

EnInnov2026

19. Symposium Energieinnovation | 11.02.-13.02.2026

# Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung in Industrieprozessen mit Absorptionswärmepumpen

**Elena Steinwender(\*)<sup>1</sup>, Michael Wernhart<sup>1</sup>, René Rieberer<sup>1</sup>, Marlene Kienberger<sup>2</sup>,  
Christoph Weinzettl<sup>2</sup>, Markus Damm<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>TU Graz - Institut für Wärmetechnik, Inffeldgasse 25/B, A-8010 Graz

<sup>2</sup>TU Graz – Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik, Inffeldgasse 25/C, A-8010 Graz

<sup>3</sup>proionic GmbH, Parkring 18/H, A-8074 Raaba-Grambach

Graz, 13.02.2026

## Agenda

- Motivation & Einleitung
- Beispiele zur Einbindung von Absorptionswärmepumpen
- Arbeitsstoffpaare
- Fazit & Ausblick

# Motivation

- Elektrifizierung erhöht die Belastung der Stromnetze
- Absorptionswärmepumpen reduzieren den elektrischen Leistungsbedarf
- Nutzung thermischer Energie statt elektrischem Strom
- Umweltfreundliche Anlagen & Betrieb
- Effizienz von hydraulischer Einbindung abhängig

# Projektbeschreibung „AbSorbEnt“

- Ziel: Entwicklung einer neuen Generation von Sorptionsmitteln und Optimierung des Absorptionswärmepumpen-Kreislaufs
- Bearbeitet von 2 wissenschaftlichen Partnern:



- Aktive Einbindung von 2 industriellen Unternehmen:  
- Gefördert durch



# Systembeschreibung - Temperaturniveaus

- Wärmegetriebener Kreisprozess
- Idealerweise Abwärme als Antriebsenergie (Heißwasser)
- „Aufwertung“ von Niedertemperatur-Abwärme (Kaltwasser)
- Nutzung der Wärme auf mittlerem Temperaturniveau (Kühlwasser)

