



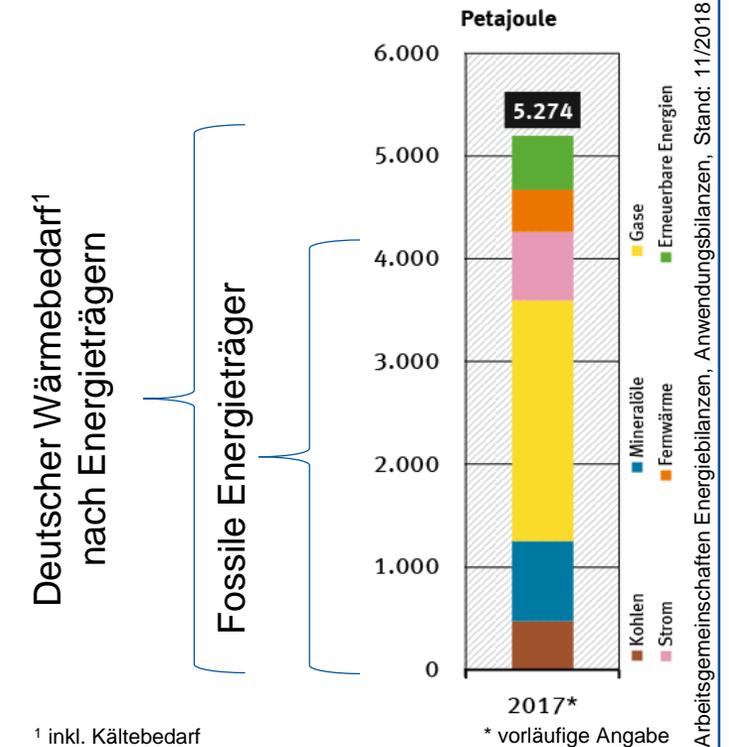
POTENTIALANALYSE DER NUTZUNG TRANSKRITISCHER CO₂- PROZESSE ZUR FERN- UND INDUSTRIEWÄRMEBEREITSTELLUNG IN NORDRHEIN-WESTFALEN

Nils Hendrik Petersen, Tobias Sieker, Thomas Bexten, Prof. Dr.-Ing. Manfred Wirsum - IKDG RWTH Aachen University
Dr.-Ing. Thomas Polklas, Emmanuel Jacquemoud, Mario Restelli, Dr.-Ing. Philipp Jenny - MAN Energy Solutions
Energiesymposium 2022, Graz

Potentialanalyse der Nutzung transkritischer CO₂-Prozesse für Fern- und Industriewärmeversorgung

Motivation des gemeinsamen Projekts von MAN ES und RWTH Aachen University

- Zur Umsetzung der **Einsparziele** für Treibhausgase muss auch der **Wärmesektor** dekarbonisiert werden, der aktuell > 50 % des globalen Endenergiebedarfs ausmacht und von fossilen Energieträgern abhängig ist.
- **Elektrifizierung** (PtH) und Wärmespeicherung können einen Beitrag zur **regenerativen Wärmeversorgung** und **netzdienlichen Integration** volatiler Stromerzeugungsanlagen leisten.
- Wärmepumpen können aufgrund des **thermodynamischen Prozesses** ein Mehrfaches der eingesetzten elektrischen Energie in Nutzwärme umwandeln.



➤ Machbarkeitsstudie** zur Nutzung eines Systems zur **elektro-thermischen Energiespeicherung** bestehend aus einer **Wärmepumpe, Wärmespeichern** und **Rückverstromungspfad** auf Basis von transkritischem CO₂-Prozessen (MAN ES ETES-System) im Großraum Aachen und **Analyse des Anwendungspotentials im Raum NRW.**

** Gefördert im Rahmen des Förderprogramms progres.nrw vom Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie (MWIDE) NRW

Potentialanalyse der Nutzung transkritischer CO₂-Prozesse für Fern- und Industriewärmeversorgung

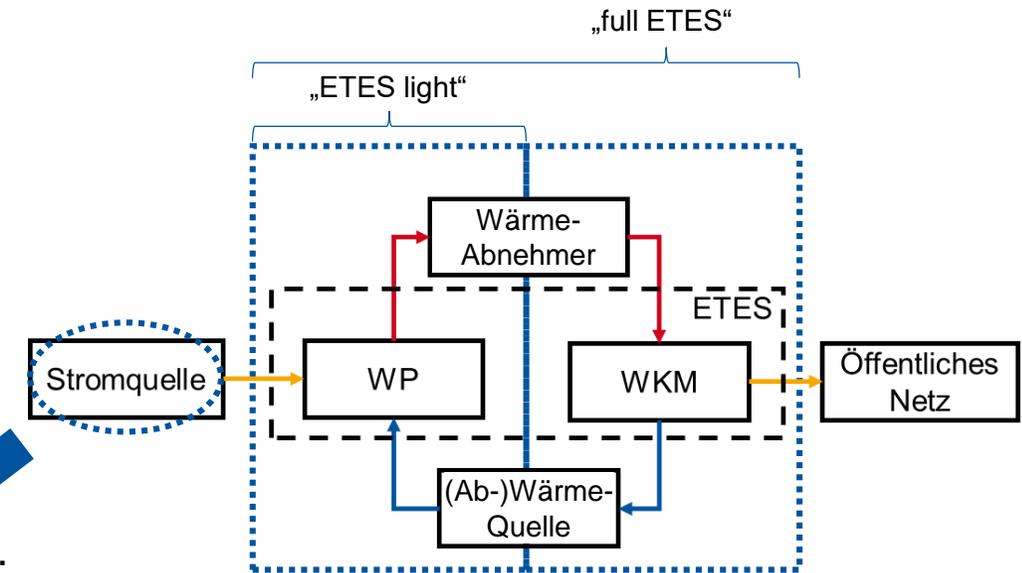
Vorstellung MAN ES ETES-System

Bestandteile des ETES-Systems

- Hochtemperatur-Wärmepumpe zur Wärmeversorgung / Befüllung der Wärmespeicher und ggfs. Bereitstellung von Kälte
- Wärmekraftmaschine zur bedarfsgerechten Rückverstromung
- Prozesse auf Basis von transkritischem CO₂
 - Vorteil: hohe Temperaturen möglich, öko- und toxikologisch unbedenklich
 - Nachteil: hohe Drücke und Druckverhältnisse

