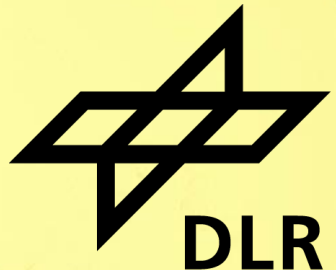
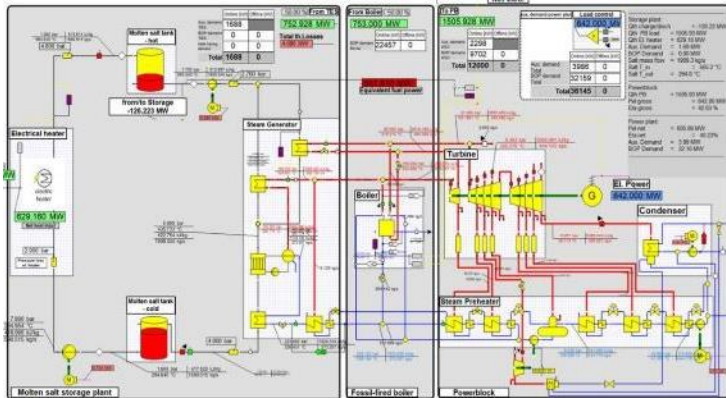


Defossilisierung der Energieversorgung eines Standortes der chemischen Industrie mittels Wärmespeicherkraftwerk

2. Jahrestreffen der DECHEMA-Fachsektion Energie, Chemie und Klima

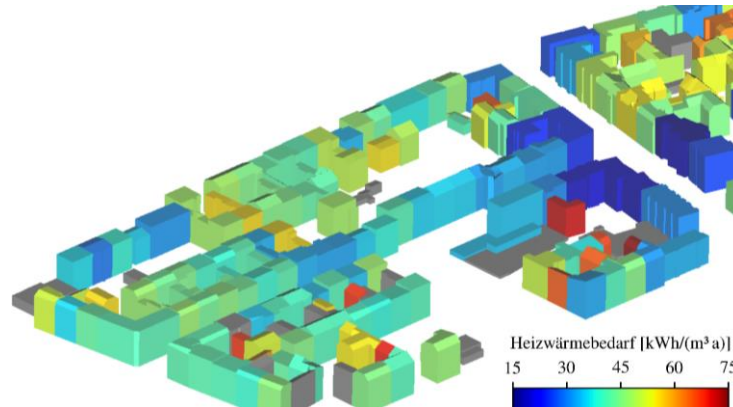


Systemmodellierung



- Systemmodellierung und -design
- Techno-ökonomische Bewertung
- Betriebsverhalten und Steuerung von Parabolrinnensystemen

Bedarfsanalyse



- Automatisierte Erfassung und Charakterisierung bestehender Infrastrukturen, Freiflächen und Gebäude