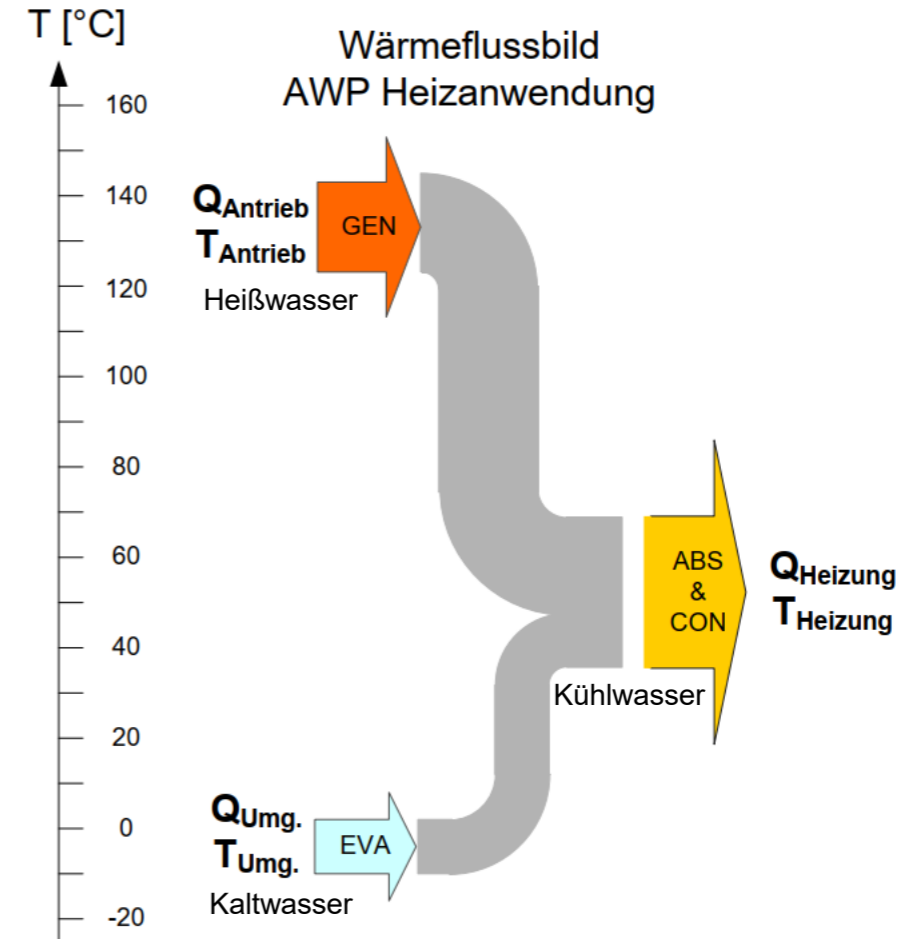


Abb.1 Wärmestrombilanz einer Absorptionswärmepumpe (Rieberer, 2025)

# Systembeschreibung – Grundprinzip

- „Linksläufiger“ Kälteprozess
  - Kondensation, Drosselung und Verdampfung des Kältemittels
- „Rechtsläufiger“ Antriebsprozess
  - Absorption des Kältemittels in der Lösung
  - Überwindung des Druckunterschieds
  - Austreibung des Kältemittels aus der Lösung
- Drücke
  - Hoch- und Niederdruck
  - Überwindung des Druckunterschieds über thermischen Verdichter bestehend aus Absorber, Generator, Pumpe, SHX und Drossel

