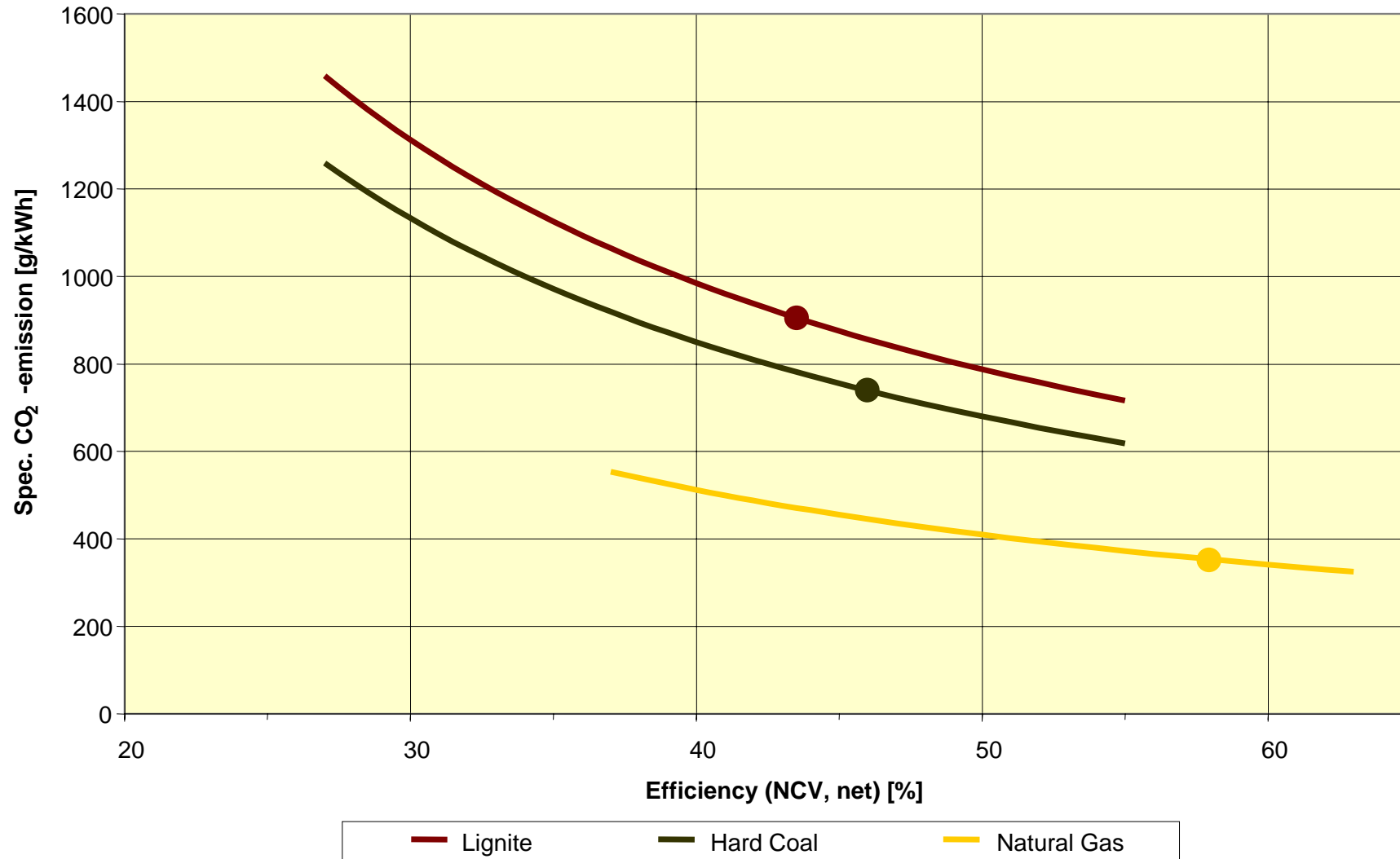
Zeitraum 7. Sep. – 13. Okt. 2005



CO₂-Emissionen weltweit aus der Stromerzeugung – Schlußfolgerungen für heute

- Bei unverändertem Primärenergiemix lassen sich die CO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung heute am wirkungsvollsten durch eine forcierte Effizienzsteigerung der Kohlekraftwerke reduzieren (bzw. der Anstieg lässt sich verlangsamen)
- Der mittlere Bruttowirkungsgrad aller Kohlekraftwerke beträgt im Bezugsjahr 2002 32 %
- Dies liegt weit hinter den technischen Möglichkeiten heutiger hocheffizienter Kohlekraftwerke

CO₂-Emissionen als Funktion von Brennstoff und Wirkungsgrad



- Weltweit stark steigender Energie- und Stromverbrauch
- CO₂-Pönalisierung durch Emission Trading angelaufen
- Heute mangelnde technologische Alternativen einer umfassenden CO₂-freien Stromerzeugung
- und morgen?

Übersicht über Projekte mit CO₂-Abscheidung am IVD

Oxyfuel-Projekte

- ENCAP (IP)
CO₂-Abscheidung vor der Verbrennung (Oxyfuel, IGCC)
- ASSOCOCS (RFCS)
Oxyfuel
- Oxymod (RFCS)
Numerische Simulation der Sauerstoffverbrennung

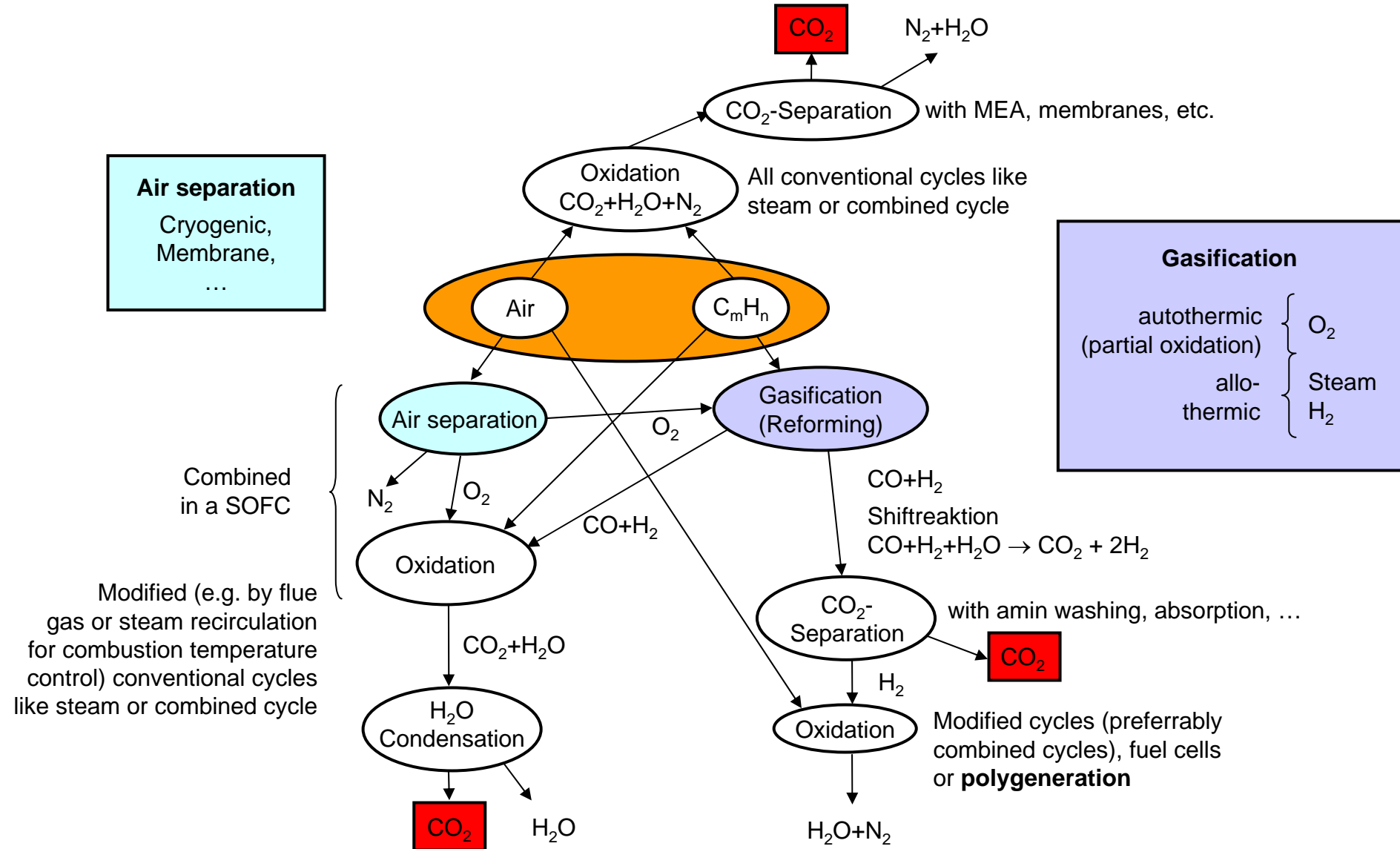
Lime-Enhanced-Gasification-Projekte

- C2H (RFCS)
LEGS für Braunkohle mit hohem Feuchtigkeitsgehalt
Koordination IVD
- ISCC (STREP)
LEGS mit Braunkohle: Fokus Kalzinierung mit Sauerstoff
Koordination IVD
- AER-Gas (STREP)
LEGS mit Biomasse
Koordination ZSW
- C3-Capture (STREP)
CO₂-Abscheidung durch Absorption mit Kalkstein
- AER-GAS II (STREP)
LEGS mit Biomasse Großversuch

