

# **EFFIZIENTE INDUSTRIEPROZESSE DURCH ABWÄRMENUTZUNG MITTELS HOCHTEMPERATUR-WÄRMEPUMPEN**

**BMWK - Fachtagung Klimaschutz durch Abwärmenutzung**

**19. Oktober 2023**

**Dr. Eberhard Nicke**

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)**

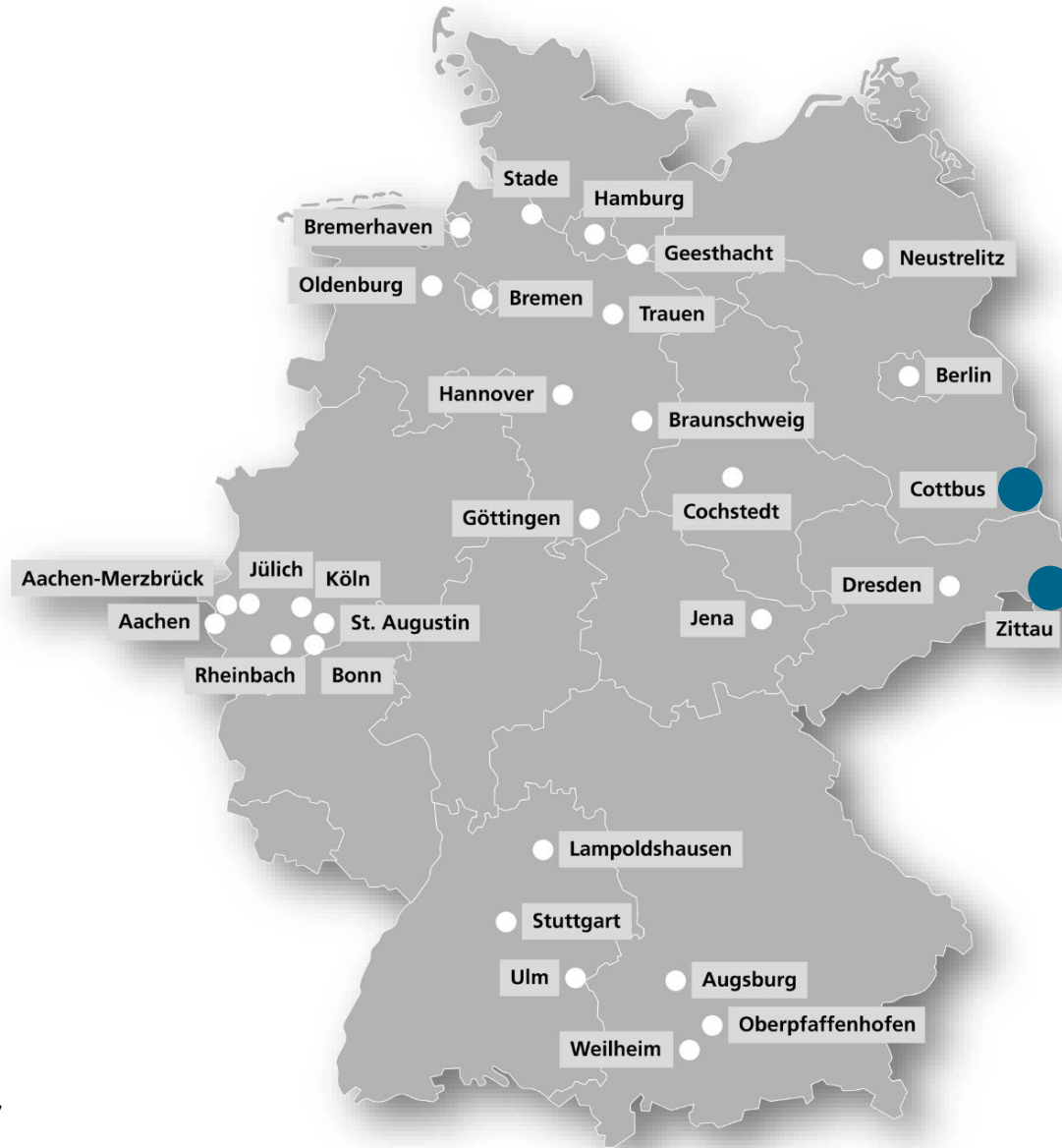
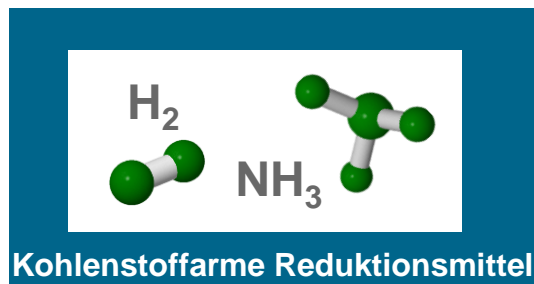
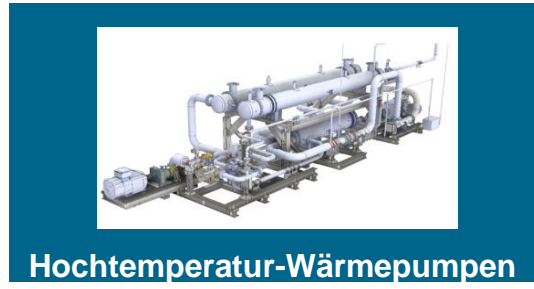
**Institut für CO<sub>2</sub>-arme Industrieprozesse – Abteilung Hochtemperatur-Wärmepumpen**



- **DLR-Institut für CO<sub>2</sub>-arme Industrieprozesse**
- **DLR-Hochtemperatur-Wärmepumpe (HTWP)**
- **Prozessintegration der HTWP und Abwärme als Quelle**
- **Zusammenfassung und Ausblick**

- **DLR-Institut für CO<sub>2</sub>-arme Industrieprozesse**
- DLR-Hochtemperatur-Wärmepumpe (HTWP)
- Prozessintegration der HTWP und Abwärme als Quelle
- Zusammenfassung und Ausblick