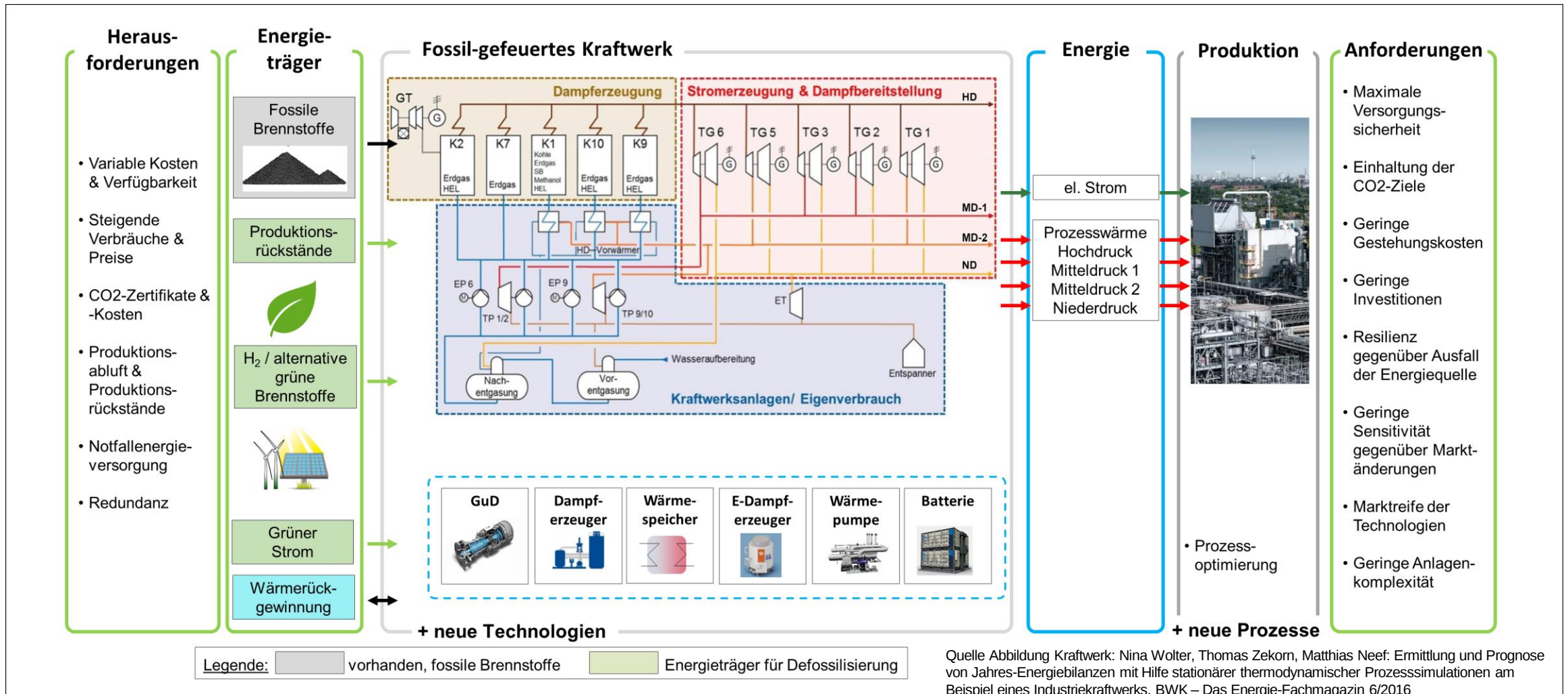
Verfahrenstechnik



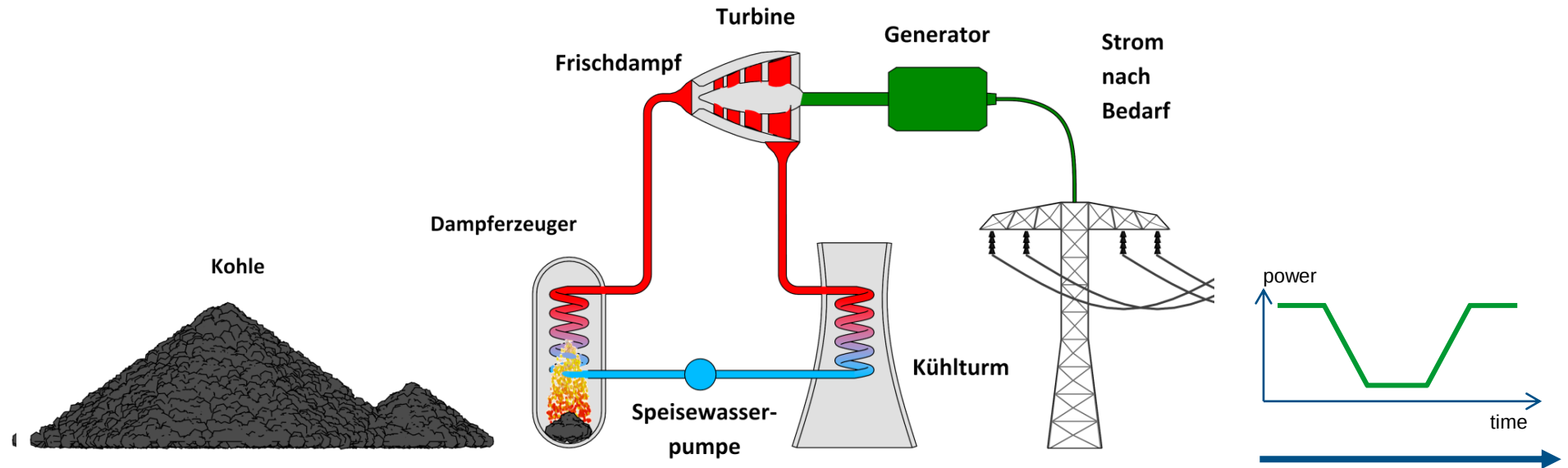
- Entwicklung, Bau und Betrieb von Großanlagen für die Erprobung chemischer Produktionsprozesse

25 Mitarbeitende an den Standorten Jülich, Köln und Stuttgart

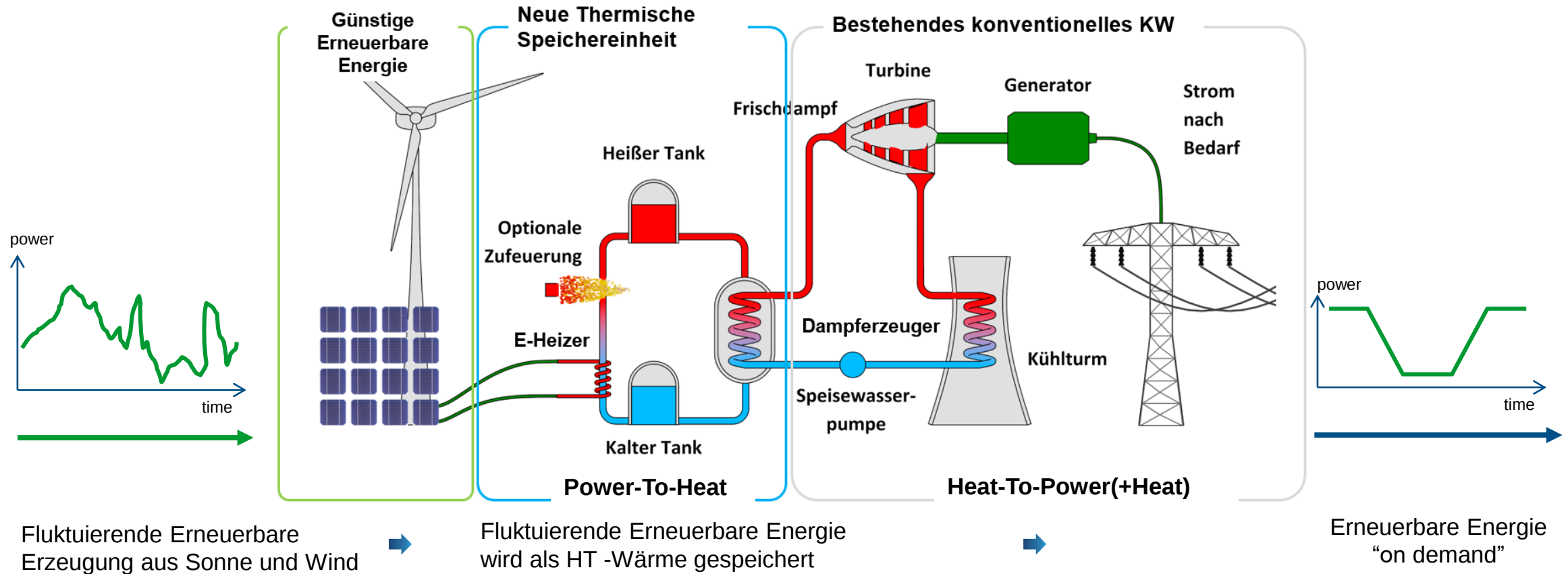
StoREN – Defossilisierung der Energieversorgung eines Chemiestandorts