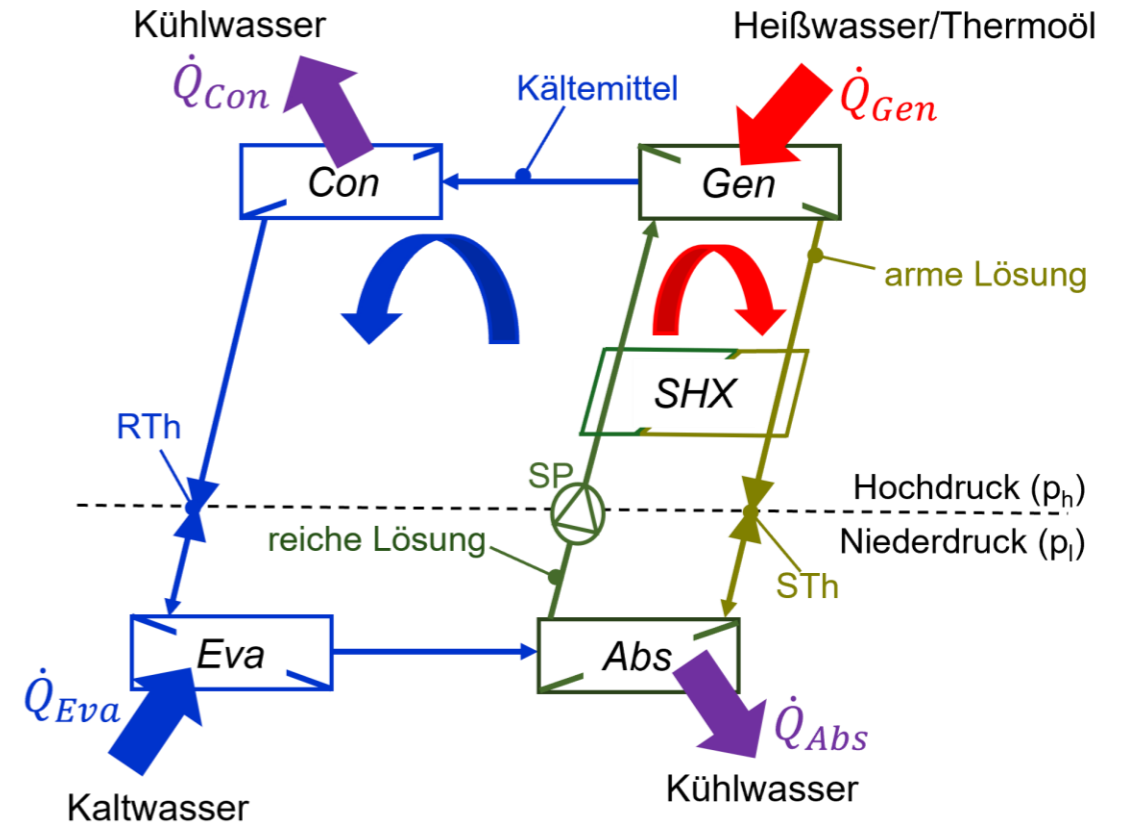


Abb. 2 Vereinfachtes Schema einer Absorptionswärmepumpe (in Anlehnung an Wernhart et al., 2020)

# Arbeitsstoffe & Kenngrößen

- Standard-Arbeitsstoffpaar: H<sub>2</sub>O/LiBr
- Herausforderungen
  - Korrosion
  - Kristallisation
- Coefficient of Performance
  - Verhältnis generierter Nutzleistung zu aufgewandter Antriebswärmeleistung

$$COP_{AHP} \cong \frac{\dot{Q}_{Con} + \dot{Q}_{Abs}}{\dot{Q}_{Gen}} \cong 1,2 \div 2,0$$