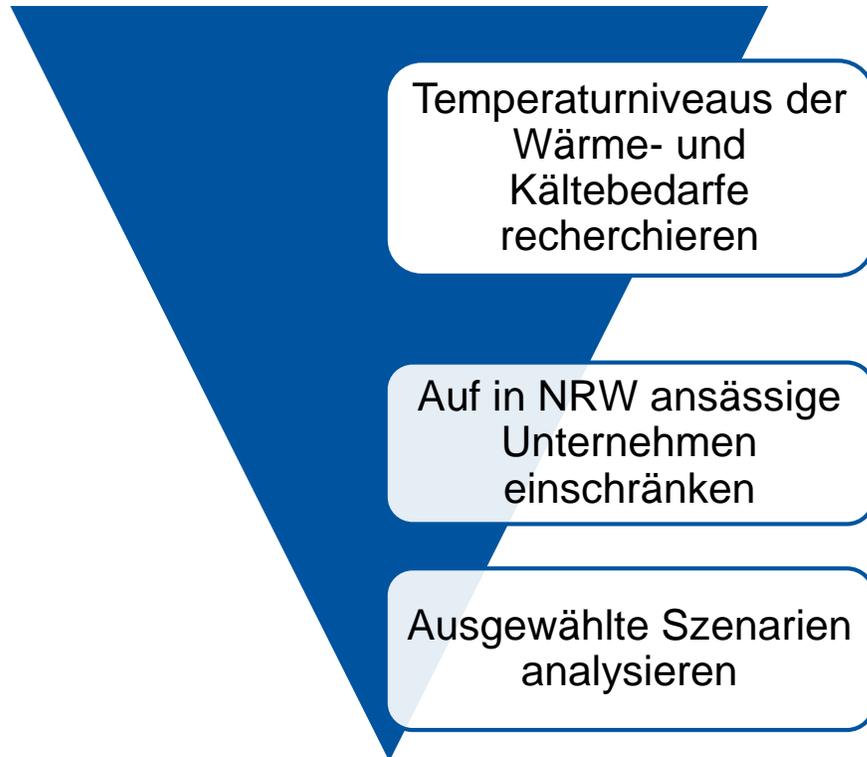
Ökonomische Randbedingungen des Wärmepumpen-Betriebs

- EEG- und KWKG-geförderte Anlagen entfallen als Strombezugsoption.
 - Einspeisevergütung entfällt ansonsten
- Post-EEG- und -KWKG-Anlagen stellen aktuell die kostengünstigste Option für den Strombezug dar.
- Der „Bonus auf innovative Wärme“ bei bilanzieller Kopplung der Wärmepumpe mit einem örtlichen BHKW ist ein attraktives „Add-On“.
 - Wärmequelle muss „Umgebungswärme“ sein, z. B. Luft, Flusswasser oder das gereinigte Abwasser einer Kläranlage.
 - BHKW-Größe: $\geq 10 \text{ MW}_{el}$

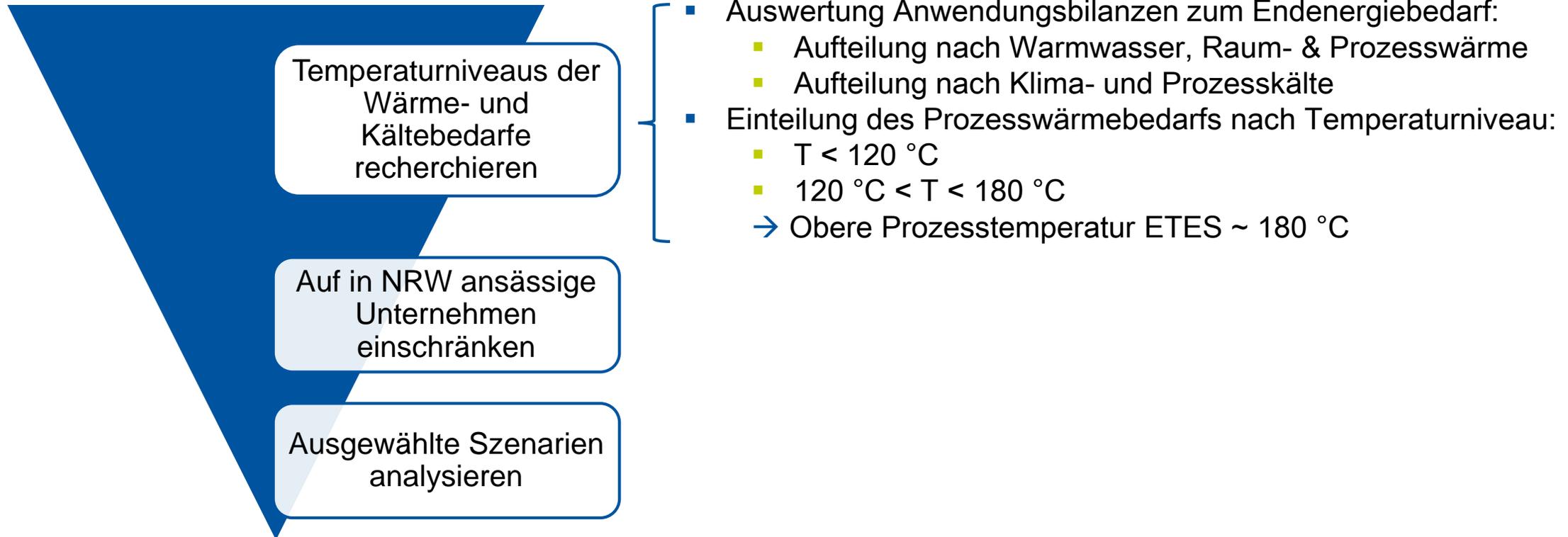


WP := Wärmepumpe
WKM := Wärmekraftmaschine

„Top-Down“-Ansatz der Studie



„Top-Down“-Ansatz der Studie



Potentialanalyse der Nutzung transkritischer CO₂-Prozesse für Fern- und Industriewärmeversorgung