Wärmespeicherkraftwerk (WSK) für die Speicherung von regenerativer elektrischer Energie



Wärmespeicherkraftwerk (WSK) für die Speicherung von regenerativer elektrischer Energie



Schrittweises Vorgehen bei einer techno-ökonomischen Analyse

Definition der Randbedingungen

Brainstorming zu Konzepten

Vorauswahl der Konzepte

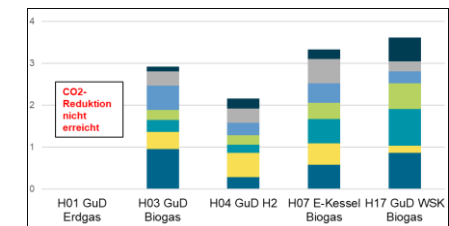
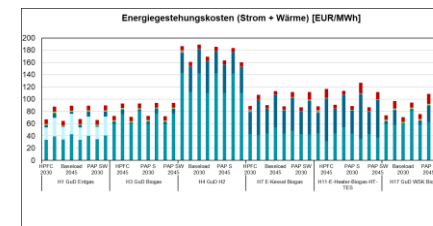
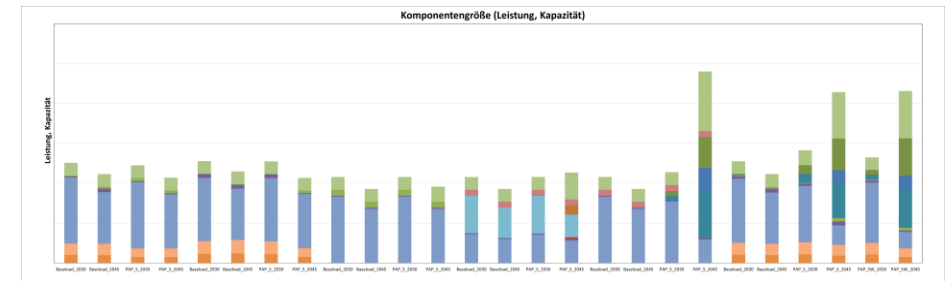
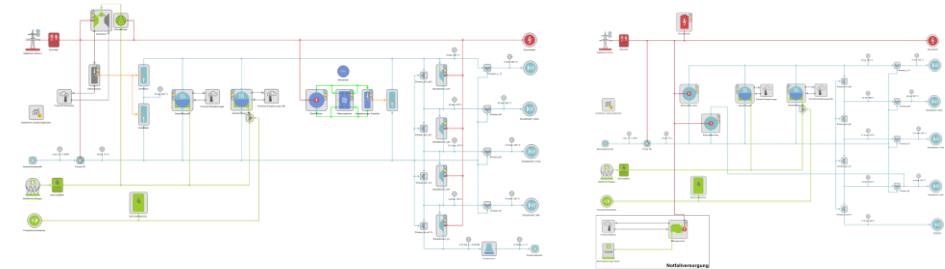
Detailliertes Anlagendesign