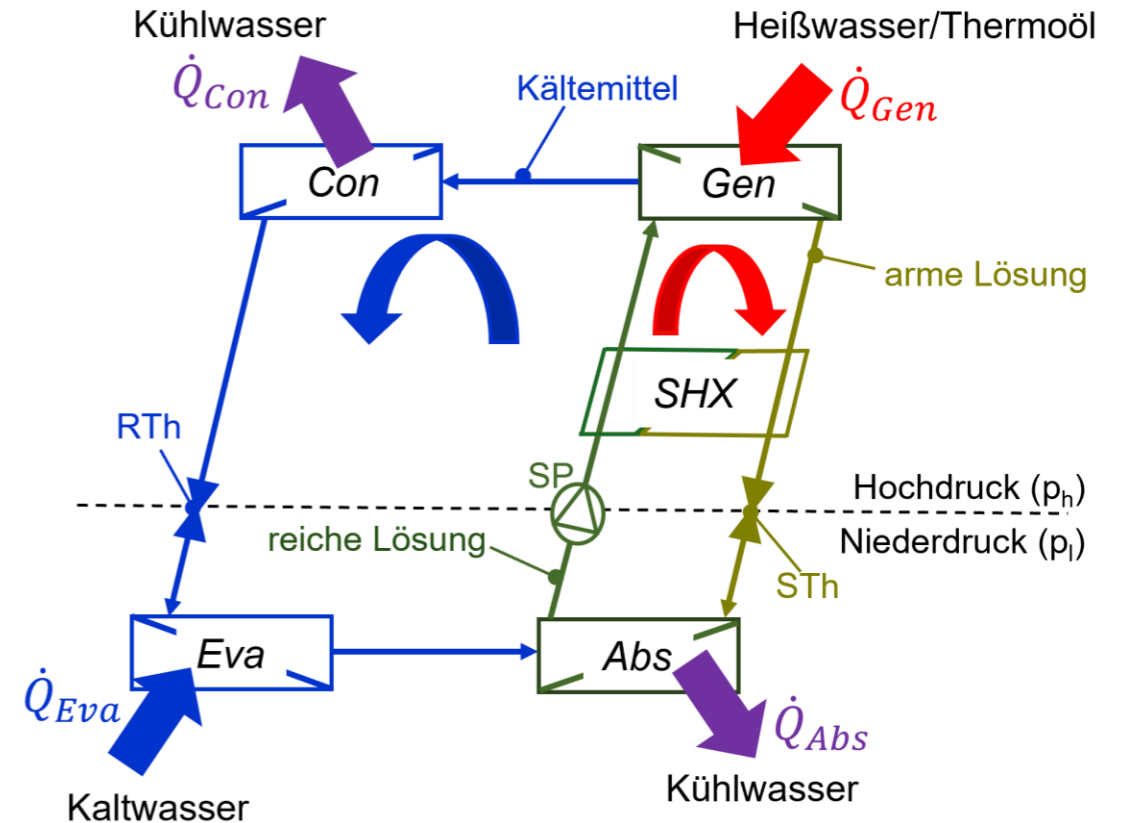


Abb. 2 Vereinfachtes Schema einer Absorptionswärmepumpe (in Anlehnung an Wernhart et al., 2020)

# Antriebswärme & Einsatzbereiche von AWP

- Antriebswärme: Prozessdampf/industrielle Abwärme
- Typische Antriebstemperaturen (H<sub>2</sub>O/LiBr): 80 – 150 °C
- Nutzwärme: 70 – 90 °C (anwendungsabhängig)
- Geeignete industrielle Anwendungen:
  - Ziegelindustrie → Hohe Temperaturen aus Brennofen
  - Fernwärme → Rauchgaskondensation mit AWP  
→ Sommerbetrieb: Kälteerzeugung

# AWPs in der Ziegelindustrie

- Energieintensive Prozesskette:
  - Aufbereitung der Rohstoffe & Formen der „Grünlinge“
  - Trocknung der „Grünlinge“ & Brennen zum fertigen Ziegel
- AWP-Antrieb über Hochtemperaturabwärme aus Ofenabgas ( $T_{Gen,in} = 130 - 150 \text{ °C}$ )
- Temperaturanhebung Absorber & Kondensator ( $55 \text{ °C} \rightarrow 94 \text{ °C}$ ) & Nutzung dieser im Trockenofen
- Wärmerückgewinnung aus feuchter Luft im Trockenofen
  - Abkühlung unter Taupunkttemperatur ( $35 \text{ °C}$ )
  - Versorgung Verdampfer

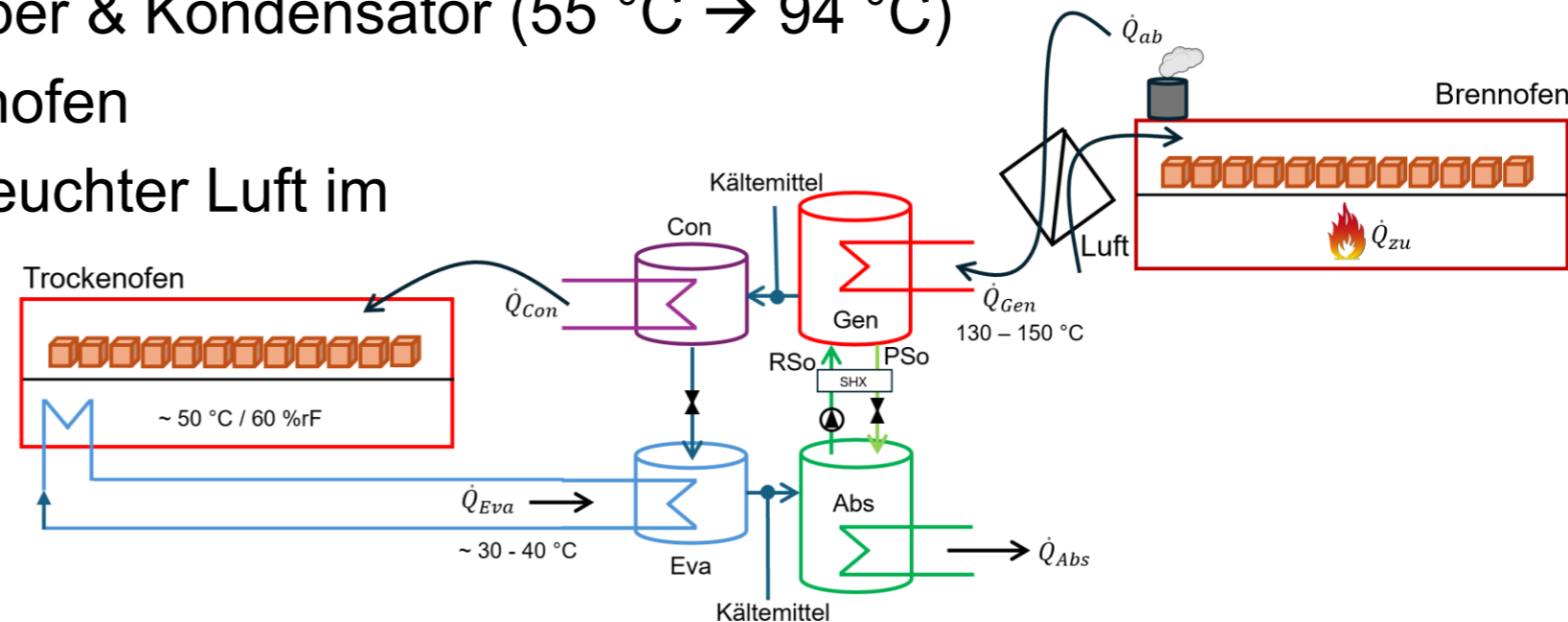


Abb. 3 Beispielhaftes Schema zur Einbindung einer Absorptionswärmepumpe in den Ziegel Trocknungsprozess

# AWPs in Fernwärmenetzen

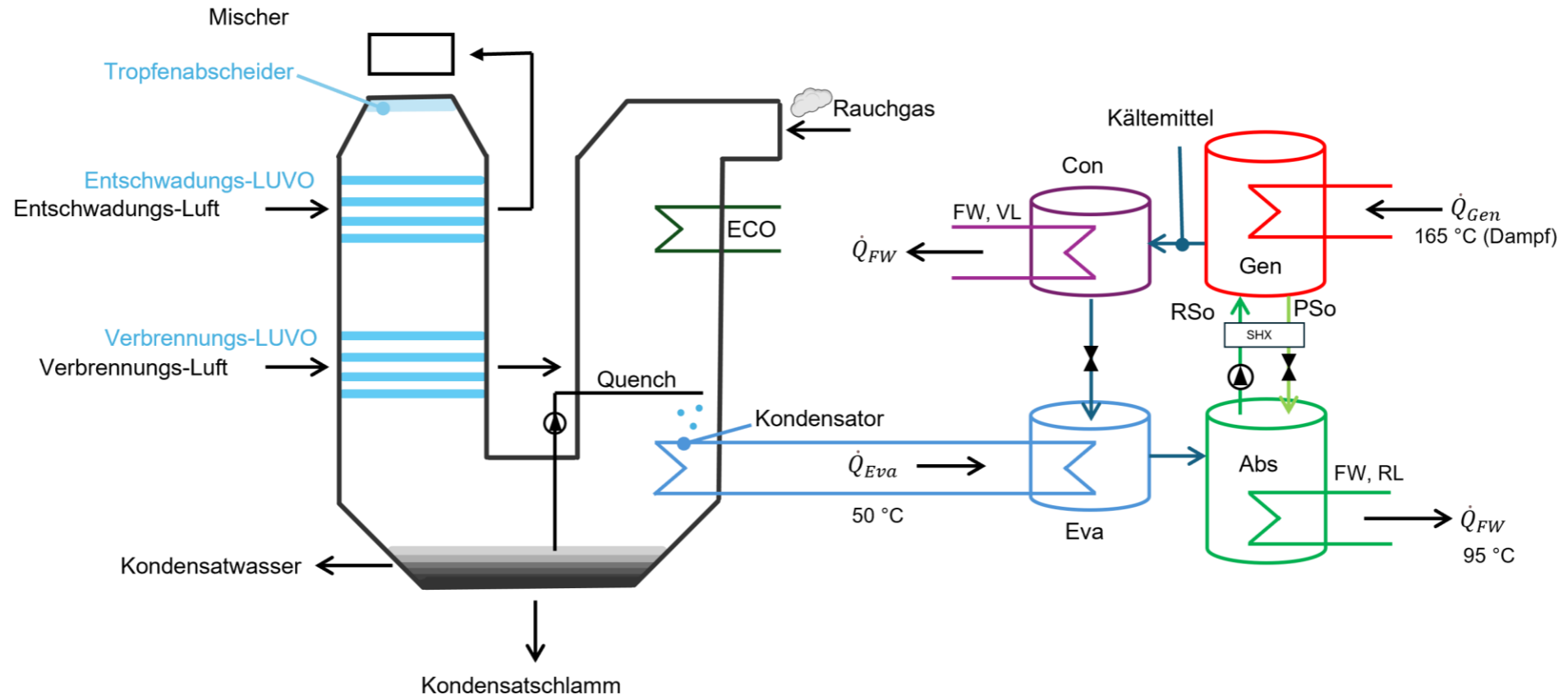


Abb. 4 Beispielhaftes Schema zur Einbindung einer Absorptionswärmepumpe in eine Rauchgaskondensationsanlage (in Anlehnung an Rechberger, 2009)

# AWPs in Fernwärmenetzen

- Rauchgase mit sensibler und latenter Wärme
- Integration der AWP
  - Niedertemperaturabwärmequelle:  $\sim 50\text{ °C}$
  - Nutzwärme aus Absorber & Kondensator:  $\sim 95\text{ °C}$
- Einbindung ins Fernwärmenetz:
  - Wirkungsgradsteigerung
  - Reduktion fossiler Energieträger
- Betriebliche Aspekte:
  - Entschwadungsanlage
  - Kondensatneutralisation & Entsorgung

# Sommerbetrieb

- Wärmegetriebene Kälteerzeugung
- Nutzung Überschusswärme im Sommer
- Antriebstemperaturen: 70 – 120 °C
- Abhängig von Vorlauftemperatur des Fernwärmenetzes
- Erhöhung der Jahresauslastung
- Reduktion stromintensiver Klimatisierung
- Wärmeabfuhr aus dem Netz (Verbrennungsanlagen, Wärmeabnahme aus der Industrie, etc.)