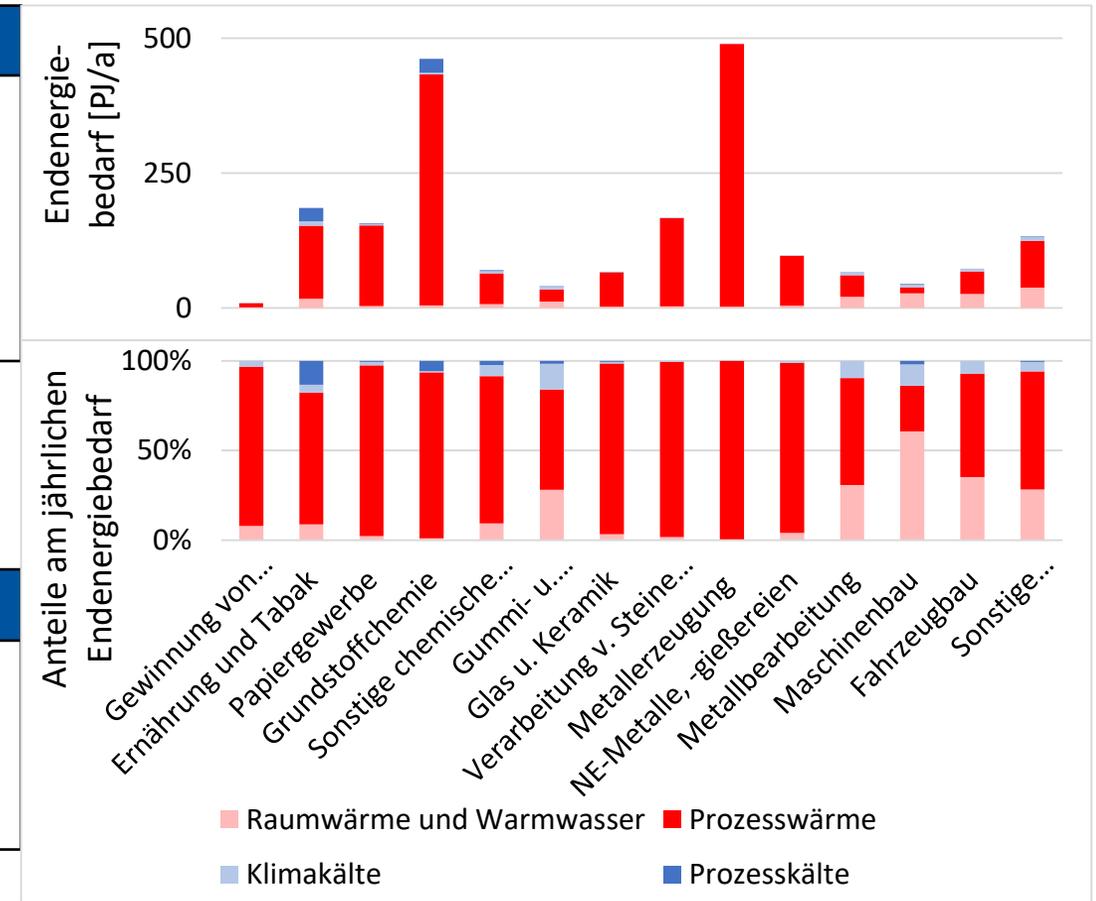
Methodik zur Potentialanalyse

1. Abschätzung des industriellen Wärme- und Kältebedarfs über Anwendungsbilanzen des Endenergiebedarfs der Bundesrepublik Deutschland ¹:

Industriebranchen	Energieträger	Anwendungen
<ul style="list-style-type: none"> ■ Ernährung und Tabak ■ Papiergewerbe ■ Grundstoffchemie ■ Maschinenbau ■ Fahrzeugbau ■ ... 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Strom ■ Brennstoffe ■ Fernwärme 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Raumwärme ■ Warmwasser ■ Prozesswärme ■ Klimakälte ■ Prozesskälte

2. Kombination der Endenergiebedarfe mit Umwandlungsverlusten & Temperaturniveaus des industriellen Wärme- und -kältebedarfs ²

Anwendung	Temperaturbereiche
<ul style="list-style-type: none"> ■ Warmwasser + Raumwärme ■ Prozesswärme ■ Klimakälte ■ Prozesskälte 	<ul style="list-style-type: none"> < 100 °C < 120 °C, 120-180 °C, > 180 °C ~ 0 °C < - 25 °C, > -25 °C

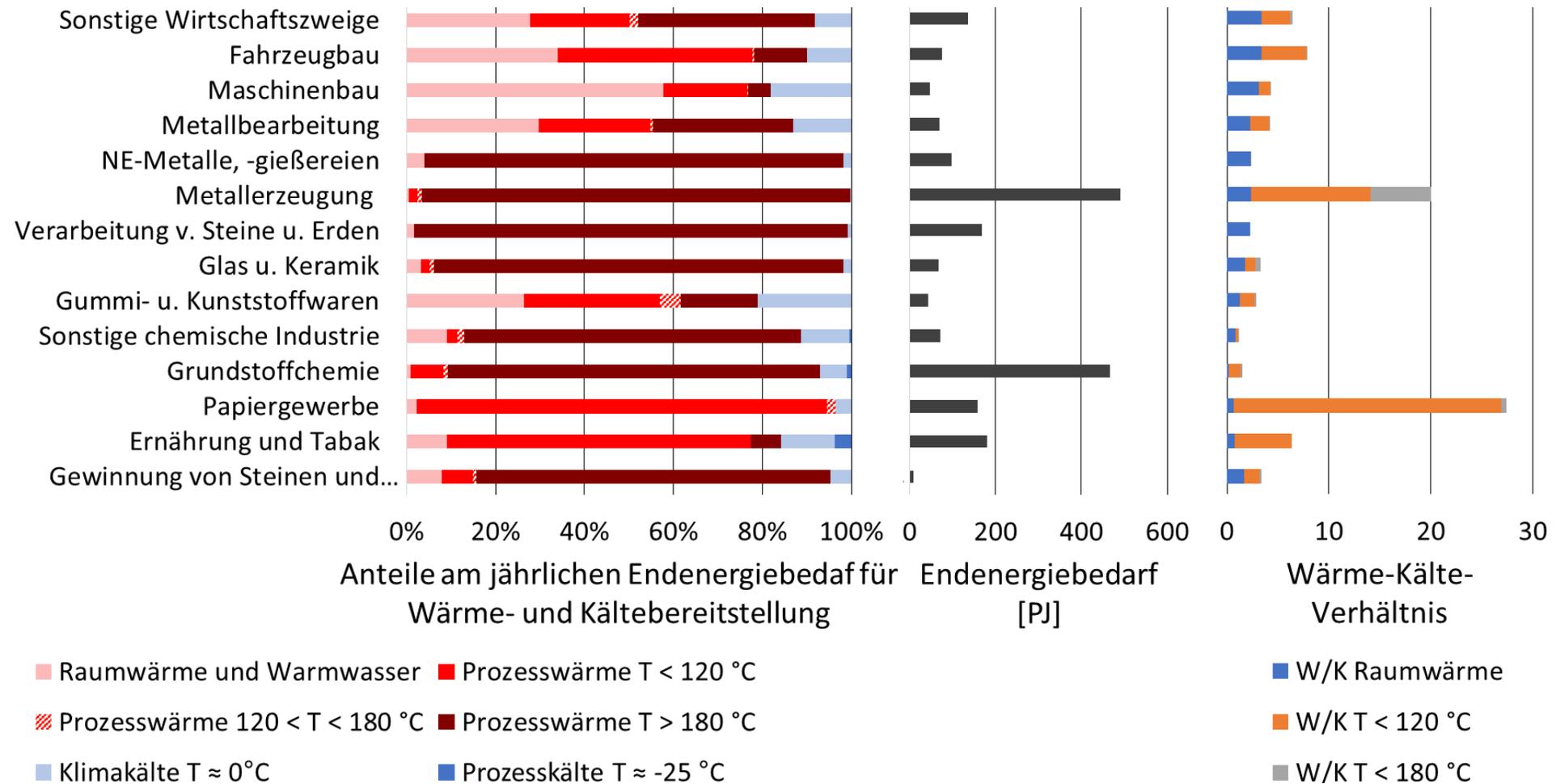


¹ AG Energiebilanzen e.V. Anwendungsbilanzen zur Energiebilanz Deutschland. 2018.

