

Synergetische Kopplung von Energieträgern für effiziente Prozesse

- Ausgewählte Ergebnisse aus dem Projekt SYNKOPE -

Antonio Hurtado

Wolfgang Lippmann

Kernenergetisches Symposium 2014

Dresden, 15.10.2014



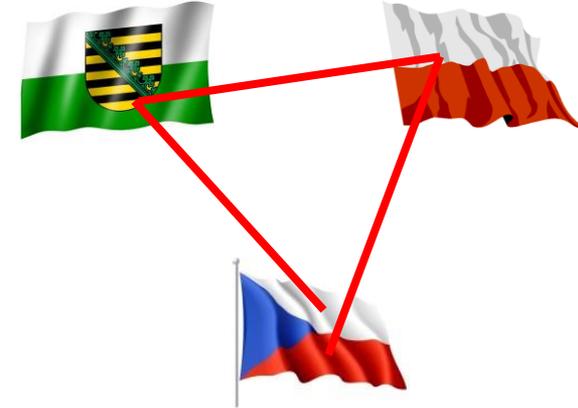
Gliederung

- Motivation und Zielsetzung des Projektes
- Gesamtkonzept, Projektschwerpunkte
- Ausgewählte Ergebnisse
- Energiewirtschaftliche Perspektiven
- Zusammenfassung und Ausblick

Motivation und Zielsetzung

- Erhebliche Kohlevorkommen im Dreiländer-Eck
Sachsen-Polen-Tschechien

Sachsen: ca. 18,4 Mrd. t
Polen: ca. 219 Mrd. t
Tschechien: ca. 7 Mrd. t



- Braunkohle ist Basis der Stromerzeugung:

80 % in Sachsen → 57,2 Mio. t CO₂ /a

90 % in Polen (Stein- und Braunkohle)

60 % in Tschechien

➔ **Kohleverstromung auch langfristig die Basis zur Stromerzeugung**

Motivation und Zielsetzung

EU-Klimaschutzziele:

- bis 2020: >20% CO₂-Emissionsreduzierung
- bis 2050: >80% CO₂-Emissionsreduzierung

▪ **sächsische Klimaschutzziele:**

- bis 2020: >23% CO₂-Emissionsreduzierung
- bis 2050: >80% CO₂-Emissionsreduzierung

→ Widerspruch zwischen Kohleverstromung und Einhaltung von Klimaschutzzielen

Motivation und Zielsetzung

Anteil der Kernenergie an Stromerzeugung

	2013	2023	2040	
Deutschland	18 %	0 %		Kernenergie-Ausstieg
Tschechien	32 %	> 32 %	>> 32 %	Kernenergie-Ausbau ¹⁾
Polen	0 %		> 10%	Kernenergie-Einstieg ²⁾

1) Neubau einer weiteren DWR-Anlage

2) Neubau von zwei DWR-Anlagen sowie einer HTR-Anlage (optional)

Motivation und Zielsetzung

Herausforderungen für das Projekt SYNKOPE

- Entwicklung von technologisch und gesellschaftlich akzeptanzfähigen Lösungen
- Bereitstellung und Nutzung der HT-Prozesswärme
- Kompromisslösung aus der Verwertung der Kohlevorräte und den Klimaschutzzielen im Dreiländer-Eck