(Multi-) Jahresertragssimulation

Designoptimierung

Techno-ökonomische Bewertung

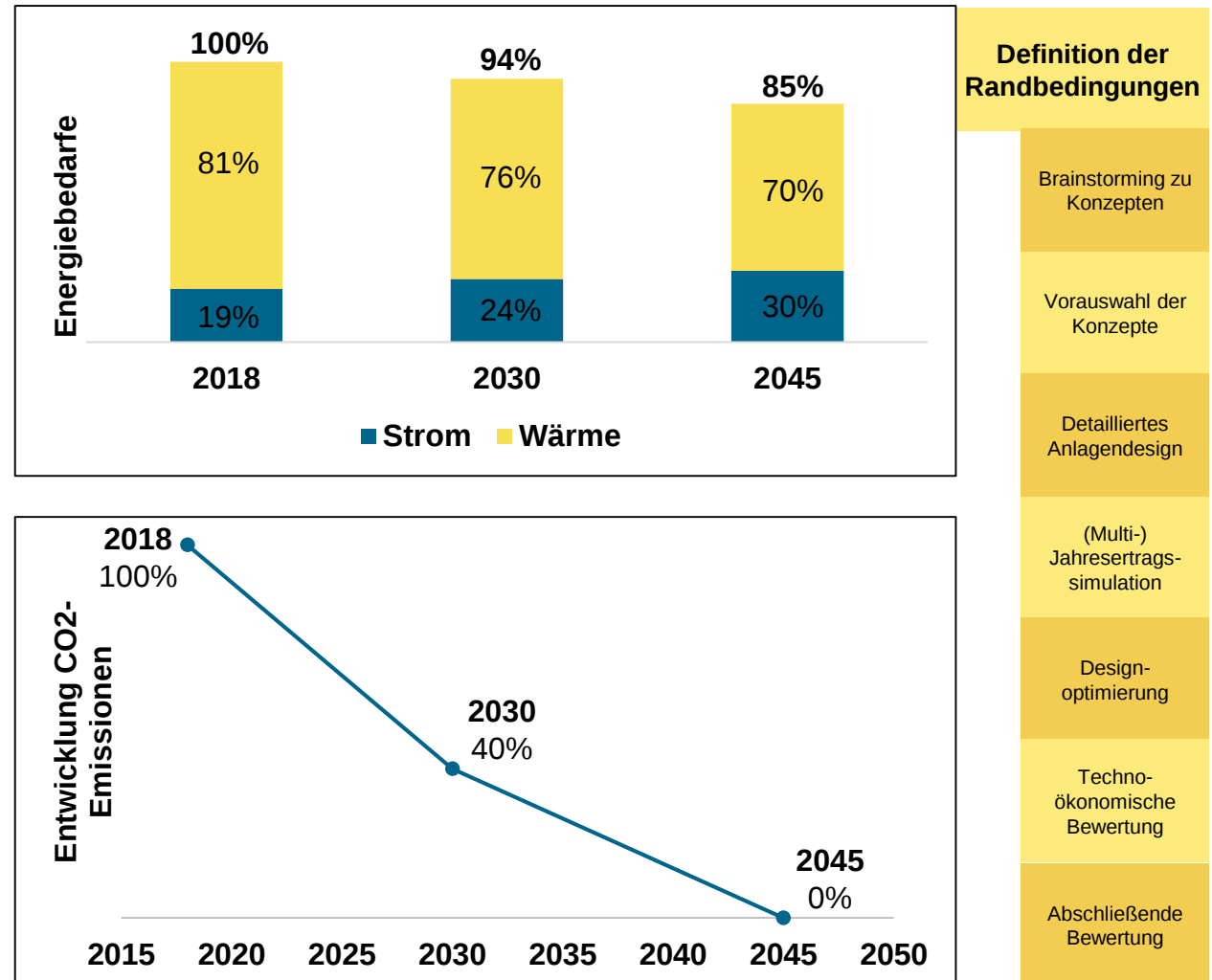
Abschließende Bewertung



Energiepreise, Energiebedarfe, CO₂-Reduktion

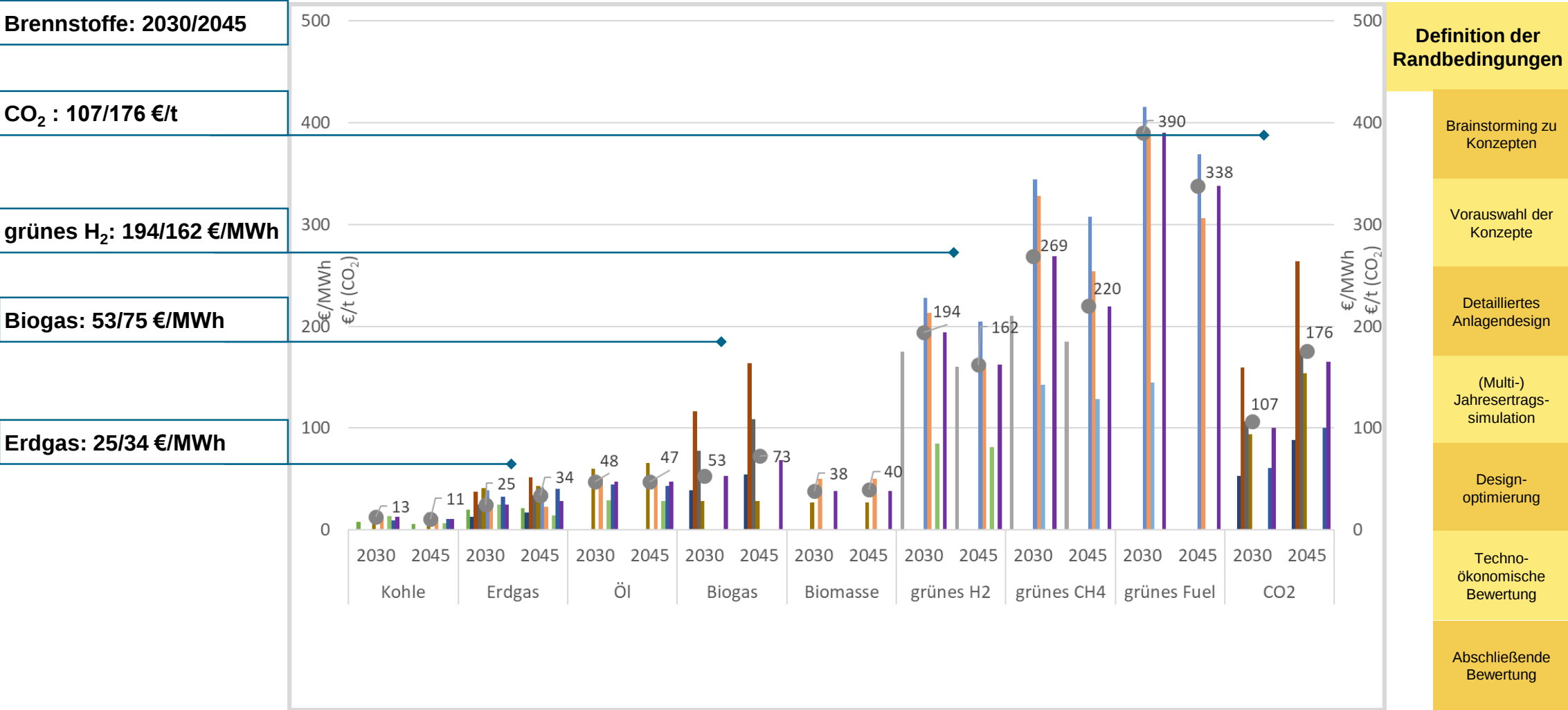
Die Randbedingungen des Systems

- Energiebedarfe des Chemieparks
- CO₂-Reduktionsziele
- Technische und ökonomische Spezifikationen der betrachteten Technologien