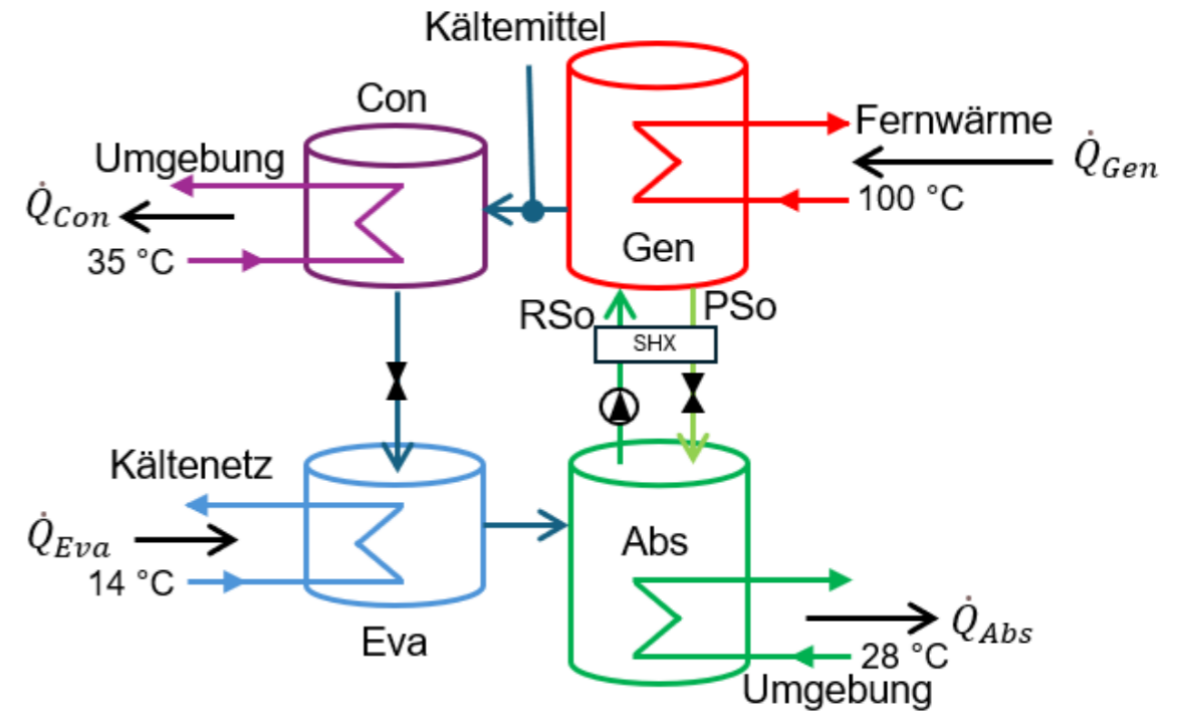


Abb. 5 Beispielhaftes Schema einer Absorptionswärmepumpe im Kühlbetrieb (in Anlehnung an Herold et al., 2016)

# Arbeitsstoffe für AWP

- Standard:  $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$  und  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  je nach Temperatur des Kältebedarfs und der Kondensationstemperaturen
- Einschränkungen: Korrosion, Kristallisation
- Forschungsansätze im Forschungsprojekt „AbSorbEnt“:
  - Ionische Flüssigkeiten (ILs)
  - Stark eutektische Lösungen (DES)
- Ziel: Ersatz von LiBr in Anwendungen, die aufgrund des Kristallisationsrisikos nicht erschließbar sind

# H<sub>2</sub>O/LiBr – p/t/x-Diagramm

- p/t/x-Diagramm für H<sub>2</sub>O/LiBr
- Achsen
  - Temperatur  $T$  [°C]
  - Druck  $p$  [kPa]
- Linien konstanten Massenanteils  $x$  (aus logarithmierter Dampfdruckbeziehung  $\ln(p(T,x))$  der gesättigten, flüssigen LiBr-Lösung)
- Schwarze Kurve
  - Kristallisationskurve
- Markierter, realer Kühlbetrieb
  - Endliche  $\Delta T$  zw. vorgegebenen  $T$  aus der Versorgung und  $T$  des Arbeitsstoffpaares