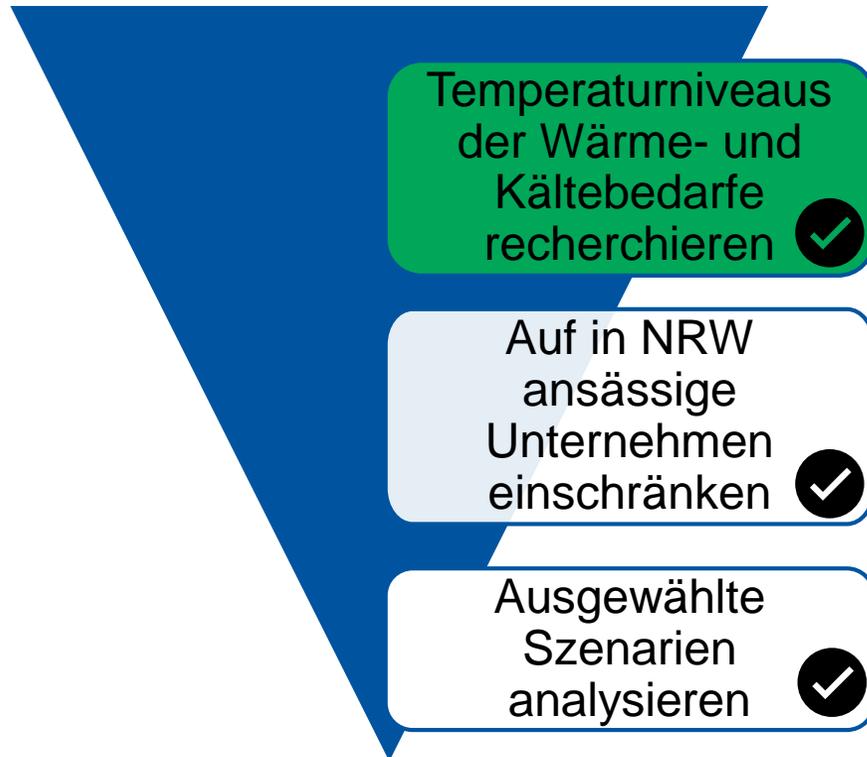
² Fraunhofer ISI. Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Jahre 2018 bis 2020 für die Sektoren Industrie und GHD. 2021

Potentialanalyse der Nutzung transkritischer CO₂-Prozesse für Fern- und Industriewärmeversorgung

Rel. Wärme- & Kältebedarf, Temperaturniveaus, Endenergiebedarf und Wärme-Kälte-Verhältnis

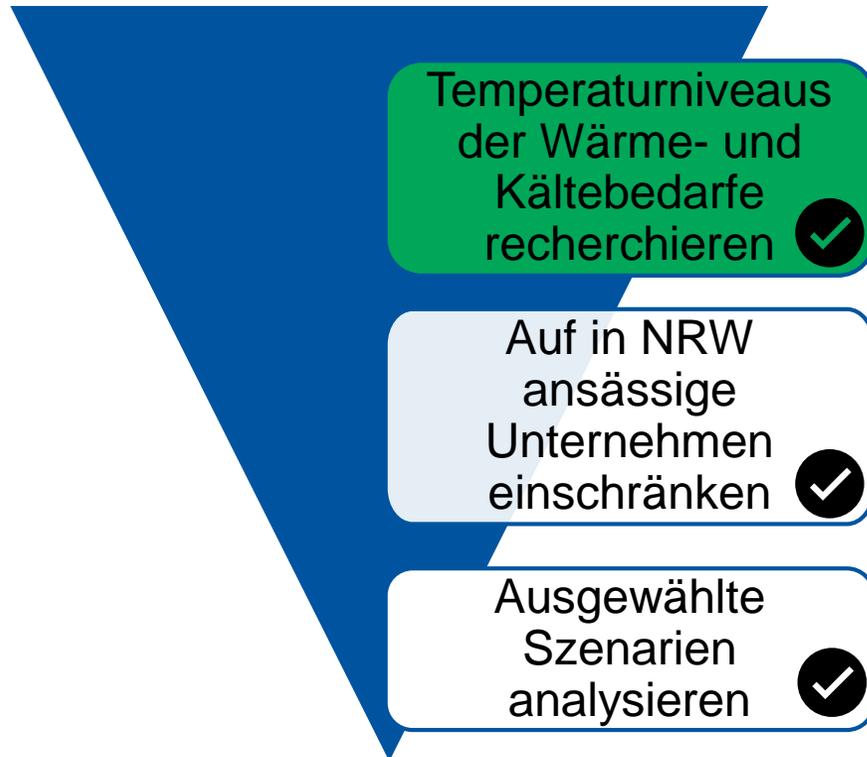


„Top-Down“-Ansatz der Studie



- Auswertung Anwendungsbilanzen zum Endenergiebedarf:
 - Aufteilung nach Warmwasser, Raum- & Prozesswärme
 - Aufteilung nach Klima- und Prozesskälte
 - Einteilung des Prozesswärmebedarfs nach Temperaturniveau:
 - $T < 120\text{ °C}$
 - $120\text{ °C} < T < 180\text{ °C}$
- Obere Prozesstemperatur ETES ~ 180 °C

„Top-Down“-Ansatz der Studie

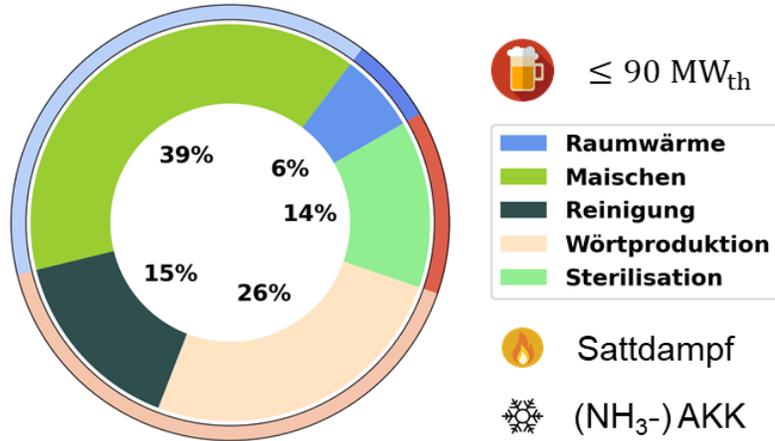


- Auswertung Anwendungsbilanzen zum Endenergiebedarf:
 - Aufteilung nach Warmwasser, Raum- & Prozesswärme
 - Aufteilung nach Klima- und Prozesskälte
- Einteilung des Prozesswärmebedarfs nach Temperaturniveau:
 - $T < 120 \text{ °C}$
 - $120 \text{ °C} < T < 180 \text{ °C}$
 - Obere Prozesstemperatur ETES ~ 180 °C
- Identifikation von Subbranchen anhand charakteristischer Prozesse
- Ermittlung Wärme-zu-Kältebedarf als Kennzahl

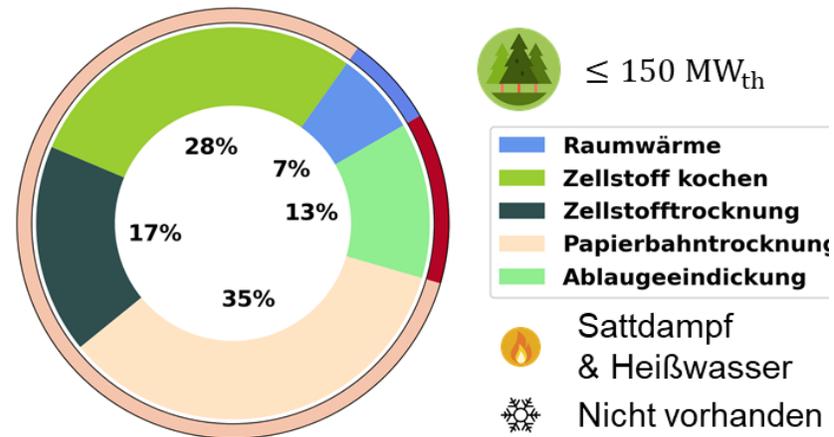
Potentialanalyse der Nutzung transkritischer CO₂-Prozesse für Fern- und Industriewärmeversorgung