Energiepreise, Energiebedarfe, CO₂-Reduktion

Die Randbedingungen des Systems

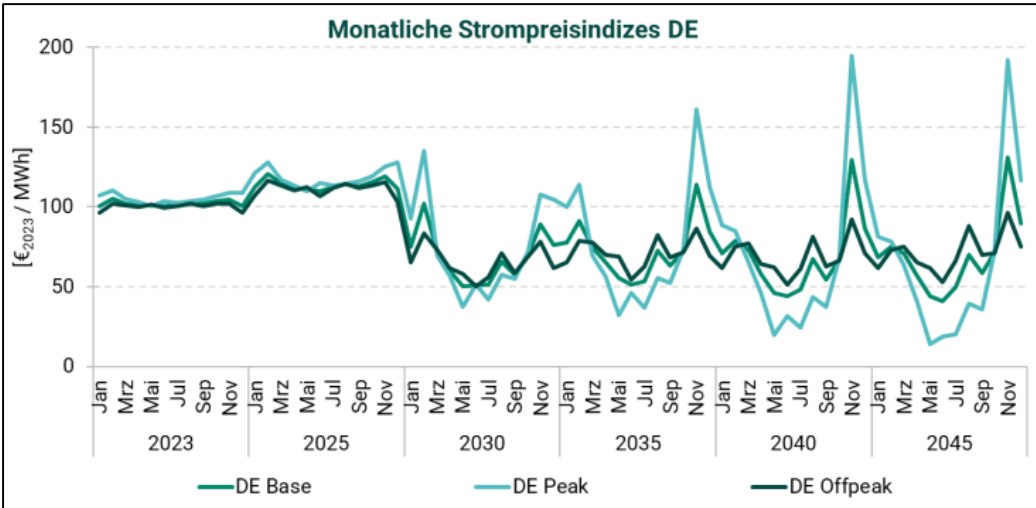


Energiepreise, Energiebedarfe, CO₂-Reduktion

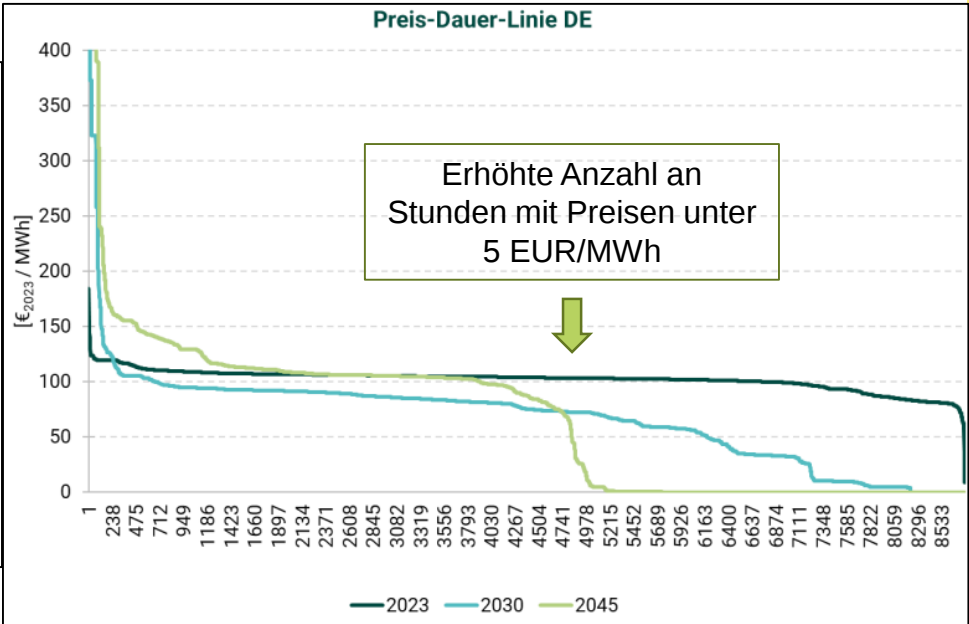
Die Randbedingungen des Systems



Hourly price forward curve (HPFC)



Quelle: r2b für StoREN



Quelle: r2b für StoREN

Green Power Purchase Agreement (PPA)

Stromkosten [EUR/MWh]	2023	2030	2045
PPA Baseload	137	106	118
PPA Pay-As-Produced Solar	104	57	43
PPA Pay-As-Produced Wind + Solar	103	66	60

Definition der Randbedingungen

Brainstorming zu Konzepten

Vorauswahl der Konzepte

Detailliertes Anlagendesign

(Multi-) Jahresertrags-simulation

Design-optimierung

Techno-ökonomische Bewertung

Abschließende Bewertung

Vielzahl an Konzepten mit unterschiedlichem Grad an Elektrifizierung



Kraftwerke mit Brennstoffwechsel					Elektrifizierung ohne eigene Stromerzeugung							Elektrifizierung mit eigener Stromerzeugung (WSK)				
H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17
Erdgas	Erdgas CCS	Biogas	H ₂	Bio-masse	Erdgas	Biogas	H ₂	Bio-masse	Erdgas	Biogas	Biogas	Erdgas	Biogas	H ₂	Biogas	Biogas
GT DT	GT DT	GT DT	GT DT	DT								DT	DT	DT	DT	GT DT
DE AK	DE AK	DE AK	DE AK	DE	DE EK	DE EK	DE EK	DE EK	DE EH	DE EH	DE EK WP	DE EH	DE EH	DE EH	DE EH WP	DE AK EH
					Bat	Bat	Bat	Bat	HTS	HTS		HTS	HTS	HTS	HTS	HTS

GT = Gasturbine
 DT = Dampfturbine
 DE = Dampferzeuger

AK = Abhitzekessel
 EK = Elektrokessel
 WP = Wärmepumpe

EH = Elektro-Heizer
 Bat = Batterie
 HTS = Hochtemperaturspeicher

Definition der Randbedingungen

Brainstorming zu Konzepten

Vorauswahl der Konzepte

Detailliertes Anlagendesign

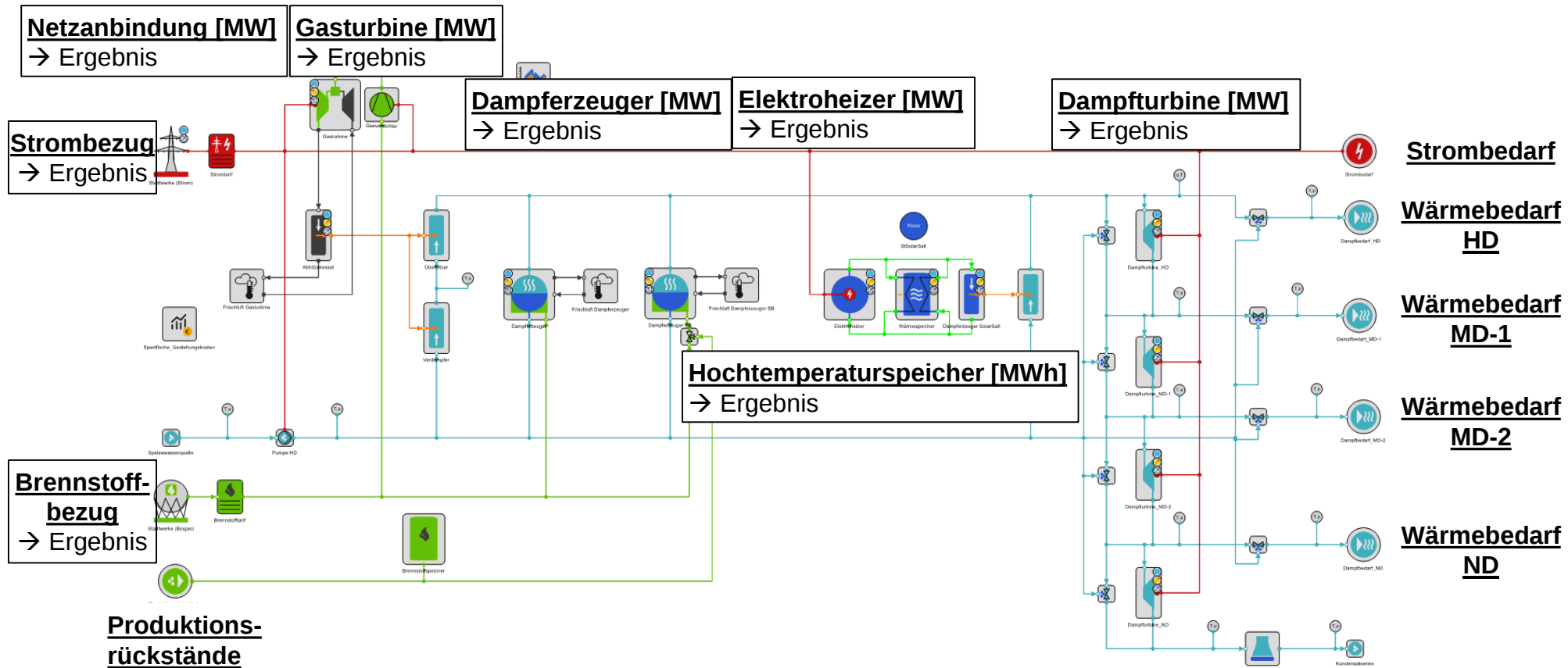
(Multi-) Jahresertrags-simulation

Design-optimierung

Techno-ökonomische Bewertung

Abschließende Bewertung

Modellierung der Konzepte zur Optimierung der Auslegung und des Betriebs



→ Kombinierte Optimierung der Auslegung und des Betriebs des Energieversorgungssystems

Definition der Randbedingungen

Brainstorming zu Konzepten

Vorauswahl der Konzepte

Detailliertes Anlagendesign

(Multi-) Jahresertrags-simulation

Design-optimierung

Techno-ökonomische Bewertung

Abschließende Bewertung

Reduktion der CO₂-Emissionen nicht in allen Konzepten technisch möglich

Strombezugsmodell und Stützjahr		Kraftwerke mit Brennstoffwechsel					Elektrifizierung ohne eigene Stromerzeugung							Elektrifizierung mit eigener Stromerzeugung (WSK)				
		H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17
HPFC	2030																	
	2045																	
PPA Baseload	2030																	
	2045																	
PPA Pay-As-Produced (Solar)	2030																	
	2045																	
PPA Pay-As-Produced (Solar/Wind)	2030																	
	2045																	

- 17 Konzepte, 4 Strompreismodelle, 2 Stützjahre → 136 Modelle
- Varianten mit Erdgas können in manchen Konstellationen die vorgegebenen Emissionsziele nicht erfüllen