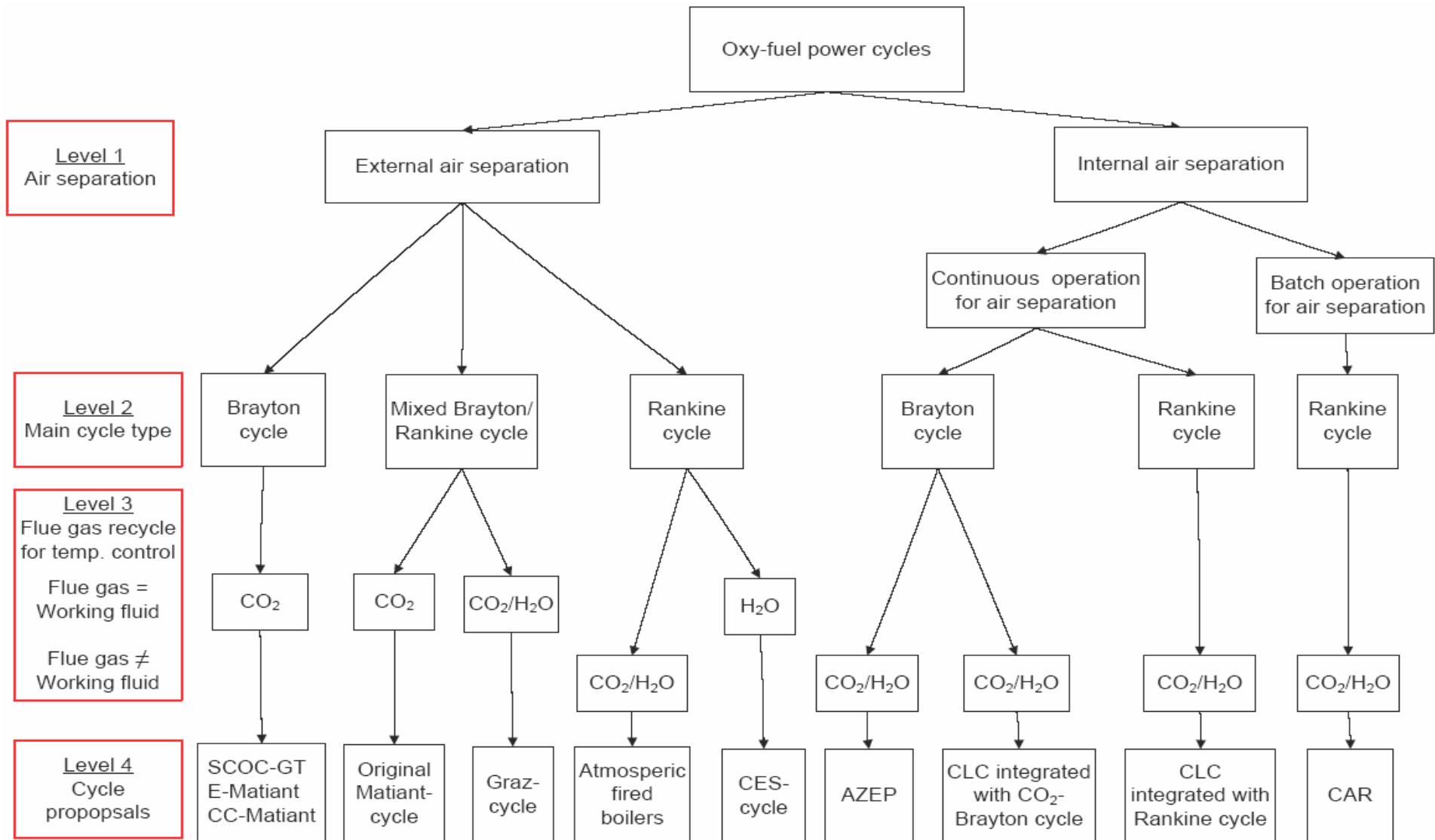
Post-Combustion-Projekt(e)

- CASTOR (IP)
CO₂-Abscheidung nach der Verbrennung
- ...

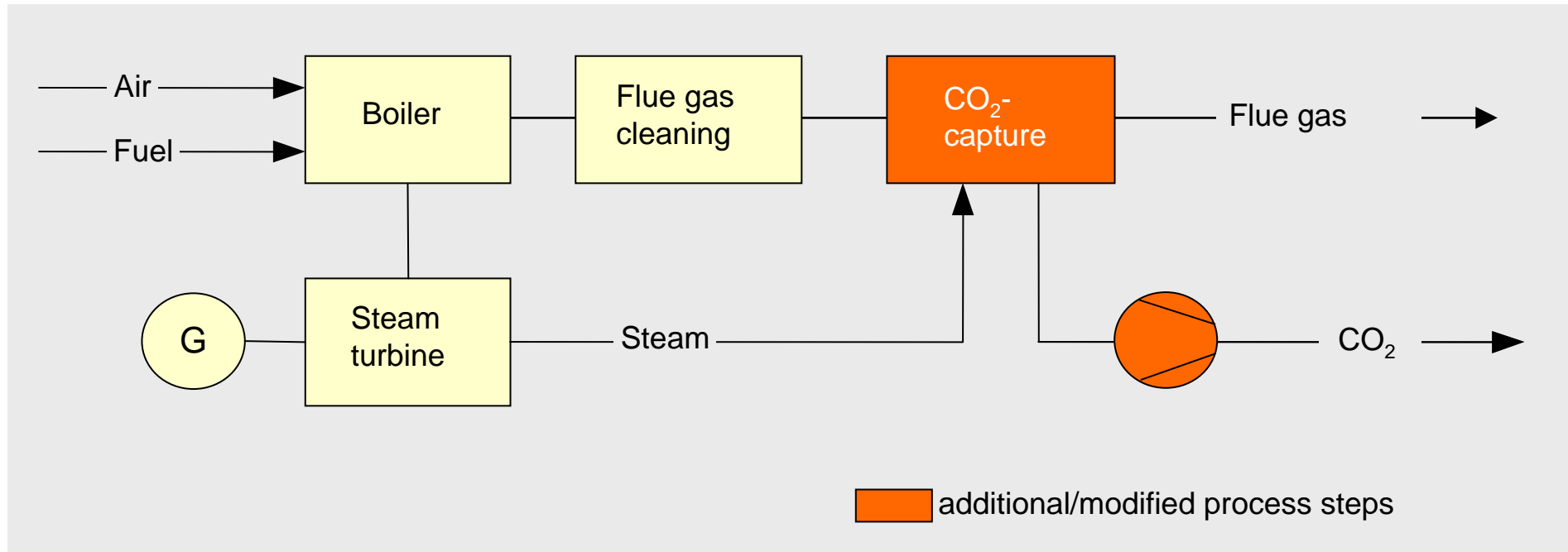
CO₂-Abscheidemöglichkeiten bei der Konversion von Kohlenwasserstoffen



Systematik von Oxyfuel-Prozessen



CO₂-Abscheidung nach der Verbrennung

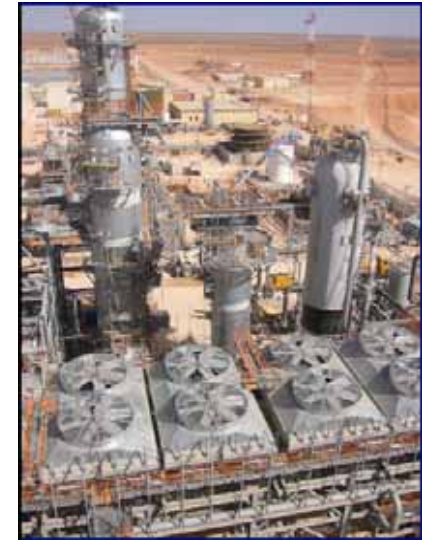


Entwicklungsbedarf:

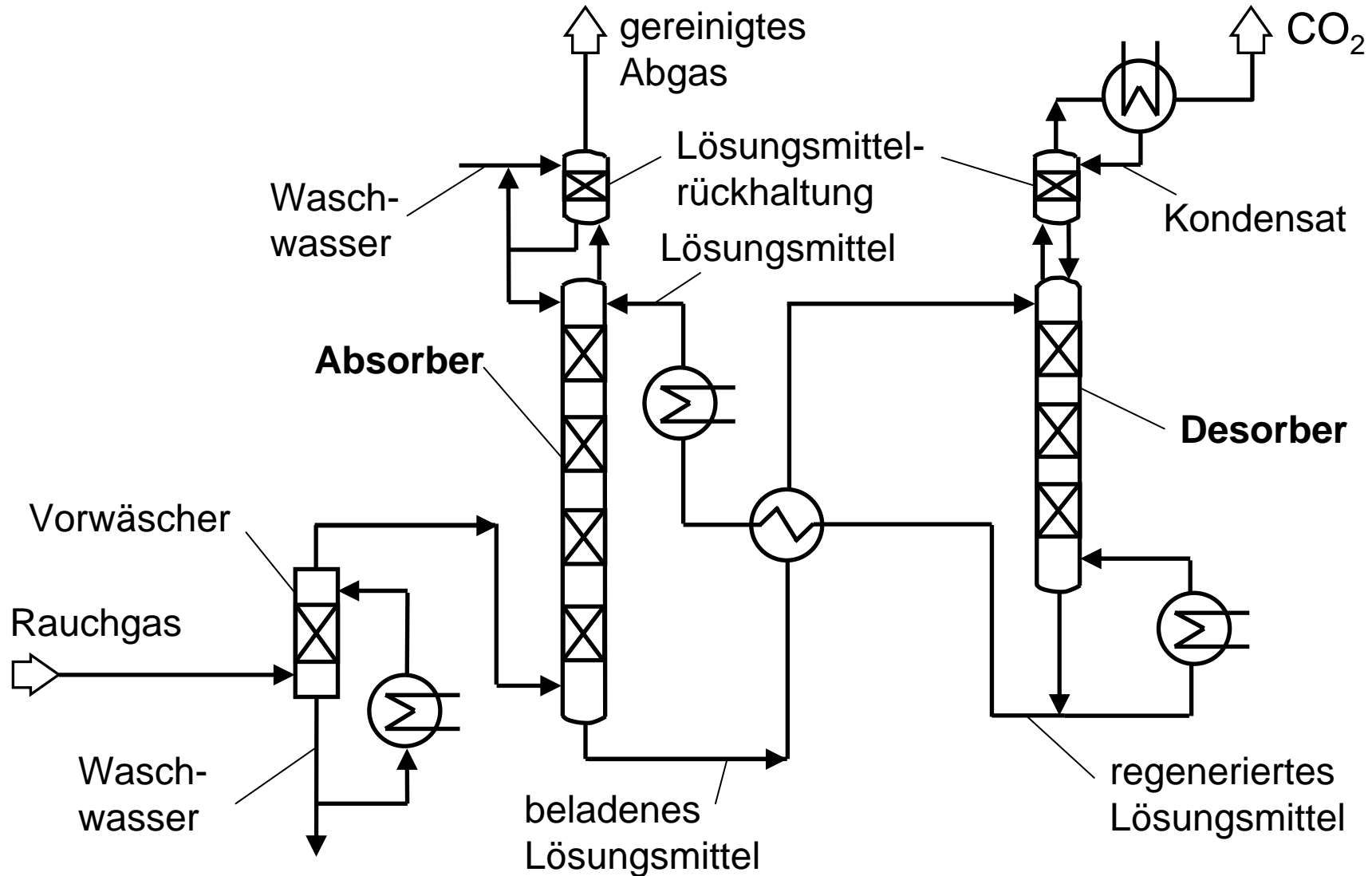
- langfristiges Lösungsmittel- und Werkstoffverhalten
- Einfluß von Spurenelementen
- Versuchsbetrieb mit Pilot- und Demonstrationsanlagen

Chemische Absorption von CO₂

- Hoher Entwicklungsstand
- Großtechnische Erfahrung:
 - chemische Industrie (u.a. Erdgasreinigung)
 - Rauchgasreinigung
- Kommerziell verfügbar
- Geeignet für Reinigung extrem großer Ströme
- Abscheidegrad CO₂: 85 – 95 %
- Hohe Reinheit CO₂
(food grade erreichbar)



CO₂-Abtrennung durch Absorption / Desorption



IP CASTOR

Konsortiumsmitglieder

R&D

IFP (FR)
TNO (NL)
SINTEF (NO)
NTNU (NO)
BGS (UK)
BGR (DE)
BRGM (FR)
GEUS (DK)
IMPERIAL (UK)
OGS (IT)
TWENTE U. (NL)
STUTTGARTT U. (DE)

Oil & Gas

STATOIL (NO)
GDF (FR)
REPSOL (SP)
ENITecnologie (IT)
ROHOEL (AT)

Power Companies

VATTENFALL (SE)
ELSAM (DK)
ENERGI E2 (DK)
RWE (DE)
PPC (GR)
E.ON-UK (UK)

Manufacturers

ALSTOM POWER (FR)
MITSUI BABCOCK (UK)
SIEMENS (DE)
BASF (DE)
GVS (IT)

Co-ordinator: IFP

Chair of the Executive Board: Statoil

IP CASTOR

Projektdaten

- Budget: 15.8 M€
- EU funding: 8.5 M€
- Industrial funding: 2.2 M€
- Internal funding: 5.1 M€
- Duration: 4 years (2004-2008)
- 30 partners from 11 European countries

IP CASTOR

Subprojects

Strategy for CO₂ Reduction

WP1.1 Development of CO₂ reduction strategies

WP1.2 Geological storage options for CO₂ reduction strategy

Budget: 0,9 M€

Management Dissemination

WP0.1 Project Management

WP0.2 Dissemination & Training

Budget: 0,75 M€

CO₂ Post-Combustion Capture

WP2.1 Evaluation, optimisation & integration of post-combustion capture processes

WP2.2 Identification of most promising liquids

WP2.3 Designed of membrane based processes

WP2.4 Advanced processes

WP2.5 Process validation in pilot plant

Budget: 10,3 M€

CO₂ storage performance & risk assessment studies

WP3.1 Field case "Casablanca"

WP3.2 Field case "Lindach"

WP3.3 Field case "K13b"

WP3.4 Field case "Snohvit"

WP3.5 Preventive & corrective actions

WP3.6 Criteria for site selection and site management

Budget: 3,8 M€

IP CASTOR

Experimente zur Lösungsmittelauswahl



Degradation set up
Stuttgart Uni.