Attraktive Subbranchen und deren Prozesse mit rel. Wärmebedarf und Temperaturniveaus

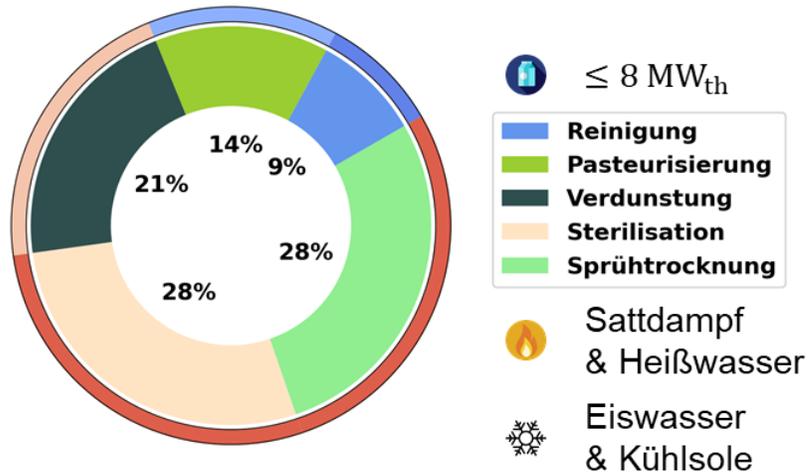
Brauerei



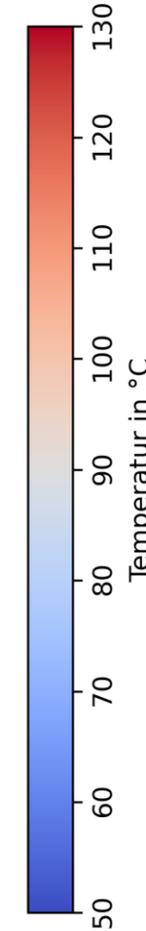
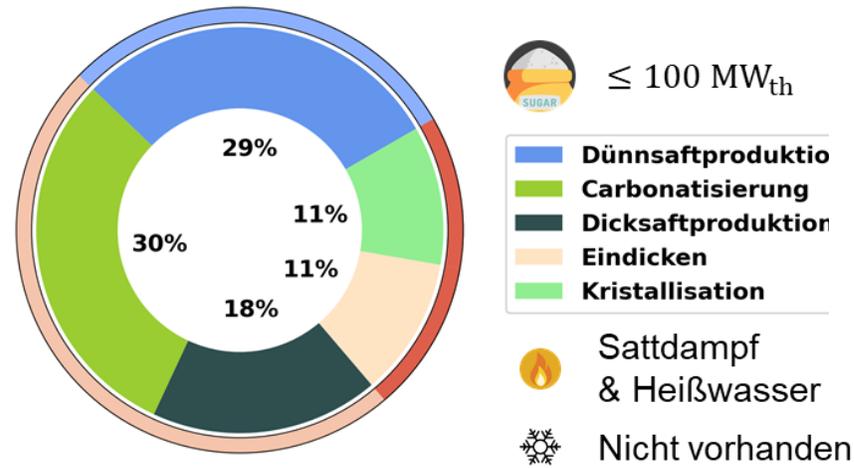
Papiergewerbe



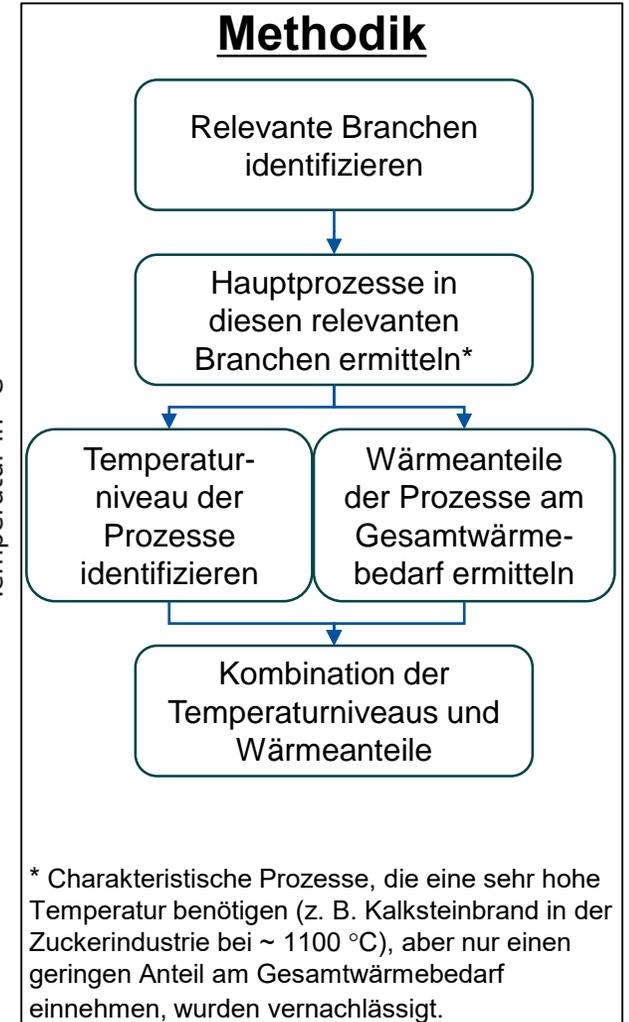
Molkerei



Zuckerindustrie



Methodik



Potentialanalyse der Nutzung transkritischer CO₂-Prozesse für Fern- und Industriewärmeversorgung

ETES-Wärmepump: Potentielle Industriesubbranchen-Standorte in NRW

Branchen-spez.
Kennzahl (z. B.
Produktions-
menge)



Jährliche
Volllaststunden
der Branche



Spez. Wärmebedarf
(Wärme pro
Produktionsmenge)

- Beispiel: Dortmunder Actien Brauerei:

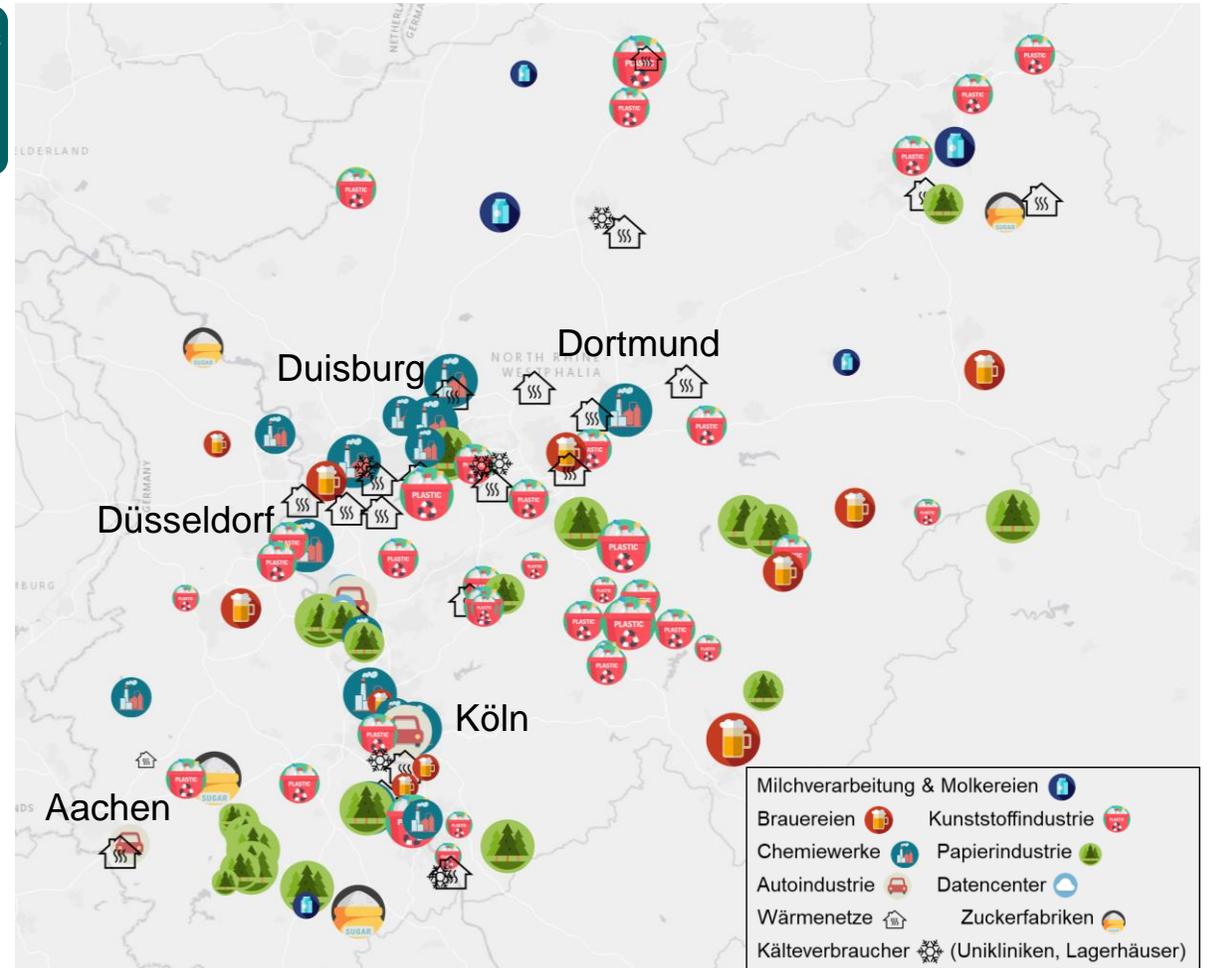
$$\frac{\text{Produktionsmenge} * \text{Kennzahl}}{\text{Volllaststundenzahl}} = \frac{2.4 \cdot 10^6 \text{ hl} * 0,045 \frac{\text{MWh}}{\text{hl}}}{2880 \text{ h}} = 37,5 \text{ MW}$$

- Gesamtpotential:

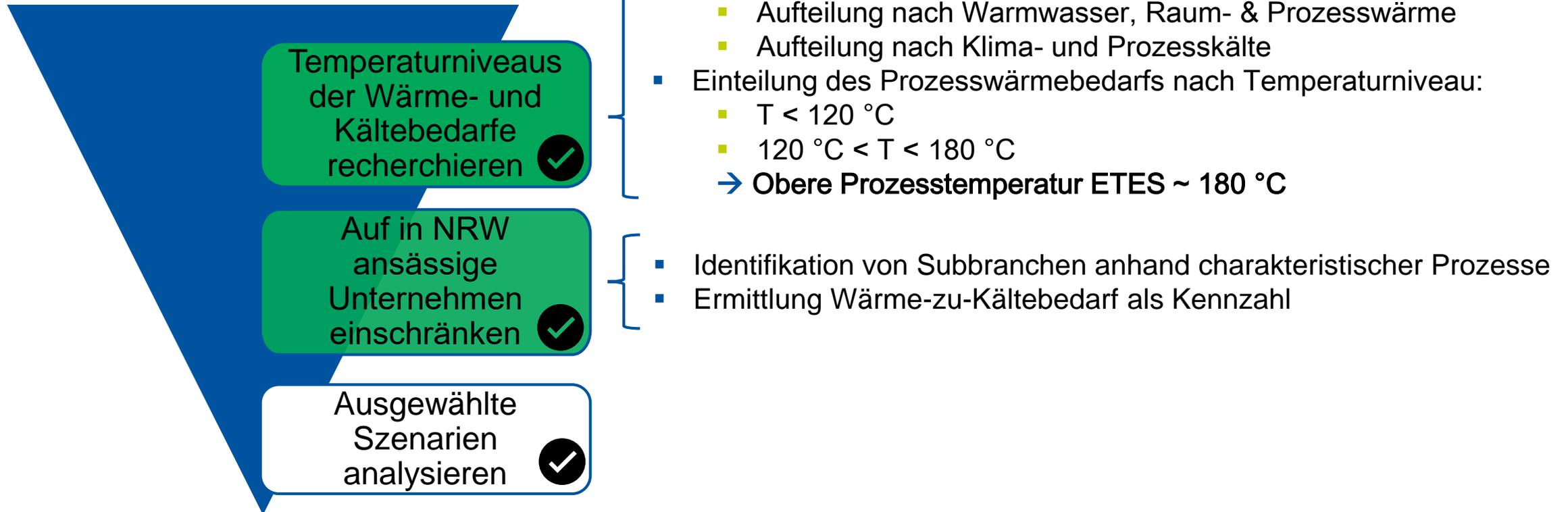
- ~ 37 PJ/a Fernwärme
- ~ 450 PJ/a Wärme und ~ 60 PJ/a Kälte für Industrie

- Herausforderung:

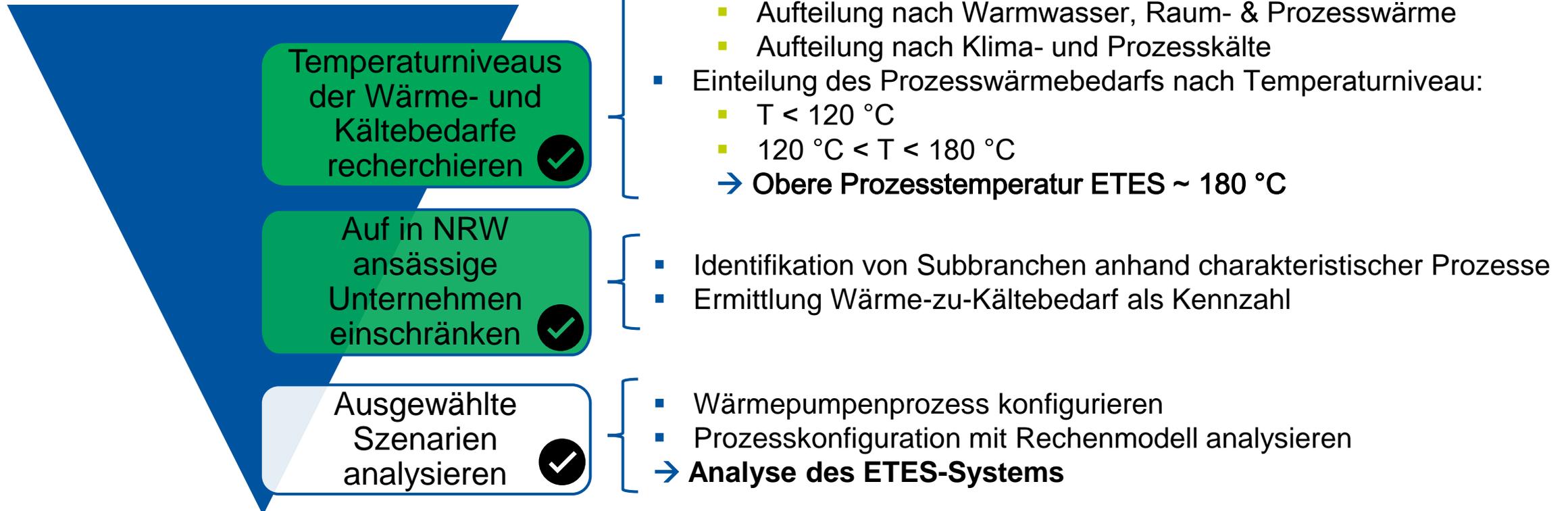
- Kennzahlen oft inakkurat (z. B. 35-45 kWh/hl Wärmebedarf)
- Kennzahlen schwer zu finden bei Branchen mit kleinem Anteil an öffentlichen Unternehmen



„Top-Down“-Ansatz der Studie

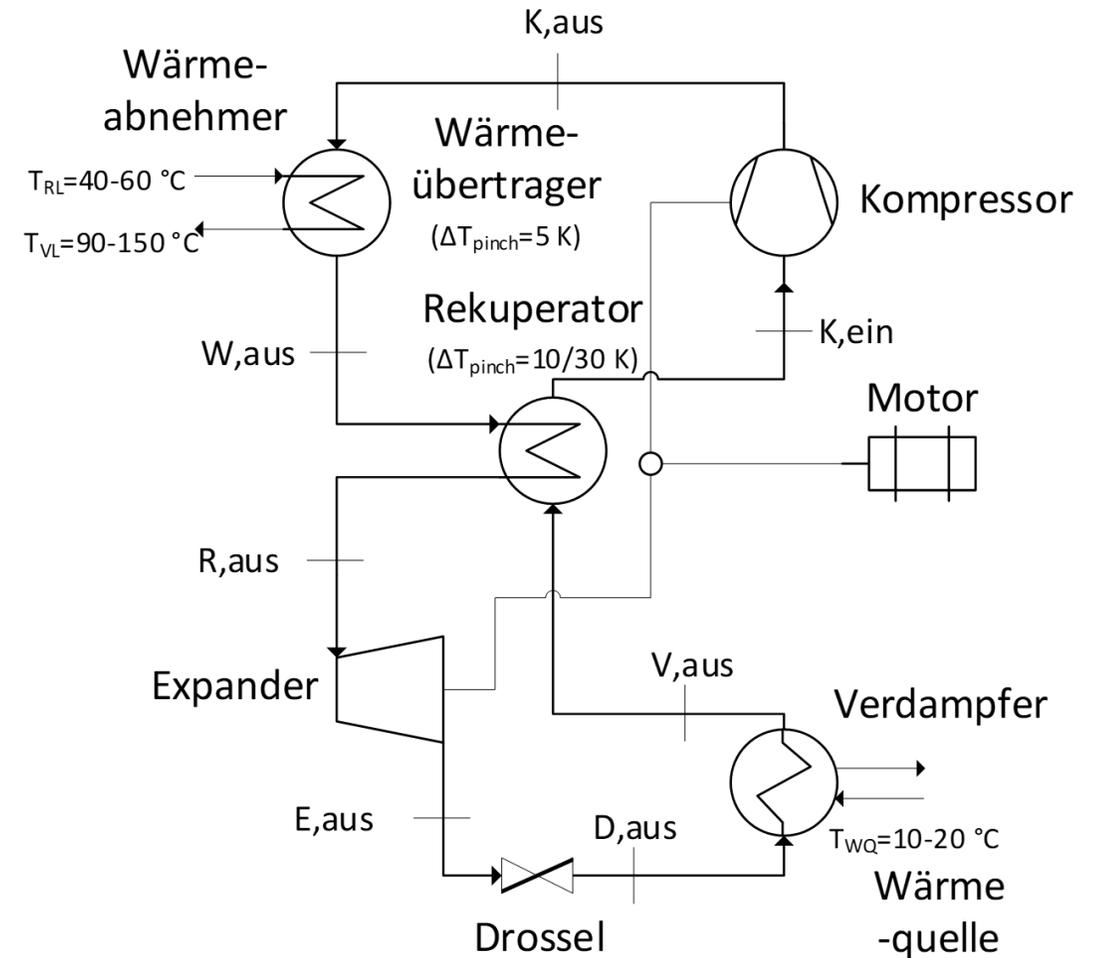
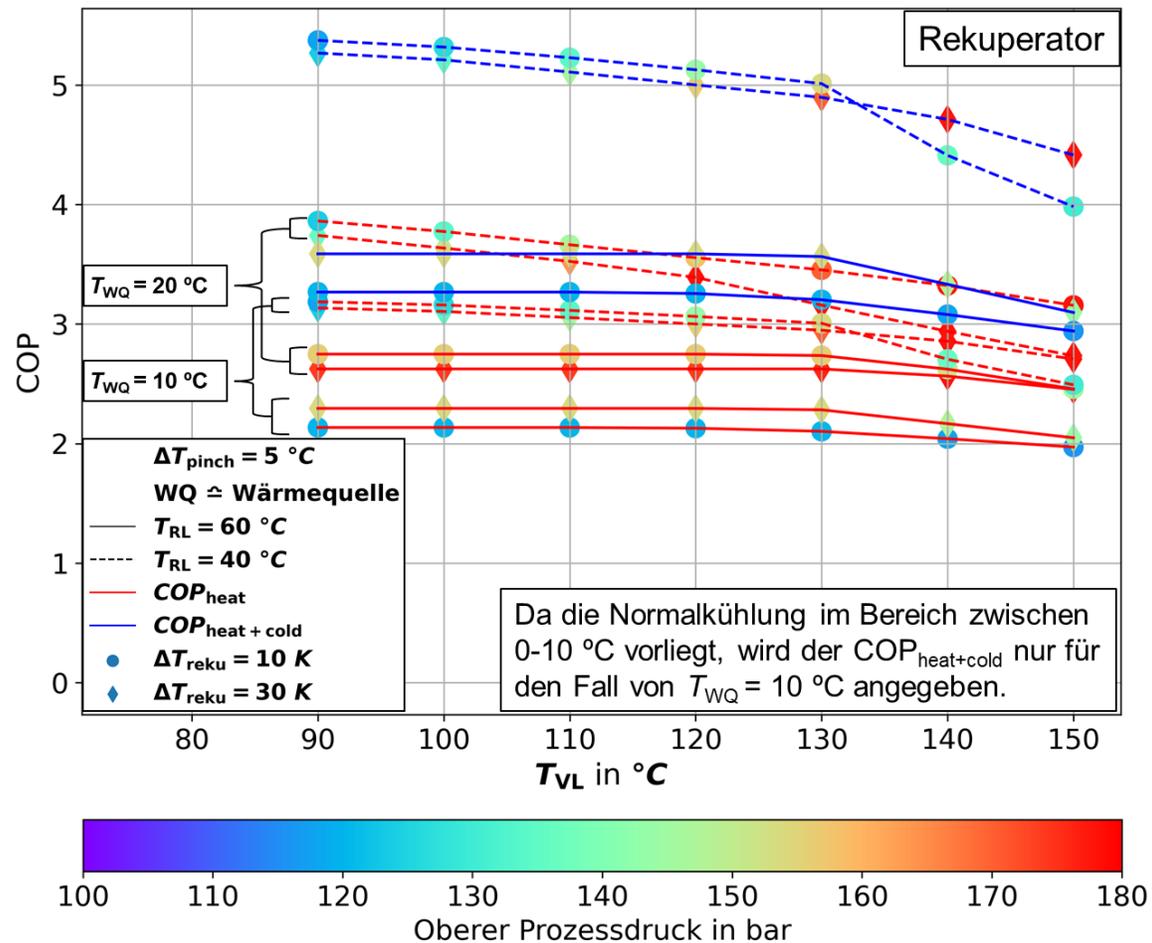


„Top-Down“-Ansatz der Studie

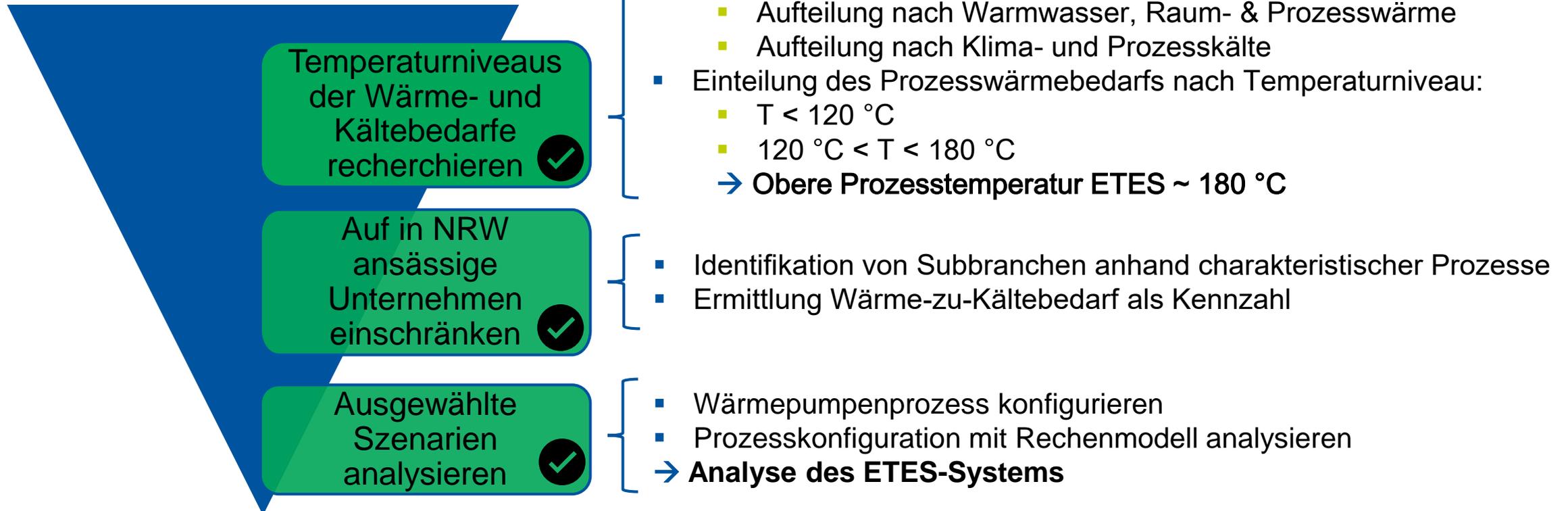


Potentialanalyse der Nutzung transkritischer CO₂-Prozesse für Fern- und Industriewärmeversorgung

Leistungs-Kennfeld für ETES-Wärmepumpe (mit Rekuperator)



„Top-Down“-Ansatz der Studie

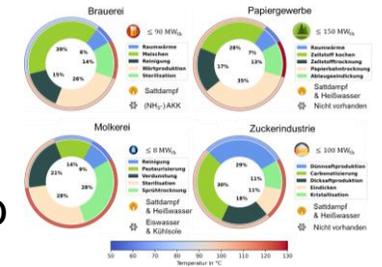


Potentialanalyse der Nutzung transkritischer CO₂-Prozesse für Fern- und Industriewärmeversorgung

Zusammenfassung und Ausblick

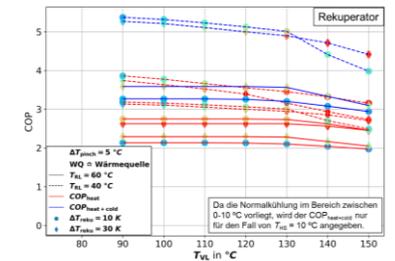
Anwendungspotential in Industrie

- Vielversprechende Branchen sind die Lebensmittelindustrie sowie das **Papiergewerbe**
- Insbesondere **Brauereien, Molkereien** und **Zuckerfabriken** sind attraktive Subbranchen
- Das **Integrationspotential** hängt von der **Austauschbarkeit** des **Wärmeträgermediums** ab



Anwendungspotential zur Fernwärmeversorgung

- Die **gesamte Fernwärme** (~ 10000 GWh/a) kann theoretisch bedient werden
- Die Kopplung von Fernwärme-Versorgung und Kälte-Nutzung in Datenzentren ist eine attraktive Anwendung



Thermodynamik

- **COP** stark abhängig von der Verfügbarkeit von Wärme- & Kälteabnehmern (**ca. 2 bis ca. 8**)

Fazit

- Das theoretische Integrationspotential des ETES-Systems zur Industrie- und Fernwärmeversorgung ist hoch, wobei das individuelle Potential unter Zuhilfenahme lokaler Randbedingungen evaluiert werden muss.
- Die zukünftigen Entwicklungen der Energiewirtschaft in Deutschland und Europa hinsichtlich CO₂-Bepreisung, Kosten für fossile Brennstoffe, etc. stellen das ETES-System zunehmend besser.

**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit**