

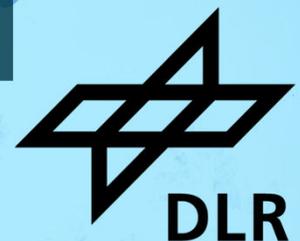
HeatUp: Vernetzung von Wirtschaft und Wissenschaft für
Prozesswärmelösungen

***HOCHTEMPERATUR-WÄRMEPUMPEN FÜR INDUSTRIELLE PROZESSWÄRME**

*** 150 - 400 °C !**

Prof. Dr. Uwe Riedel
uwe.riedel@dlr.de

Institut für CO₂-arme Industrieprozesse
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)



DLR-Institut für CO₂-arme Industrieprozesse

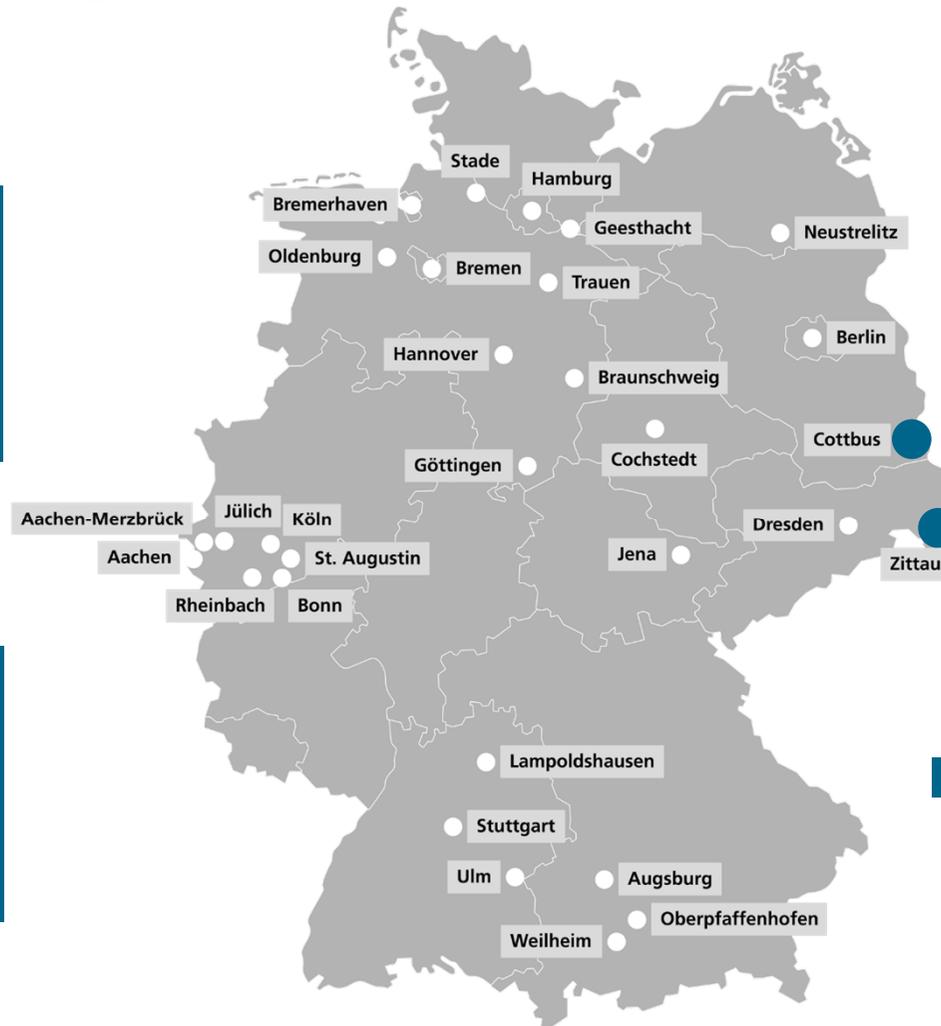


Mission

Lösungen im Bereich der Energieforschung und der Energiewende für die Industrie anbieten

Ziel

Minderung von CO₂- und Schadstoffemissionen aus industriellen Prozessen und Kraftwerken



