

Nutzung der Abwärme einer Ammoniak-Kälteanlage mittels „Add-on Wärmepumpe“ bei Ennstal Milch

René Rieberer, Manuel Verdnik

Technische Universität Graz
Institut für Wärmetechnik (IWT)
Inffeldgasse 25/B
A 8010 Graz

Graz, 16.10.2023

Inhalt

- Projektvorstellung „ENOUGH“
- Demonstrator @ Ennstal Milch
 - Bestand: Kälteanlage und Cleaning-in-Place (CIP)-System
 - Integration der „Add-on Wärmepumpe“
 - (Vorläufige) Ergebnisse
- Weitere Anwendungsfälle
- Zusammenfassung und Ausblick

„ENOUGH“ – European food chain supply to reduce GHG-emissions by 2050

Dieses Projekt soll Technologien, Werkzeuge und Methoden zur „**Farm to Fork**“-Strategie der EU beitragen, um klimaneutrale Lebensmittelbetriebe zu ermöglichen.



<https://enough-emissions.eu/>



Ziele:

- Signifikante **Reduktion** der Treibhausgasemissionen (**THG**) in der Lebensmittelindustrie
- **Wege zur Klimaneutralität** von Lebensmittelbetrieben identifizieren
- **Bewusstseinsbildung**
- ...

Inhalte:

- **Quantifizierung der THG-Emissionen** von 1990 & 2020 und Ausblick für 2030-2050
- Entwicklung von **Technologieleitfäden** von der Ernte/Schlachtung bis zum Konsum
- **Demonstration** vielversprechender Technologien
 - z.B.: **Nutzung der Abwärme einer Kälteanlage in einer Molkerei mittels Hochtemperatur-Wärmepumpe (HTWP)**
- Entwurf und Entwicklung eines „**Smart Data Systems**“
(z. B. für die Wärmepumpe zur Echtzeitanalyse des Systems, Erkennung von Gerätefehlern, ...)

Motivation

- **Lebensmittelindustrie:** benötigt ca. 1/3 des weltweiten Energiebedarfes (FAO, 2017), davon 45 % für Verarbeitung und Verteilung (IRENA und FAO, 2021)
- **Molkereiindustrie:** gemessen am Produktionswert einer der ökonomisch wichtigsten Sektoren der Lebensmittelindustrie in Europa
2021: Getreideprodukte > Gemüse und Gärtnereiprod. > Milchprod. (Eurostat, 2022)
- **Gleichzeitiger Kühl- und Heizbedarf** im Molkereiprozess
z.B.: Milchproduktion: 19% der Energie für Kühlung, 38% für Homogenisierung/Pasteur., 10% für Reinigungsprozesse (Bakalis et al., 2019)

→ **(Hochtemperatur-)Wärmepumpen** ermöglichen Prozesswärmebereitstellung durch Abwärmenutzung:

Beitrag zur Dekarbonisierung der (Lebensmittel-)Industrie durch Reduktion fossiler Energieträger

Ennstal Milch – Kälteanlage und CIP-System



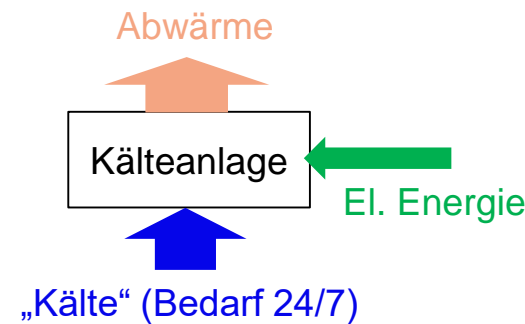
Ennstal Milch:

- Gegründet: 1902
- Molkerei und Käserei
- Klassische Molkereiprodukte (z.B. Vollmilch, Aufstriche, Desserts, Schimmelkäse, ...)
- Flexibler Produzent mit zahlreichen nationalen und internationalen Kunden



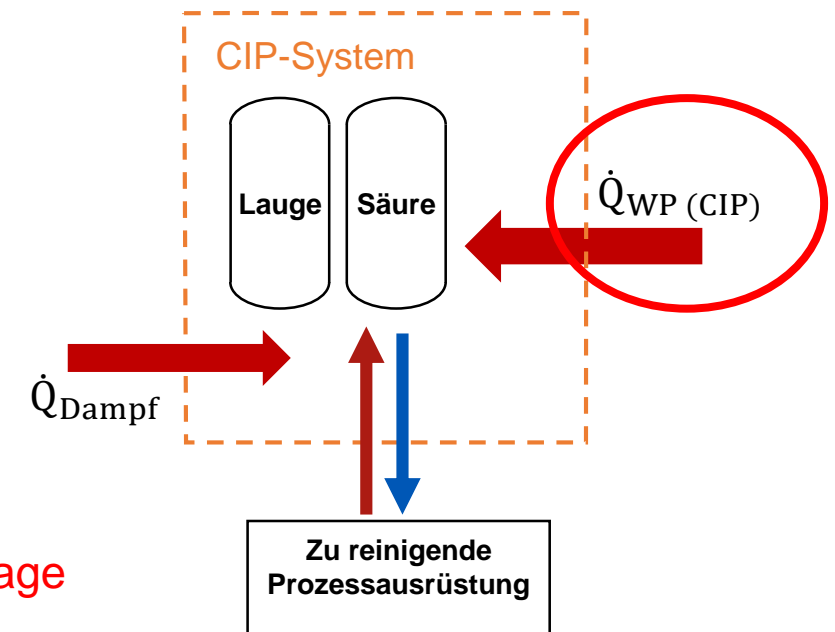
Kälteanlage:

- Kältemittel: NH_3
- Bereitstellung von „Eiswasser“ bei $1\text{ }^\circ\text{C}$
- Max. Kälteleistung: 900 kW



CIP-System:

- Reinigung von Prozessausrüstung mit Säure und Lauge
- Erwärmung mittels Dampf (Brennstoff Gas- bzw. Biomasse)

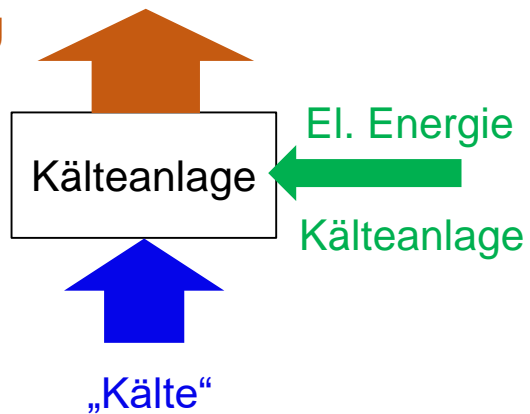


Ziel: Reduktion des Dampfbedarfes für CIP durch Abwärmenutzung der Kälteanlage

Konzept der Abwärmennutzung

Konventionelle Kälteanlage

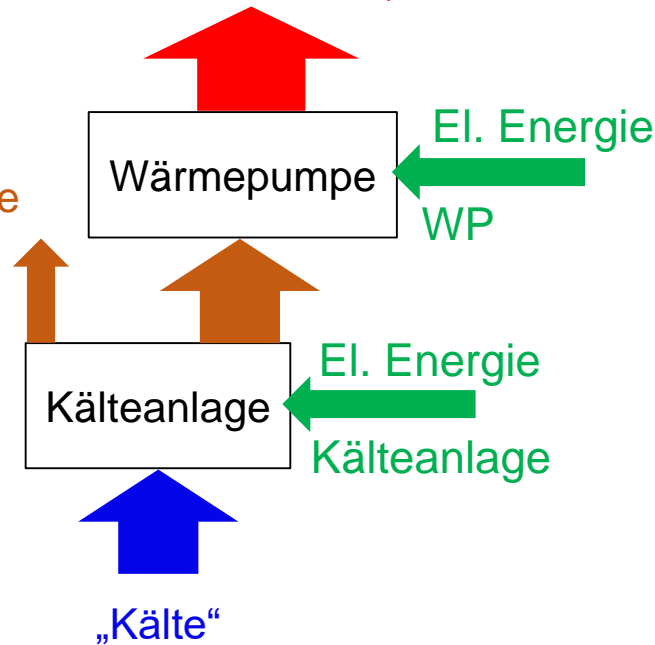
Abwärme ungenutzt an Umgebung abgeführt (Kühlturm)



Abwärmennutzung mittels (Hochtemperatur-) Wärmepumpe

Prozesswärme (z.B.: Erwärmung des CIP-Systems, nach Bedarf)