Miniplant
Stuttgart Uni.



Equilibrium Apparatus
SINTEF/NTNU



Corrosion test cell
IFP



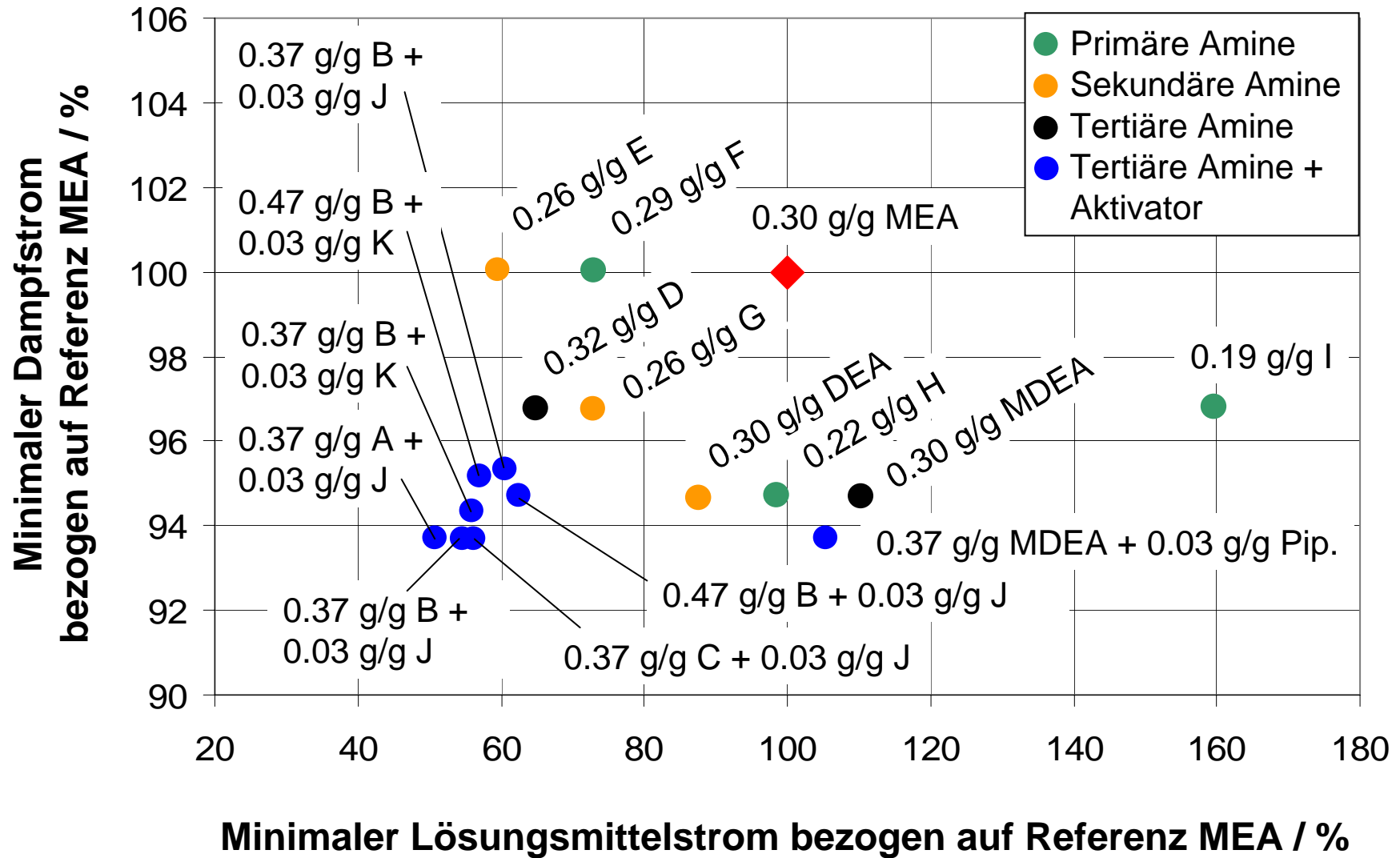
IP CASTOR

Pilotanlage Esbjerg

- Start Testbetrieb Anfang 2006
- Kapazität 1t/h CO₂ bzw. 5000 m³/h i.N. Rauchgas
- Höhe Absorber ca. 40m



Ergebnisse Thermodynamisches Screening



Bedingungen im Absorber-Desorber-Kreislauf:

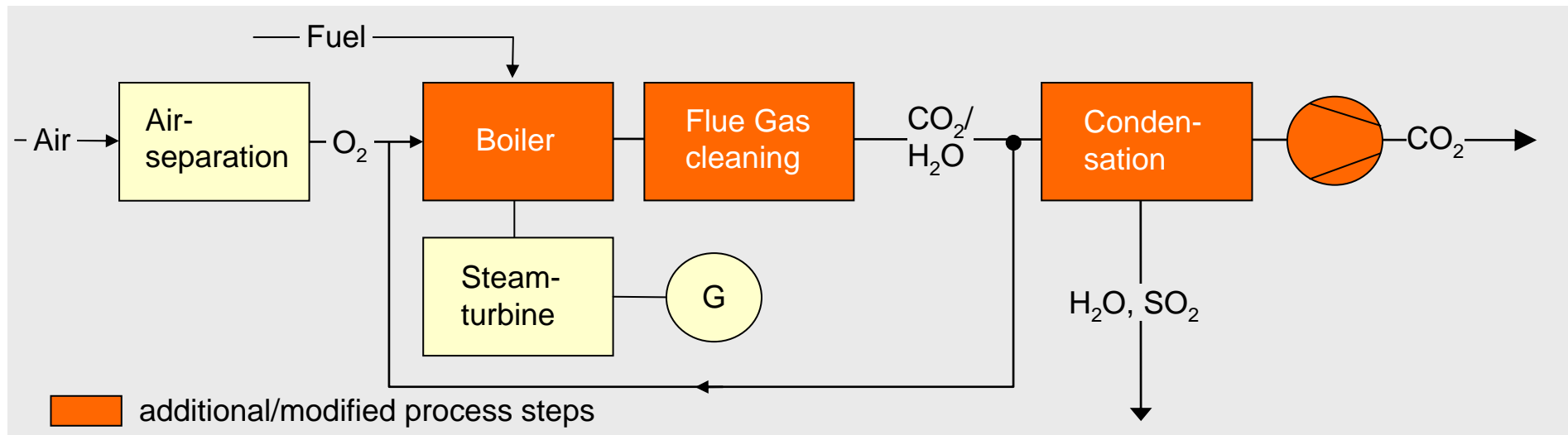
Absorber	T↓	O ₂	NO ₂	SO ₂	CO ₂
Desorber	T↑	(O ₂)	(NO ₂)	(SO ₂)	CO ₂

Degradationsmechanismen:

- Oxidative Degradation
- Reaktion mit sauren Gasen (NO₂ bzw. SO₂)
- Nebenreaktionen mit CO₂
- Thermische Degradation

CO₂-Abscheidung vor der Verbrennung

Stickstoffentfernung vor der Verbrennung

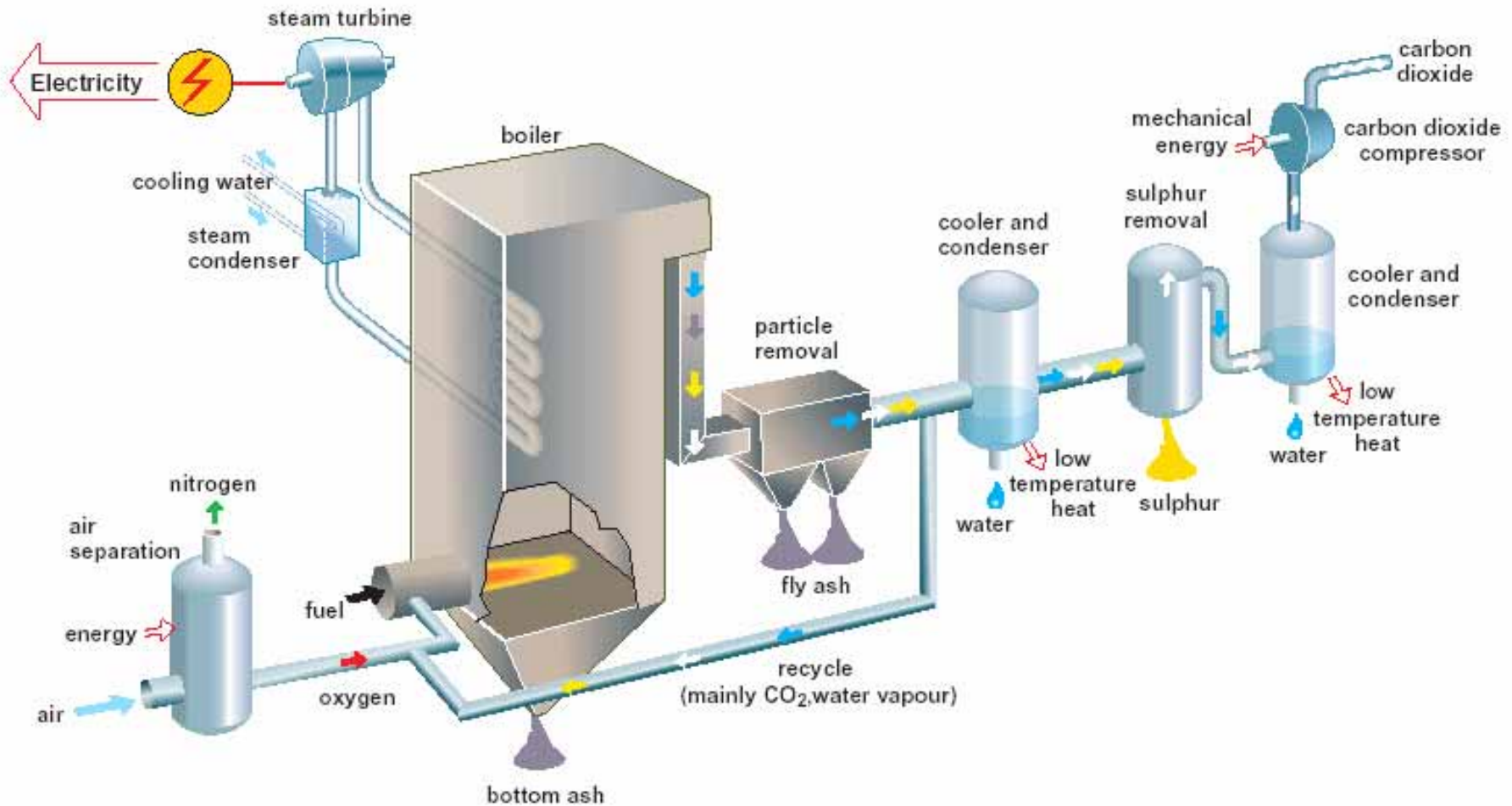


Entwicklungsbedarf:

- Angepasste Luftzerlegungstechnologie
- Verbrennungsverhalten in O₂/CO₂-Atmosphäre, Einfluß auf Wärmeübergang und Verschmutzung
- Rauchgasreinigung, Wasserkondensation und Nachbehandlung
- Versuchsbetrieb mit Pilot- und Demonstrationsanlagen

Oxyfuel Prozess

O₂/CO₂ recycle (oxyfuel) combustion capture



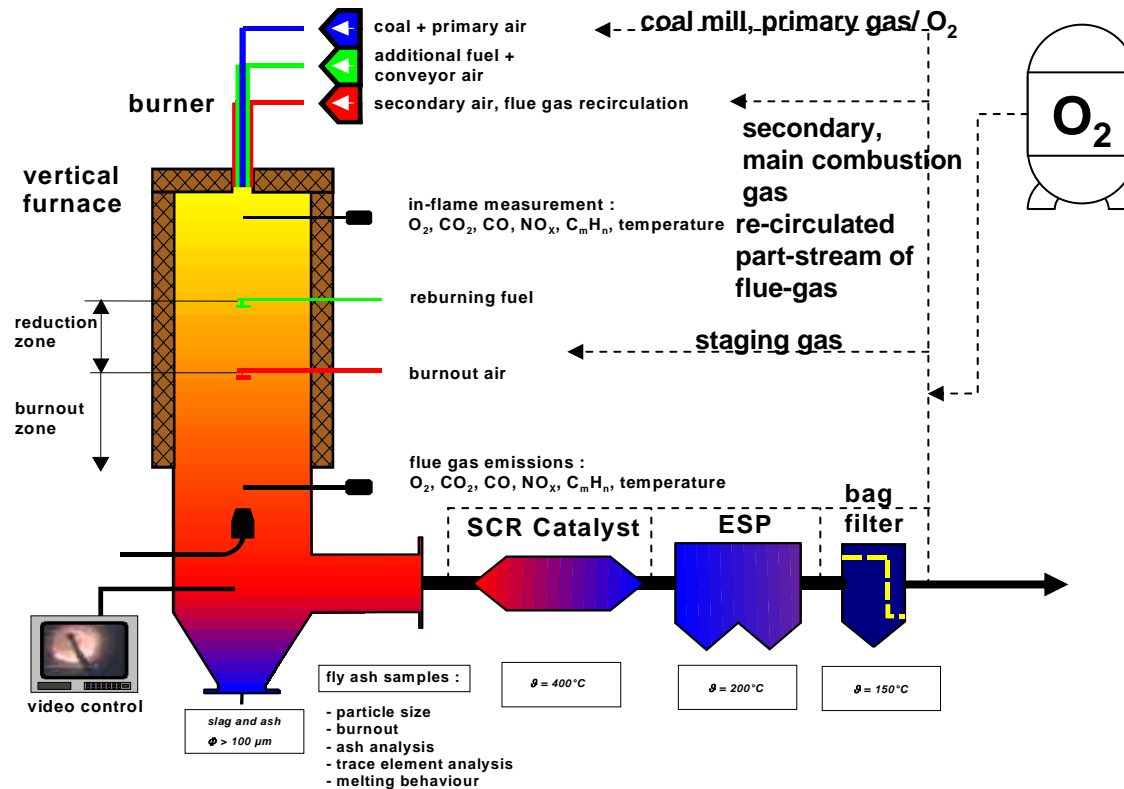
- Integrated Project within the FP 6, budget 22.2 MEUR
- Coordinated by Vattenfall
- Project management by SINTEF
- Six sub- projects dealing with different aspects of pre-combustion capture technologies of CO₂
- Target: 90% CO₂ capture with 50% capture cost reduction
- Commercial exploitation of results beyond year 2015
- www.encapco2.org

Project partners:

Vattenfall	Mitsui Babcock
SINTEF	Siemens
Energi E2	ISFTA
PPC	Chalmers
RWE	DLR
Statoil	IFP
Air Liquide	TNO
Alstom	NTNU
BOC	U Stuttgart
Linde	U Twente
Lurgi	U Ulster
	U Paderborn

**In ENCAP werden PRE-Combustion-Verfahren bearbeitet
d.h. Oxy-fuel und Vergasung**

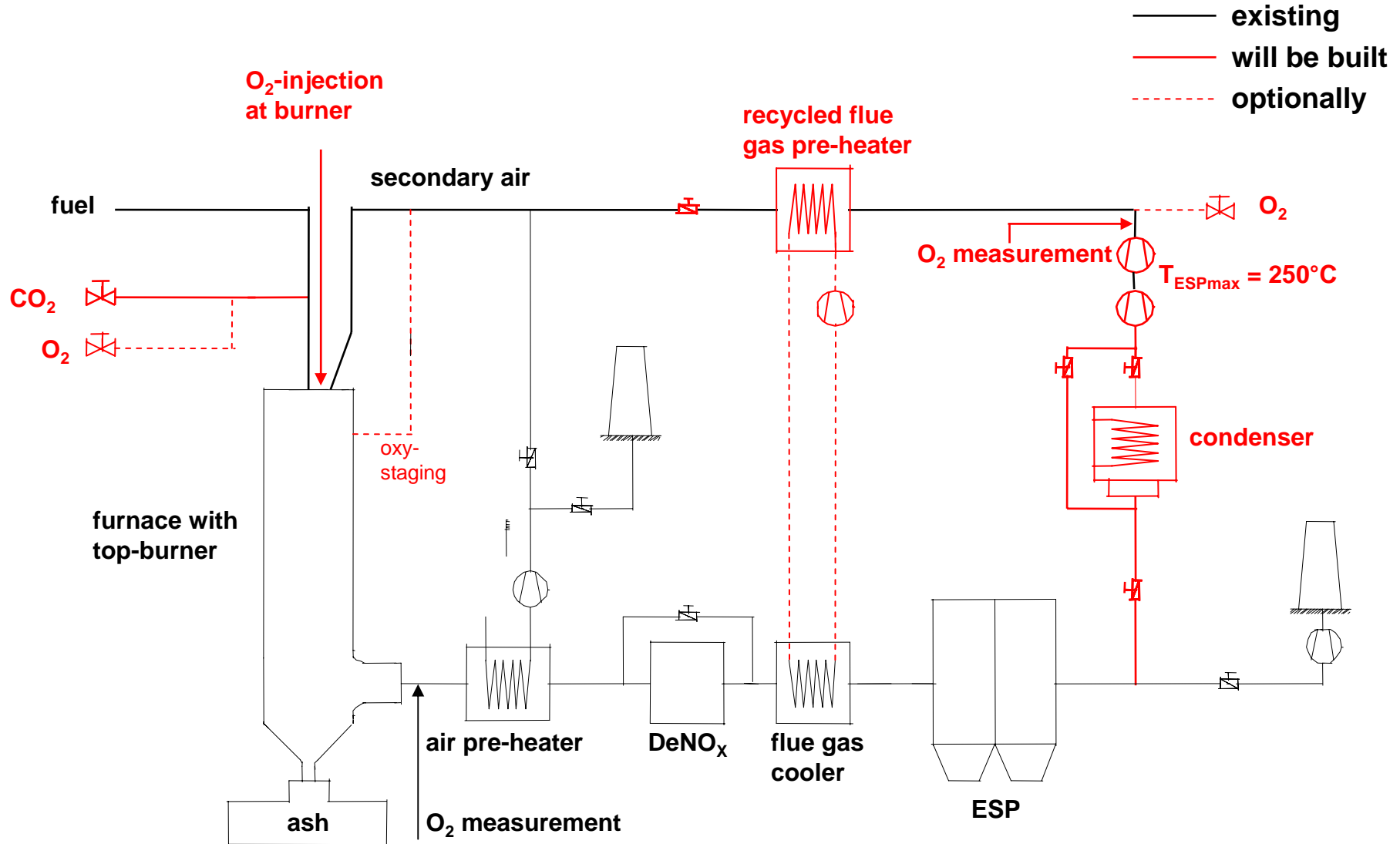
IP ENCAP Oxyfuel Verbrennung



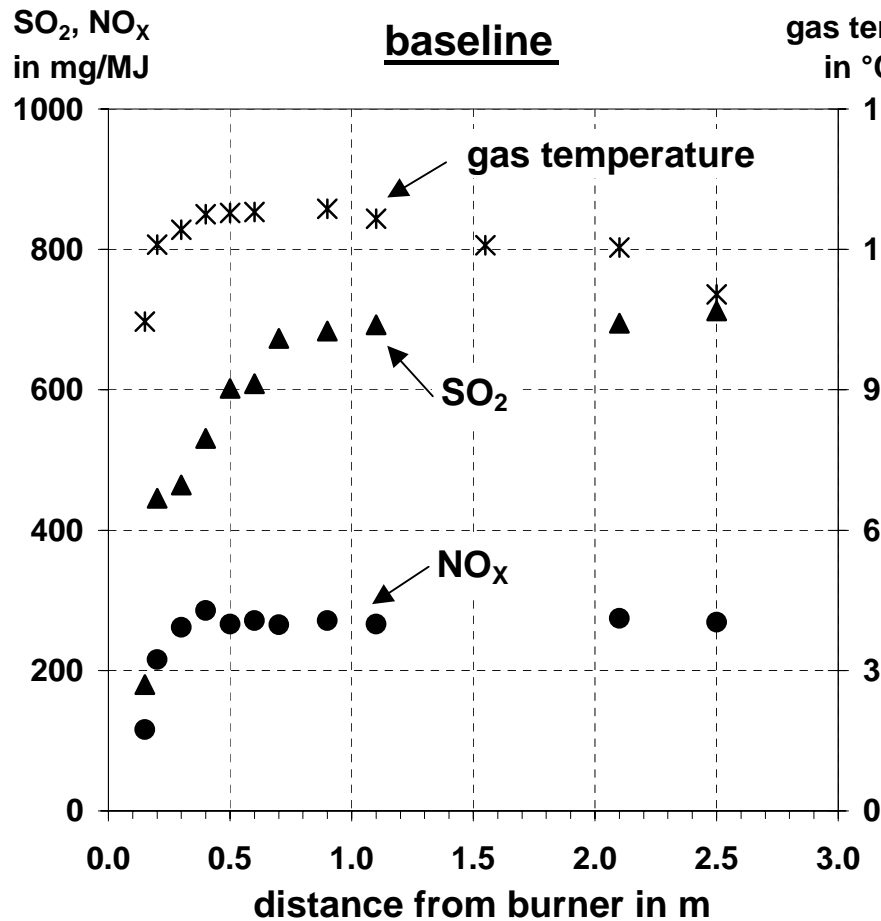
Untersuchungspunkte

- Zündverhalten und Verbrennungskinetik
- Einfluß auf NO-Bildung (in Abwesenheit des Luftstickstoffs)
- Einfluß auf Ascheigenschaften durch hohen CO_2 -Partialdruck
- Rekarbonisierung und Beeinflussung der Wärmeübertragungsverhaltens