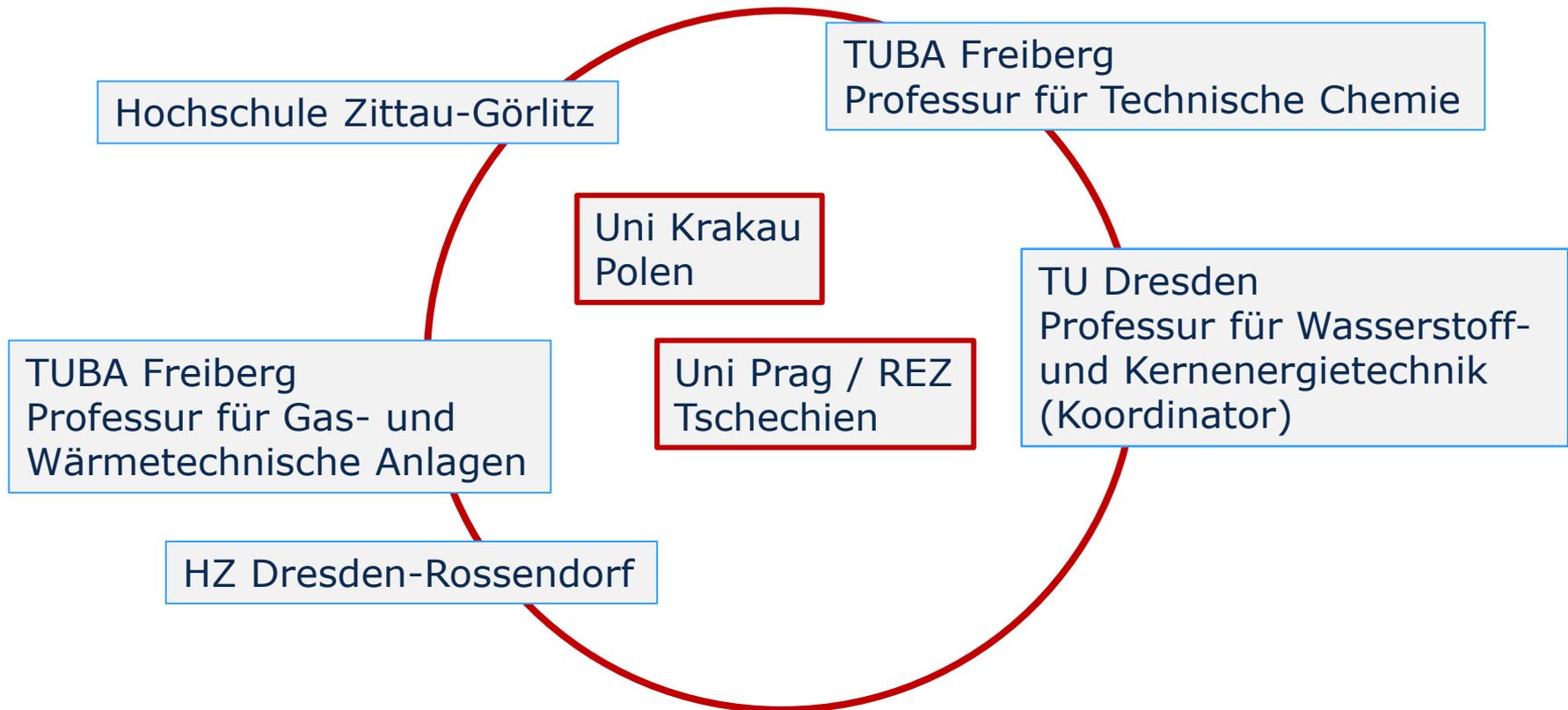


Kohleveredlung unter Nutzung CO₂-armer Prozesswärme
(**Kernenergie**, Wind, HT-Solarthermie)

Teilprojekte im Projekt SYNKOPE



Partner im Projekt SYNKOPE



Vision

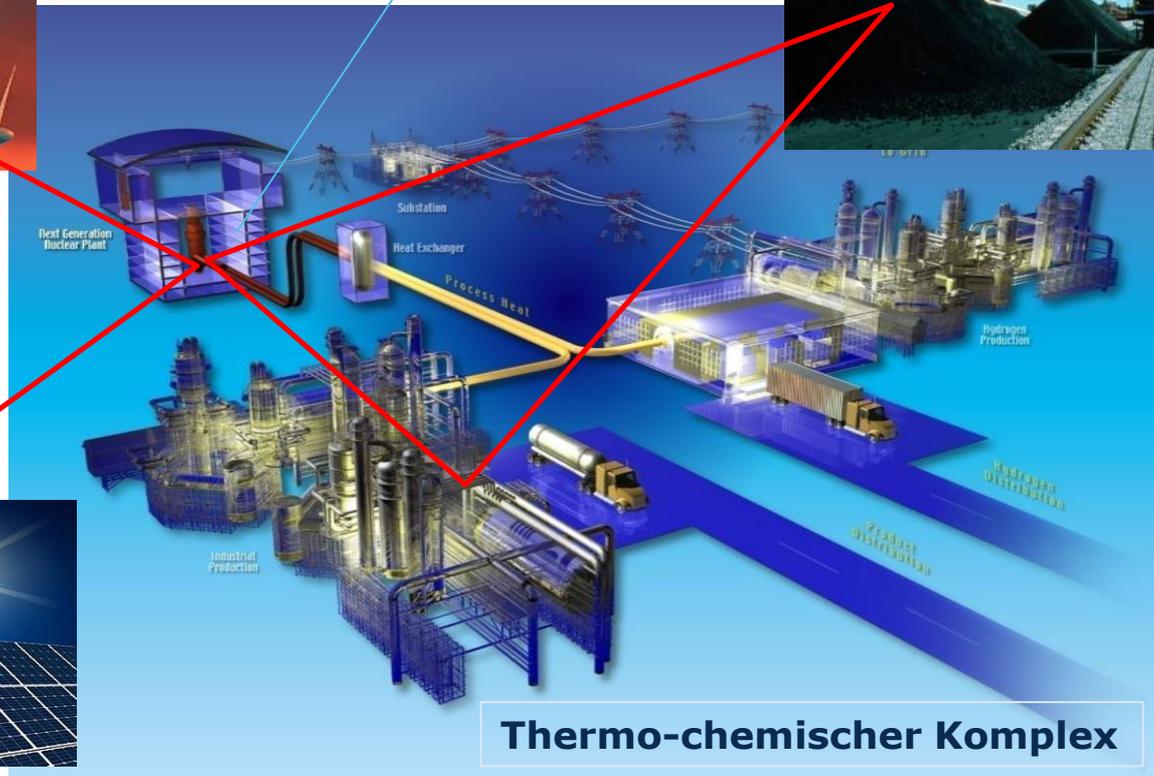


Windenergie



Solarthermie

nukleare Wärmequelle



Thermo-chemischer Komplex



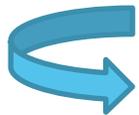
Kohle

Gesamtkonzept: Energiewirtschaftliche Zielsetzung

Ziel der Kohleveredlung:

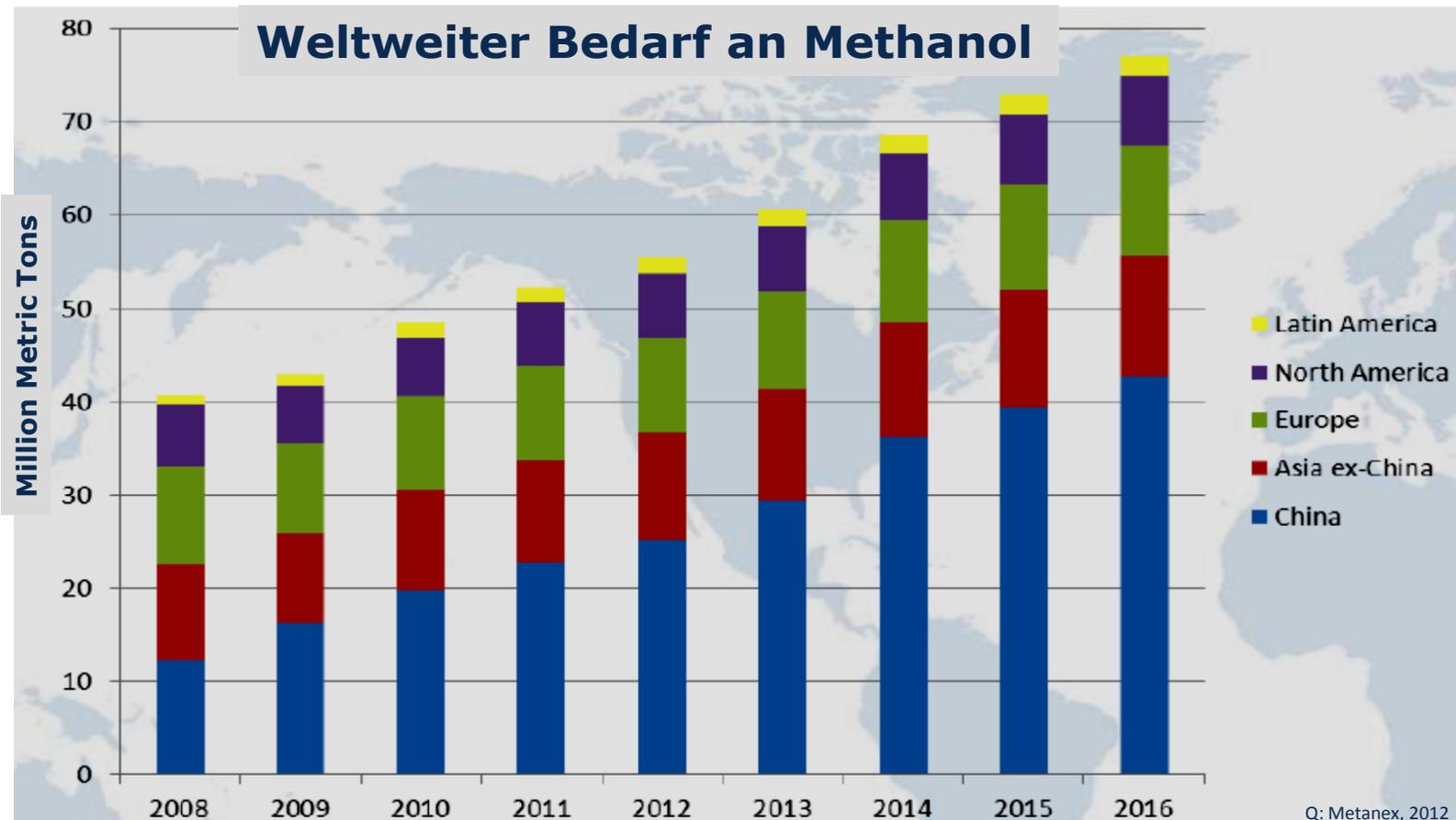
Bereitstellung von hochwertigen Energieträgern und Basischemikalien für die chemische Industrie

Methanol ermöglicht gegenüber Wasserstoff eine höhere volumetrische Speicherdichte sowie bessere Lagerfähigkeit bei bereits vorhandener Infrastruktur



Kohleveredelung zur Substitution von importierten Energieträgern wie **Methanol** bei geringen CO₂-Emissionen

Energiewirtschaftliche Zielsetzung



Optimierung des Prozesses zur Kohleveredlung

Nukleare **Wasserdampf-Kohlevergasung** (Zwischenschritt)