Universitätsbibliothek Cottbus



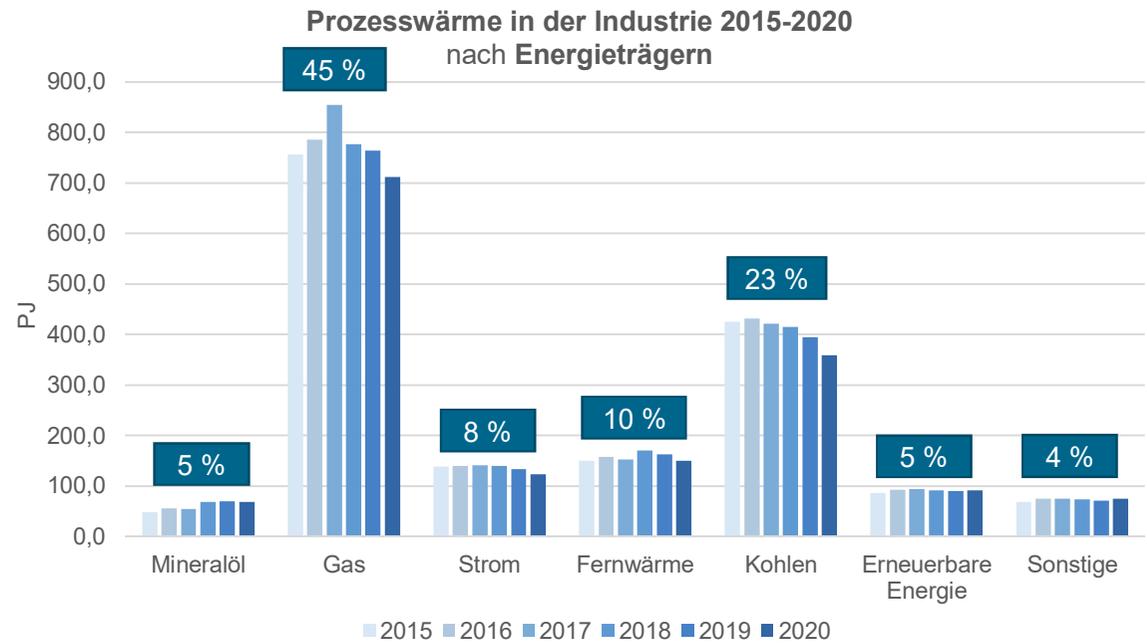
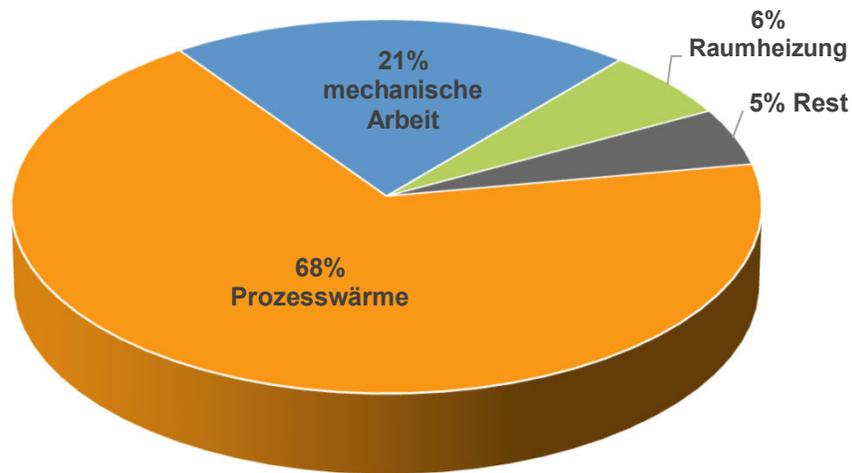
Innenstadt Zittau

Industrielle Prozesswärme



Herausforderungen

- Energiebedarf der Industrie besteht zu ca. **70% aus Wärmebedarf**
- Wird zu mehr als **90% aus fossilen Energieträger** erzeugt
- 2015-2020: kein Trend hin zu erneuerbarer Energie erkennbar

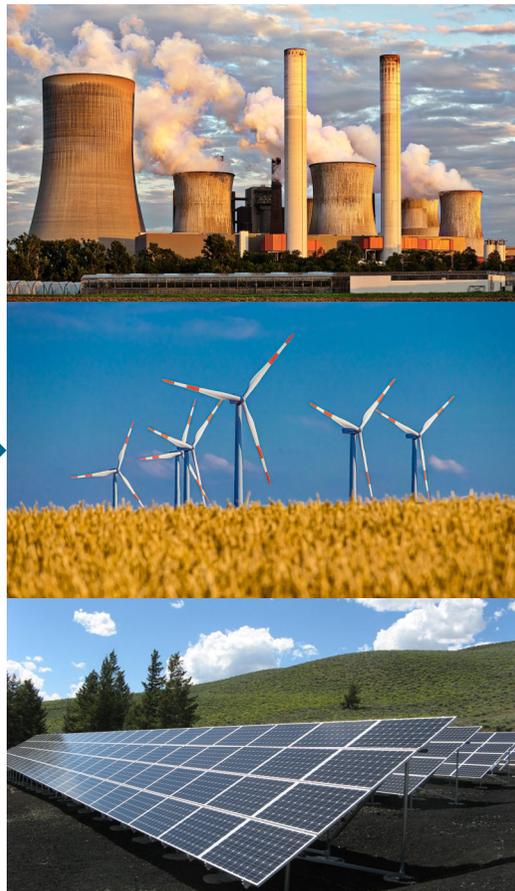


Datenquelle: AGEB e.V.