# DLR-Institut für CO<sub>2</sub>-arme Industrieprozesse



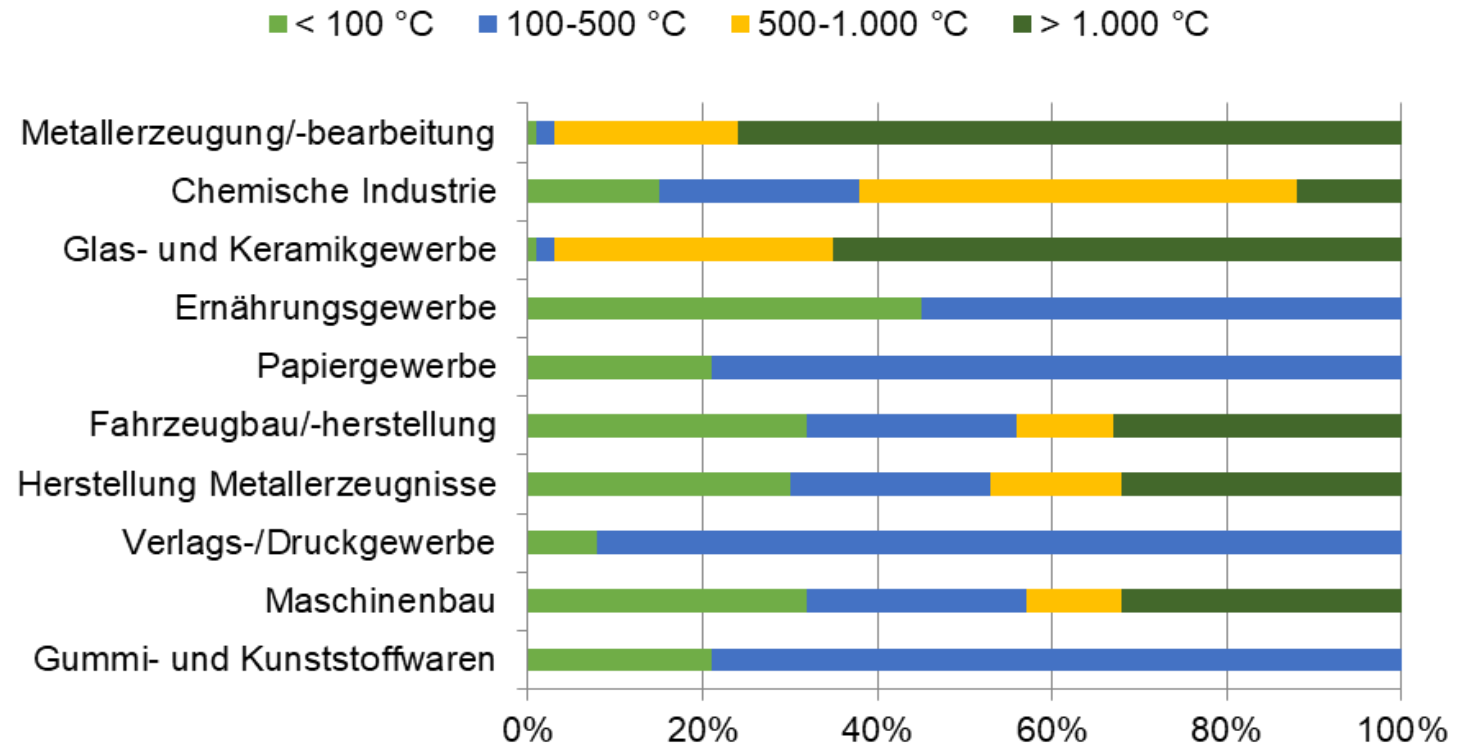
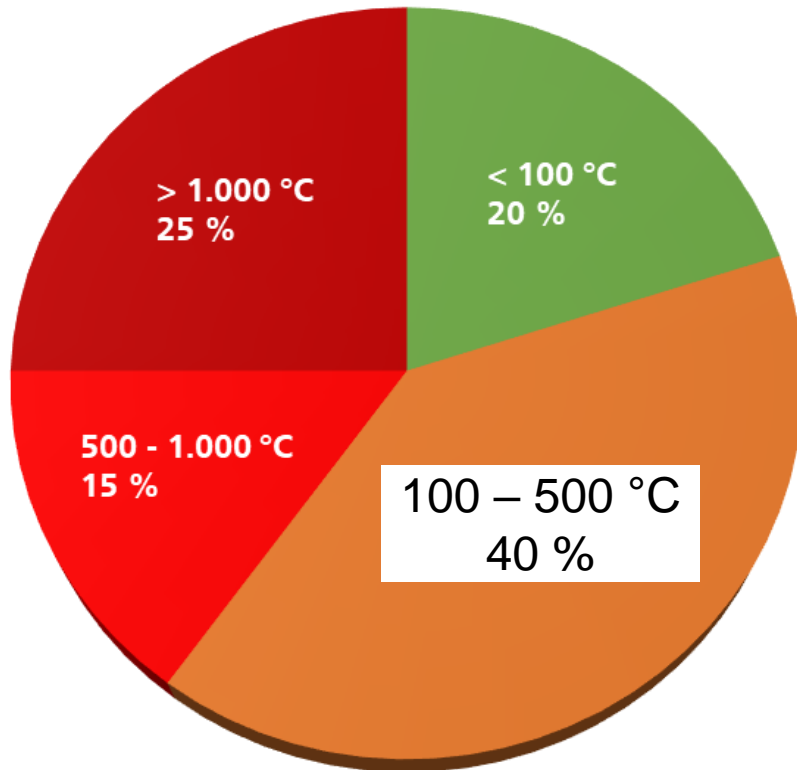
Bereits über 50 Mitarbeiter

Gegründet Mitte 2019

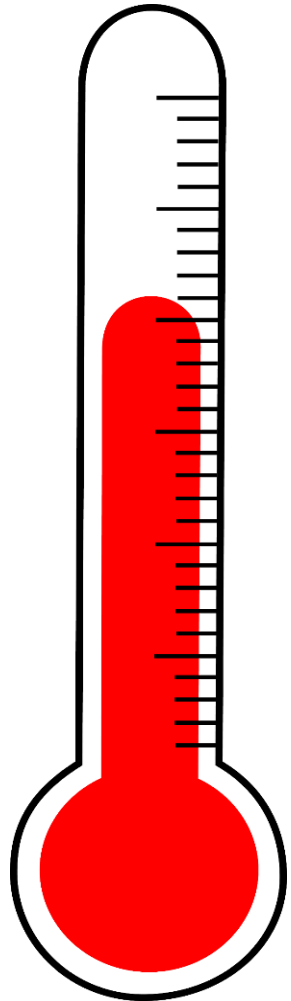
# Prozesswärmebedarf der Industrie



Beispiel 2019: 1675 PJ, bei einem Bruttostromverbrauch in D: 1800 PJ



# „Thermometer“ der Prozesswärmeversorgung



> 500 °C

- Direkte elektrische Beheizung
- Wasserstoffverbrennung (auch andere synthetische Brennstoffe möglich)