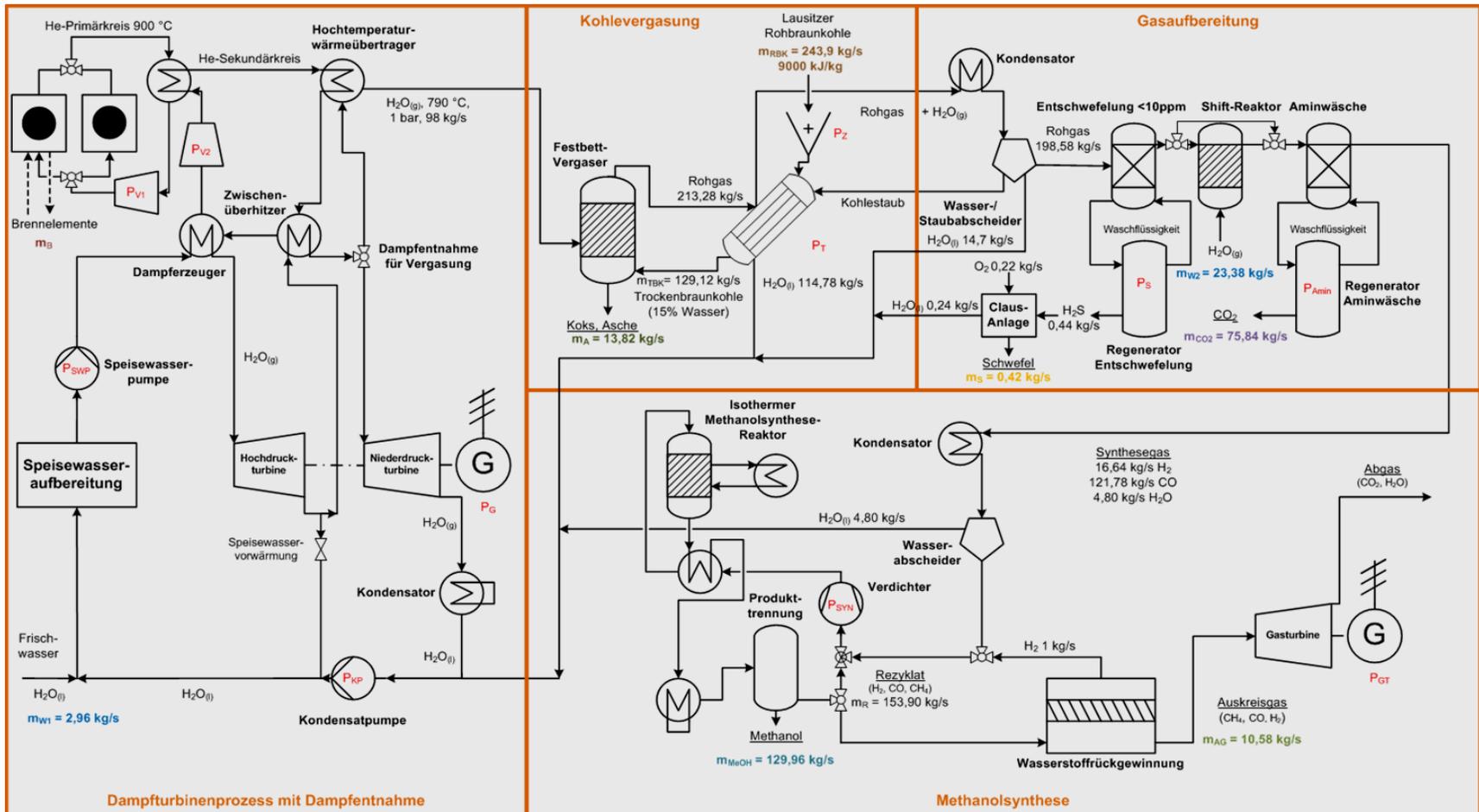
Zielprodukt: **Methanol** als Basischemikale z. B. für Kraftstoffe



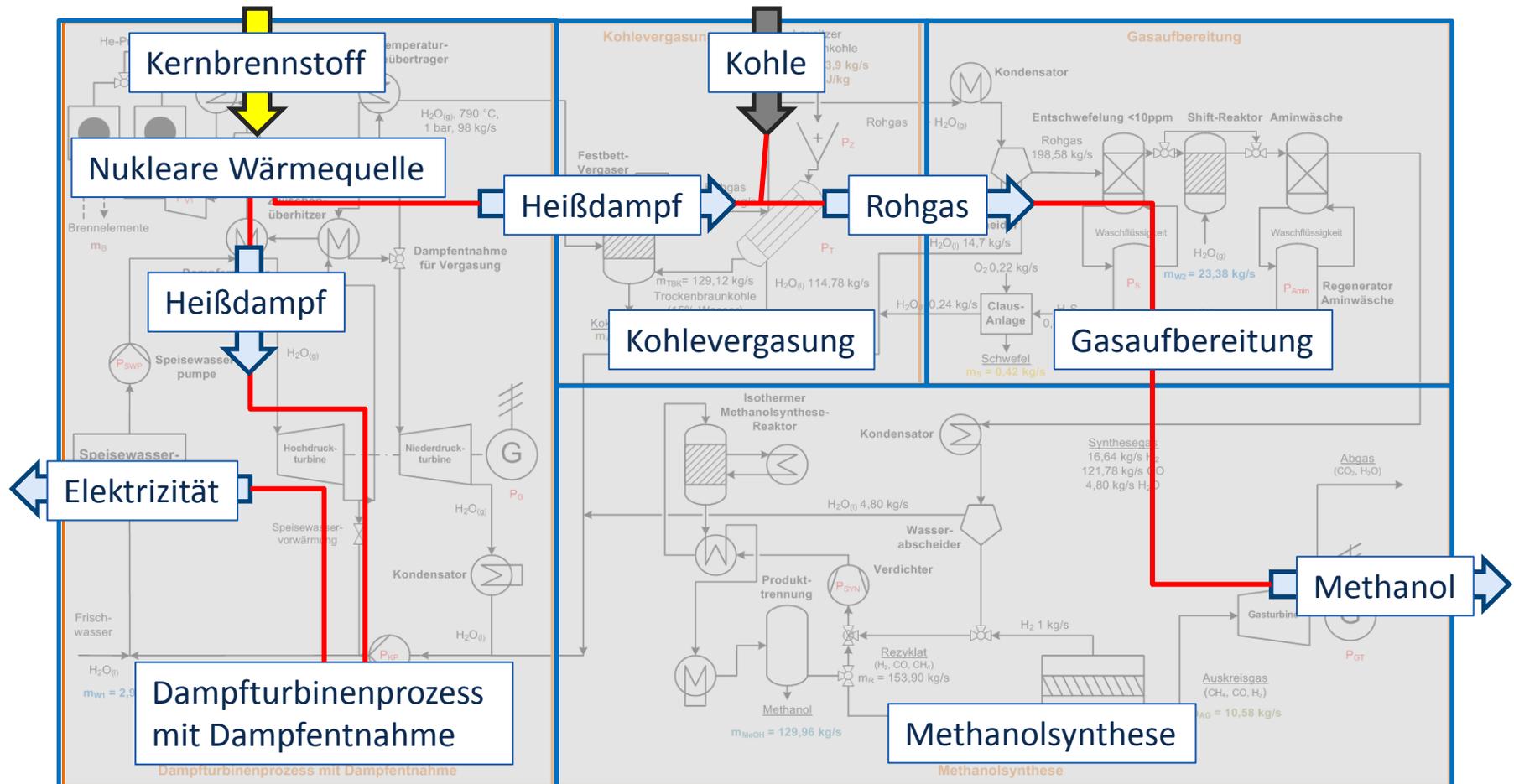
$$\Delta H_{\text{R}}^{300\text{K}} = - 49,5 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{\text{R}}^{300\text{K}} = - 90,8 \text{ kJ/mol}$$

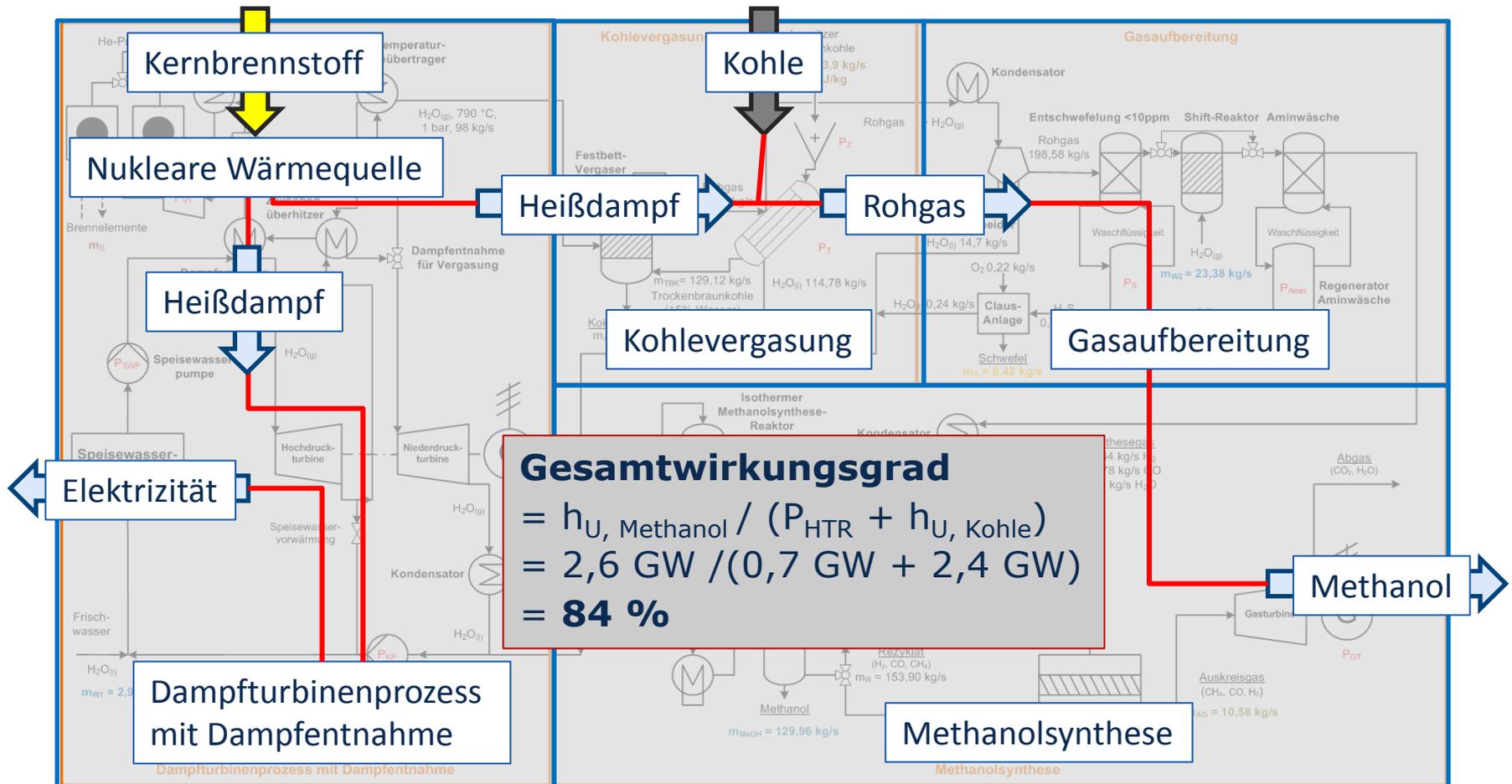
Braunkohle-Wasserdampf-Vergasung



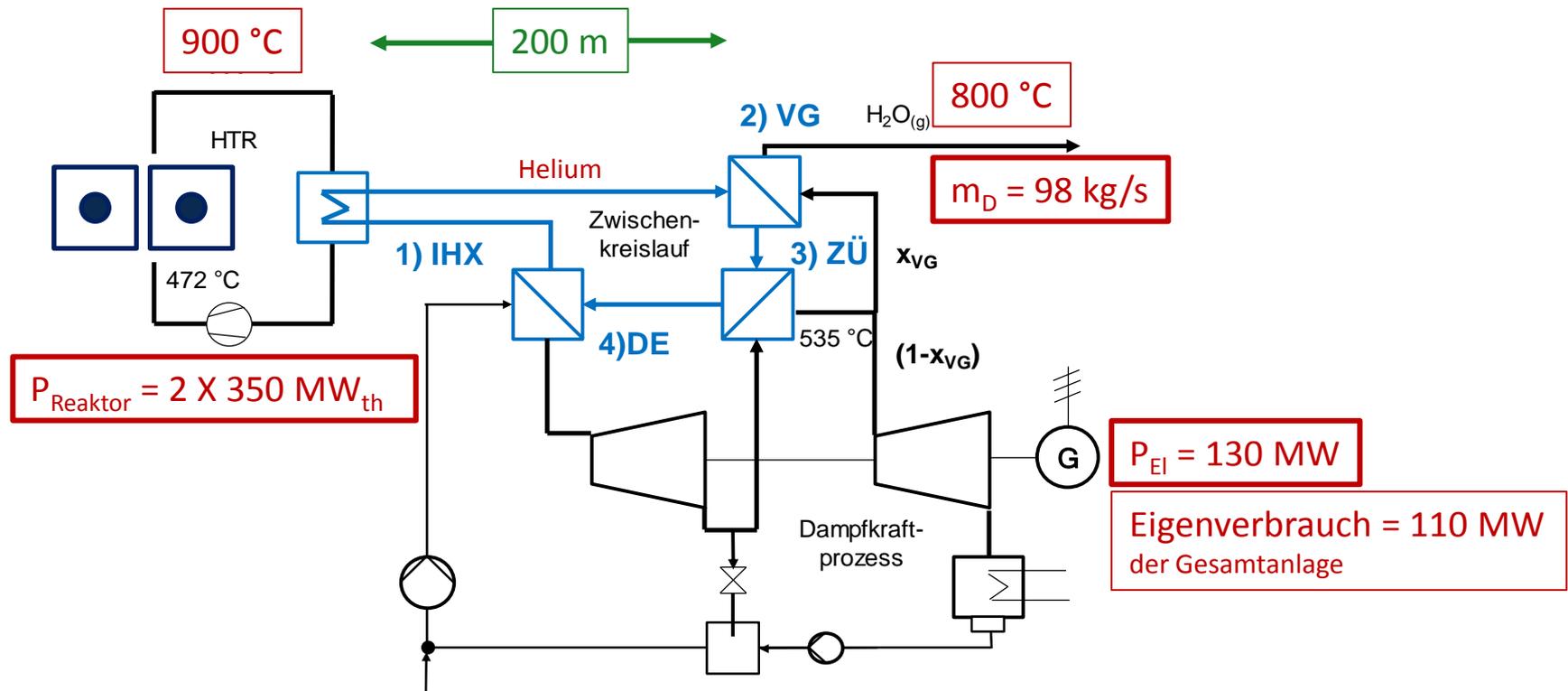
Braunkohle-Wasserdampf-Vergasung



Nukleare Braunkohle-Wasserdampf-Vergasung



Exergetische Optimierung des Gesamtprozesses

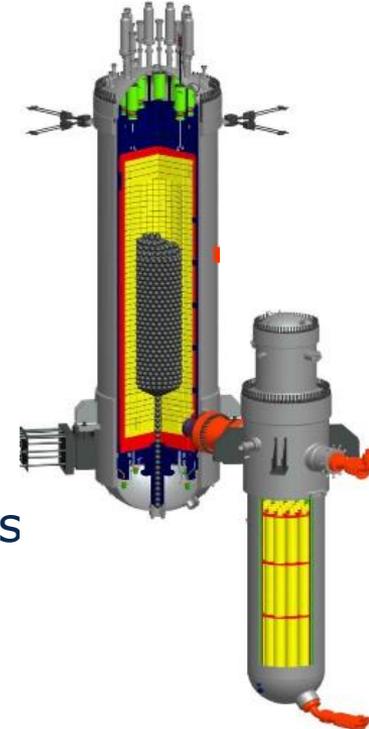


Teilschaltbild: Kopplung Reaktor – Turbinenkreislauf und Heißdampfbereitstellung

Ausgewählte Ergebnisse

Sicherheitstechnische Analyse der nuklearen Komponente

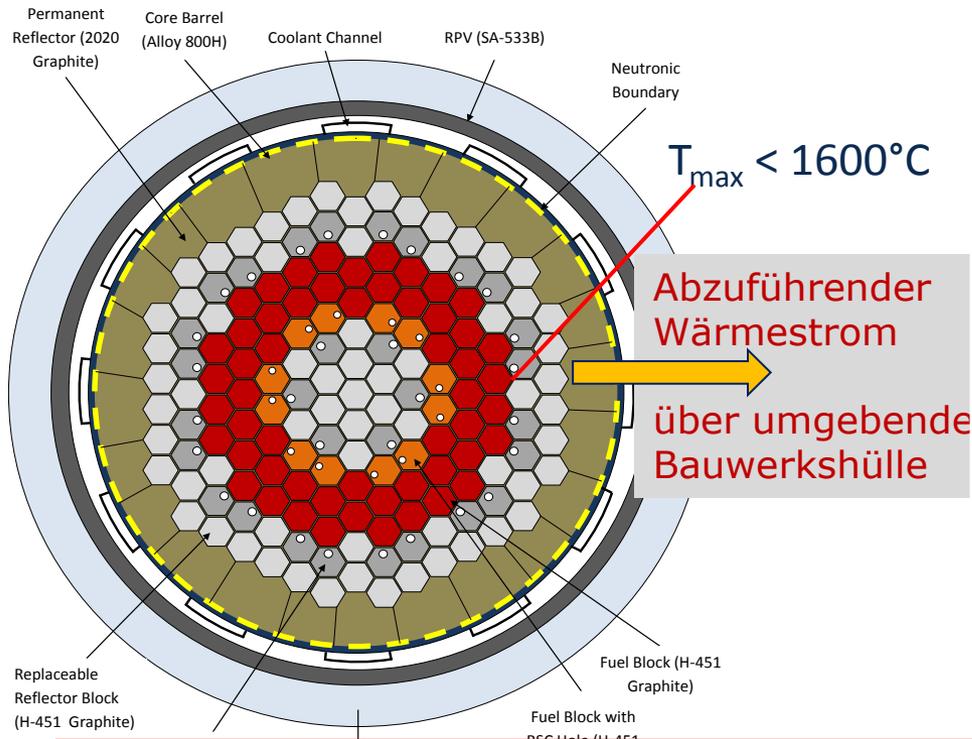
- Störfallanalyse unter station-black-out-Bedingungen
maximal zulässige Brennstofftemperatur
im Reaktor: 1.600 °C)
- Ermittlung der Wärmequellverteilung
im Kernreaktor
- Berechnung des naturgesetzlich durch Wärmeleitung,
Strahlung und Konvektion abzuführenden Wärmestromes
aus dem Reaktor in die Umgebung
- Kombination des Codes DYN3D-HTR (Reaktorkern)