Energiesystem: Gestern und morgen

Vergangenheit

- Energieversorgung durch zentrale Großkraftwerke
- Fossile Brennstoffe
- Regelbare Bereitstellung der Energie



Zukunft

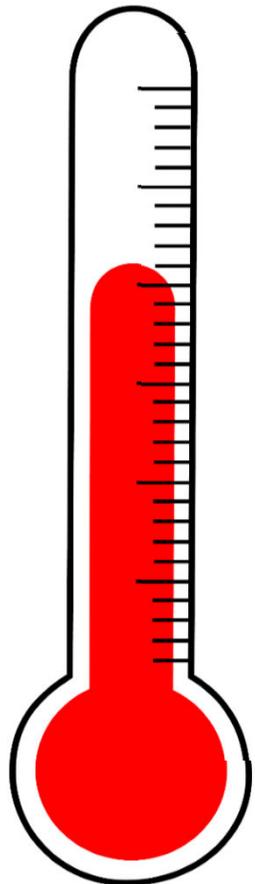
- Energieversorgung mit erneuerbarer Energie
- Fluktuierende Energiequellen
- Speicher erforderlich
- Vorwiegend dezentral

Hochtemperatur-Wärmepumpen – Schlüsselbaustein der Wärmewende der Industrie

- Doppelrolle
 - Wärmeerzeugung – Effiziente Bereitstellung
 - Wärmespeicher – Effiziente Beladung

Forschungs- und Entwicklungsbedarf:
Deutliche Erhöhung des Temperaturniveaus und
des Leistungsbereichs von Wärmepumpen

„Thermometer“ der Prozesswärmeversorgung



> 500 °C	<ul style="list-style-type: none">• Direkte elektrische Beheizung• Wasserstoffverbrennung (auch andere synthetische Brennstoffe möglich)
200-500 °C	<ul style="list-style-type: none">• <u>Hochtemperaturwärmepumpen</u> (kommerziell nur bis 150°C)• Direkte elektrische Beheizung• Konzentrierte Solarthermie
100-200 °C	<ul style="list-style-type: none">• <u>Hochtemperaturwärmepumpen</u> (kommerziell nur bis 150°C)• Direkte elektrische Beheizung• Solarthermie
< 100 °C	<ul style="list-style-type: none">• Herkömmliche industrielle Wärmepumpen• Solarthermie

Wärmepumpen

- „Gehebelter“ Nutzen von Strom
- Bessere Effizienz als direkte Stromnutzung (COP > 1)

Bezug zu Wasserstoff

Grüner Wasserstoff für die Bereiche, in denen es keine Alternative gibt

Wärmebedarf der Industrie



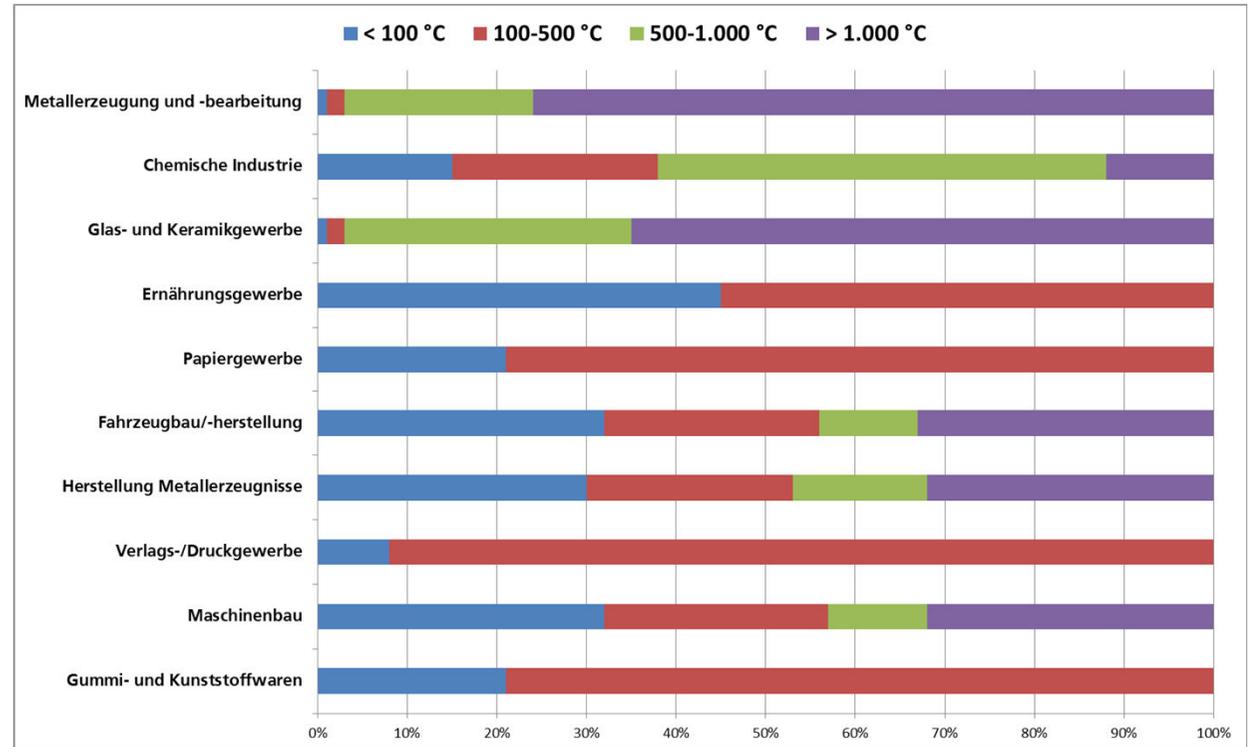
Temperatur der Wärme

- Deutliche Unterschiede im Temperaturniveau zwischen den Industriezweigen

Schlüssel zur Dekarbonisierung

- Anpassung der Wärmebereitstellung
- Option „Elektronen“
 - erfordert grünen Strom
- Option „Moleküle“
 - erfordert grüne Brennstoffe (H₂)

40 % des Wärmebedarfs liegen im Bereich 100 – 500 °C
Schlüsselfrage: Was ist die effizienteste Art der Bereitstellung?



Nach Agentur für Erneuerbare Energien, 2017

DLR-Hochtemperatur-Wärmepumpen



Prinzip: Verdichter und Turbine
bekannte Komponenten aus der Luftfahrt

Entwicklungsziel: Industrierelevante Leistungsdaten

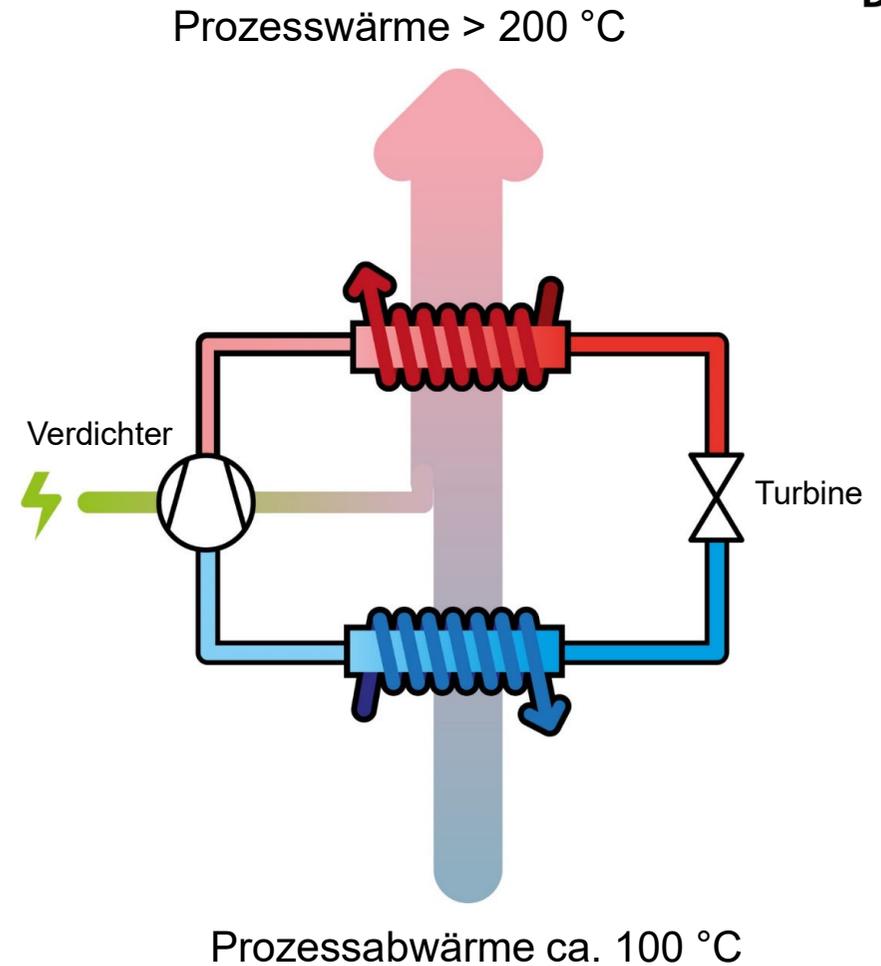
- Leistung: ca. 100 kW - 10 MW
- Nutztemperatur: 150 - 400 °C
(Sonderfälle bis 600 °C, 100 MW)

Effizienz hängt ab von:

- Temperaturdifferenz
- Temperatur der Abwärme

Natürliche Kältemittel (mit/ohne Phasenwechsel):

- Luft, Argon, Wasser, CO₂



Eigene Darstellung, aufbauend auf TNO-Report Robert de Boer et al.

DLR-Pilotanlage CoBra

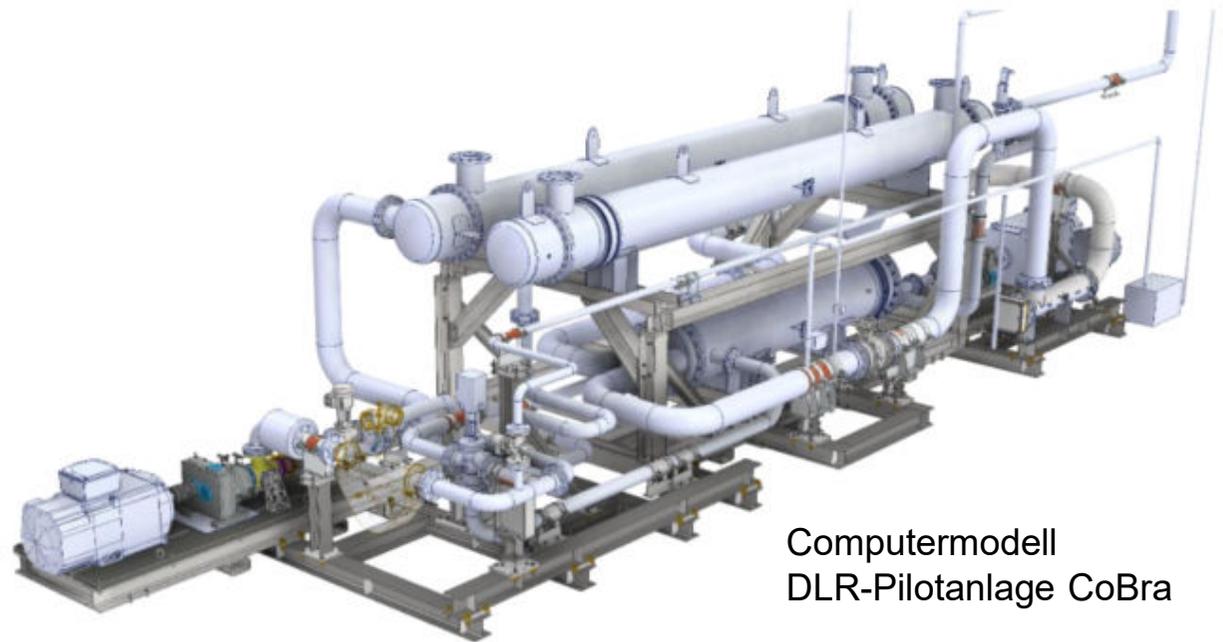


Ziel

- Bereitstellung von CO₂-neutraler Hochtemperatur-Prozesswärme in für die Industrie relevanter Größe

„First of its kind“ – Pilotanlage

- Leistungsdaten:
 - 280 °C
 - 300 kW
 - Arbeitsmedium Luft
- Einmalig auch:
 - Kälte bei - 40 °C
 - Kälteleistung 50 kW



Computermodell
DLR-Pilotanlage CoBra

Inbetriebnahme Q2/2023

DLR-Pilotanlage ZiRa



Ziel

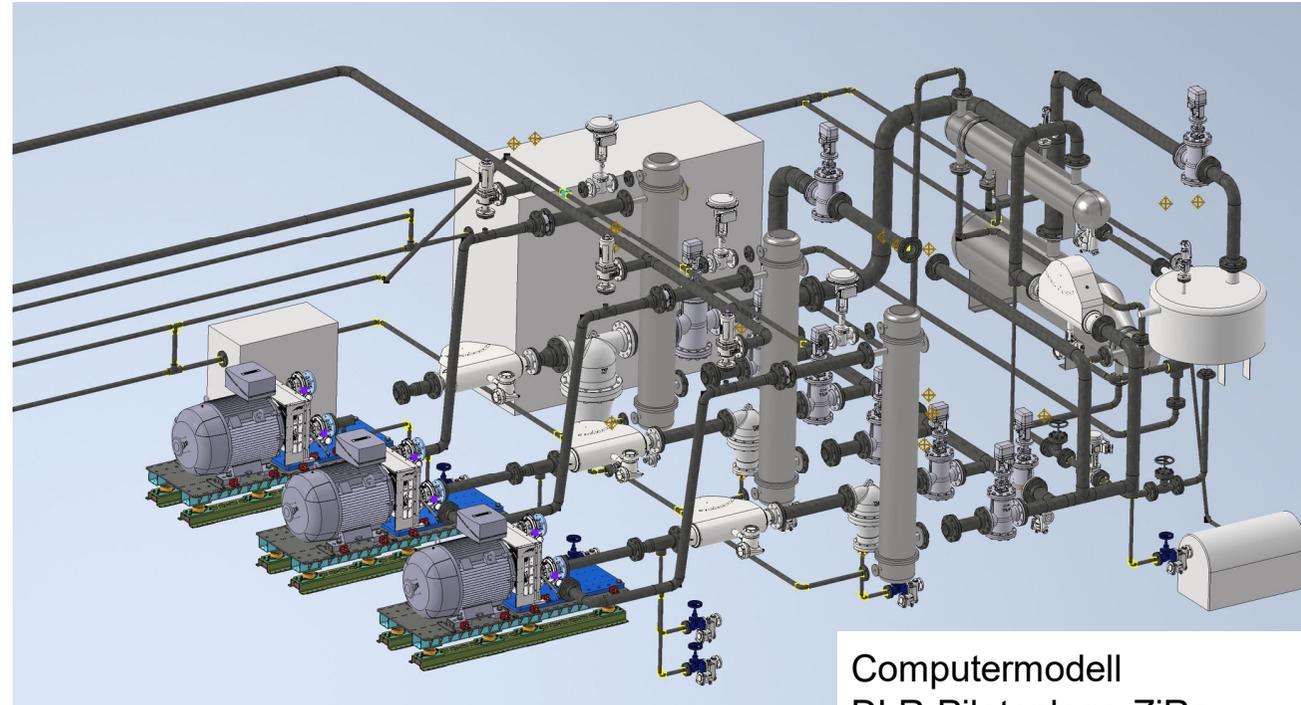
- Bereitstellung von CO₂-neutraler Hochtemperatur-Prozesswärme in für die Industrie relevanter Größe

„First of its kind“ – Pilotanlage

- Leistungsdaten:

Stage 1	Stage 2
140 °C	200 °C
260 kW _{th}	860 kW _{th}
COP 6,4	COP 3,5

- Arbeitsmedium Wasser/-dampf
- Dreistufige Dampfverdichtung



Computersmodell
DLR-Pilotanlage ZiRa

Inbetriebnahme
Stage 1 in Q1/2024
Stage 2 in Q3/2024

DLR-Institut für CO₂-arme Industrieprozesse

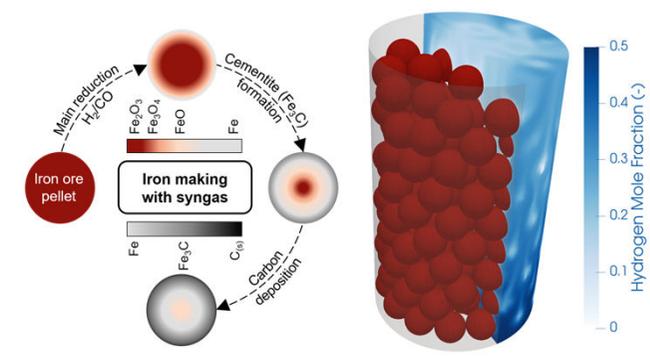
Themen und Abteilungen des Instituts



Hochtemperatur-Prozesswärme

Effizienzsteigerung
Risikominimierung

Neue Prozesse zur
CO₂-Minderung



**Hochtemperatur-
Wärmepumpen**

**Simulation und
Virtuelles Design**

**Kohlenstoffarme
Reduktionsmittel**

**Integration von HTWP
in Industrieprozesse**

**Integration
in Dekarbonisierungsstrategien**



Zusammenfassung



“Grüne Wärme“ ist ein Schlüsselement für die Dekarbonisierung der Industrie

DLR Hochtemperatur-Wärmepumpe ist

- erste Technologie, die Temperaturbereiche $> 250\text{ °C}$ mit hoher Effizienz erreicht
- So „grün“ wie der verwendete Strom

Bezug zu Wasserstoff:

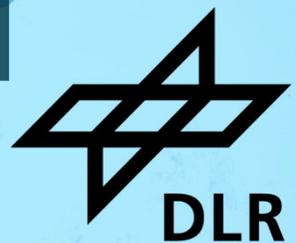
Einsparung von Wasserstoff für die Bereiche, in denen es keine Alternativen gibt



HOCHTEMPERATUR-WÄRMEPUMPEN FÜR INDUSTRIELLE PROZESSWÄRME

Prof. Dr. Uwe Riedel

Institut für CO₂-arme Industrieprozesse
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)



Herausforderungen der industriellen Dekarbonisierung



1/3 Prozessbedingte
Emissionen

Lange
Anlagenlebensdauer
50 - 70 Jahre

Emissionen aus
Wärmebedarf

Verflechtung der
Wertschöpfungsketten

Wettbewerb
Globaler Markt



Konventionelle Wärmepumpe

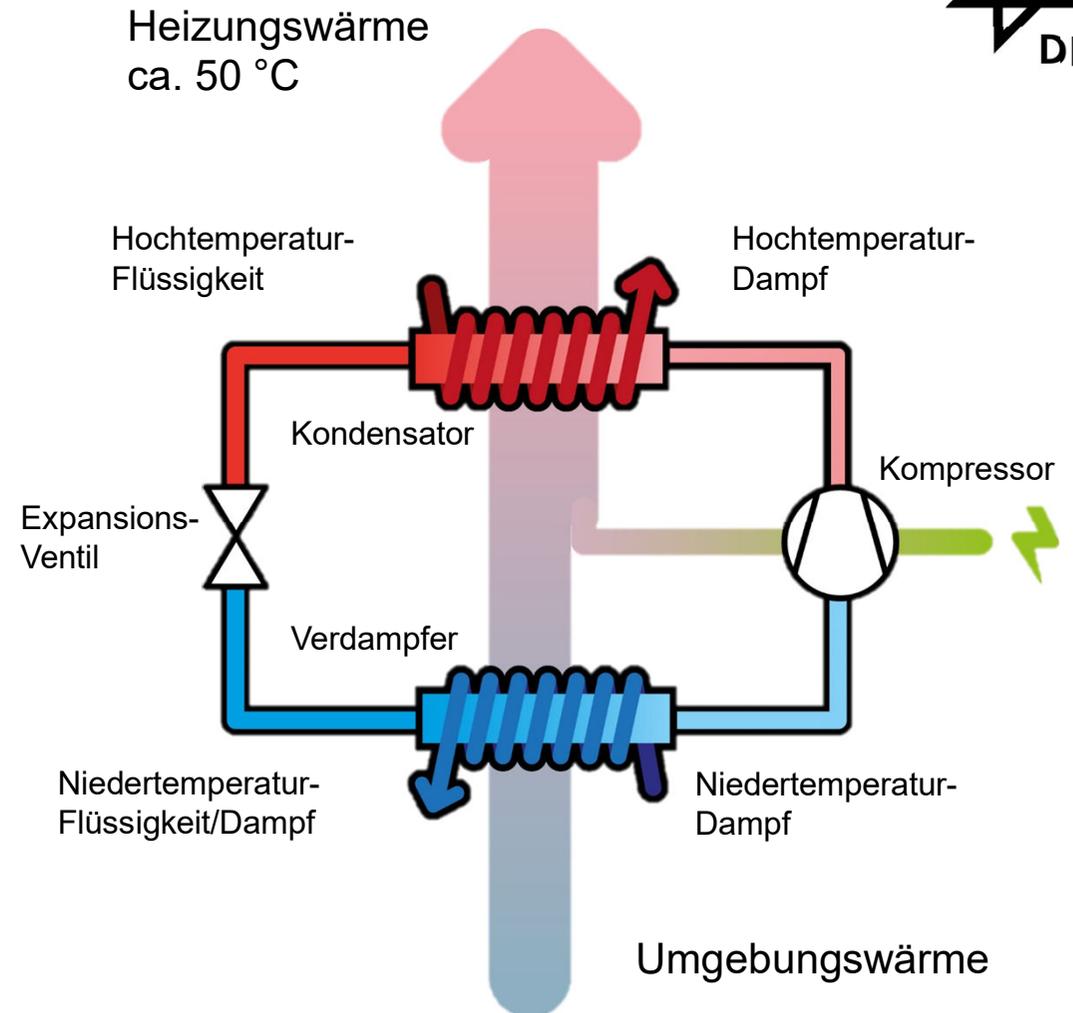


Klassische Wärmepumpe

- Kreisprozess mit Kältemittel
- Strom treibt Kompressor an

Hohe Effizienz der Stromnutzung

- Leistungszahlen 4 – 6 im Consumer-Bereich
- d. h. 1 Einheit Strom (€ !) und Umgebungswärme (0,00 €) werden zu 4 - 6 Einheiten Nutzwärme



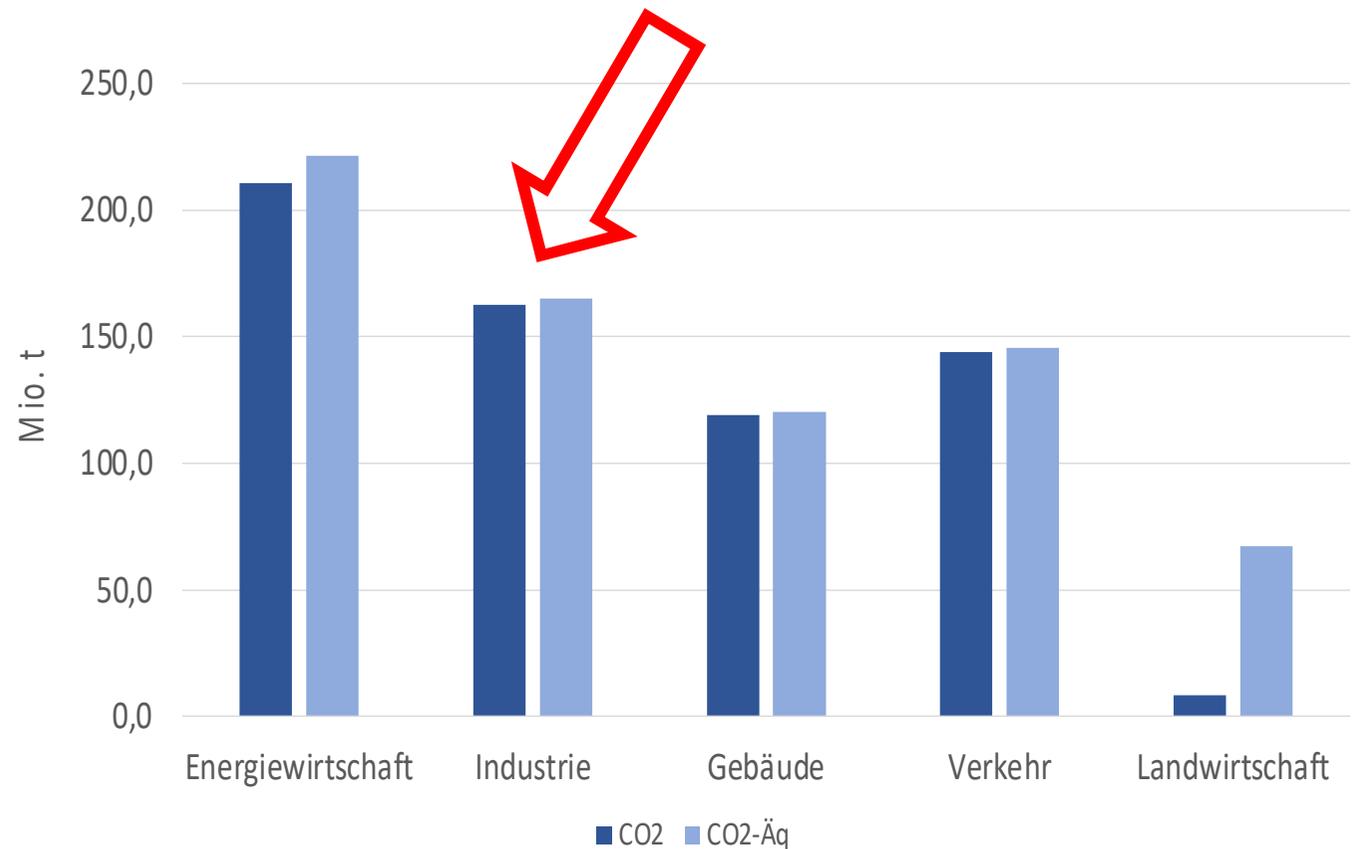
Eigene Darstellung, aufbauend auf TNO-Report Robert de Boer et al.

CO₂- und CO₂(Äq)-Emissionen nach Sektoren



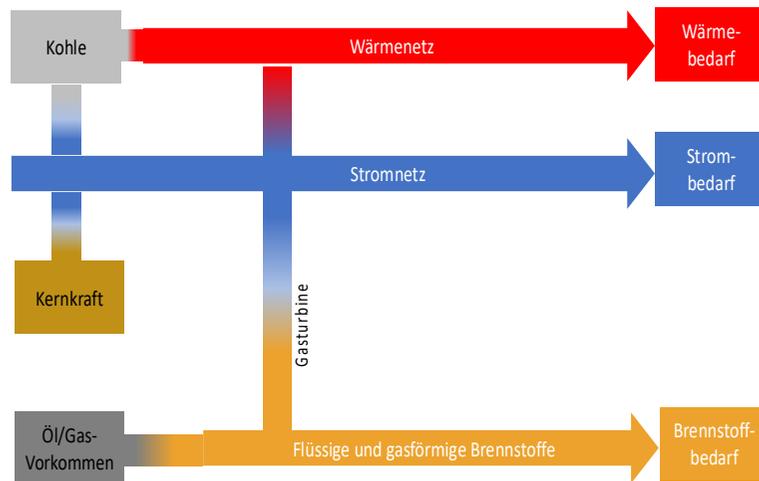
- Herausforderung für alle Sektoren!
- Fokus: CO₂!
- Ausnahme Landwirtschaft
 - Methan, Lachgas

Industriesektor:
Zweitgrößter Emittent in
Deutschland

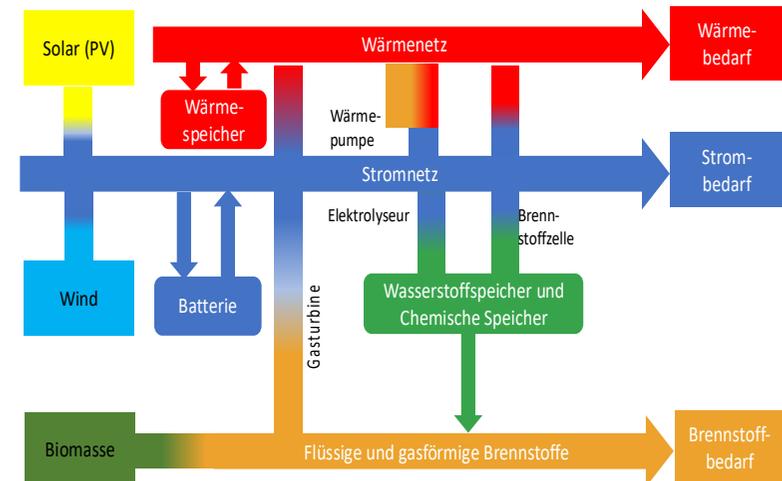


Energiesystem

Fossiles Energienetz



Erneuerbares Energienetz



Herausforderung Fluktuationen („kalte Dunkelflaute“)

- Zeitliche/Räumliche Entkopplung von Erzeugung und Verbrauch erfordert Energiespeicher
- Verschiedene Flexibilitäts-Zeitskalen erfordern unterschiedliche **Speichertechnologien** – elektrisch, chemisch, thermisch, mechanisch
- Regelenergie sicherstellen: Aus Speichern und lastflexiblen Gaskraftwerken (H₂-Ready)

Umbau des Energiesystems
setzt die Randbedingungen
für den Umbau des
Industriesektors