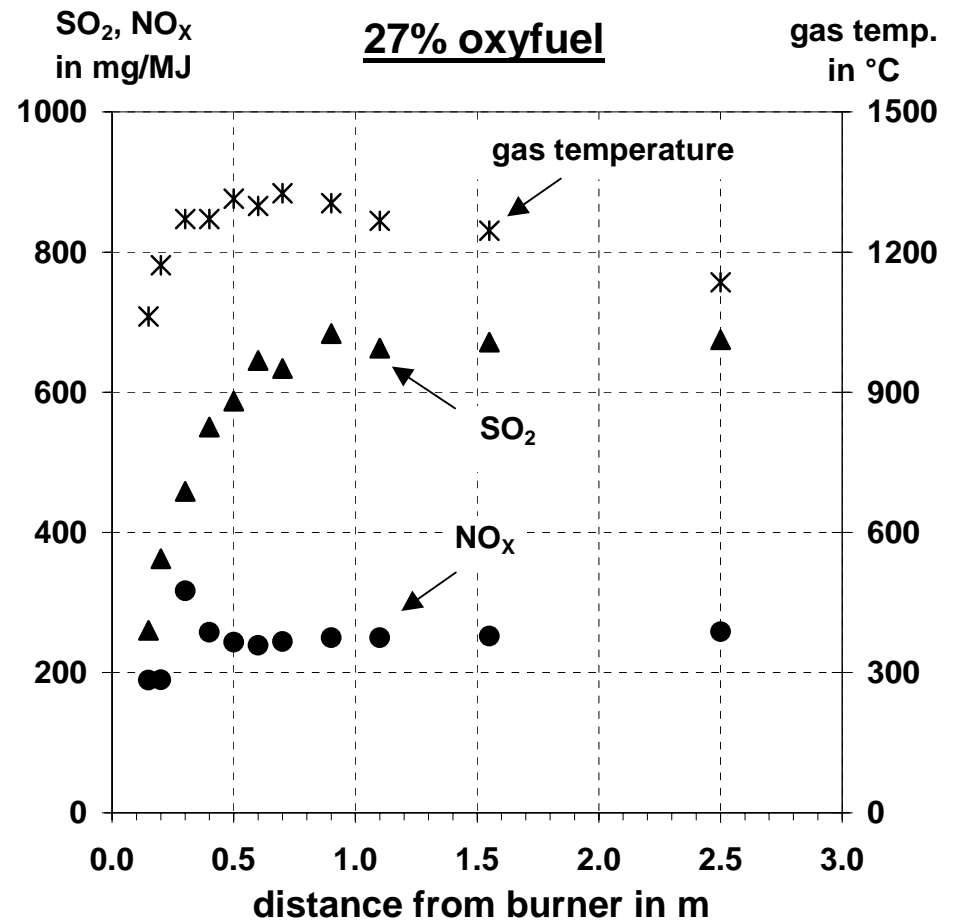
Fließbild der Kohlenstaubverbrennungsanlage mit Sauerstoffverbrennung



Temperatur- und Emissionsverläufe bei unterschiedlichen Sauerstoffkonzentrationen



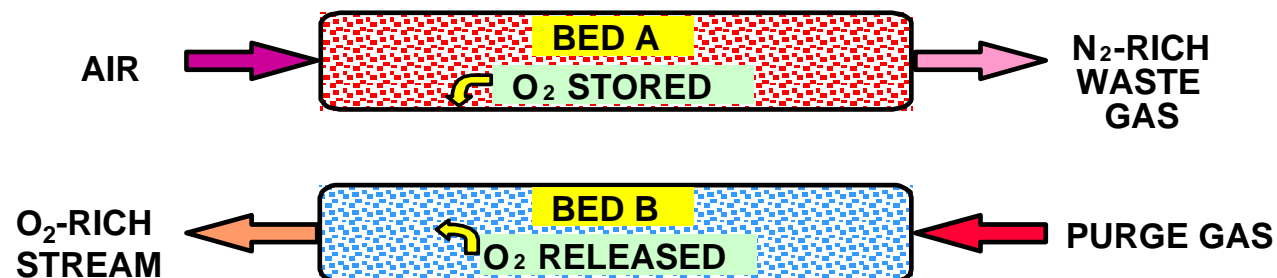
$\lambda = 1.15$: O_{2 excess} = 2.7%
fuel mass flow: 1.363 kg/h



$\lambda = 1.15$: O_{2 excess} = 3.5%
fuel mass flow: 1.965 kg/h

Sauerstoffherzeugung

- High temperature oxygen separation with ceramic materials
 - oxygen transfer membranes
 - high temperature oxygen adsorbent (CAR)
- Development of materials, cost, integration into power plant



Verbundvorhaben Oxycoal-AC

Projektpartner

Begleitende Unternehmen:



RWE Power AG



E.ON Energie AG

SIEMENS

Siemens AG



Linde AG



WS-Wärmeprozess-technik GmbH

Verbundpartner RWTH:



Lehrstuhl für Wärme- und Stoffübertragung



Institut für Regelungstechnik



Institut für Keramische Komponenten im Maschinenbau



Institut für Verfahrenstechnik

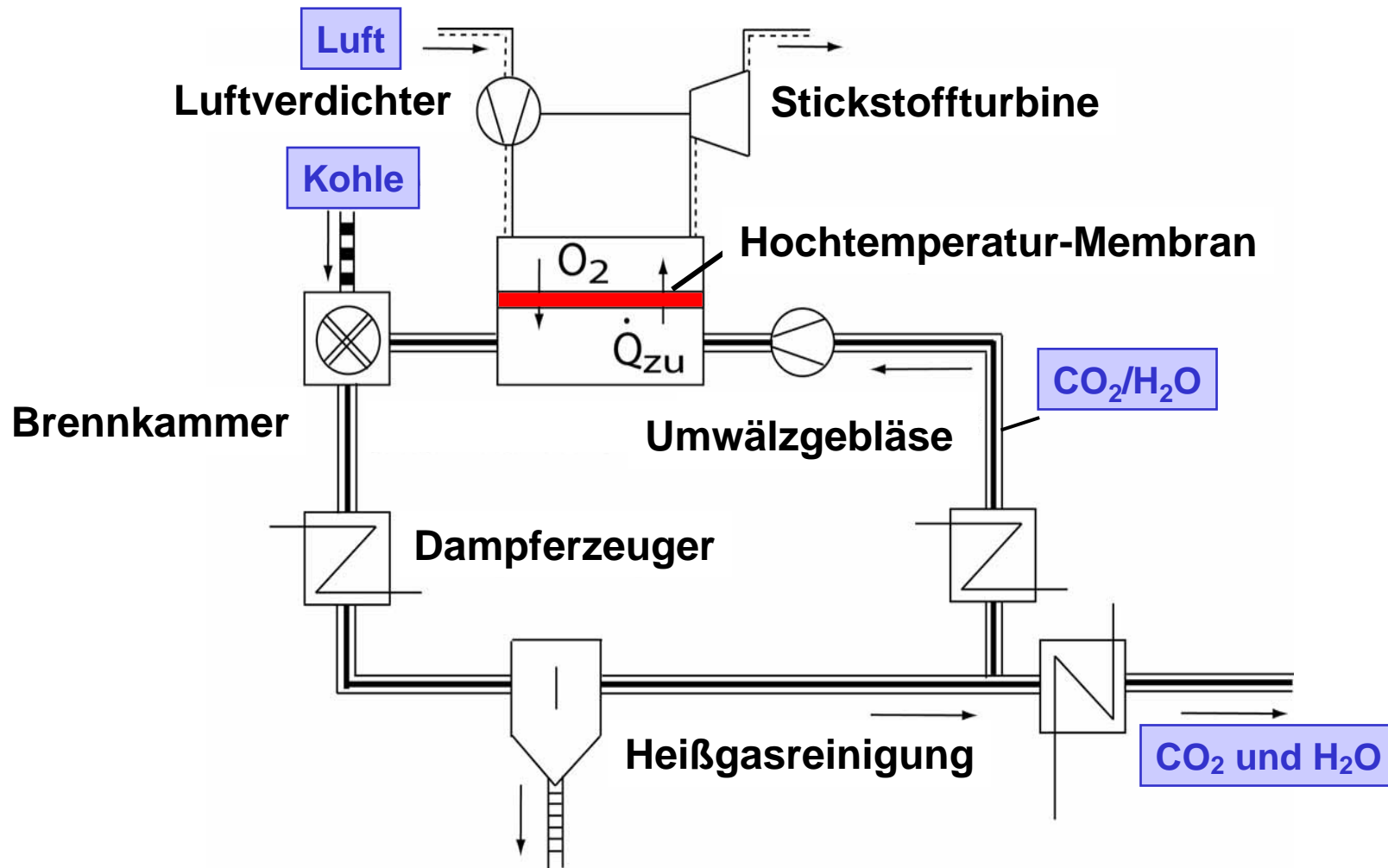


Institut für Strahlantriebe und Turboarbeitsmaschinen



Institut für Technische Verbrennung

Verbundvorhaben Oxycoal-AC



Verbundvorhaben ADECOS

Projektpartner

Begleitende Unternehmen:



RWE Power AG



E.ON Energie AG



Vattenfall Europe
Generation AG



Siemens AG
Power Generation



ALSTOM Power
Boiler GmbH



Babcock Hitachi
Europe GmbH

Hochschulinststitute:



Technische Universität
Dresden



Technische Universität
Hamburg-Harburg



Hochschule
Zittau / Görlitz (FH)

Verbundvorhaben ADECOS

Arbeitspakete

Arbeitspaket 1

- Verbrennungsversuche für Braunkohle an einer halbtechnischen Staubfeuerungsanlage (55 kW_{th}) der TU Dresden
- Auslegung eines staubgefeuerten Oxyfuel-Dampferzeugers für Trockenbraunkohle

Arbeitspaket 2

- Verbrennungsversuche für Steinkohle an einem Versuchsreaktor der TU Hamburg-Harburg
- Optimierung von steinkohlebefeuchten Oxyfuel-Dampferzeugern

Arbeitspaket 3

- Grobauslegung eines Schmelzkammerdampferzeugers und eines Wirbelschichtdampferzeugers für Oxyfuel
- Feuerraumsimulationen für staubgefeuerten Dampferzeuger und Schmelzkammerdampferzeuger
- Bewertung und Vergleich der Konzepte Staubfeuerung, Schmelzkammer und Wirbelschicht

Arbeitspaket 4

- Anpassung des Feuerungssystems an Oxyfuel-Betrieb
- Schwerpunkte Luftdichtheit, Rauchgasrezirkulation, Brennstofftransport, Sauerstoffdosierung

Verbundvorhaben ADECOS

Arbeitspakete

Arbeitspaket 5

- Untersuchung und Anpassung verschiedener Entschwefelungsverfahren
- Erweiterung der Versuchsstaubfeuerung der TU Dresden um eine Rauchgaskondensationsanlage mit Wäscher zur Nassentschwefelung

Arbeitspaket 6

- Ermittlung der Gleichgewichtseigenschaften von CO₂ mit Störgasen, Auslegung eines Phasentrenners
- Auswahl von Gasbehandlungstechnologien zur Reinigung des CO₂
- Auslegung der vollständigen CO₂-Behandlungskette

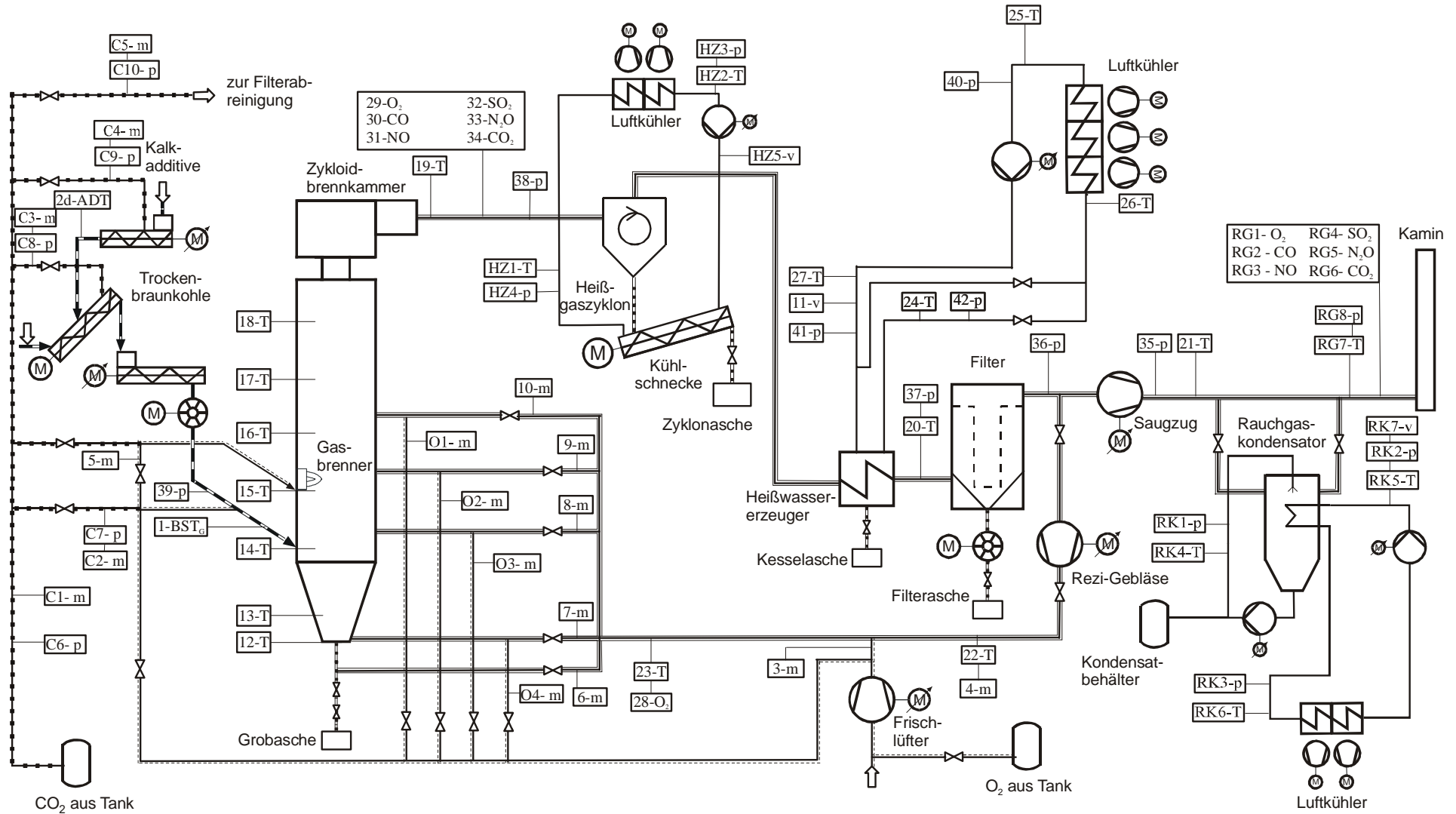
Arbeitspaket 7

- Weiterentwicklung des Gesamtkonzepts für Oxyfuel-Kohlekraftwerke, Gesamtplanung
- Kostenschätzungen und Wirtschaftlichkeitsbewertung

Arbeitspaket 8

- Planung einer Oxyfuel-Pilotanlage (30 MW_{th}) für Braun- und Steinkohle am Standort Schwarze Pumpe
- Mitwirkung bei Auslegung der Hauptkomponenten

500 kW-Oxyfuel-Versuchsanlage mit Zykloidfeuerung im KW Jänschwalde (CEBra)



PRESS RELEASE 2005-05-19

Vattenfall to build pilot plant for a CO₂-free coal-fired power station

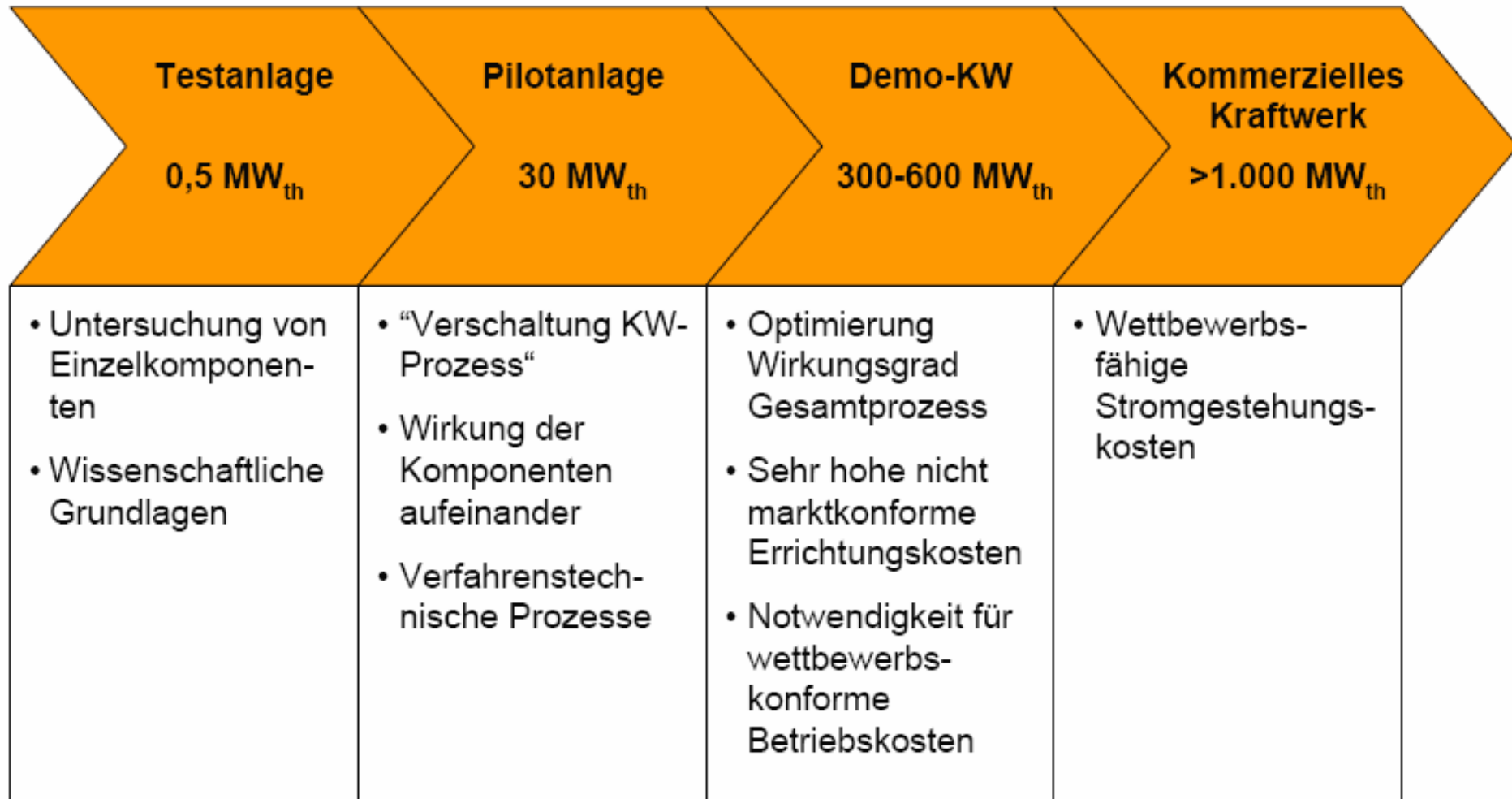
Vattenfall is to build the world's first pilot plant for a carbon dioxide-free coal-fired power station. The plant will be built next to the Schwarze Pumpe coal-fired power station near Spremberg in Brandenburg to the south of Berlin. It is estimated that the plant will be ready for operation in 2008 and that the required investment will amount to approximately EUR 40 million (SEK 370 million).

The technology that will be used, carbon dioxide separation with oxyfuel technology, entails firing the lignite using pure oxygen and recycled carbon dioxide. The carbon dioxide that is formed in the combustion process can then be separated in so pure a form that it can be retrieved and later stored permanently in rock formations underground. Carbon dioxide thus be prevented from reaching the atmosphere.

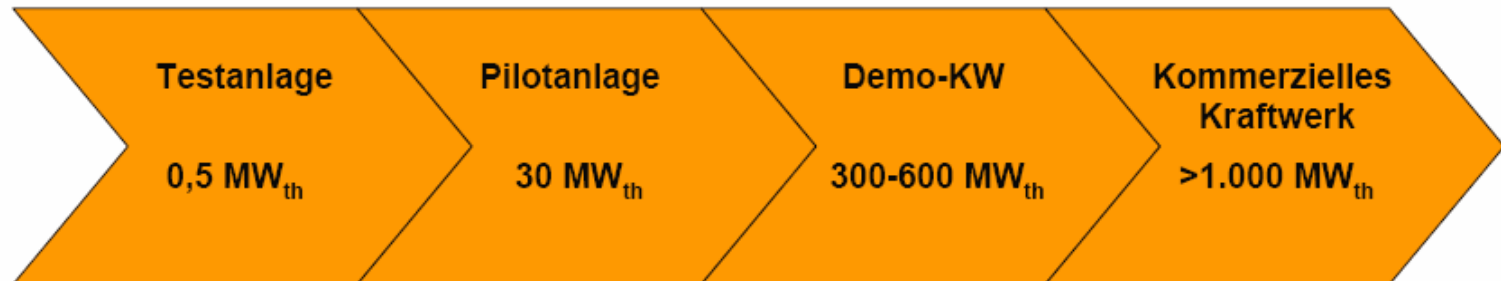
The pilot plant

will be

Der Weg zum CO₂-freien Kraftwerk Upscaling ...



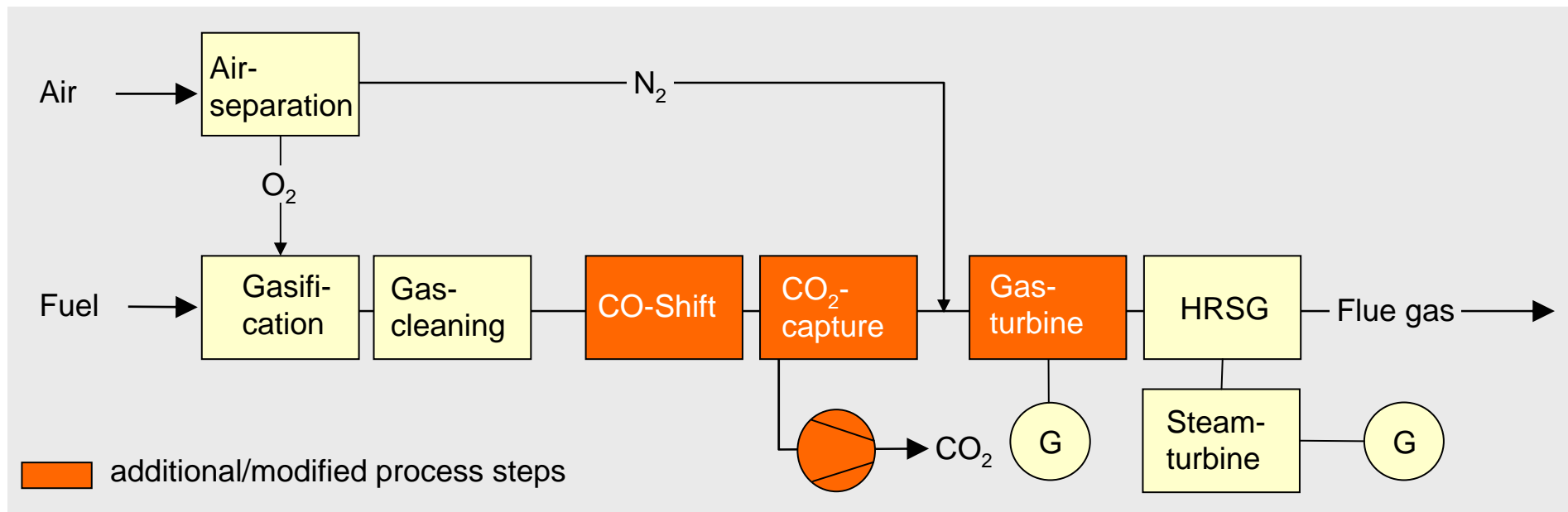
Der Weg zum CO₂-freien Kraftwerk ... und Zeitbedarf



Labor	Technikums- maßstab	Pilotmaßstab	Demonstrations- maßstab	
Erste theoretische Überlegungen Laborversuche im kW- Maßstab	Ermöglicht erste Aussagen zum Gesamtanlagen- verhalten	Ermöglicht die Extrapolation in den untersten kommerziellen Leistungsbereich	Erste nicht- kommerzielle Demonstration	
2000 - 2004	2005 - 2008	2008 – 2011	2015 - 2020	> 2025

CO₂-Abscheidung vor der Verbrennung

Kohlenstoffentfernung vor der Verbrennung



Entwicklungsbedarf:

- Gasturbinenverbrennung für Wasserstoff reiches Gas
- Verbesserungen der Wirtschaftlichkeit und der Verfügbarkeit der IGCC-Technik
- Versuchsbetrieb mit Pilot- und Demonstrationsanlagen

Kohlevergasung und CO₂-Abscheidung vor der Verbrennung

■ ENCAP

■ COORIVA

- Projektpartner: RWE Power AG, Uhde GmbH, Siemens AG, Linde AG, Lurgi AG, Vattenfall Europe Generation AG, E.ON Energie AG), TU-Freiberg, Hochschule Zittau/Görlitz
- Arbeitspakete
 - Bestandsaufnahme und Analyse der bisherigen Betriebserfahrungen von laufenden IGCC-Anlagen
 - Erarbeitung eines verbesserten IGCC-Kraftwerkes (State-of-the-Art) für unterschiedliche Einsatzstoffe (Braunkohle, Steinkohle)
 - Detailuntersuchung zur Baubarkeit eines IGCC-Kraftwerkes (State-of-the-Art) mit CO₂-Abtrennung
 - Auslegung des PHTW-Vergasers für Braunkohle und Steinkohle
 - Erarbeitung eines Gesamtkonzeptes für ein fortschrittliches IGCC-Kraftwerk mit CO₂-Abtrennung auf Basis des PHTW-Vergasers
 - Potenzialuntersuchungen zum fortschrittlichen IGCC-Kraftwerk

Lime Enhanced Gasification of Solids LEGS

Dampfreformierung:



Shift-Reaktion:

+



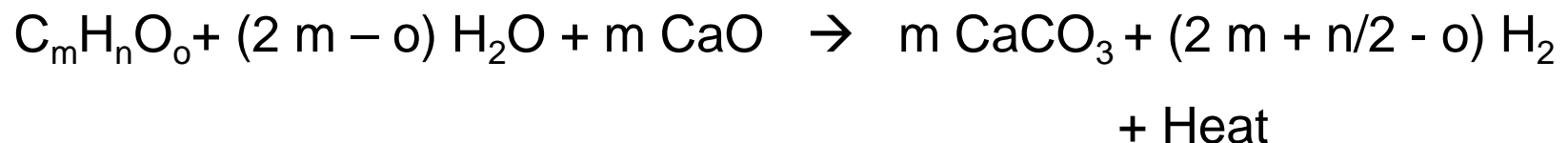
+

Hochtemperatur-CO₂-Absorption:

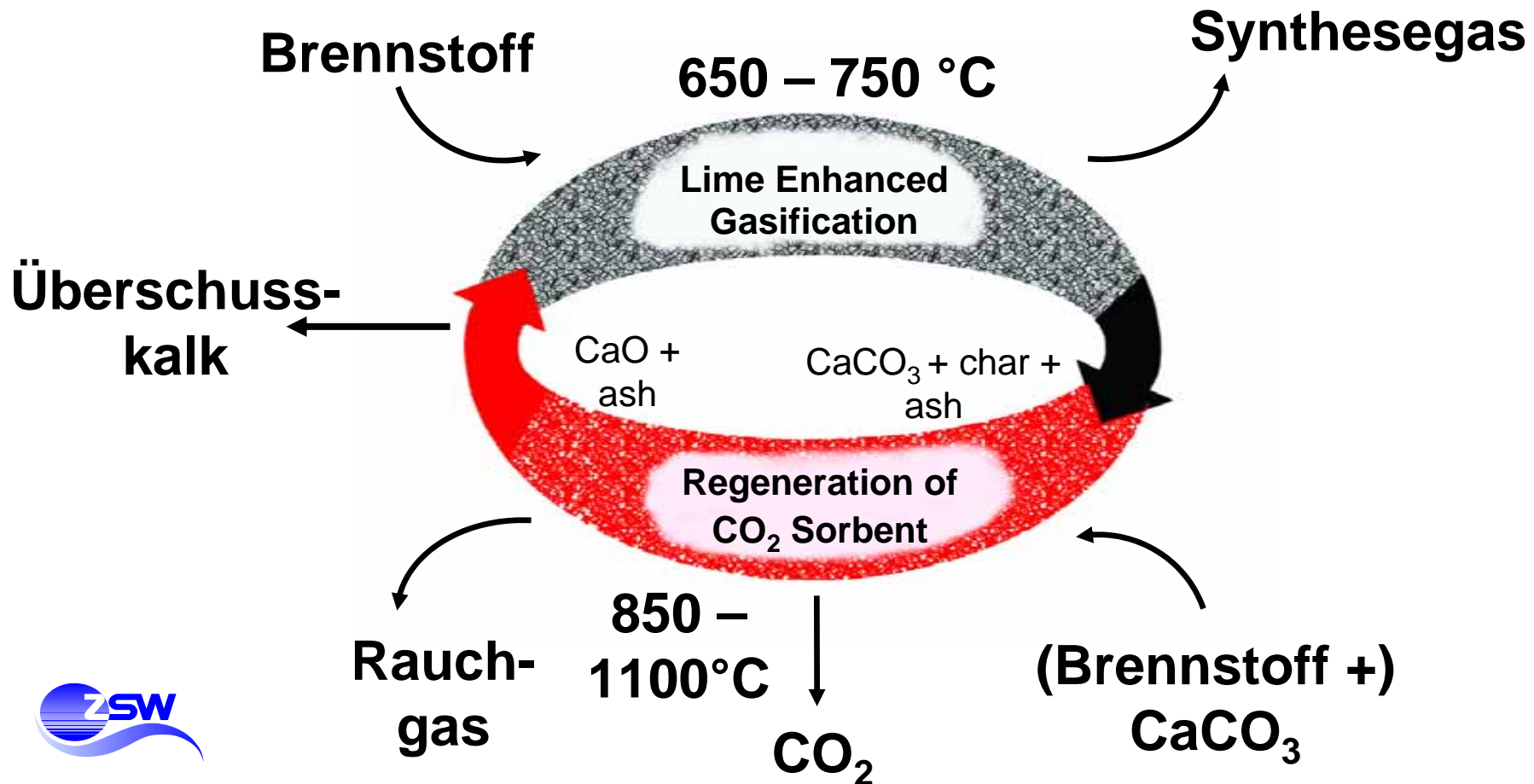


=

Lime Enhanced Gasification (600 – 850°C abhängig vom Druck):

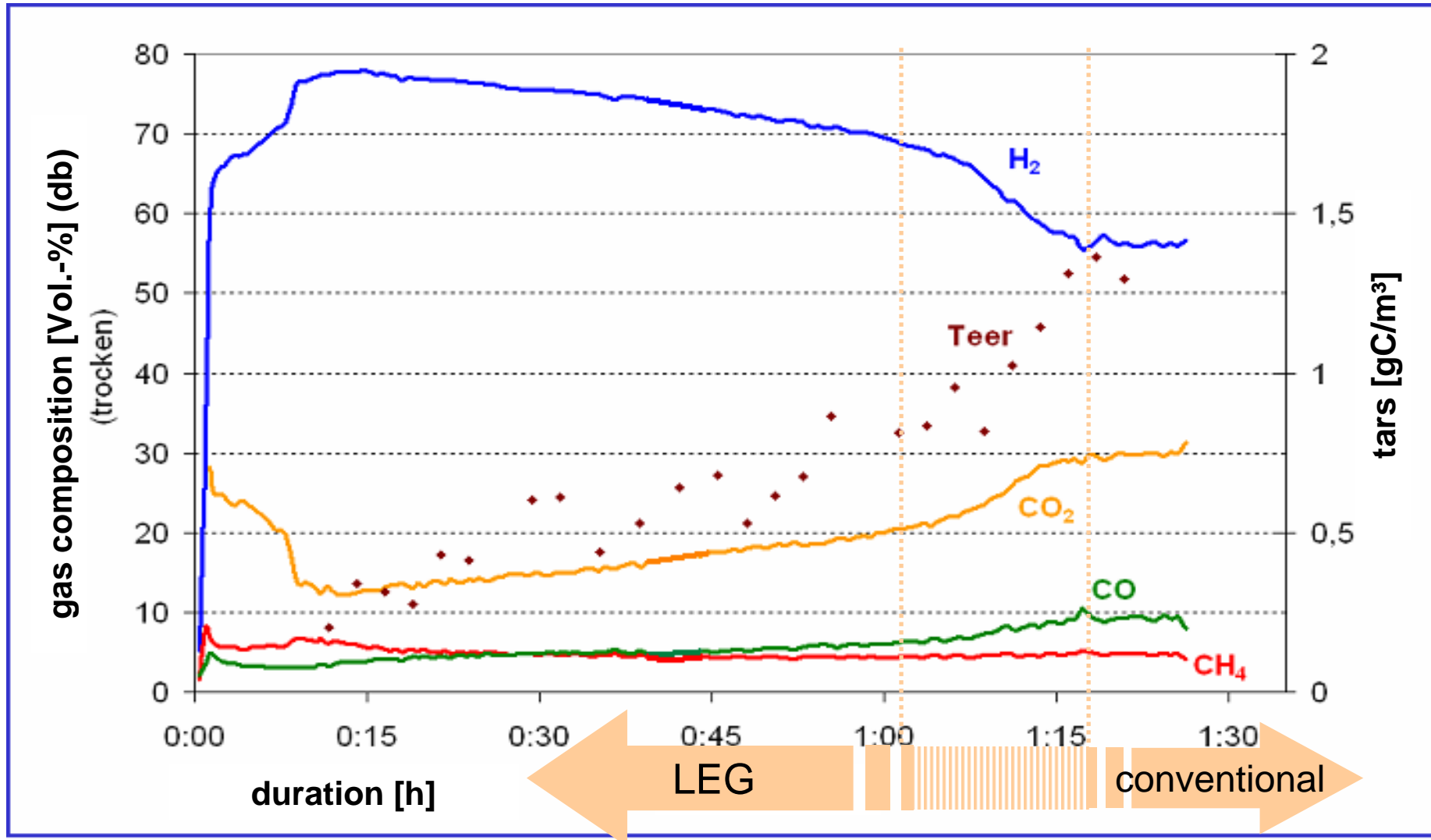


Umwandlung von Biomasse oder Kohle mit *in situ* CO₂-Absorption:
H₂-reiches Gas in einem einzigen Prozessschritt