Teil der Abwärme ungenutzt abgeführt



Temperaturniveau

Heißwasseraustritt 75...90°C

mittleres Temperaturniveau $\hat{=}$ ca. 35°C Kondensation

Kaltwasseraustritt ca. 1°C

Integration der „Add-on Wärmepumpe“

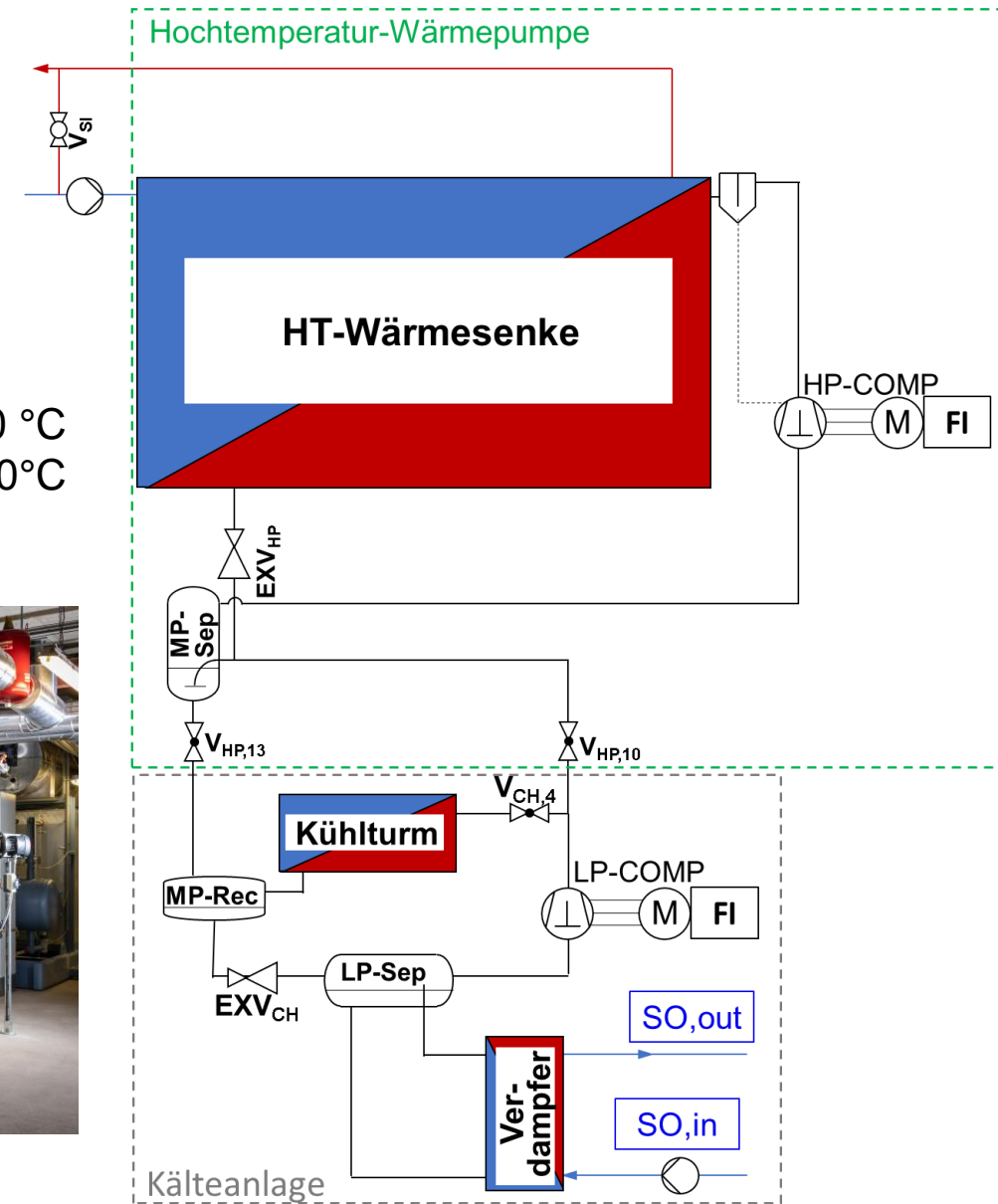
Kältemittel: NH₃

Kälteanlage:

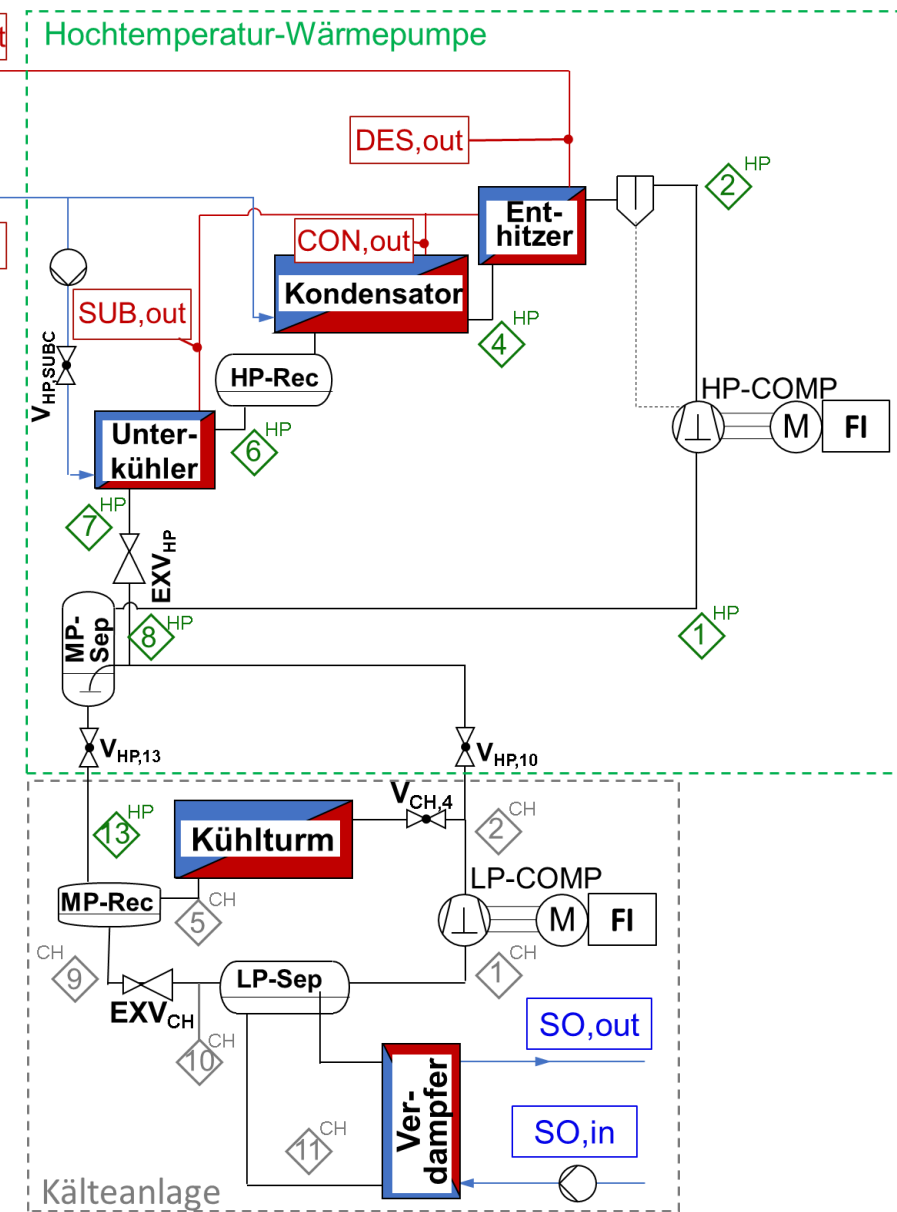
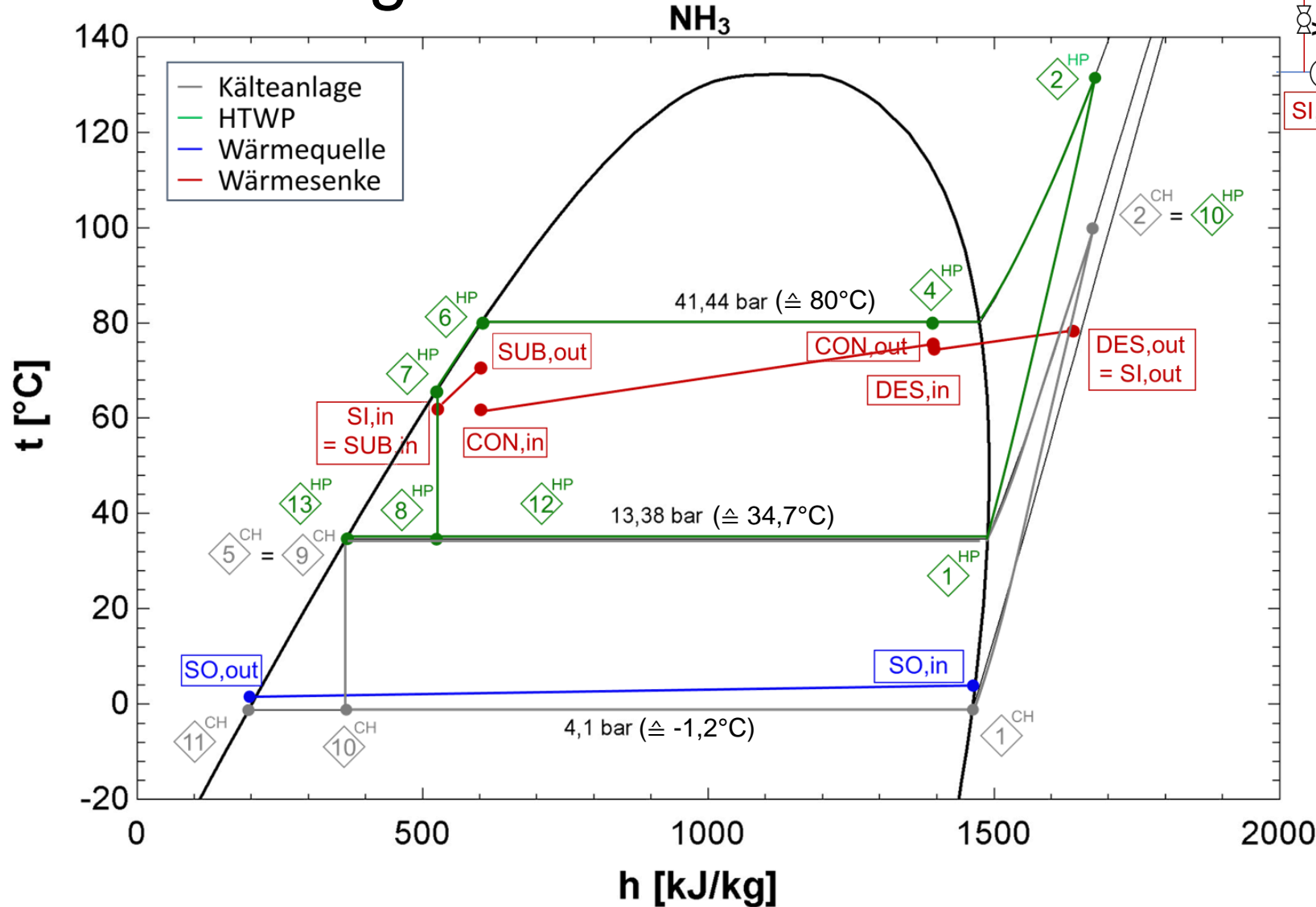
- Kaltwasseraustrittstemperatur ca. 1°C
- Max. Kälteleistung 900 kW

Hochtemperaturwärmepumpe:

- Wassereintrittstemperatur 60...80 °C
- Wasseraustrittstemperatur 75...90°C
- Max. Heizleistung 550 kW



Kälteanlage und HTWP



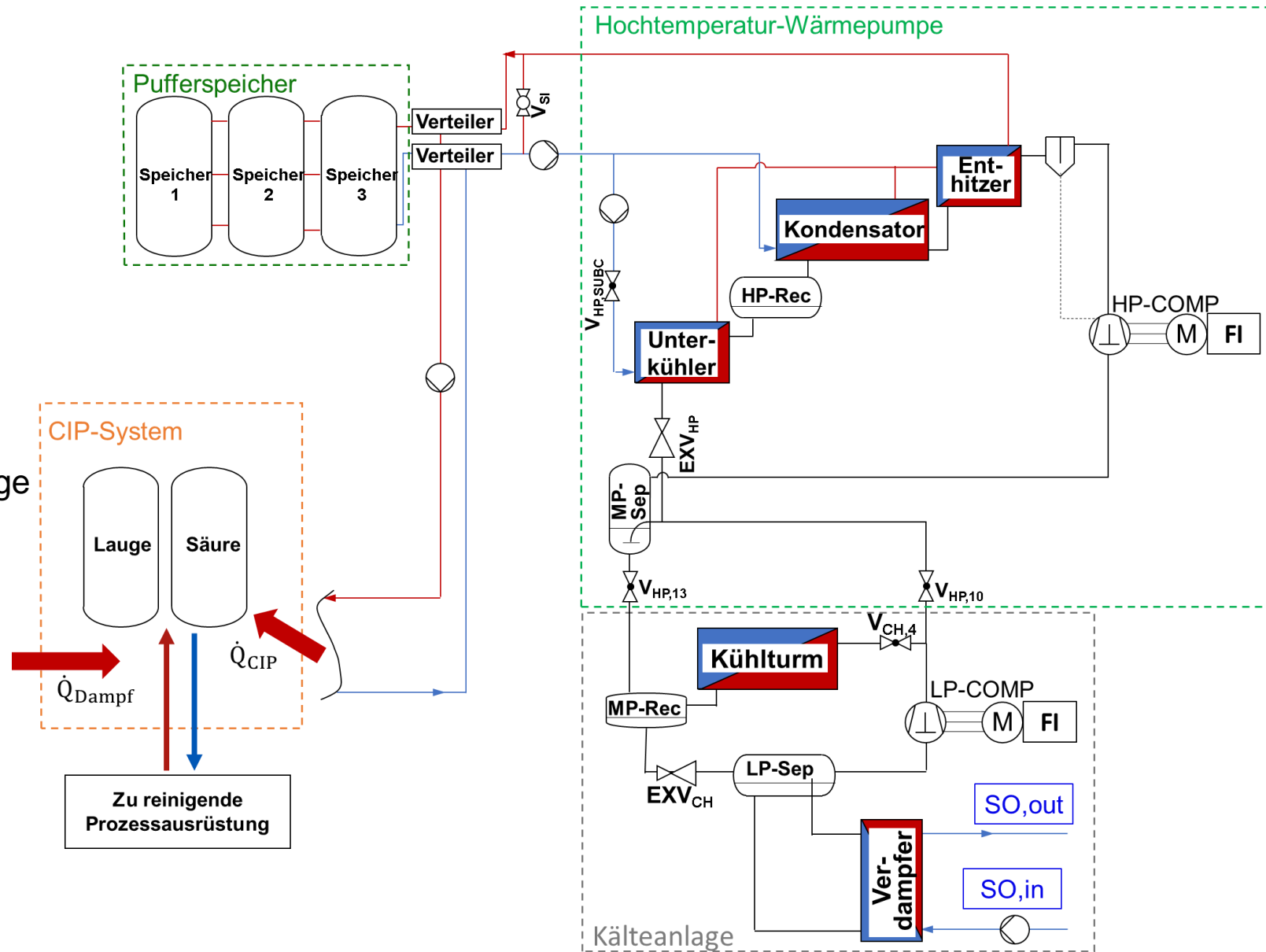
Gesamtsystem

Pufferspeicher:

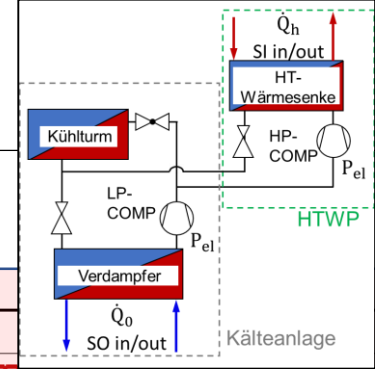
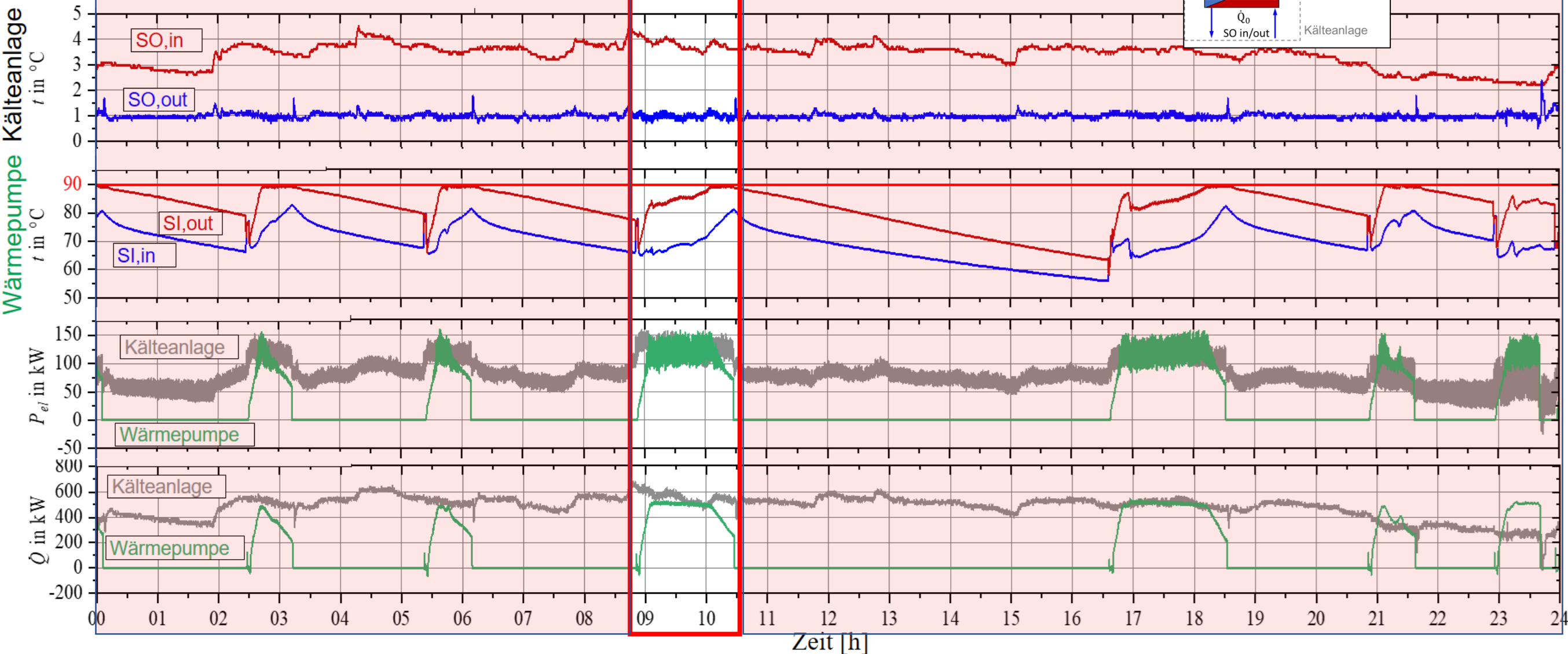
- 12 m³ (3 Speicher á 4m³ parallel)
- Betrieb HTWP anhand Speichertemp.

Cleaning-In-Place (CIP)-System:

- Reinigung von Milchtankfahrzeugen und Prozessausrüstung mittels Säure und Lauge
- Beheizung der Säure und Lauge über Wärmetauscher
- Reduktion des Dampfbedarfes



Messdaten bei 90°C Wärmesenkenaustritt



Bsp. Erreichte Effizienzen und Wärmemengen

$t_{SI,out,set} = 90^{\circ}\text{C}$	
$Q_{h,HP,day}$	2733 kWh/d
$W_{HP,el,day}$	659 kWh/d
$AZ_{h,HP,day}$	4,15

$$AZ_{h,HP} = \frac{Q_{h,HP}}{W_{HP,el}}$$

Arbeitszahl
z.B. für 1 Tag

$t_{SI,out,set} = 80^{\circ}\text{C}$	
$Q_{h,HP,day}$	2958 kWh
$W_{HP,el,day}$	650 kWh
$AZ_{h,HP,day}$	4,55

- 3000 kWh_{th}/d durch die Wärmepumpe bereitgestellt \triangleq CO₂-Einsparungen von ca. 600 kg/Tag
 (Annahmen: Gaskessel mit $\eta_K = 95\%$, $f_{CO2eq,Erdgas} = 0,247$ kg/kWh; $f_{CO2eq,Strom} = 0,227$ kg/kWh)
- Potential weitere Abnehmer (z.B.: Pasteure, Warmwasser,...) einzubinden
- Simulationsmodelle ermöglichen die Untersuchung des Gesamtsystems, wobei unterschiedliche Detaillierungsgrade möglich sind (siehe Verdnik et al., 2023a & 2023b)

Weitere Bsp. für Abwärmenutzung mittels WP

	Wärmequelle	Wärmesenke
1)	Abwärme aus Prozess-/Gebäudekühlung 3 x 750 kW NH ₃ -Kälteanlage, t _c = 35°C	CIP-System, Prozesstanks (70/90°C, bis zu 95°C) 2 x 500 kW NH ₃ -Wärmepumpe
2)	Abwärme eines Wasserkraftwerks 2 x 1200 kW NH ₃ -Wärmepumpe, t ₀ = 53°C	Nahwärmenetz 50/75°C Heizleistung: 2,4 MW
3)	Abwärme eines Krankenhauses 750 kW	Fernwärmenetz 60/85°C, ca. 1200 kW
4)	Kühlung eines Rechenzentrums (26/16°C)	Fernwärme bis zu 82°C, CO ₂ -Einsparungen bis zu 4000 t/Jahr

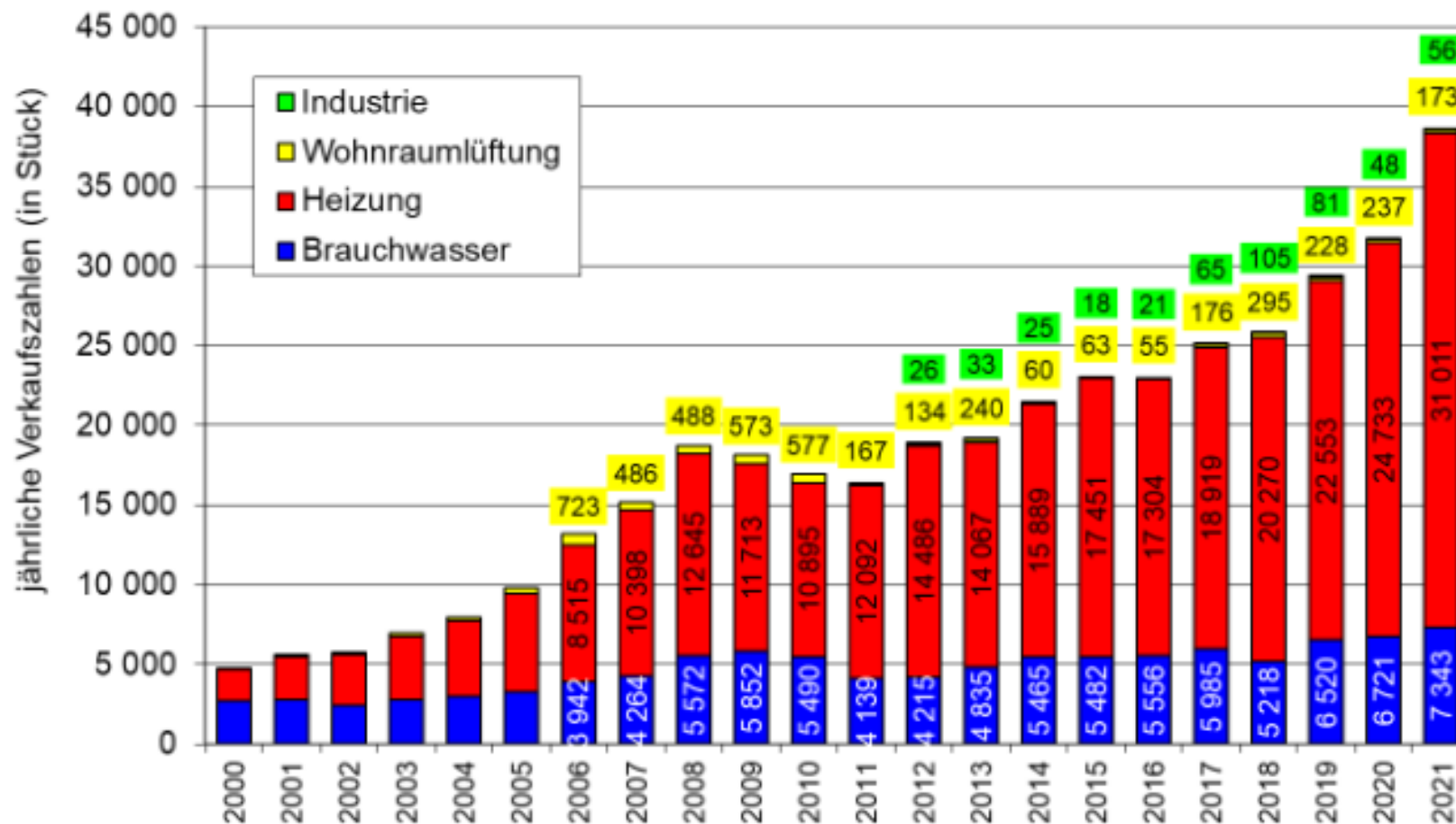
Quelle: EQUANS (2023)

Zusammenfassung und Ausblick

- Wärmepumpen können Abwärme auf ein – für (ind.) Prozesse – ausreichendes Temperaturniveau anheben
- Durch Substitution fossiler Energieträger (Erdgas) wesentlicher Beitrag zur Dekarbonisierung
- Vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, v.A. im Bereich der Lebensmittelindustrie (gleichzeitiger Kühl- und Heizbedarf)
- Hinterfragen der „benötigten“ Temperaturniveaus ist ein wesentlicher Schritt, um Wärmepumpen möglichst effizient zu betreiben
- Modellbasierte Analysen ermöglichen die Untersuchung komplexer Gesamtsysteme

Marktentwicklung Wärmepumpen in Österreich

Verkaufszahlen WP nach Typ



Quellen: bis 2006: Faninger (2007), seit 2007: Biermayr et al. (2008), ENFOS (2022)

Keine einheitliche Definition „Industr. Wärmepumpen“:

„...Wärmepumpenanlagen für industrielle und gewerbliche Prozesse ..., die zumeist projektspezifisch geplant, gefertigt und installiert werden.“ (bmvit, 2016)

Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des EU-Projektes „ENOUGH – European Food Chain Supply to reduce GHG emission by 2050“ durchgeführt.



Diese Projekt erhielt Fördermittel des Horizon 2020 Rahmenprogrammes für Forschung und Innovation der Europäischen Union (Proj.-Nr. 101036588).

Literatur

- Bakalis, S., Malliaroudaki, M. I., Hospido, A., Guzman, P., 2019. Predictive modelling tools to evaluate the effects of climate change on food safety (PROTECT). State-of-the art in energy use and sustainability of the dairy industry. Deliverable number: D5.1.
<https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5cab758ff&appId=PPGMS> (11.10.2023)
- Biermayr P., Weiss, W., Bergmann, I., Fechner, H., Glück, N., 2008. "Erneuerbare Energie in Österreich – Marktentwicklung 2008" Endbericht zur Forschungsarbeit im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 19/2008
- bmvit, 2016. Österreichische Technologie-Roadmap für Wärmepumpen, 8/2016, https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/1608_endbericht_oesterreichische_technologieroadmap_fuer_waermepumpen.pdf?m=1469661515 (11.10.2023)
- Eurostat, 2022. Key figures on the European food chain, 2022 edition. Luxembourg, 2022. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/15216629/15559935/KS-FK-22-001-EN-N.pdf/1cb9d295-6868-70e3-0319-4725040cfdb8?version=3.0&t=1670599965263> (11.10.2023)
- Faninger G., 2007. Erneuerbare Energie in Österreich Marktentwicklung 2006, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 11/2007
- FAO, 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The future of food and agriculture –Trends and challenge, Rom, Italien, <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf> (11.10.2023)
- IRENA and FAO. 2021. International Renewable Energy Agency and Food and Agriculture Organization of the United Nations. Renewable energy for agri-food systems – Towards the Sustainable Development Goals and the Paris agreement. Abu Dhabi and Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7433en> (11.10.2023)
- Verdnik, M., Wagner, P., Rieberer, R., 2023a. Operating Strategies of an Industrial R717 Heat Pump Recovering Waste Heat of a Chiller. Proceedings of the 26th IIR International Congress of Refrigeration, Paris, Frankreich
- Verdnik, M., Eliskases, P., Rieberer, R., 2023b. Vereinfachtes Simulationsmodell einer NH₃-HTWP in einem Molkereibetrieb. Proc. Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2023, Hannover (in press)
- Wagner, P., Verdnik, M., Rieberer, R., Demmerer, T., Blaser, M., 2021. Add-on NH₃-Hochtemperatur-Wärmepumpe zur Abwärmenutzung einer bestehenden Kälteanlage. Proc. Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2021, Dresden.