mit COMSOL Multiphysics (Bauwerkstrukturen)



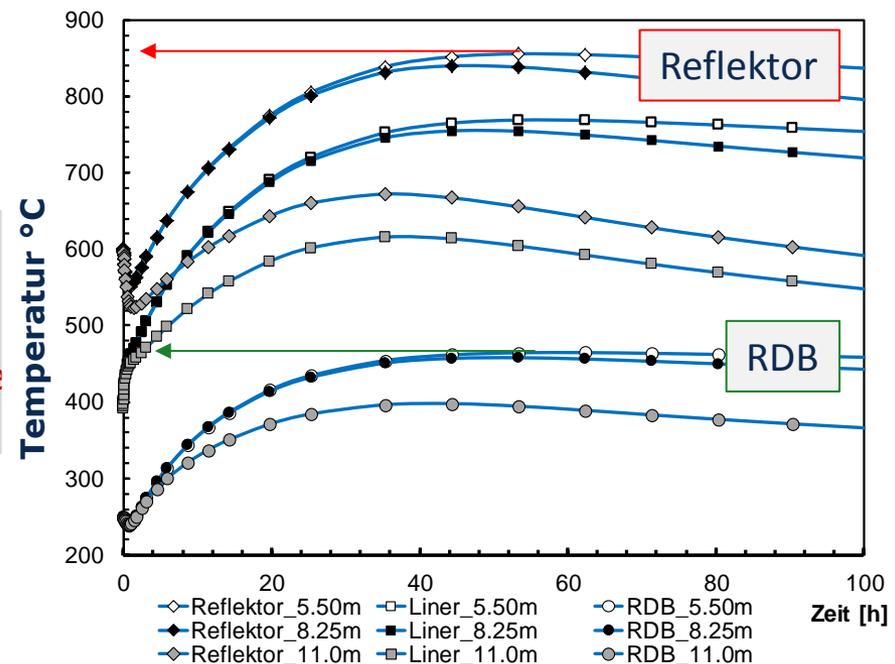
Ergebnis: Nachweis inhärenter Systemeigenschaften

Sicherheitstechnische Analyse der nuklearen Komponente Störfallanalyse unter station-black-out-Bedingungen

Core-Aufbau des Referenzreaktors



Temperaturverläufe Maximaltemperaturen



Ergebnis: RDB-Temperaturen bleiben selbst bei station-black-out- Bedingungen im zulässigen Bereich