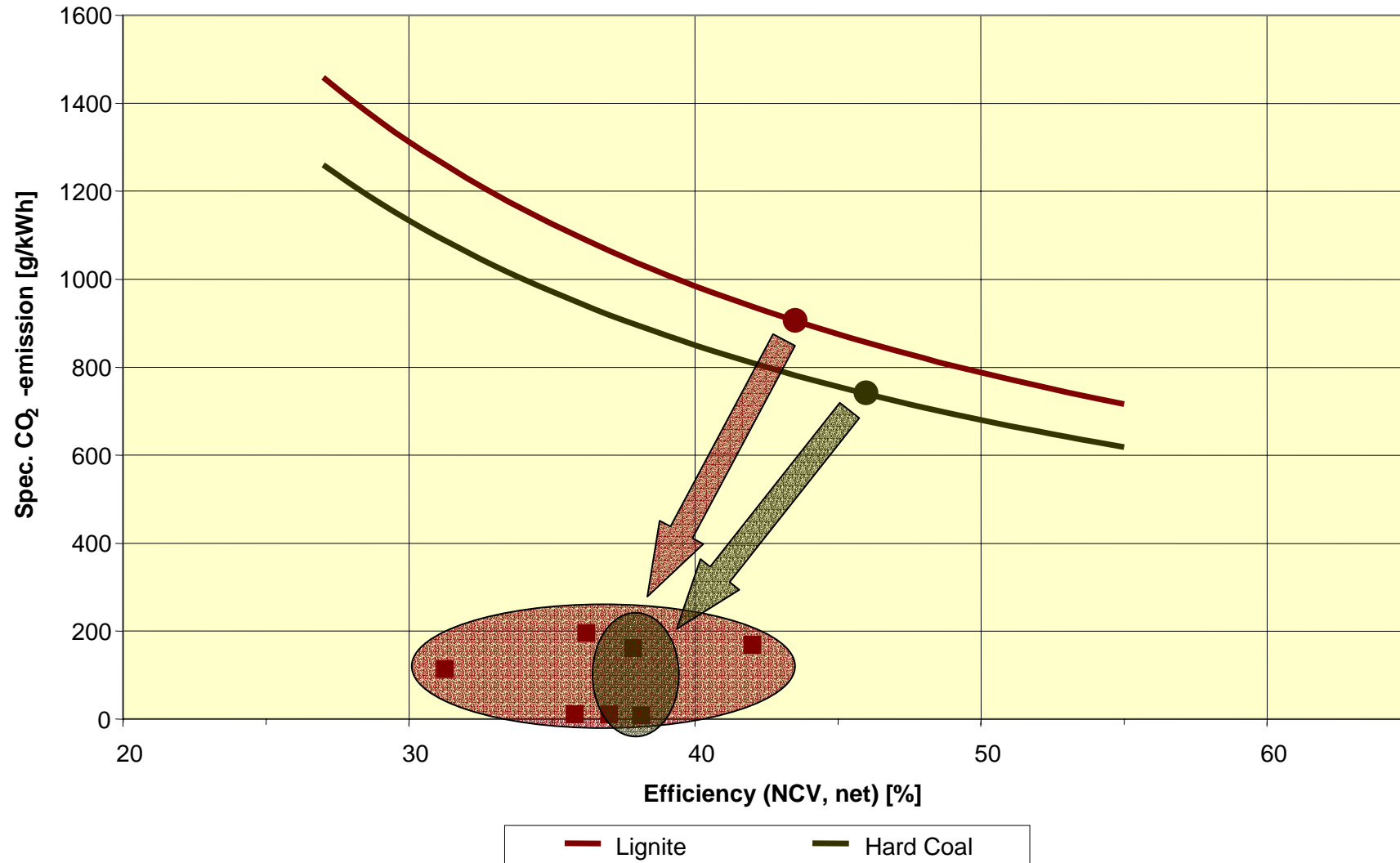


Ergebnisse an der Pilotanlage

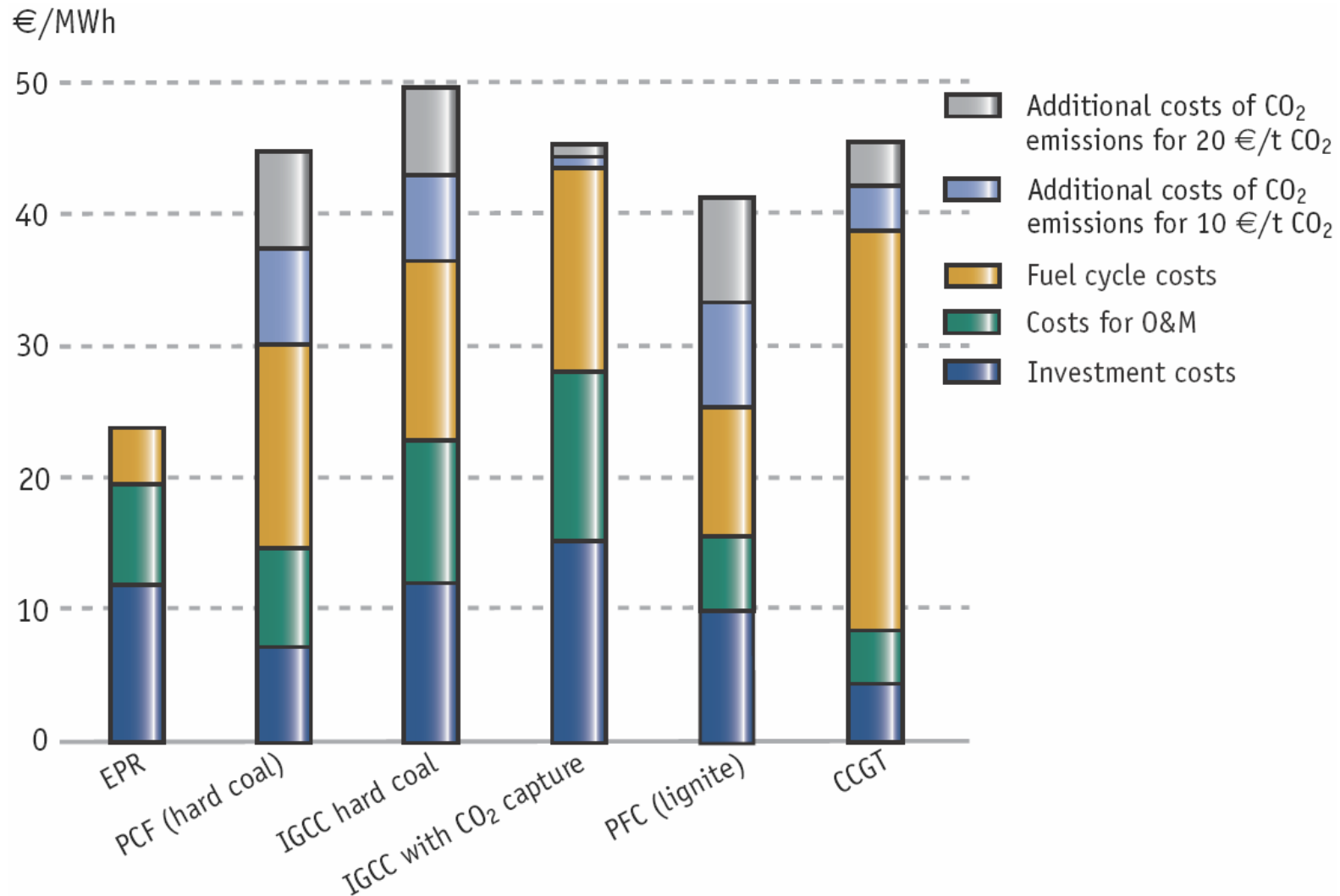
fuel: wood pellets; $T \cong 650^{\circ}\text{C}$; $s/c = 2,8$



CO₂-Emissionen ohne und mit CO₂-Abscheidung ...



Stromerzeugungungskosten – Einfluss der CO₂-Zertifikatskosten DE



Bewertung verschiedener Konzepte zur CO₂-freien Stromerzeugung durch Vergleich mit dem heutigen Stand der Technik

- Referenzanlagen ohne CO₂-Abscheidung
 - Erdgas gefeuertes Kombikraftwerk mit 400 MW_{el}
 - Steinkohle/Petrolkoks gefeuertes Dampfkraftwerk mit 445 MW_{el} (zirkulierende Wirbelschichtfeuerung)
 - Steinkohle gefeuertes Dampfkraftwerk mit 600 MW_{el} (Staubfeuerung)
 - Braunkohle gefeuertes Dampfkraftwerk mit 1000 MW_{el} (Staubfeuerung mit Trockenbraunkohle)
 - Braunkohle gefeuertes Dampfkraftwerk mit 380 MW_{el} PF (Staubfeuerung)
- Definierte und einheitliche Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsanalyse

Fazit CO₂-freie Kraftwerkstechnik

- CO₂-freie Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen wird weltweit intensiv beforscht
- In Europa laufen die großen Projekte
 - EnCAP
 - CASTOR
 - CO₂SINK
- In Deutschland wird innerhalb des COORETEC-Programmes der Oxyfuel-Prozess und der IGCC-Prozess mit integrierter CO₂-Abscheidung untersucht
- Die technische Realisierbarkeit ist heute noch nicht absehbar; ein kommerzieller Einsatz findet frühestens nach 2020 statt
- CO₂-freie Stromerzeugung ist aus heutiger Sicht mit erheblichen Wirkungsgradeinbußen und einem starken Anstieg der Erzeugungskosten verbunden
- Hauptziel der verschiedenen Forschungsaktivitäten muß daher auch eine Senkung der Investitionskosten und eine Minimierung oder gar eine gänzliche Vermeidung der Wirkungsgradeinbuße sein