200-500 °C

- Hochtemperaturwärmepumpen (kommerziell nur bis 150°C)
- Direkte elektrische Beheizung
- Konzentrierte Solarthermie

100-200 °C

- Hochtemperaturwärmepumpen (kommerziell nur bis 150°C)
- Direkte elektrische Beheizung
- Solarthermie

< 100 °C

- Herkömmliche industrielle Wärmepumpen
- Solarthermie

## Wärmepumpen

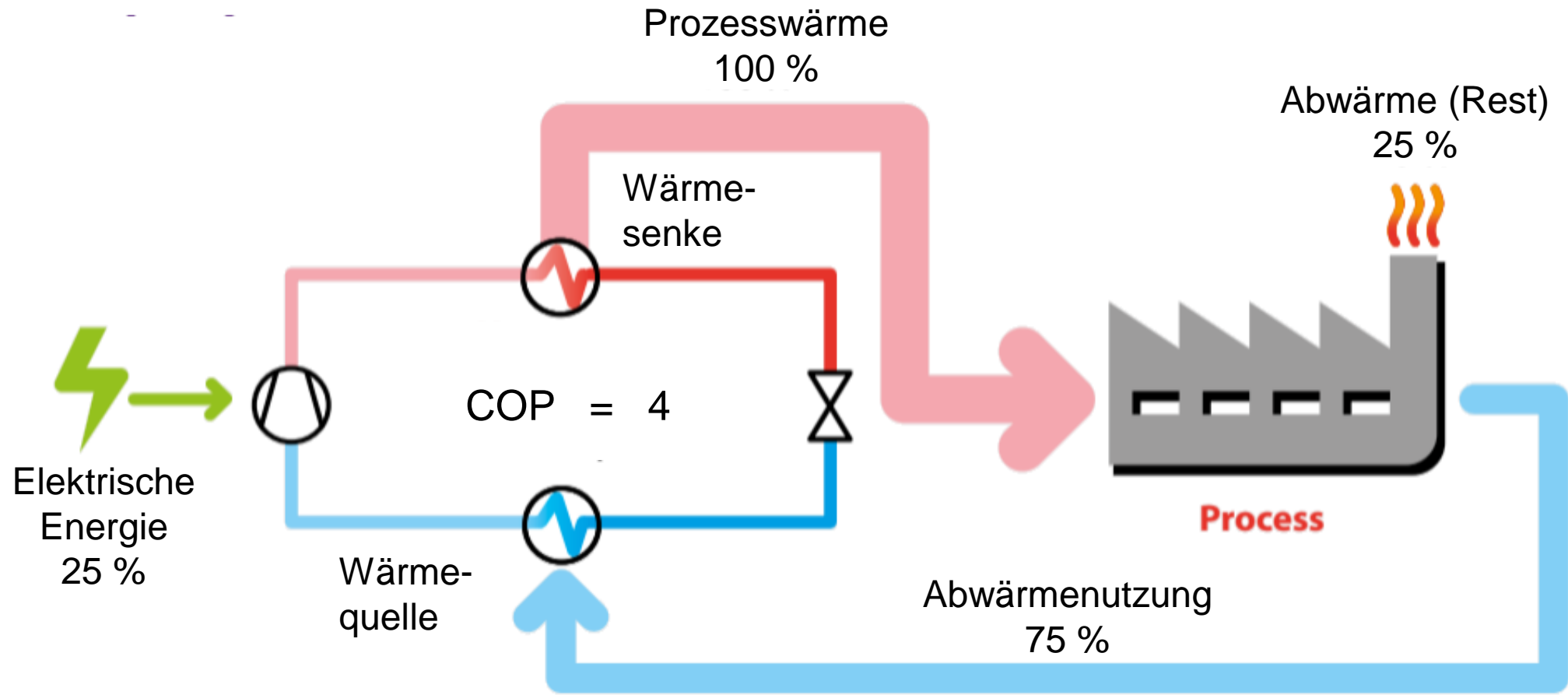
- „Gehebelter“ Nutzen von Strom
- Bessere Effizienz als direkte Stromnutzung (COP >> 1)

## Bezug zu Wasserstoff

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

- DLR-Institut für CO<sub>2</sub>-arme Industrieprozesse
- **DLR-Hochtemperatur-Wärmepumpe (HTWP)**
- Prozessintegration der HTWP und Abwärme als Quelle
- Zusammenfassung und Ausblick

# Hochtemperatur-Wärmepumpen





# Stand der Technik

## Wärmesenke:

- Temperaturen bis 130 °C ( bis zu 160 °C)

## Leistung:

- im weiten Bereich (Gebäude bis Fernwärmenetze)