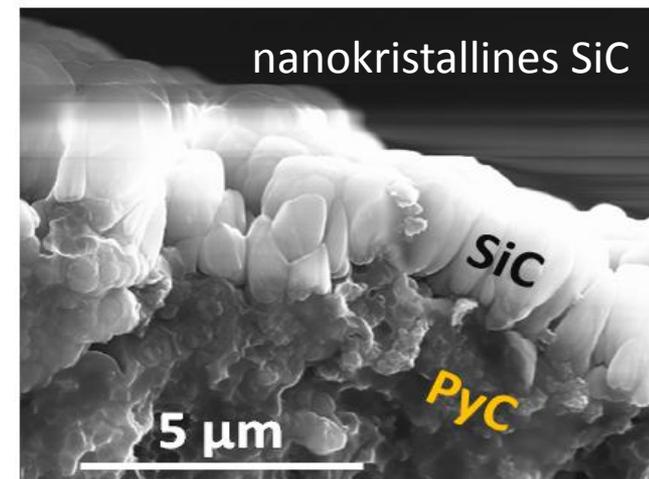
Erhöhung der nuklearen Sicherheit - Keramische Barrieren gegen Spaltproduktaustritt

- Nuklearer Brennstoff liegt in HTR in Form von TRISO-Partikeln vor.
- Die Beschichtungen (insbesondere SiC) dienen als Spaltproduktbarriere.
- Im HTR-Betrieb kommt es zum Austritt von Spaltprodukten (z. B. ^{110}Ag)



Ziel SYNKOPE: Optimierung der SiC-Schicht

- Literatur: **Nanokristallines** SiC weist hohe Strahlenresistenz auf
- ➔ **Herstellung und Erprobung nanokristalliner SiC-Schichten**



Energiewirtschaftliche Gesamtanalyse

- Methanolbedarf D, PL, CZ: **>3,1 Mio. t/a**; Europa > 10 Mio. t/a
- Import von 1,1 Mio. t/a in Dreiländerregion zu **354 EUR/t**
(Amsterdam)
- In erdgasreichen Exportländern (Iran, Saudi-Arabien):
70-80 EUR/t
- Eine SYNKOPE-Anlage stellt **3,7 Mio. t/a** zu **72 EUR/t** her

Zusammenfassung

- Optimaler thermo-chemischer Prozess:

Braunkohle-Wasserdampf-Vergasung mit integrierter Methanol-Synthese und paralleler Stromgenerierung (Co-generation)

- Technisches Konzept der Kopplung: **realisierbar**
- Wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit: **aufgezeigt**
- Inhärente Nukleare Sicherheit der Anlage: **grundsätzlich nachgewiesen**
- Die konzipierte Anlage würde den Import-Bedarf an Methanol von > 1,1 Mio. t/a Deutschlands, Tschechiens und Polens decken

Fazit

- Nukleare Braunkohleveredlung stellt eine künftige Option für eine CO₂-reduzierende Nutzung der Kohlenstoffressourcen im Dreiländer-Eck dar

Weiterentwicklung des Konzeptes zu SYNKOPE-Flex

*Aufbauend auf den Ergebnissen aus SYNKOPE wird folgende **Entwicklungsrichtung** für die Weiterarbeit empfohlen:*

- Eine Veredlung der Braunkohle zu **höherwertigen Aromaten** unter Einbeziehung CO₂-armer Hochtemperaturwärme bietet die Möglichkeit, den **Wertschöpfungsprozess** deutlich effizienter zu gestalten.
 - Verwertung **von braunkohlestämmigen Aromaten hin zu kurzkettingen Paraffinen** (gesättigten Kohlwasserstoffen) als Zielprodukt für das Vorhaben SYKOPE-FLEX
- Durch **Integration von Speichersystemen** für Wärme und Zwischenprodukte: Erhöhung der flexiblen Produktion von Elektroenergie und chemischen Produkten

Weiterentwicklung des Konzeptes zu SYNKOPE-Flex

Teilziele:

- **Substitutionsoptionen** im Strom- und Gasmarkt (HSZG)
- Stoffliche Verwertung von **Braunkohlenlignin** unter Einkopplung von Prozesswärme (TUBAF, ITC)
- **Korrosionsuntersuchungen** an metallischen und keramischen Werkstoffen (TUBAF, IWTT)
- Weiterentwicklung gefügter **SiC-Bauteile** (TUD, WKET)
- Integration der **Hochtemperaturelektrolyse** zur Wasserstofferzeugung (CV Rez, CU Prag, Tschechien)

Weiterentwicklung des Konzeptes zu SYNKOPE-Flex

Teilziele:

- Analysen zu **Salzschmelzen als Wärmeträgermedium** (TUD, WKET)
- Wärmetransport und Wärmeübertragung mit **Flüssigmetallen** (HZDR)
- Konzipierung von **Wärmeübertragern für Salzschmelzen** (TU Szczecin, TU Gliwiczach, Polen)
- Entwicklung diffusionsbeständiger **keramischer Schichten** zum Korrosionsschutz (TUD-WKET)

Danksagung

Die Arbeiten werden von der Europäischen Kommission und der Sächsischen Aufbaubank durch das Forschungs-Projekt "SYNKOPE", Projekt Nr. 86265 gefördert.



European Union

European Regional Development Fund

Europa fördert Sachsen.

EFRE

Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