Definition der Randbedingungen

Brainstorming zu Konzepten

Vorauswahl der Konzepte

Detailliertes Anlagendesign

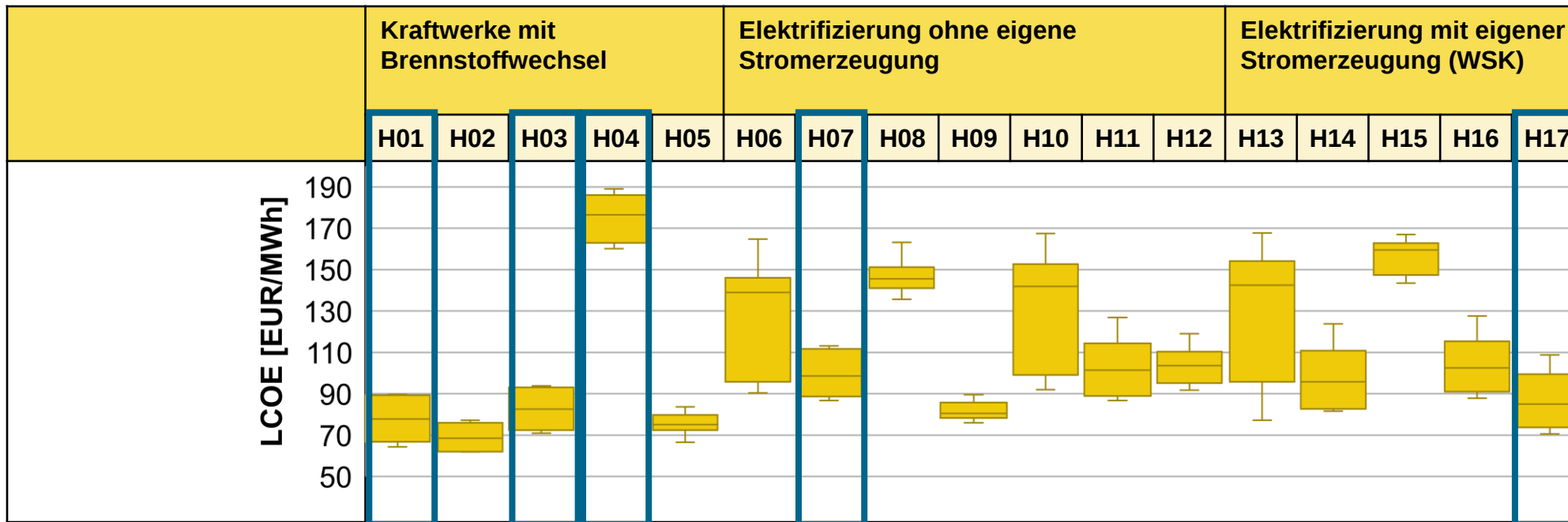
(Multi-) Jahresertrags-simulation

Design-optimierung

Techno-ökonomische Bewertung

Abschließende Bewertung

Techno-ökonomische Bewertung anhand der Energiegestehungskosten



- Biogas + Elektrifizierung → geringste LCOE
- Biomasse + Elektrifizierung → geringe LCOE, fragliche Nachhaltigkeit
- Wasserstoff Konzepte führen zu dem höchsten LCOE

Definition der Randbedingungen

Brainstorming zu Konzepten

Vorauswahl der Konzepte

Detailliertes Anlagendesign

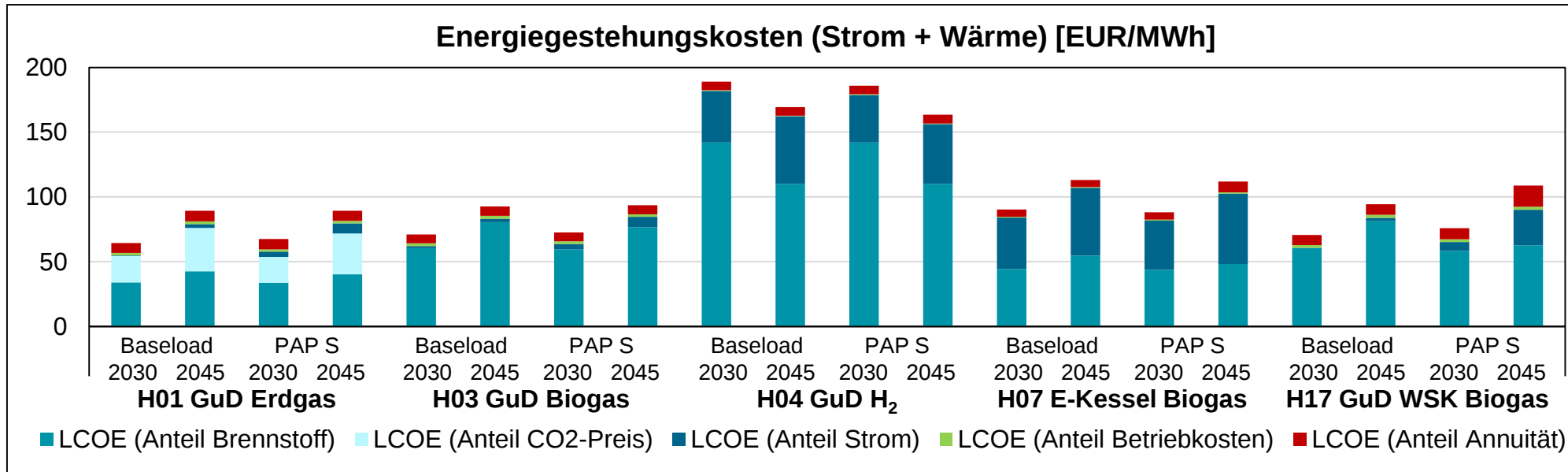
(Multi-) Jahresertrags-simulation

Design-optimierung

Techno-ökonomische Bewertung

Abschließende Bewertung

Zusammensetzung der Energiegestehungskosten ausgewählter Konzepte



- Kosten für Energie deutlich höher als Annuität und Betriebskosten
- Geringste Kosten bei Varianten H1, H3 und H17
- Aufgrund des CO₂-Preises ähnliche Kosten bei Erdgas und Biogas
- 2045 steigt der Bezug von elektrischem Strom
- H4 mit deutlich höheren Gestehungskosten

