

1.9. – 10.10.2025

**WOCHEN
DER
WÄRME** 

Dynamische Wärmesysteme der Zukunft

Wie Großwärmepumpen, thermische Speicher und elektrische Netze zusammen gedacht werden

Jonas Hesse, LUH

Arne Dittrich, ISFH

Maximilian Loth, ISFH

Sven-Yannik Schuba, ISFH

Manisha Kabi, TUC

Abhishek Verma, TUC

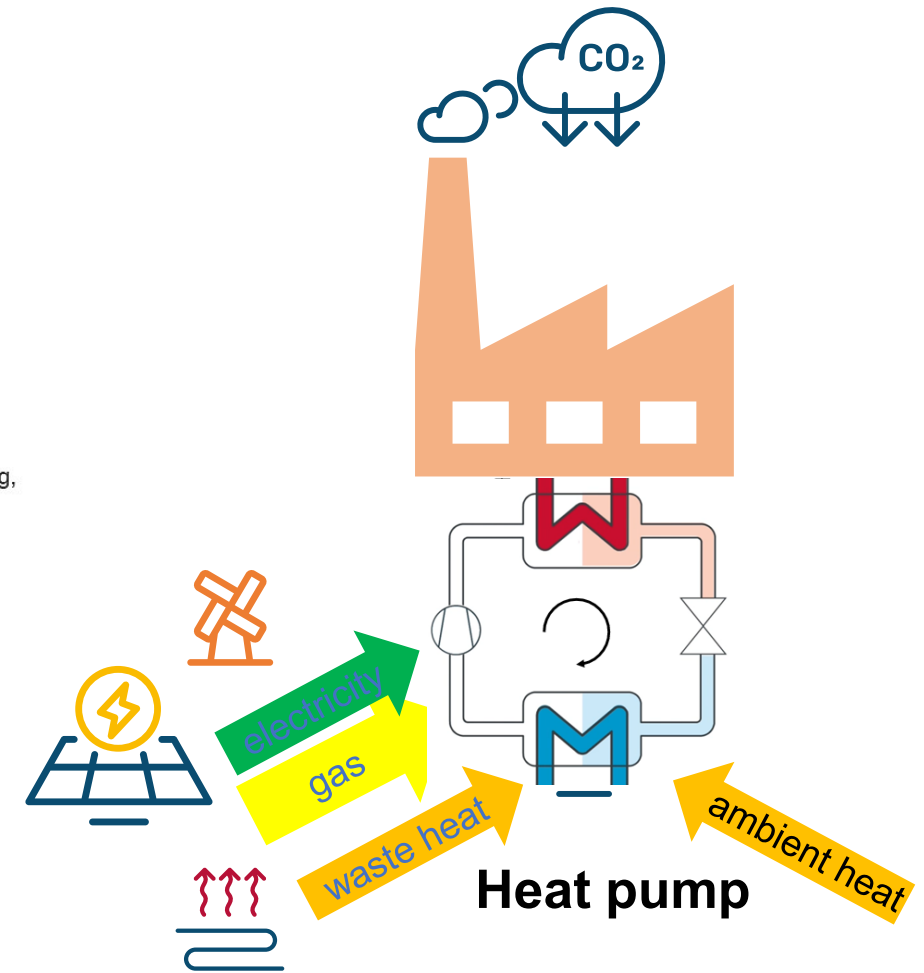
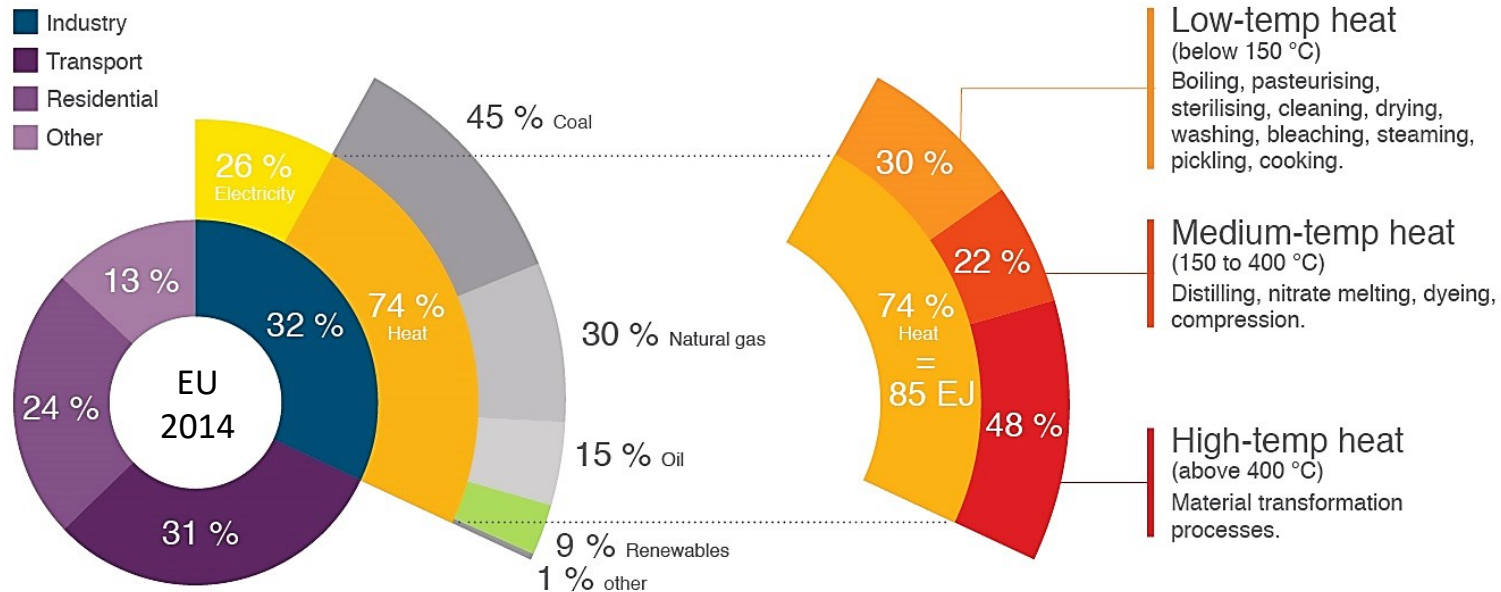
Forschungsplattform „Wärme“

im Forschungsprogramm Transformation des Energiesystems Niedersachsen (TEN.efzn)



Motivation

Endenergieverbrauch in der Industrie



Eurostat, Final energy consumption in industry - detailed statistics, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Final_energy_consumption_in_industry_-_detailed_statistics, last viewed 17.07.2025.

Solar Payback, Solar Heat for Industry, <https://www.solar-payback.com/wp-content/uploads/2017/07/Solar-Heat-for-Industry-Solar-Payback-April-2017.pdf>, last viewed 20.08.2025.

Atlas Copco Kompressoren und Drucklufttechnik, Die Wärmepumpe (Hochtemperatur) für die Industrie, <https://info.atlascopco-kompressoren.de/blog/w%C3%A4rmepumpen-hochtemperatur-industrie>, last viewed 19.08.2025.



Projektvorstellung

Projekt TEN.efzn Innovationsbereich I Hochtemperaturwärmepumpe



Assoziierte Praxispartner



Hannover



- Hochtemperaturwärmepumpen (Ammoniak/Wasser)
- Planungsprogramm für Hochtemperaturwärmepumpen

Clausthal



- Fest/flüssig Hochtemperaturwärmespeicher
- Hochtemperaturwärmepumpen Regelungskonzepte zur Minimierung der Stromkosten

Hameln



- Industrie Wärme- & Abwärmeprozesse für Hochtemperaturwärmepumpen
- Hochtemperaturwärmepumpen (alternative Fluide)

Göttingen

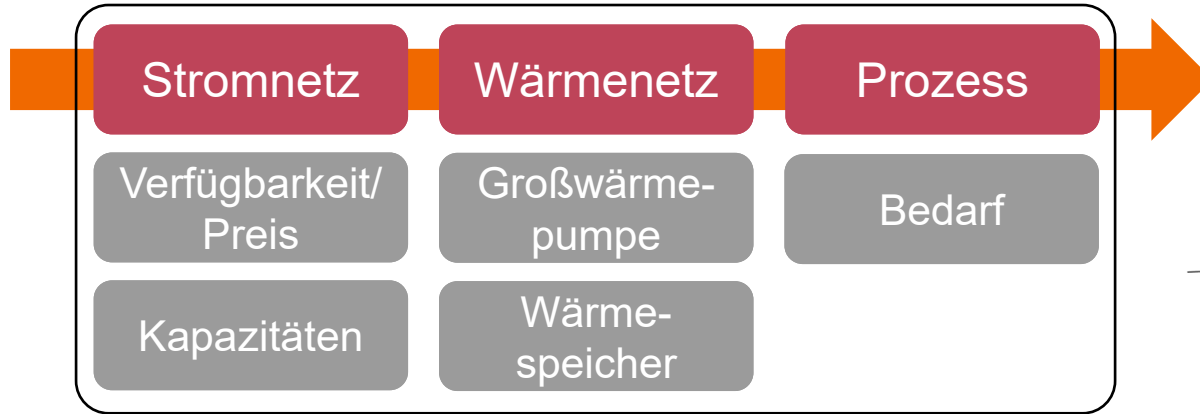


- Koordination des Projektes



Forschungsziel

Ganzheitliche Wärmeversorgungssysteme

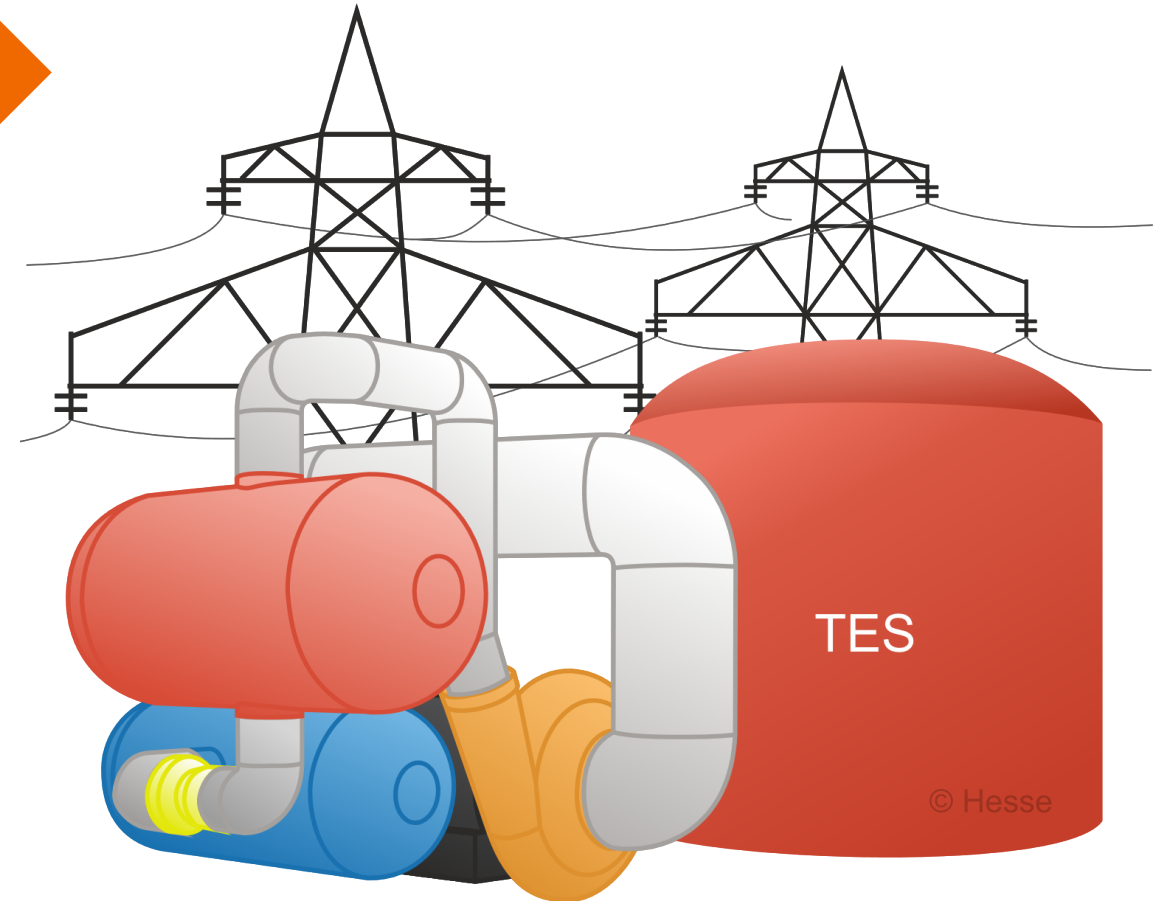


Technische/ ökonomische Perspektive

Berücksichtigung sozialer Dynamiken

Ermöglichen einer Teilhabe

- Beteiligung/ Genossenschaft
- Wahrnehmen von Bedenken



Entwicklung eines Auslegungsprogramms für Hochtemperaturwärmepumpen und thermische Speicher

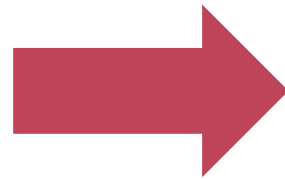




Anforderungen an Hochtemperaturwärmepumpen mit thermischen Speichern

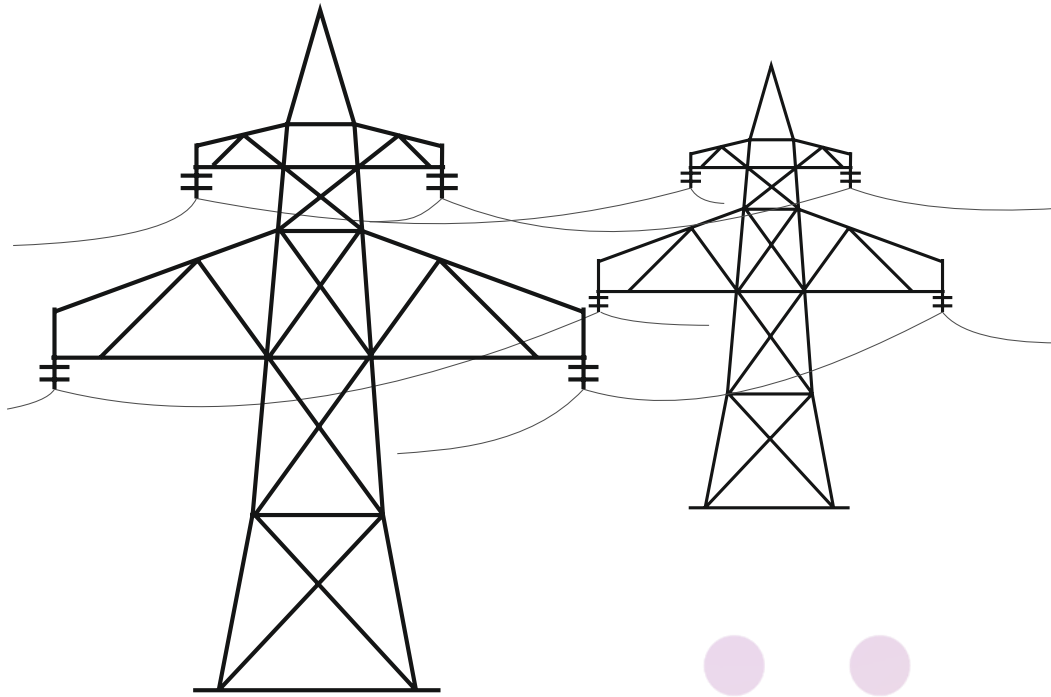
Literaturrecherche über:

- Temperaturen der Prozesse und Abwärmen
- Wärmemengen der Prozesse und Abwärmen
- Produktionszahlen in der EU
- Art des Prozessmediums (z.B. Dampf, heiße Luft, Milch, ...)
- Verfügbarkeit der Abwärme



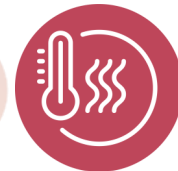
**Haben Sie Daten über
Industrieprozesse und
könnten diese zur
Verfügung stellen?**

✉ schuba@isfh.de



Elektrische Netze

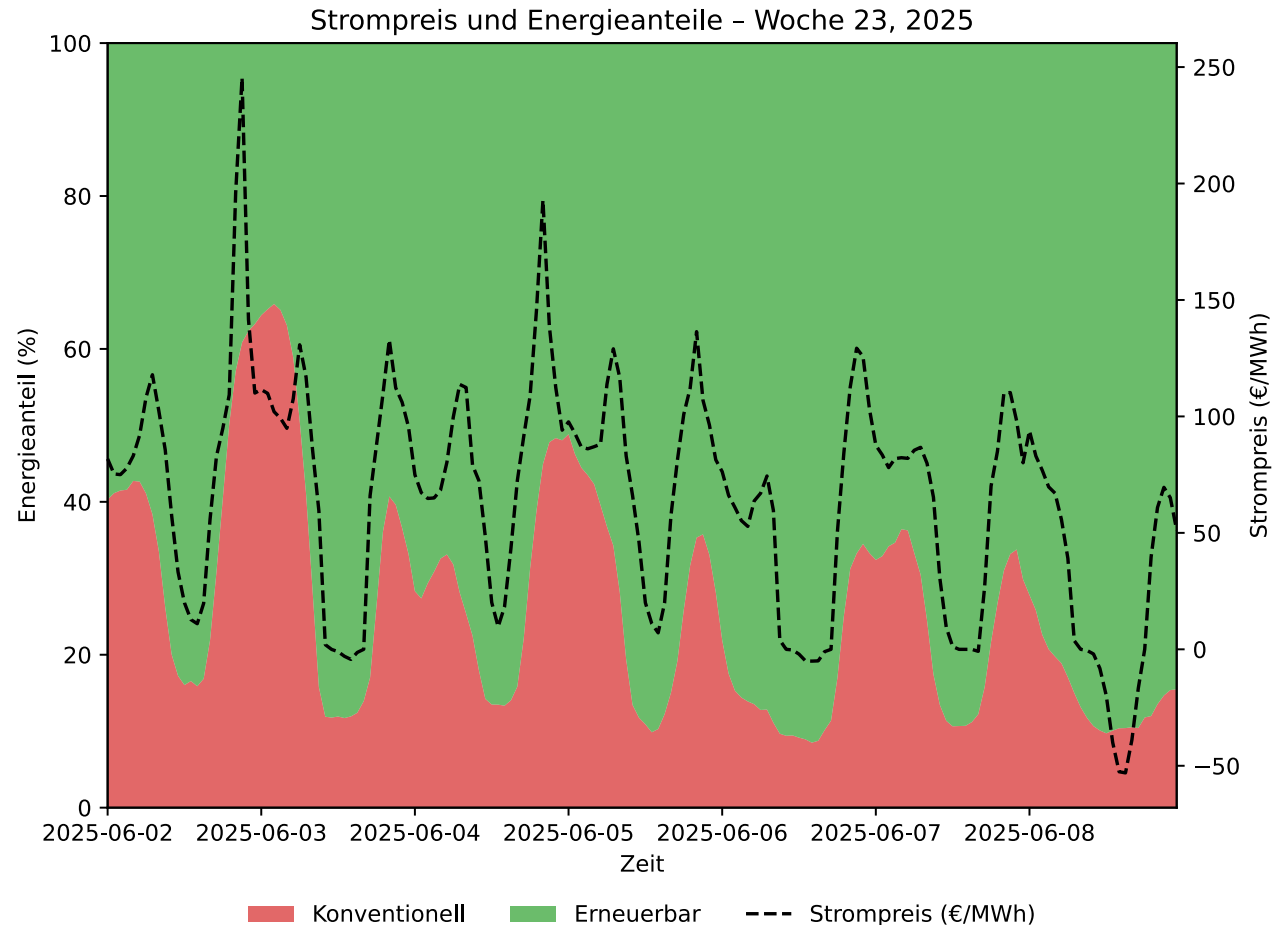
Kostenoptimierung





Stromkosten optimierte Regelung für Hochtemperaturwärmepumpen efzn

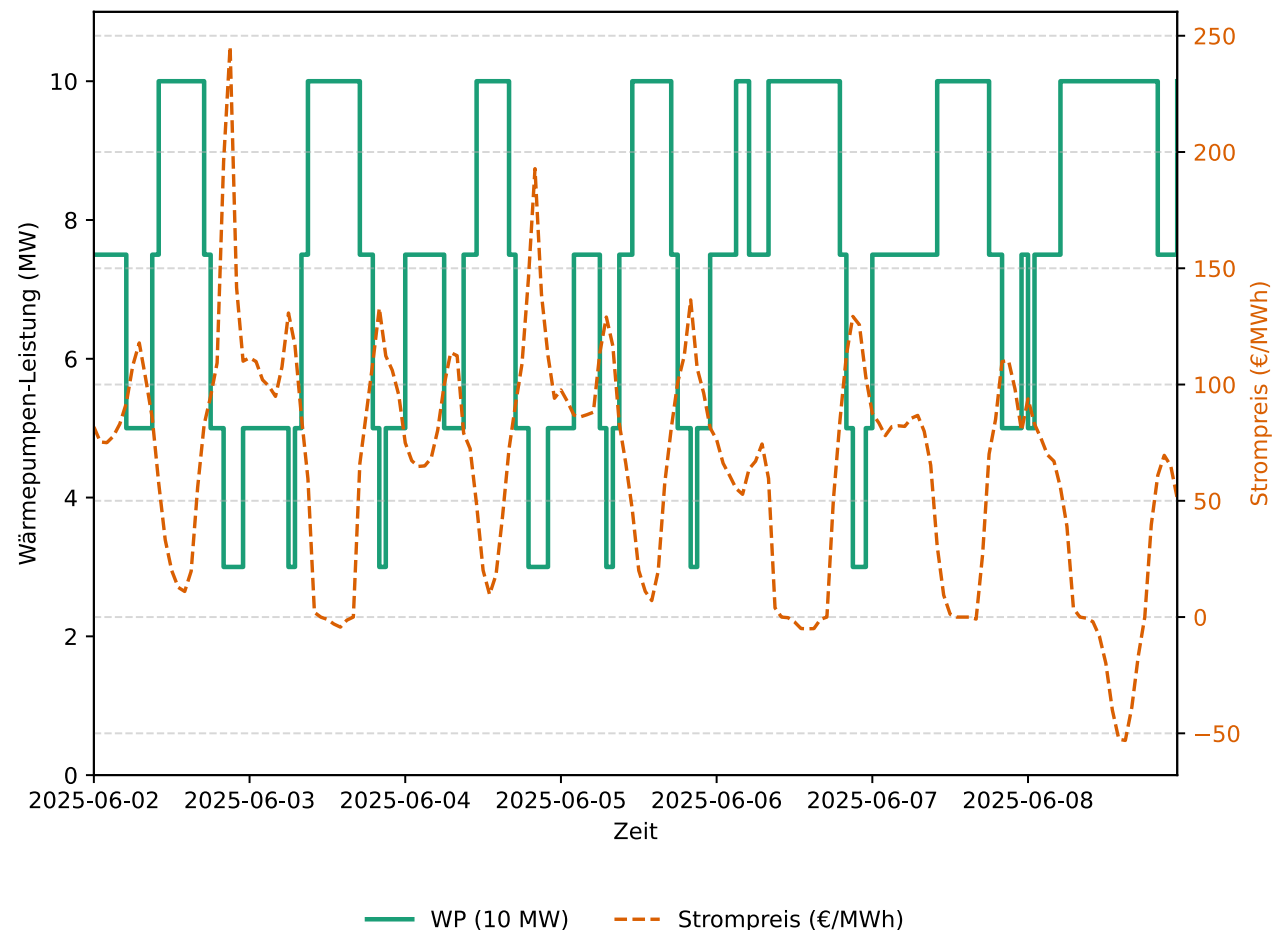
- Warum schwankt der Strompreis?
 - Strompreise ändern sich **viertelstündlich** → Angebot & Nachfrage bestimmen den Markt
 - Erneuerbare Energien (Wind, Sonne) sind günstig → kein Brennstoffeinsatz
 - Viel Wind- oder Solarstrom → Preise sinken deutlich
 - **2024: durchschnittlicher Börsenstrompreis 78,51 €/MWh [1]**
 - **Über 457 Stunden** im Jahr 2024 mit **negativen Preisen** → Stromüberschuss [1]
 - **Erneuerbare deckten 59 %** der Stromerzeugung in Deutschland [1]



[1] <https://www.smard.de/page/home/topic-article/444/215556/der-strommarkt-im-jahr-2024>

Stromkosten optimierte Regelung für Hochtemperaturwärmepumpen

- Klassisch: Betrieb direkt nach **Wärmebedarf** → auch bei hohen Preisen
- **Preisorientierter Betrieb:** Wärmepumpe nutzt günstige Viertelstunden → weniger Kosten & mehr erneuerbare Energie im System
- **Netzdienlicher Betrieb (Demand Connection Code, EU 2016/1388):**
 - Großverbraucher wie Wärmepumpen können vom Netzbetreiber bei Bedarf geregelt werden
 - Ziel: **Netzstabilität und Versorgungssicherheit** auch bei Frequenzschwankungen

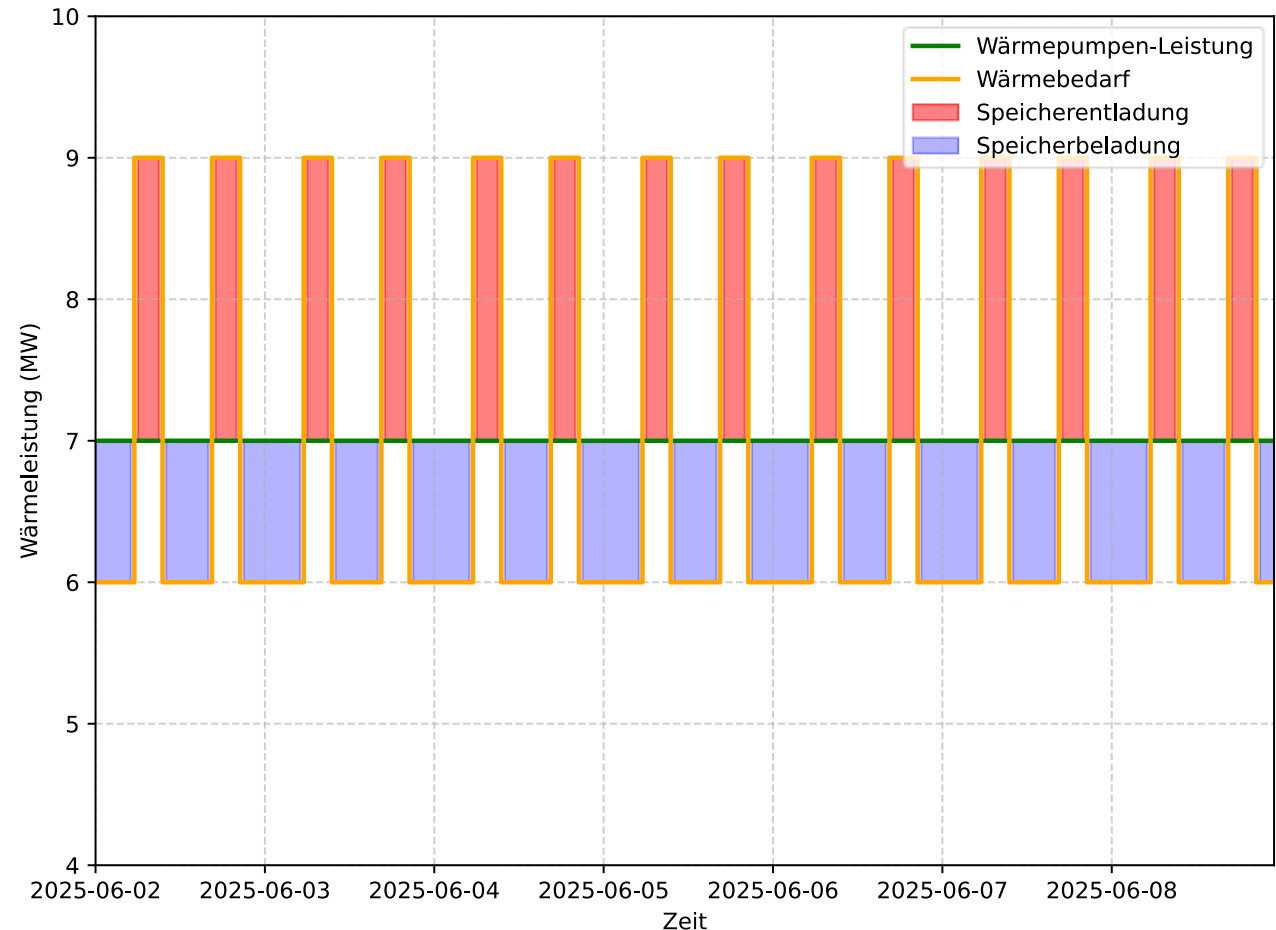




Stromkosten optimierte Regelung für Hochtemperaturwärmepumpen

- Warum brauchen wir Wärmespeicher?

- Wärmebedarf schwankt (Tagesrhythmus, Wetter, Nutzung).
- Erzeugung und Bedarf fallen zeitlich oft **nicht zusammen**.
- Speicher ermöglicht **zeitliche Entkopplung** von Erzeugung und Nachfrage.
- **Laden bei Überschuss, Entladen bei Spitzenlast.**
- Nutzung von **günstigem und erneuerbarem Strom** unabhängig vom Bedarf.
- Beitrag zu **Kostensenkung, Versorgungssicherheit und Klimaschutz.**

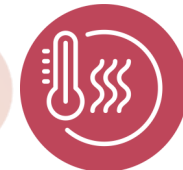


Die grüne Linie ist bewusst vereinfacht (konstant), um die Speicher-Funktion leicht verständlich zu zeigen. In der Realität passt sich die Wärmepumpe an Preise und Betrieb an.



Thermische Speicher

Neue Speicherlösungen



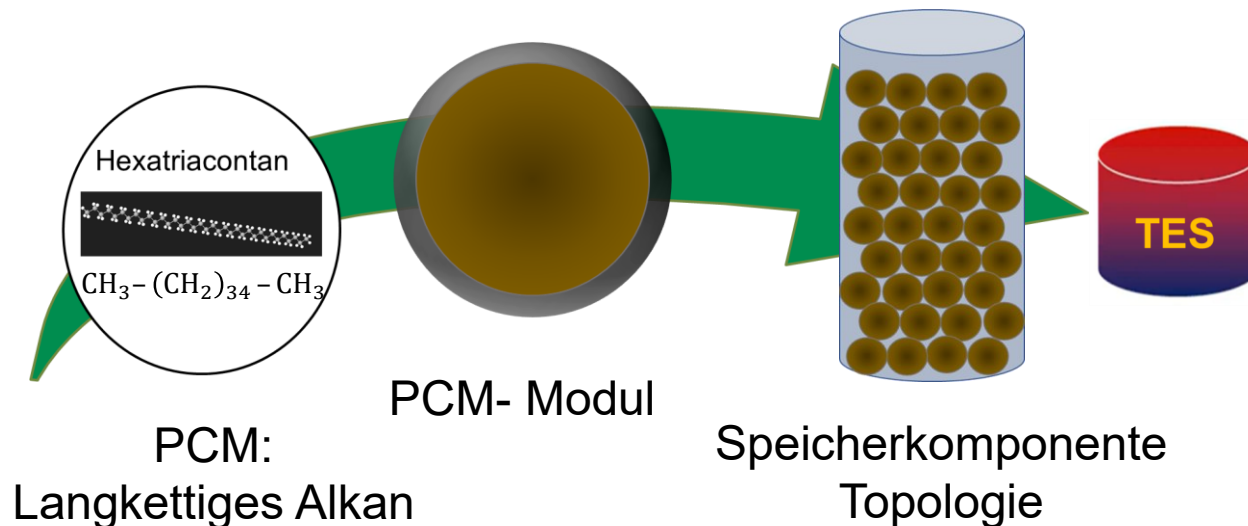
Modellentwicklung und Simulation von Hochtemperaturwärmepumpen und thermischen Speicher

Latentwärmespeicher:

- Vergleichsweise hohe Energiespeicherkapazitäten
- Gezielte Anpassung der Speicherkapazitäten und des Temperaturniveaus an Hochtemperaturwärmepumpen für verschiedene Anwendungen durch maßgeschneiderte Energiematerialien

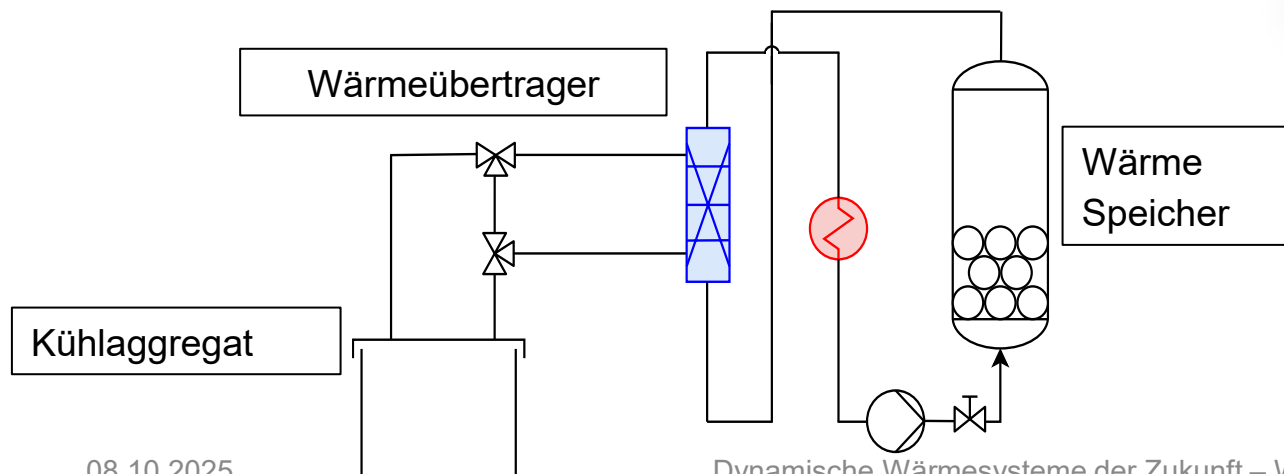
Ziele

- Screening und Entwicklung von Energiespeichermaterialien (PCMs)
- Entwicklung von makroverkapselten PCM-Modulen
- Entwicklung von thermischen Speicherkomponenten mit Hilfe von Simulation und Experiment
- Untersuchung des Speicherverhaltens und der Dynamik
- Optimierung der Speicherdynamik und der Speicherkapazität für Hochtemperaturwärmepumpen und deren Anwendungen



Latentwärmespeicher:

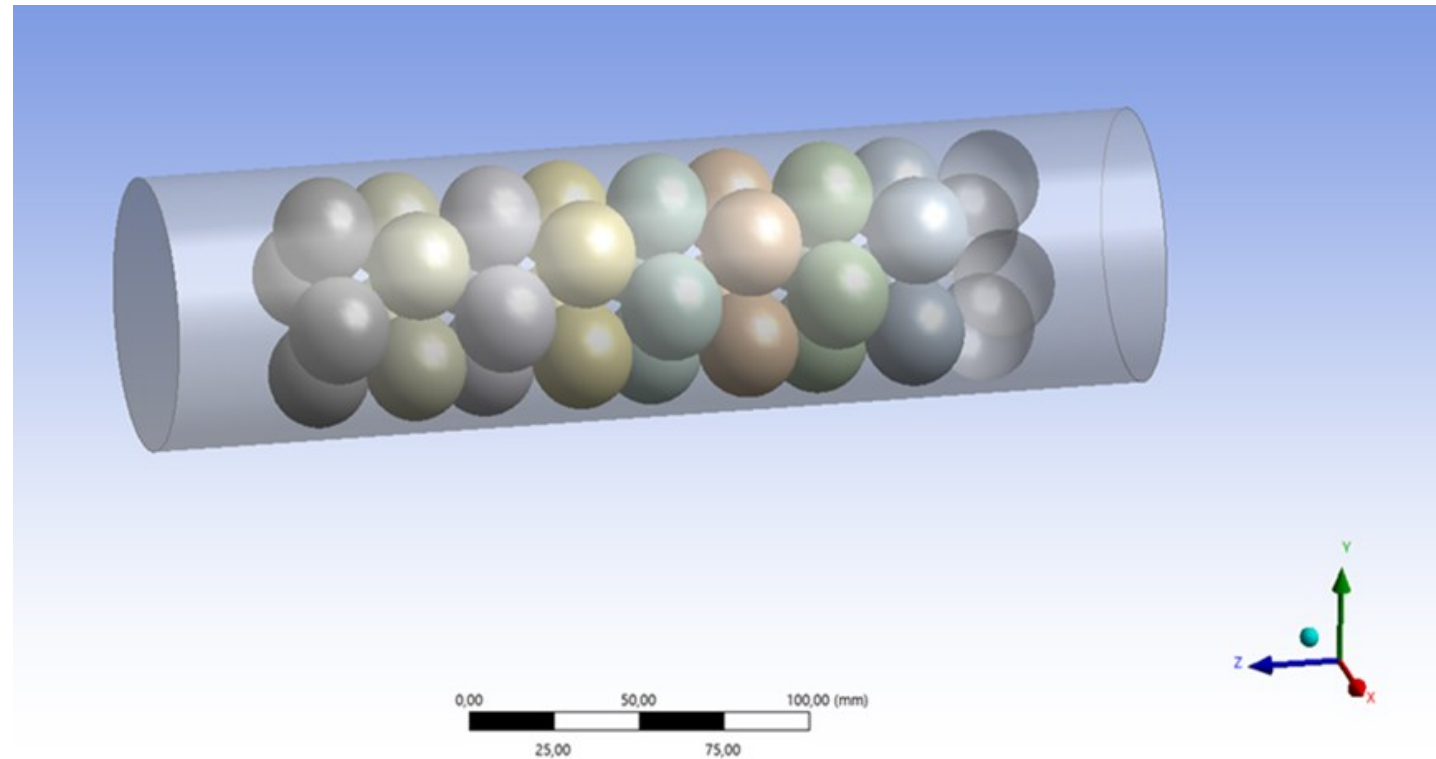
-
- The diagram illustrates a laboratory setup for a thermodynamic cycle. Key components and their labels are as follows:
- Kühlaggregat**: Refrigeration unit, shown as a large grey box with a blue compressor.
 - Wärmespeicher**: Heat storage tank, shown as a vertical cylindrical tank.
 - Wärmeübertrager**: Heat exchanger, shown as a black rectangular unit.
 - Ausdehnungsgefäß**: Expansion vessel, shown as a blue cylindrical tank.
 - Heizelement**: Heating element, shown as a blue cylindrical component.
 - Umwälzpumpe**: Circulation pump, shown as a blue pump at the bottom.
 - Sensors and Measurements**:
 - $P_{1,\text{Eintritt}}$ and $T_{1,\text{Eintritt}}$: Pressure and temperature at the inlet of the refrigeration unit.
 - $P_{2,\text{Austritt}}$ and $T_{2,\text{Austritt}}$: Pressure and temperature at the outlet of the refrigeration unit.
 - $T_{3,\text{WÜ Eintritt}}$ and $T_{4,\text{WÜ Austritt}}$: Temperatures at the inlet and outlet of the heat exchanger.
 - Regeltemperatur**: Control temperature, indicated by a green arrow pointing to the heat exchanger.
 - Volumenstromsensor**: Volume flow sensor, located on the pipe between the expansion vessel and the heating element.
- Two circular insets provide detailed views: the top inset shows the internal components of the refrigeration unit, and the bottom inset shows a tray of small, cylindrical components, likely the heating elements.

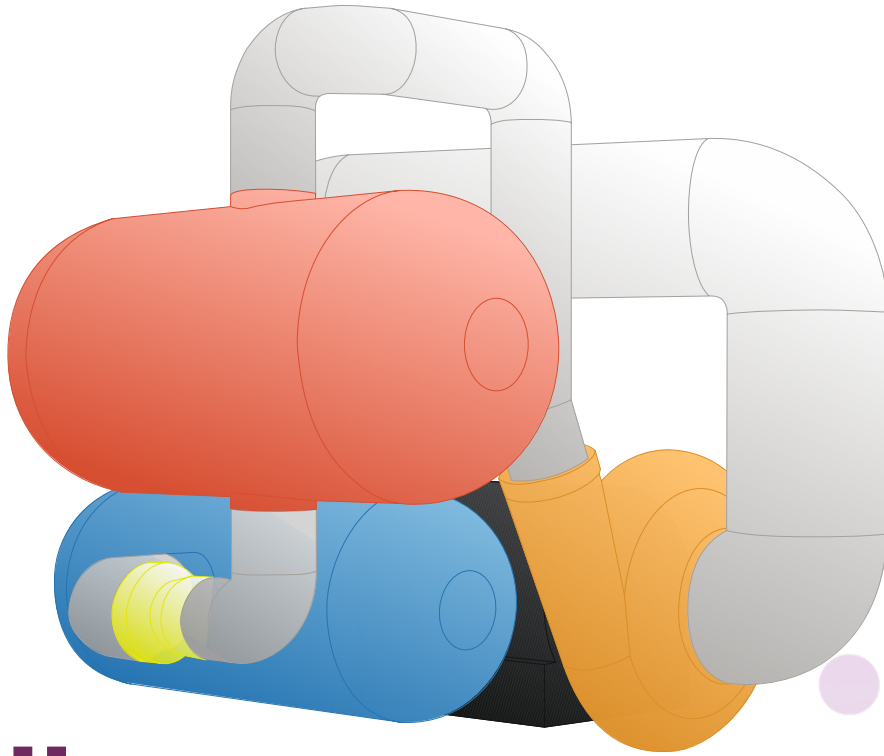


Modellentwicklung und Simulation von Hochtemperaturwärmepumpen und thermischen Speicher

Latentwärmespeicher:

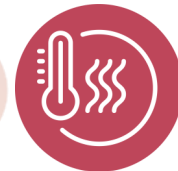
- Simulation mit Computational Fluid Dynamics (CFD)
- Aufbau Speichertopologie auf Basis makroverkapselter kugelförmiger PCM-Module
- Thermodynamisch basierte Modellierung des Phasenwechsel und der damit verbundenen Energieumwandlungen
- Simulationsgestützte Entwicklung neuer und maßgeschneiderter Latentwärmeschichtspeicher





Wärmepumpe

Kältemittel & Kreisprozesse





Funktionsweise einer (Kompressions-)Wärmepumpe

- Kontinuierlicher, geschlossener Kreisprozess mit einem Arbeitsfluid (Kältemittel)

4 → 1: Verdampfer

Temperatur des Kältemittel unterhalb der „Umgebung“, Wärmeaufnahme führt zum Verdampfen

1 → 2: Verdichter/ Kompressor

Gasförmiges Kältemittel wird verdichtet, dadurch steigen Druck und Temperatur

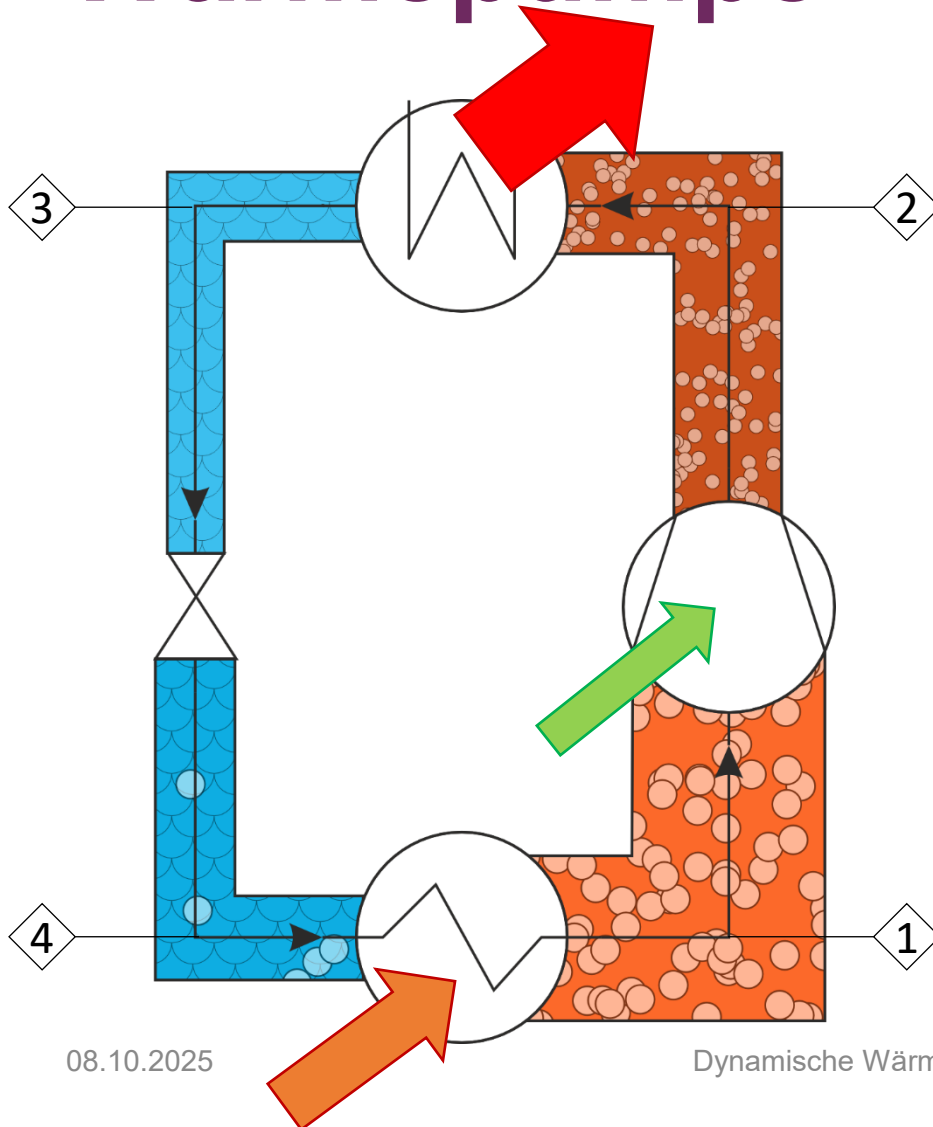
Kompressor elektrisch angetrieben

2 → 3: Kondensator/ Verflüssiger

Temperatur des Kältemittel oberhalb der „Umgebung“, Wärmeabgabe führt zum Kondensieren

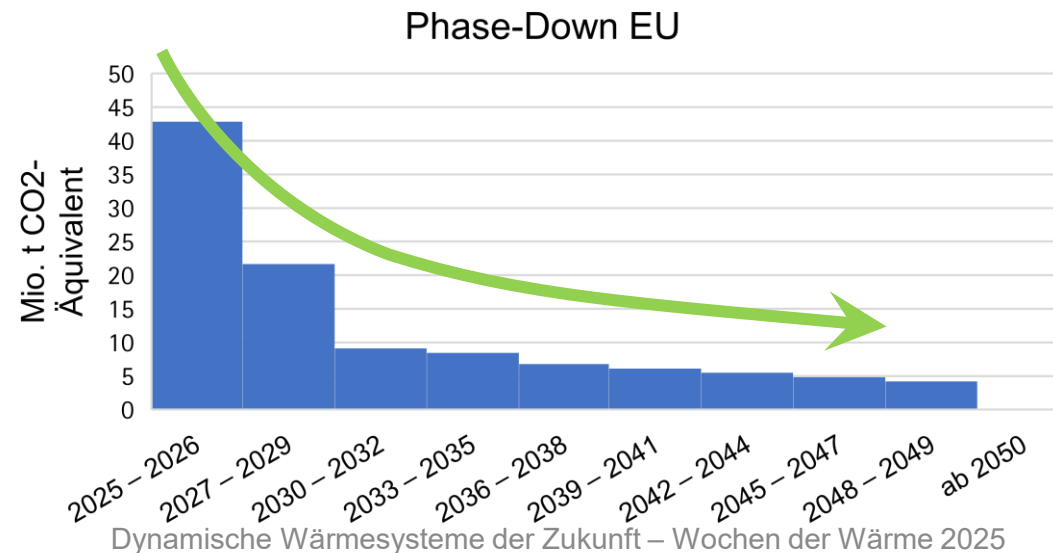
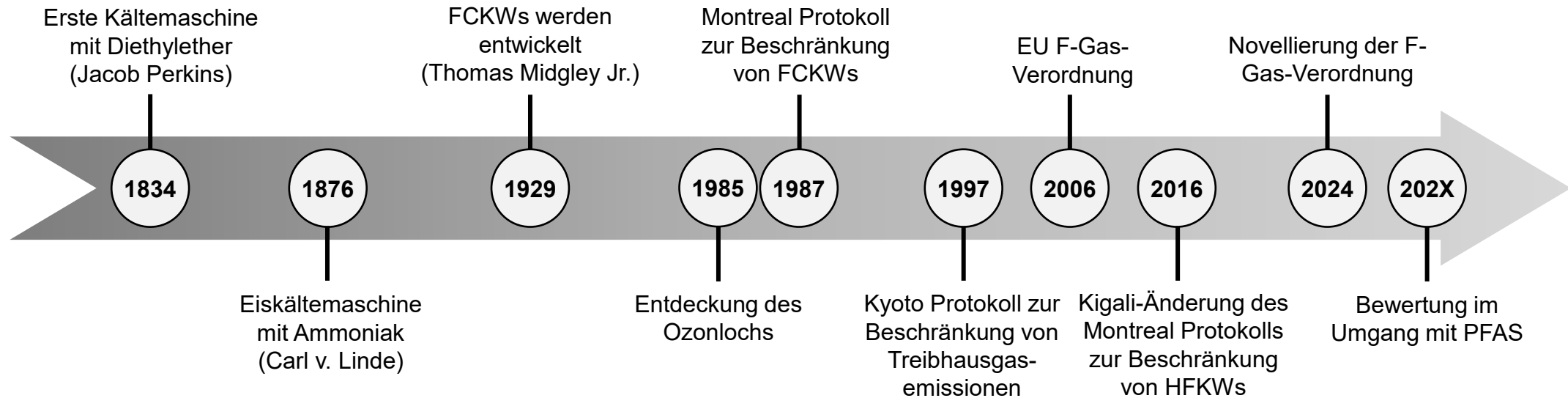
3 → 4: Expansionsventil/ Drossel

Flüssiges Kältemittel wird entspannt, dadurch fallen Druck und Temperatur





Kältemittel (1/4) - Historie



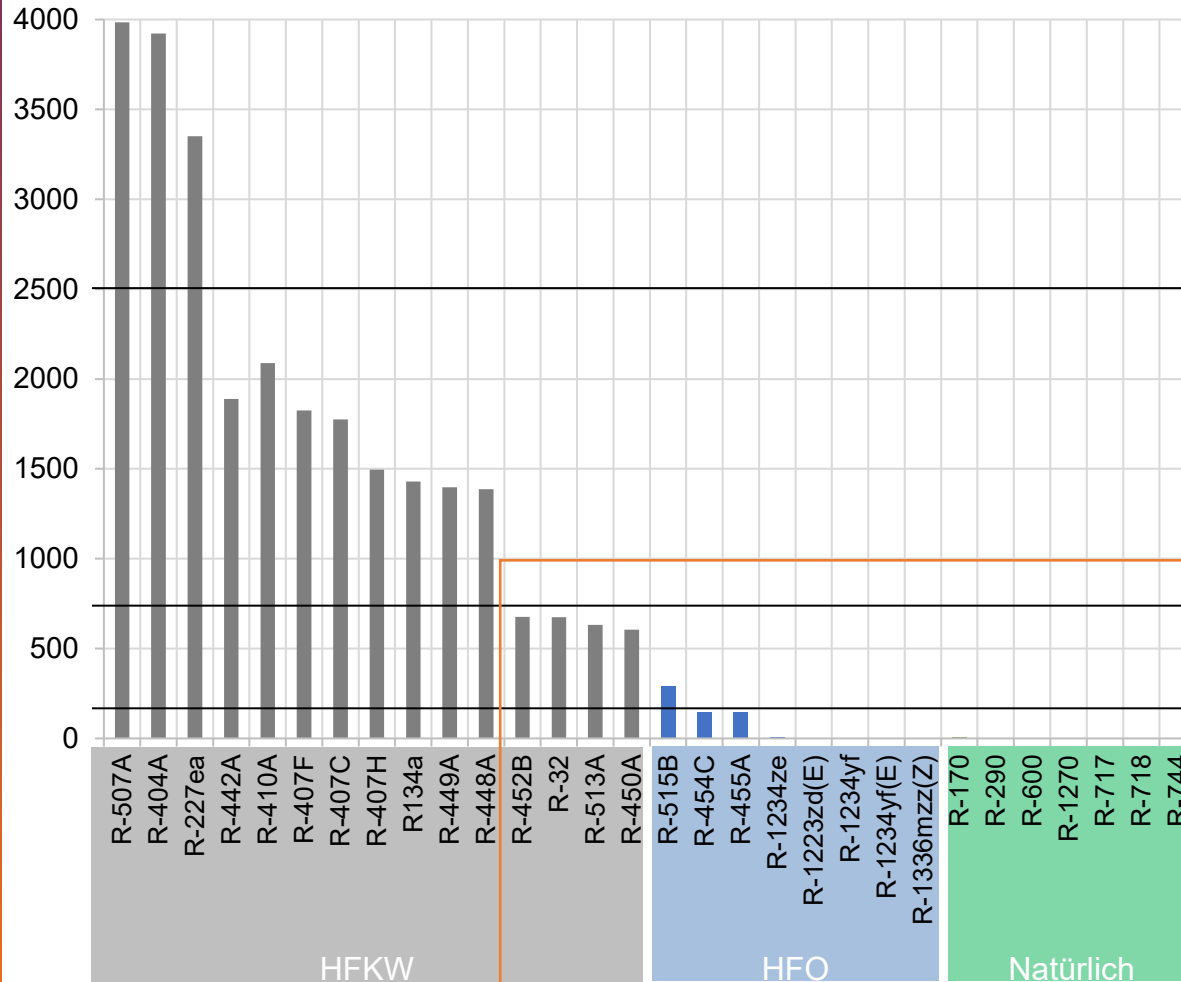


Kältemittel (2/4) - Übersicht

	Synthetisch			Natürlich			
Bezeichnung	FCKW	(H)FKW	HFO	Kohlenwasserstoffe			
Beispiel	R12, R22, ...	R23, R32, R134a, ...	R1234yf, R1336mzzZ, ...	R290 (Propan), R600 (Butan)	R744 (CO2)	R718 (Wasser)	R717 (Ammoniak)
ODP	1	0	0	0	0	0	0
GWP	1.182-14.400	146-14.800	<1-6	3	1	0	0
Brennbar	1	1-2L	1-2L	3	1	1	2L
Toxisch	A	A	A	A	A	A	B
PFAS							
vol. Kälteleistung							
Anwendung	Alte Kältschränke, Sprühdosen	Klimatisierung (z.B. Auto, Supermarkt)	Klimageräte (Ersatz für FKWs in Autos)	Wärmepumpe, Kältschrank	Wärmepumpe (<i>überkritisch</i>), Tiefkühlung	Industrielle Hochtemperatur-Wärmepumpe	Tiefkühlung, Industrielle Hochtemperatur-Wärmepumpen

Kältemittel (3/4) - F-Gas-Verordnung (2024/573)

GWP



GWP <2500

Verbot der Verwendung zur Instandhaltung und Wartung bei Kälteanlagen mit 40t CO₂-Äquiv. ab 01. Januar 2025 [1, Art. 13 Abs.3]

Bzw. ab 01. Januar 2030 wenn recycelt/ aufgearbeitet

Verbot der Verwendung zur Instandhaltung und Wartung bei Wärmepumpen und Klimaanlage ab 01. Januar 2026 [1, Art. 13 Abs.4]

Bzw. ab 01. Januar 2032 wenn recycelt/ aufgearbeitet

GWP <750

Verbot der Verwendung zur Instandhaltung und Wartung bei ortsfesten Kälteanlagen ab 01. Januar 2032 [1, Art. 13 Abs.5]

Bzw. nicht wenn recycelt/ aufgearbeitet

Limit* für Neuanlagen 2025-2030

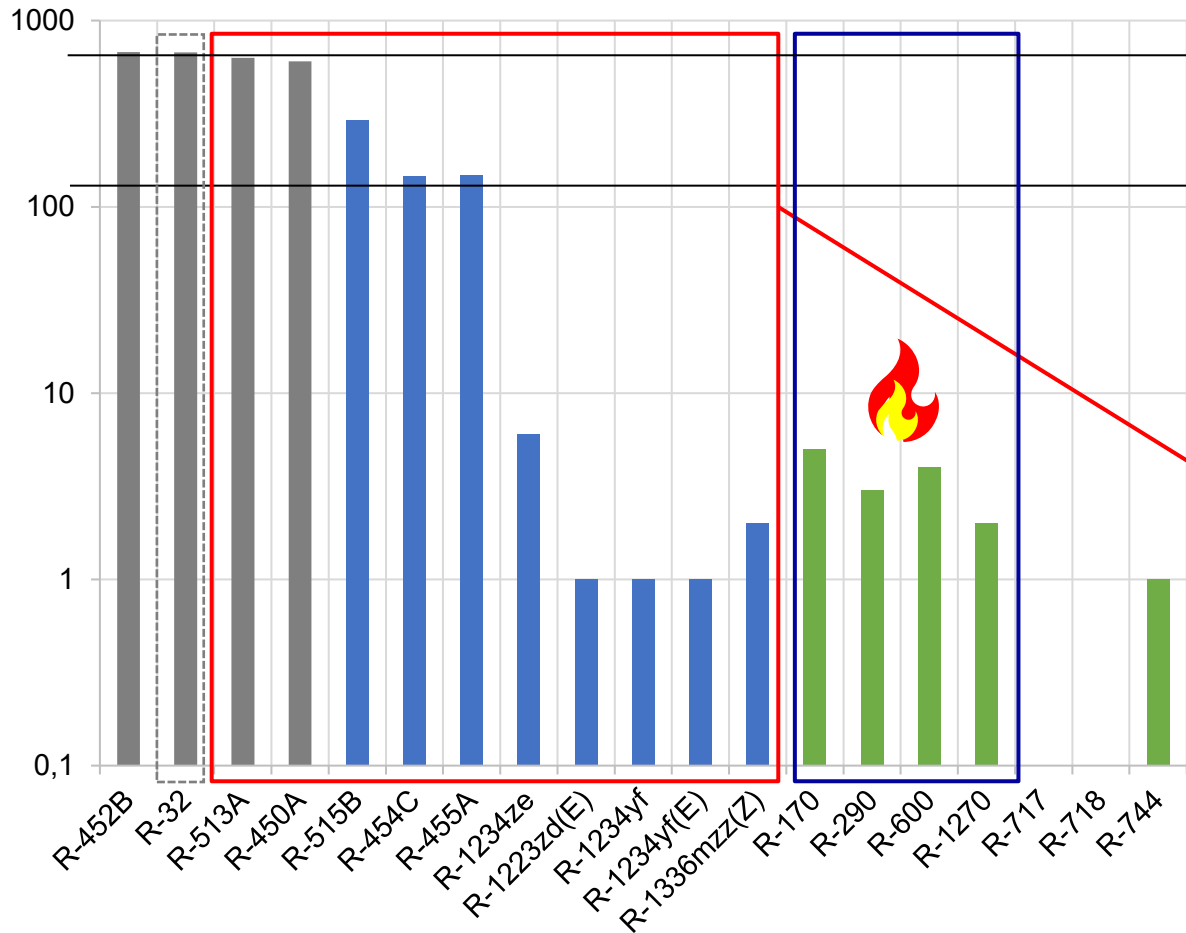
GWP <150 nach EU-F-Gas-Verordnung [1, Anhang IV]

* ausgenommen wenn für Sicherheitsanforderungen erforderlich

Quelle: [1] Regulation (EU) 2024/573

Kältemittel (4/4) - F-Gas-Verordnung (2024/573)

GWP (logarithmisch)

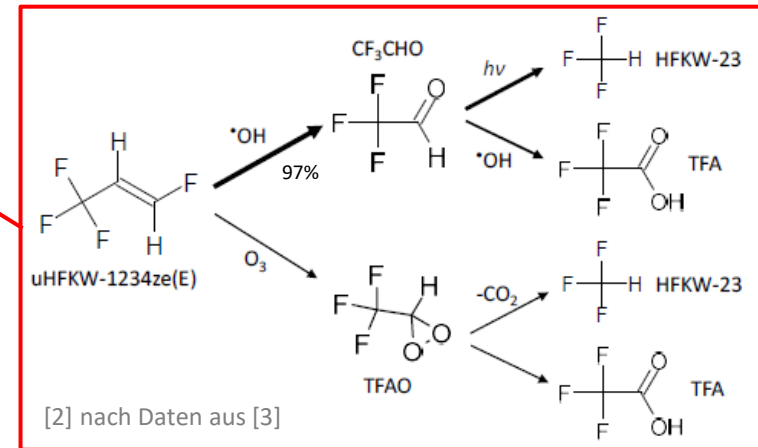


GWP < 750

Limit* für Neuanlagen 2025-2030

GWP < 150 nach EU-F-Gas-Verordnung [1, Anhang IV]

*ausgenommen wenn für Sicherheitsanforderungen erforderlich



a) Abbauprodukt mit hohem GWP (R23: 14.800)

Folglich steigt der TEWI (Total Equivalent Warming Impact) dieser Kältemittel

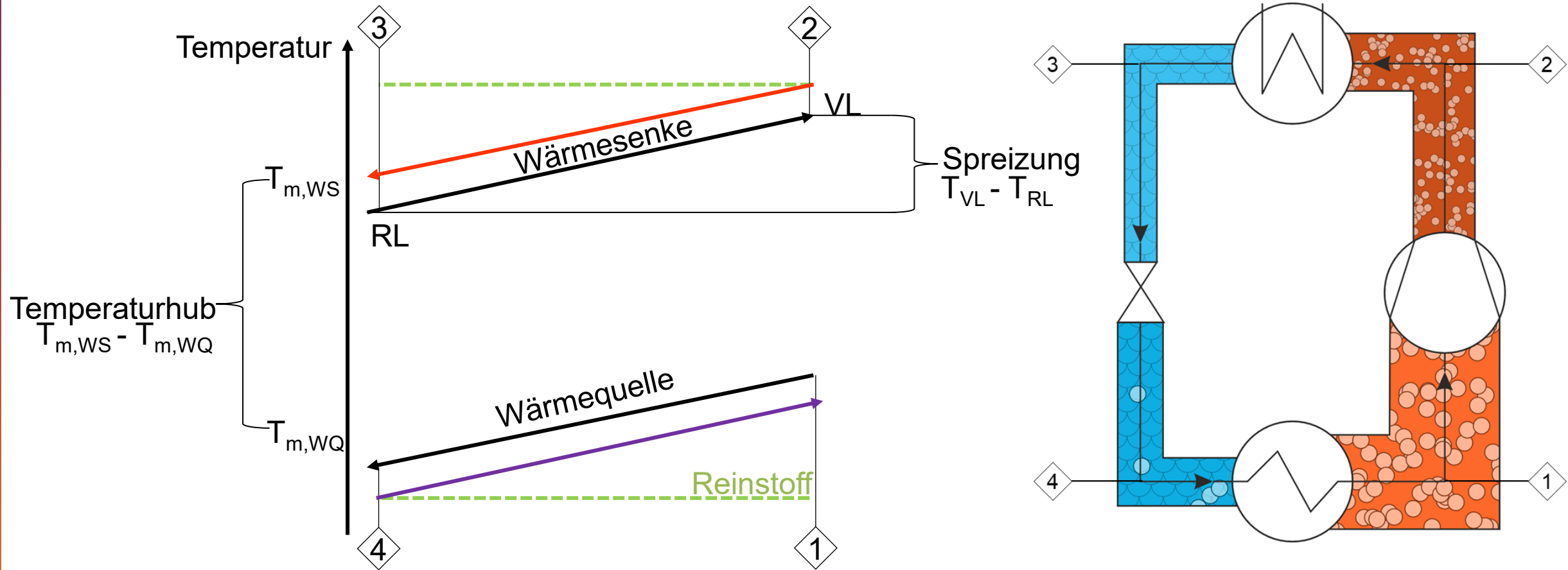
oder
b) persistentes und hoch mobiles Abbauprodukt (TFA, PFAS)

Quelle: [1] Regulation (EU) 2024/573

[2] Behringer, D. (2024) Umwelt- und Klimaauswirkung natürlicher und halogenierter Kältemittel in Flüssigkühlsätzen und Verflüssigungssätzen, Vortrag

[3] Pérez-Peña, M.P.; Fisher, J.A.; Hansen, C.; Kable, S.H. (2023)

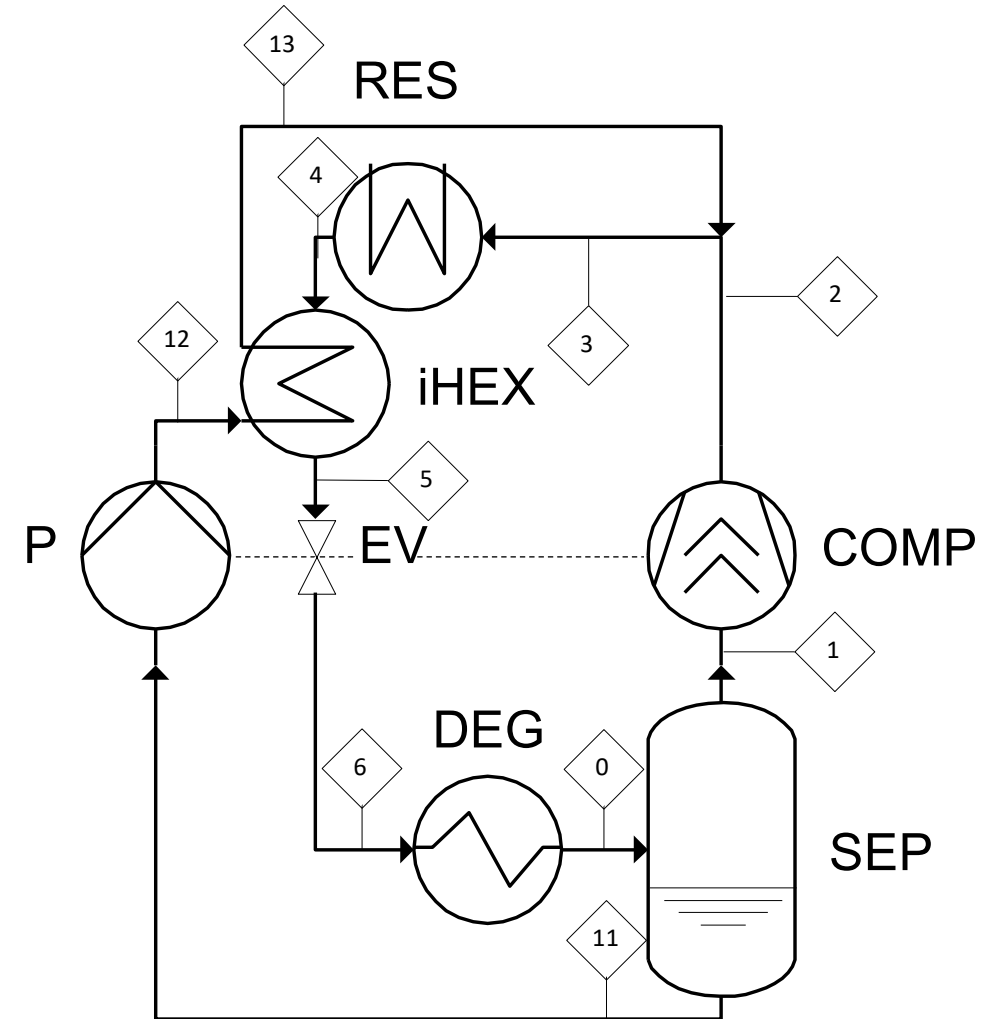
Unterschied Reinstoff vs. Gemisch





Die KWPL als Ansatz

- Erweiterter Kreisprozess mit natürlichen Zweikomponenten-Arbeitsfluiden
(Kompressionswärmepumpe mit Lösungskreislauf, KWPL)
- Dadurch Angleichen an die Temperaturspreizung möglich
- Effizienzsteigerung zum konventionellen Standardprozess
- Flexible Prozessparameter zur Anpassung an Randbedingungen



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt



(Herr) Jonas Hesse, M.Sc.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Thermodynamik
Leibniz Universität Hannover
✉ hesse@ift.uni-hannover.de
ift.uni-hannover.de

Mit inhaltlicher Unterstützung von:

Arne Dittrich, ISFH
Maximilian Loth, ISFH
Sven-Yannik Schuba, ISFH
Manisha Kabi, TUC
Abhishek Verma, TUC

Mehr zu TEN.efzn:



www.efzn.de/ten

zukunft.
niedersachsen

Gefördert mit Mitteln aus zukunft.niedersachsen, dem gemeinsamen Wissenschaftsförderprogramm des Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur und der VolkswagenStiftung.