## Wärmeträger (GWP?!)

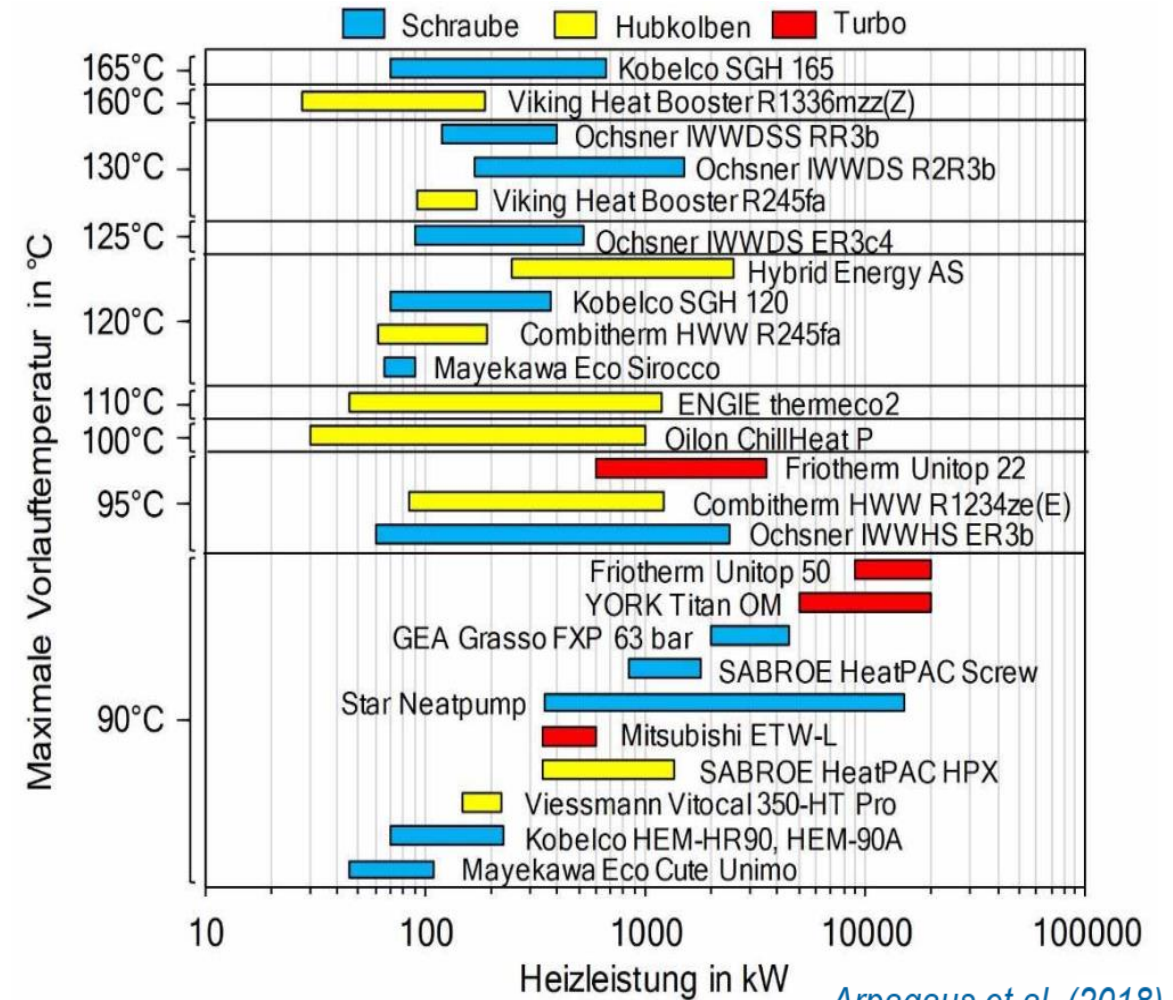
- Klassische
- Natürliche
  - (S)CO<sub>2</sub>

## Kreisprozesse

- Brayton
- Rankine

## Verdichtertechnologie

- Alle Bauweisen und Funktionsprinzipien
- Mehrstufige Konzepte

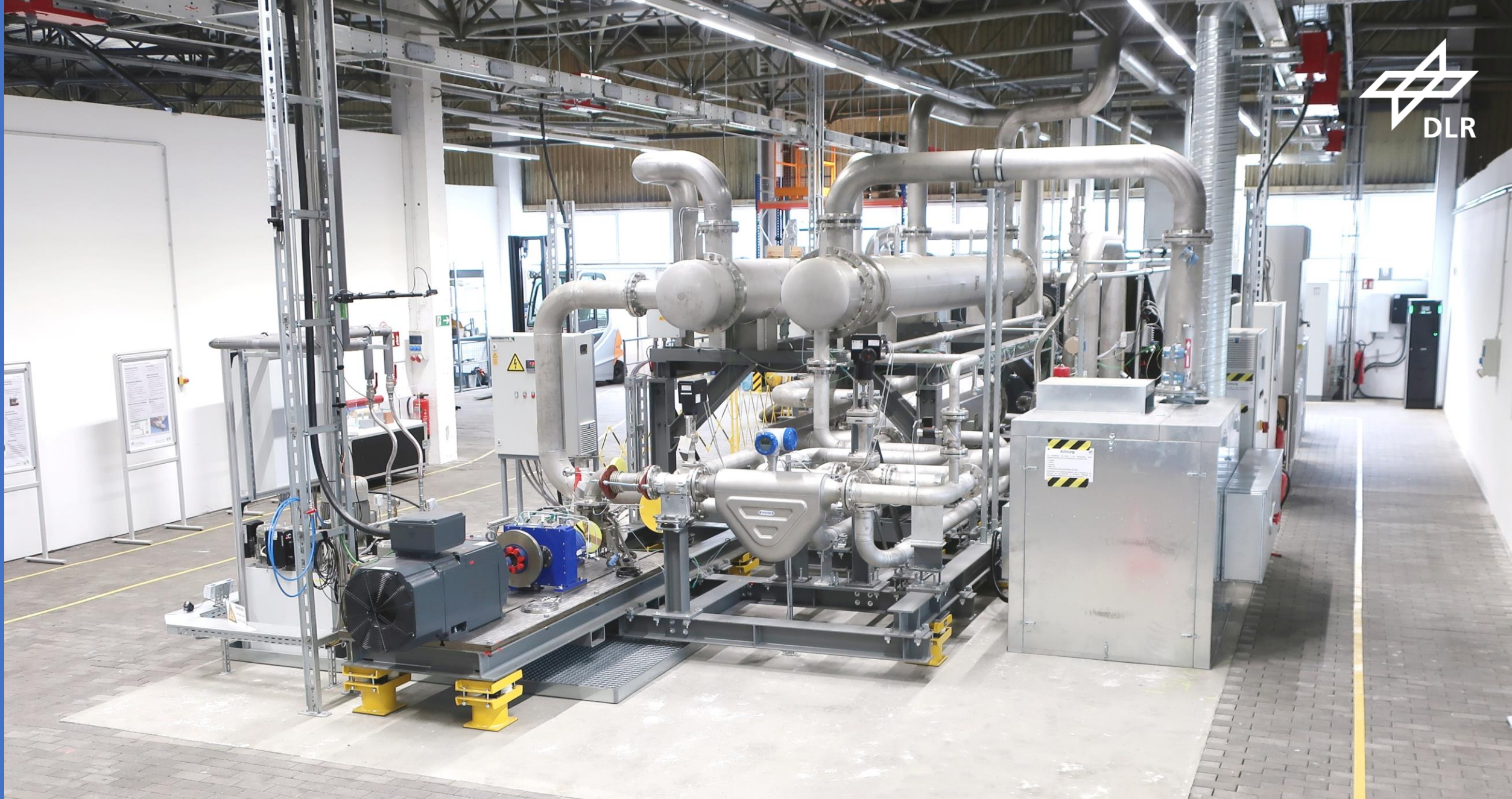


Arpagaus et al. (2018)

DLR leitet die deutsche AG für den IEA Annex 58 über Hochtemperaturwärmepumpen

# Mittlerer Temperaturbereich: Hochtemperatur-Wärmepumpen des DLR

Pilot Cobra (Brayton-Prozess)



# DLR-Hochtemperatur-Wärmepumpe



## Ziel

- Bereitstellung von CO<sub>2</sub>-neutraler Hochtemperatur-Prozesswärme in für die Industrie relevanter Größe

## Entwicklungsziel: Industrierelevante Leistungsdaten

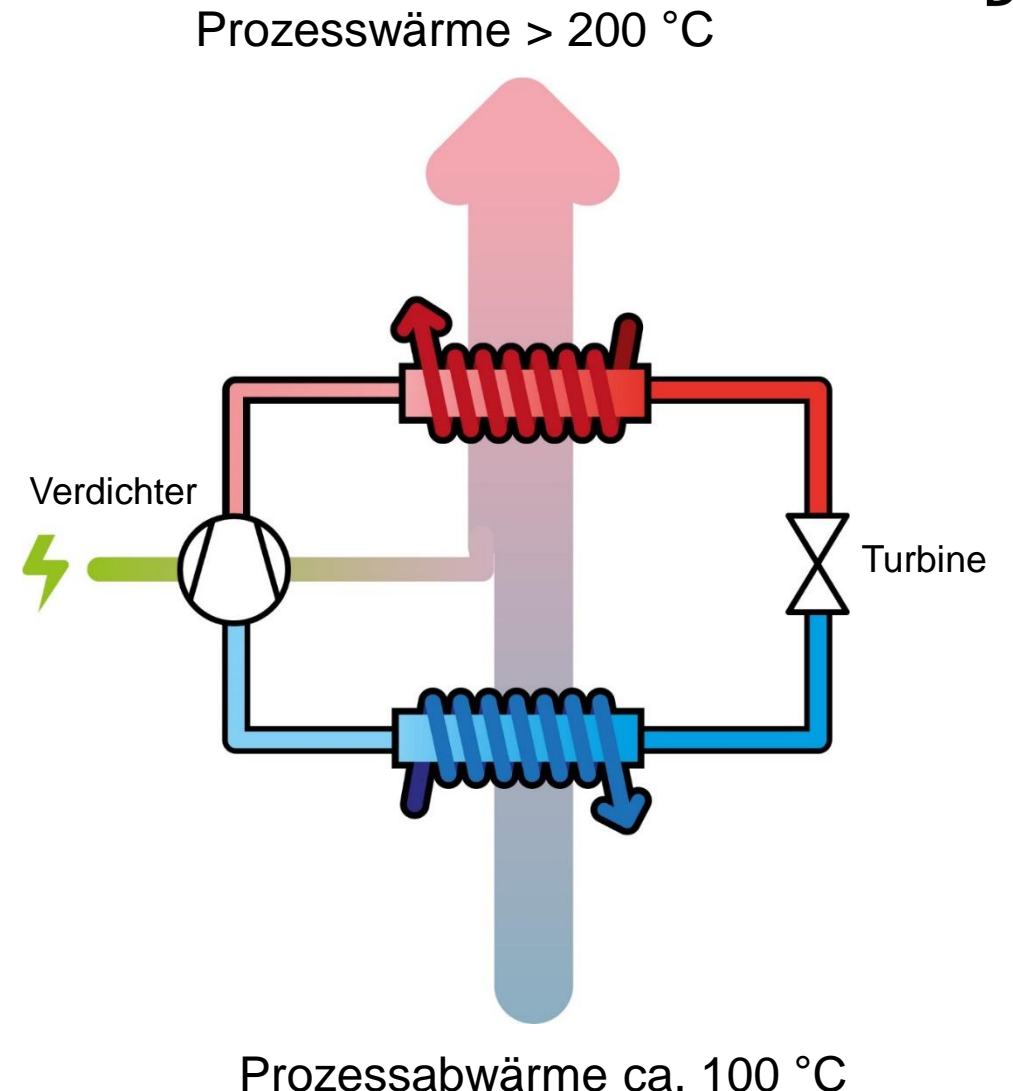
- Leistung: 100 kW – n \* 10 MW
- Nutztemperatur: 200 - 400 °C (Sonderfälle bis 600 °C)

## Effizienz hängt ab von:

- Temperaturdifferenz
- Temperatur der Abwärme

## Natürliche Kältemittel (mit/ohne Phasenwechsel):

- Luft, Argon, Wasser, CO<sub>2</sub>



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

# DLR-Pilotanlage CoBra nach dem Brayton Prozess



## Verdichter und Turbine

- bekannte Komponenten aus der Luftfahrt

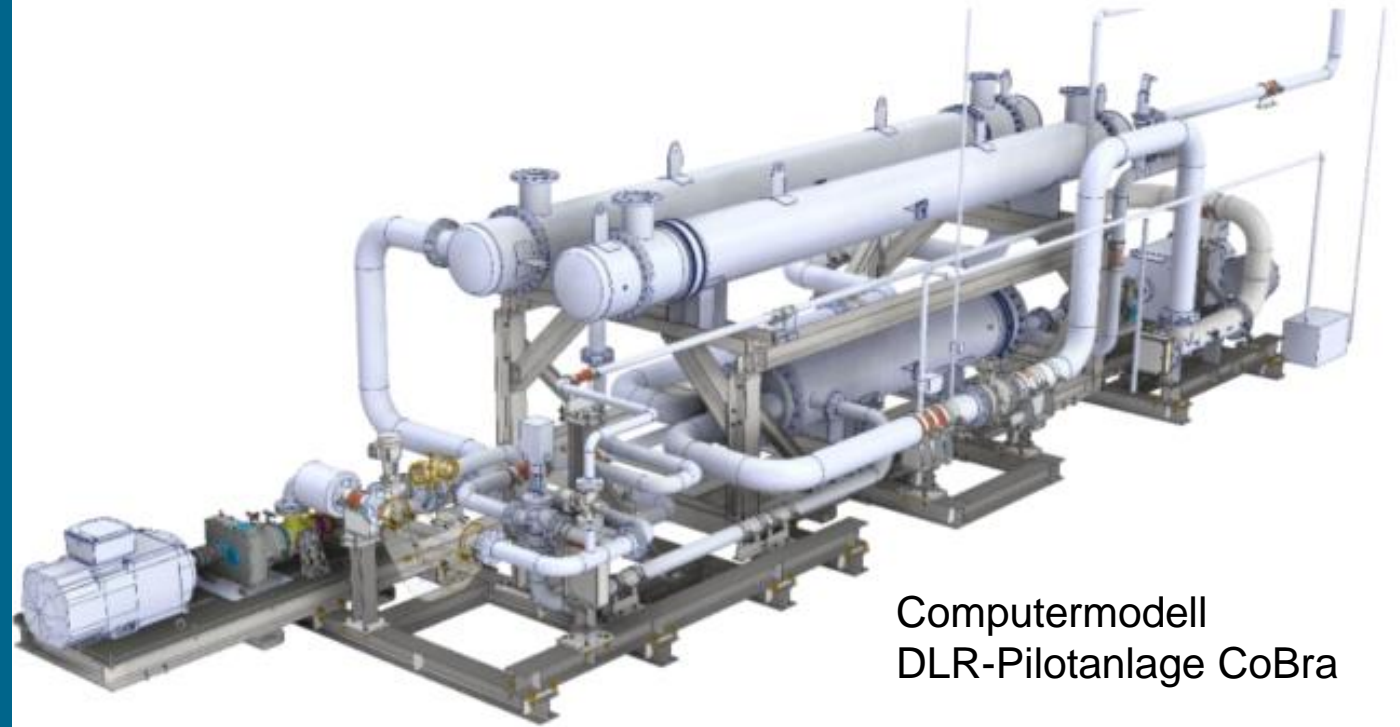
## „First of its kind“ – Pilotanlage

### Leistungsdaten:

- 280 °C
- 300 kW
- Arbeitsmedium Luft

### Einmalig auch:

- Kälte bei - 40 °C
- Kälteleistung 50 kW



Computermodell  
DLR-Pilotanlage CoBra

Inbetriebnahme – erfolgt in diesen Tagen und Wochen

# DLR-Pilotanlage ZiRa nach dem Rankine Prozess

## Herausforderung

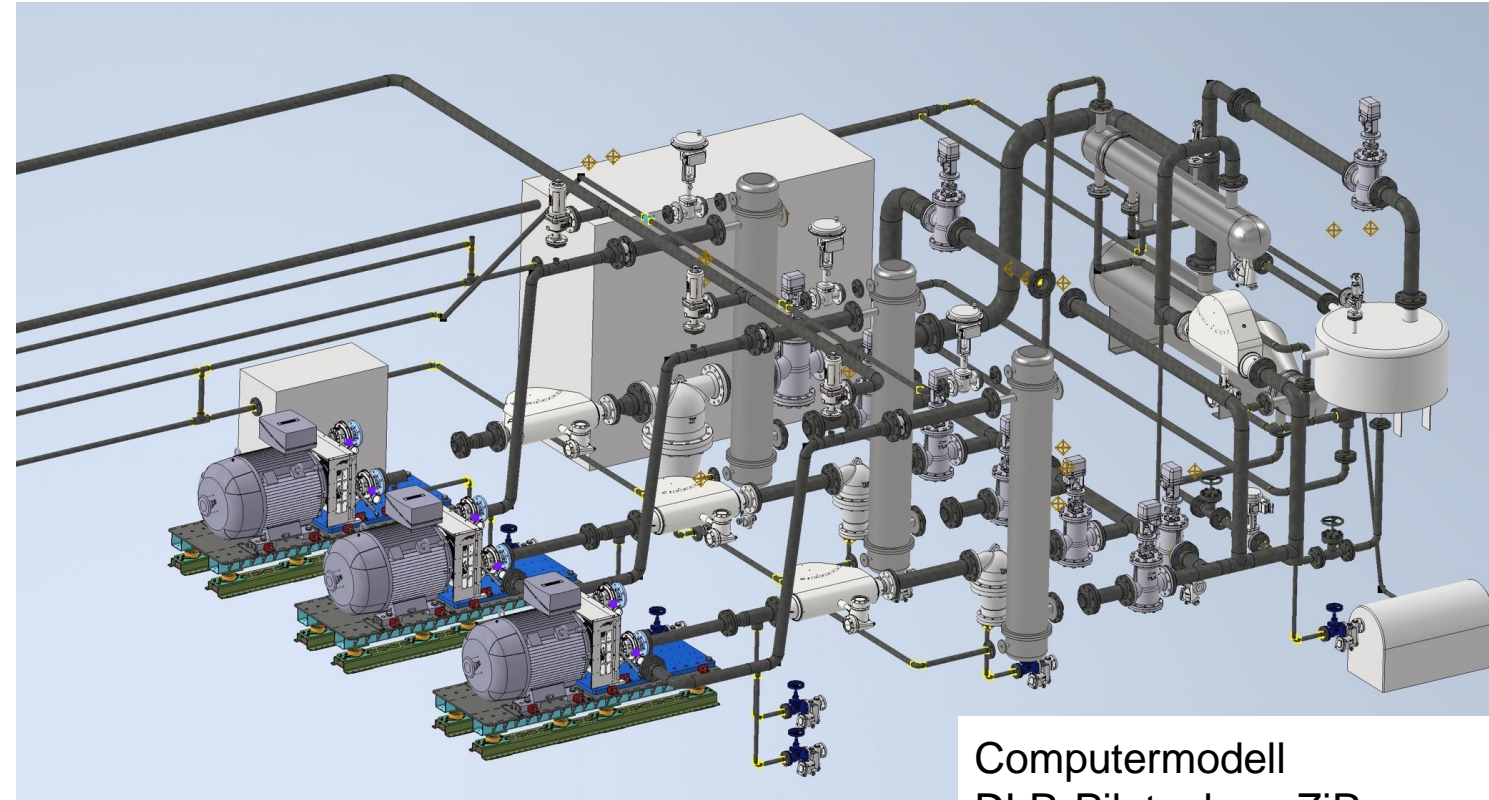
- Neues Medium für uns
- Wasser/-dampf

„First of its kind“ – Pilotanlage

Leistungsdaten:

Stage 1	Stage 2
140 °C	200 °C
260 kW <sub>th</sub>	860 kW <sub>th</sub>
COP 6,4	COP 3,5

Dreistufige Dampfverdichtung



Computermodell  
DLR-Pilotanlage ZiRa

Inbetriebnahme:  
Stage 1 in 2. HJ 2024  
Stage 2 in 1. HJ 2025

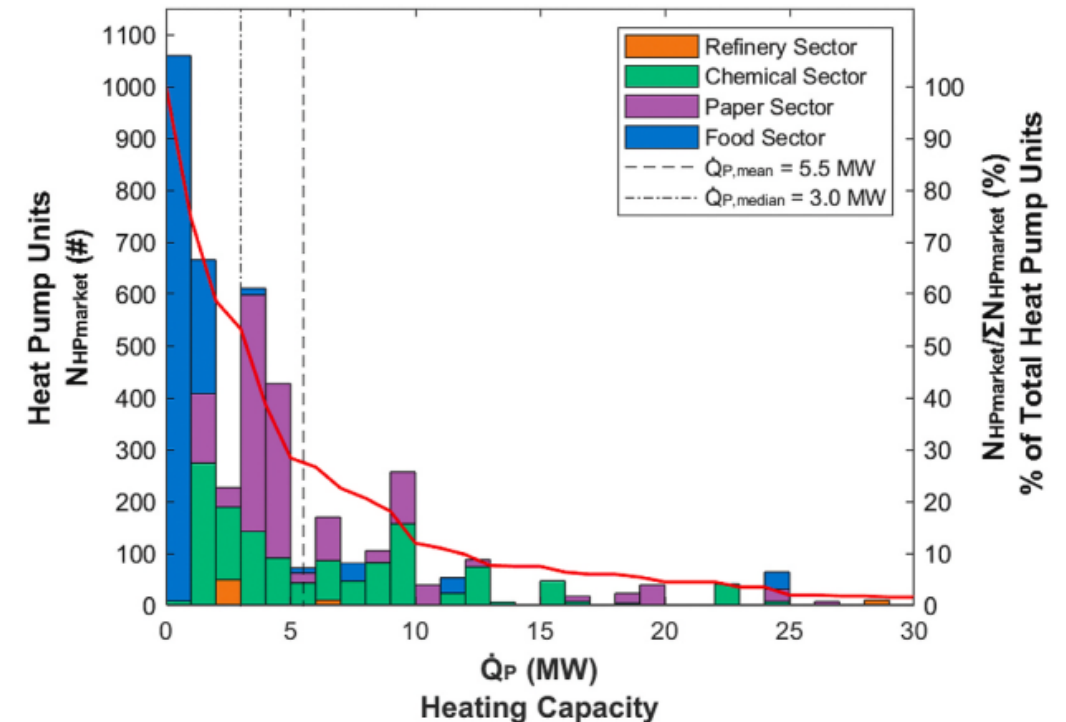
- DLR-Institut für CO<sub>2</sub>-arme Industrieprozesse
- DLR-Hochtemperatur-Wärmepumpe (HTWP)
- **Prozessintegration der HTWP und Abwärme als Quelle**
- Zusammenfassung und Ausblick

# Einsatzrandbedingungen für HTWP

## Bedarf vs. Abwärme bzw. Wärmequellen

- Ein großer Teil der Industriewärme wird im Temperaturbereiche zwischen 100-300 °C benötigt
- Fossile Energieversorgung:  
Viele Standorte sind bereits optimiert und haben kaum Abwärme, oder nur Abwärme bei tiefer Temperatur
- Elektrifizierung wird der einzige, sinnvolle Weg zur Dekarbonisierung der meisten Standorte sein
- Man kann durch Solarthermie oder durch Wärmenetze Wärmequellen bereitstellen oder bestehende aufwerten (Temperatur oder Wärmeleistung)
- Mit Ausnahme der großen Chemieparks liegt die größte Zahl von Industrieeinheiten mit Wärmebedarf bis 200°C unter 5 MW Wärmeleistung

Geschätzte Leistung der HTWP bis 200°C für vier Industriebranchen



Quelle: Marina et al.; 2021



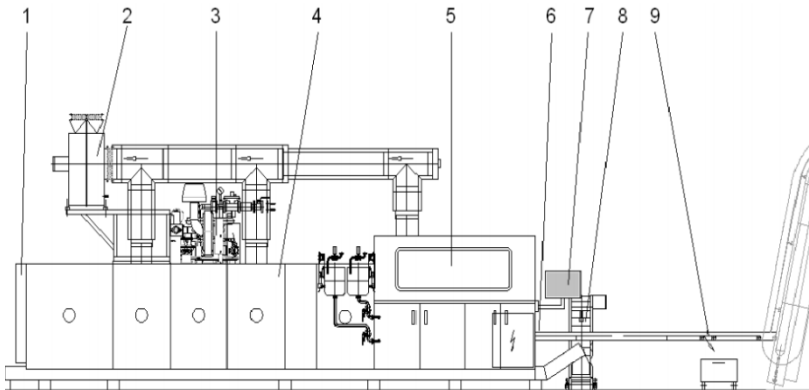
# Einsatzrandbedingungen für HTWP

## Dampfnetze



- Dampf als Wärmeträger-Medium
- Kondensation bei Umgebungsdruck ( $< 100\text{ °C}$ )
- HTWP erzeugt Frischdampf unter Nutzung von Abwärme (z. B. feuchte Abluft aus Trocknungsprozessen)

## Backstraßen



1. Service door 2. Emission extraction unit 3. Burner device 4. Baking space 5. Batter depositing station  
6. Wafer take-off station 7. Control pane 8. Waste scraper 9. Wafer inspection device


- Backtemperatur des Teiges bei  $190\text{ °C}$
- Abluft an die Umgebung mit etwa  $100\text{ °C}$
- Wärmequelle derzeit: Gasbrenner
- Elektrifizierung – effizient mit einer WP (COP  $\sim 2,5$ )

Weitere Beispiele:

**Milchpulverherstellung, Kaffeeröstung, ...**

# Dekarbonisierung / Elektrifizierung von Industrieprozessen

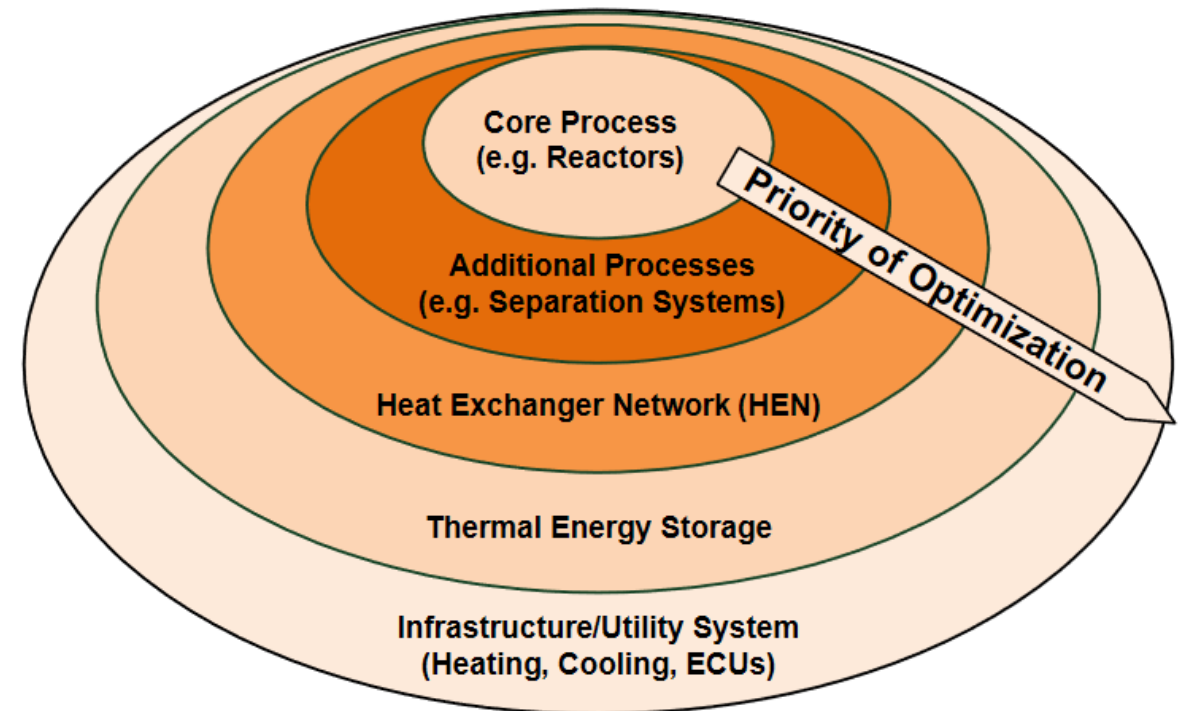


- Detaillierte Analyse der Prozesse
    - Energie- und Stoffströme
    - Stationär aber auch transiente Prozesse (Anfahren, Abfahren, Lastwechsel)
  - Pinchanalyse
    - Möglichkeiten der Effizienzsteigerung → Wärmetauschernetzwerk optimieren (mit und ohne WP)
  - Dekarbonisierungsstrategien
    - Wärmeerzeugung elektrifizieren
    - „Hebelwirkung“ der HTPW
    - Technoökonomische Analyse
  - Detaillierte Analyse der Elektrifizierten Prozesse
    - Energie- und Stoffströme
    - Stationär aber auch transiente Prozesse
  - Umsetzungsplan / Demonstrationsprojekte
- 
- Sicherung der Qualitätskriterien der Produktion
  - HTWP hat eine zweite Schnittstelle zum Prozess – Einfangen der Abwärme

# Sparen soll zuerst kommen

Optimierte Wärmenutzung durch:

- **Wärmerückgewinnung**
- Abwärmenutzung mittels **Wärmepumpen**
- **Wärmespeicherung**
- **Verwendung in der Infrastruktur oder im Quartier**



Quelle: I. C. Kemp: *Pinch Analysis and Process Integration 2nd Ed.* (Linnhof, 1979)

- DLR-Institut für CO<sub>2</sub>-arme Industrieprozesse
- DLR-Hochtemperatur-Wärmepumpe (HTWP)
- Prozessintegration der HTWP und Abwärme als Quelle
- **Zusammenfassung und Ausblick**

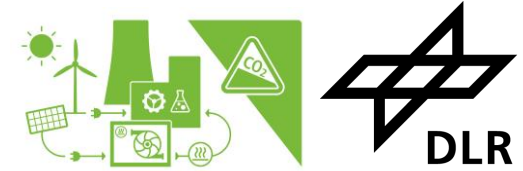
## Dekarbonisierung der Industrie erfordert einen Fokus auf die Prozesswärme

- Die Lösung muss maximal auf die Produktion (Menge und Qualität) ausgerichtet sein
- Beachtung aller Randbedingungen – einschließlich des Standortes
- Die HTWP - eine Schlüsselkomponente für den CO<sub>2</sub>-neutralen Umbau der Industrie
- Sie wird kein Massenprodukt
- Kundenangepasste Lösungen zur Bedienung aller Bedarfe: Wärme, Strom, auch Kälte
  - ➔ Neue Art der Sektorenkopplung

### Forschung und Entwicklung

- Neue Technologien (z. B.: HTWP, Speicher, CSP, CST)
- Hybride Systeme
- Pilotanlagen: Aufbau und Versuchsprogramm
- Analyse der Industrieprozesse für passgenaue Konzepte zur deren Dekarbonisierung
  - ➔ Der nächste wichtige Schritt: Demonstrator unter industriellen Randbedingungen

# Kontakt



Walther-Pauer-Straße 5  
03046 Cottbus

Mandauhöfe, Haus 9  
Äußere Oybiner Straße 14/16  
02763 Zittau

Institut für CO<sub>2</sub>-arme  
Industrieprozesse  
Deutsches Zentrum  
für Luft- und  
Raumfahrt e.V. (DLR)

Prof. Dr. Uwe Riedel  
Institutsdirektor  
Uwe.Riedel@dlr.de  
+49 355 355645 01

Dr.-Ing. Eberhard Nicke  
Abteilungsleiter HTWP  
Eberhard.nicke@dlr.de  
+49 3583 58545 57