Definition der Randbedingungen

Brainstorming zu Konzepten

Vorauswahl der Konzepte

Detailliertes Anlagendesign

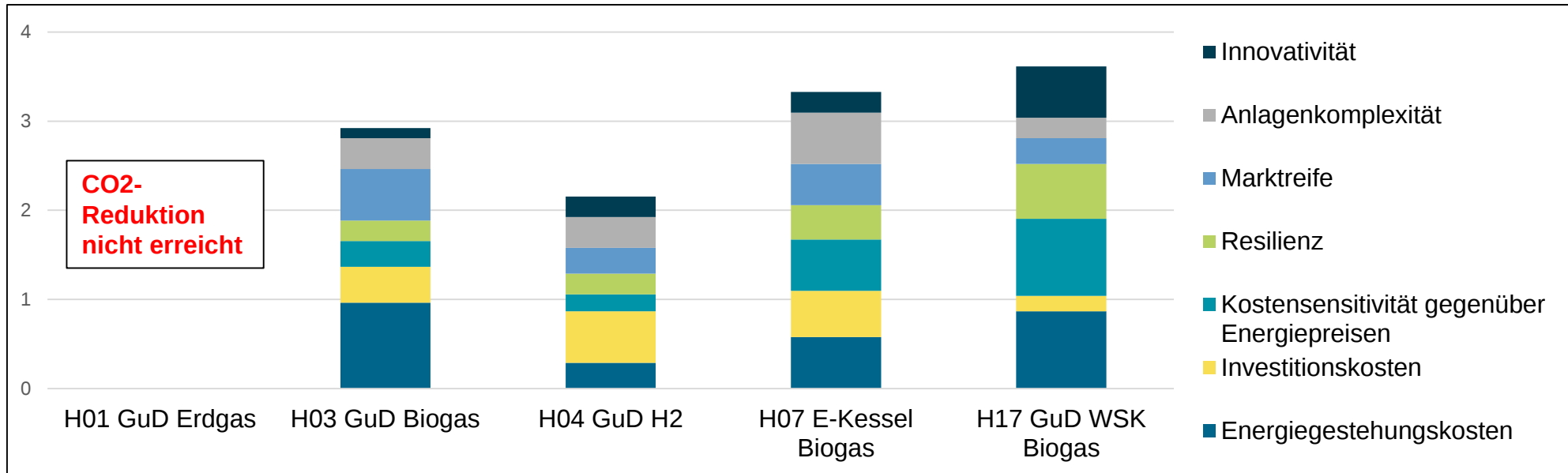
(Multi-) Jahresertrags-simulation

Design-optimierung

Techno-ökonomische Bewertung

Abschließende Bewertung

Abschließende Bewertung anhand von sieben unterschiedlicher Kriterien



- H7 und H17 schneiden am Besten ab.
- H17 → Hohe Resilienz, geringe Kostensensitivität gegen Energiepreisänderung
- H4 aufgrund von hohen Energiegestehungskosten am schlechtesten bewertet

Definition der Randbedingungen

Brainstorming zu Konzepten

Vorauswahl der Konzepte

Detailliertes Anlagendesign

(Multi-) Jahresertrags-simulation

Design-optimierung

Techno-ökonomische Bewertung

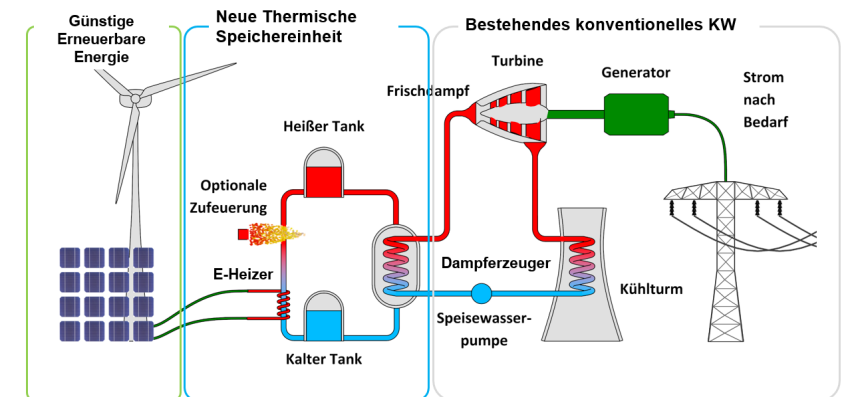
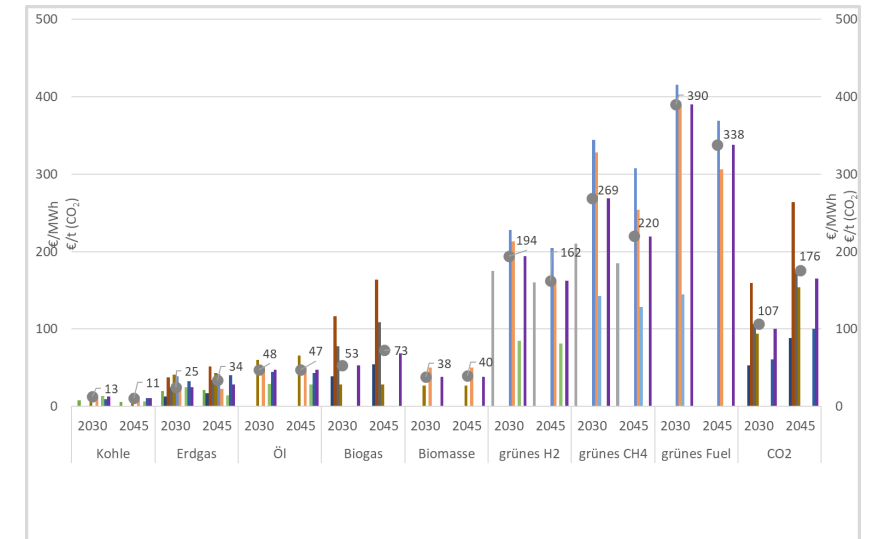
Abschließende Bewertung

Zusammenfassung

- Biogas aufgrund des CO₂-Preises ähnlich teuer wie Erdgas
- Wasserstoff führt zu deutlich erhöhten Gestehungskosten
- Hybride Konzepte führen zu geringen Gestehungskosten und hoher Flexibilität

→ Netzausbau für Elektrifizierung notwendig

- Integration eines WSKs führt zu einer hohen Resilienz und zu geringer Sensitivität gegenüber Energiepreisen



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt: martin.bolten@dlr.de

Vorhaben	StoREN – Phase 1 Dekarbonisierung der <u>Strom-</u> und <u>Wärme-</u> erzeugung mit Erneuerbaren im Industriepark Holthausen mit Wärmespeicherkraftwerken und anderen innovativen Technologien
Laufzeit	01.01.2023 bis 31.12.2023
Autoren des Berichts:	Arnulf Reitze ¹ , Stefano Giuliano ² , Gerrit Koll ² , Christiane Glasmacher-Remberg ¹ , Eike Mahnke ¹ , Michel Pepers ¹ , Judith Jäger ² , Martin Bolten ² , Michael Dragovic ³ , Frank Thom ³ , Manja Ostermann ³ , Philipp Pötzsch ³ , Daniel Meierhöfer ³ , Michael Roling ³ ¹ BASF, ² DLR, ³ Henkel
Förderung	EFO 0187A, EFO 0187B Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen