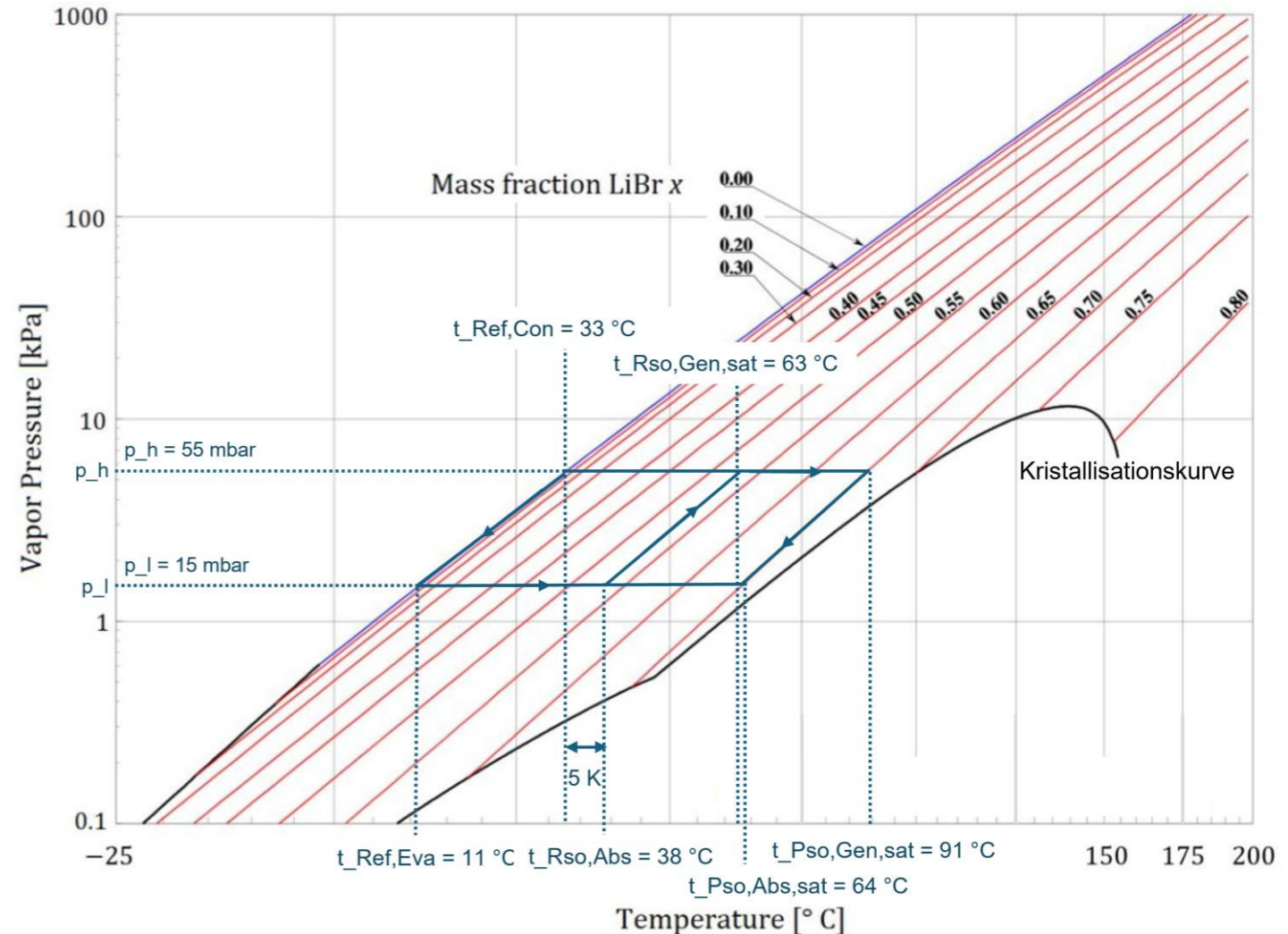


Abb. 6 p/t/x – Diagramm von wässriger LiBr-Lösung mit eingezeichnetem Kühlbetrieb

# H<sub>2</sub>O/LiBr – p/t/x-Diagramm

- p/t/x-Diagramm für H<sub>2</sub>O/LiBr
- Achsen
  - Temperatur  $T$  [°C]
  - Druck  $p$  [kPa]
- Linien konstanten Massenanteils  $x$  (aus logarithmierten Dampfdruckbeziehung  $\ln(p(T,x))$  der gesättigten, flüssigen LiBr-Lösung)
- Schwarze Kurve
  - Kristallisationskurve
- Markierter, realer Kühlbetrieb
  - Endliche  $\Delta T$  zw. vorgegebenen  $T$  aus der Versorgung und  $T$  des Arbeitsstoffpaares

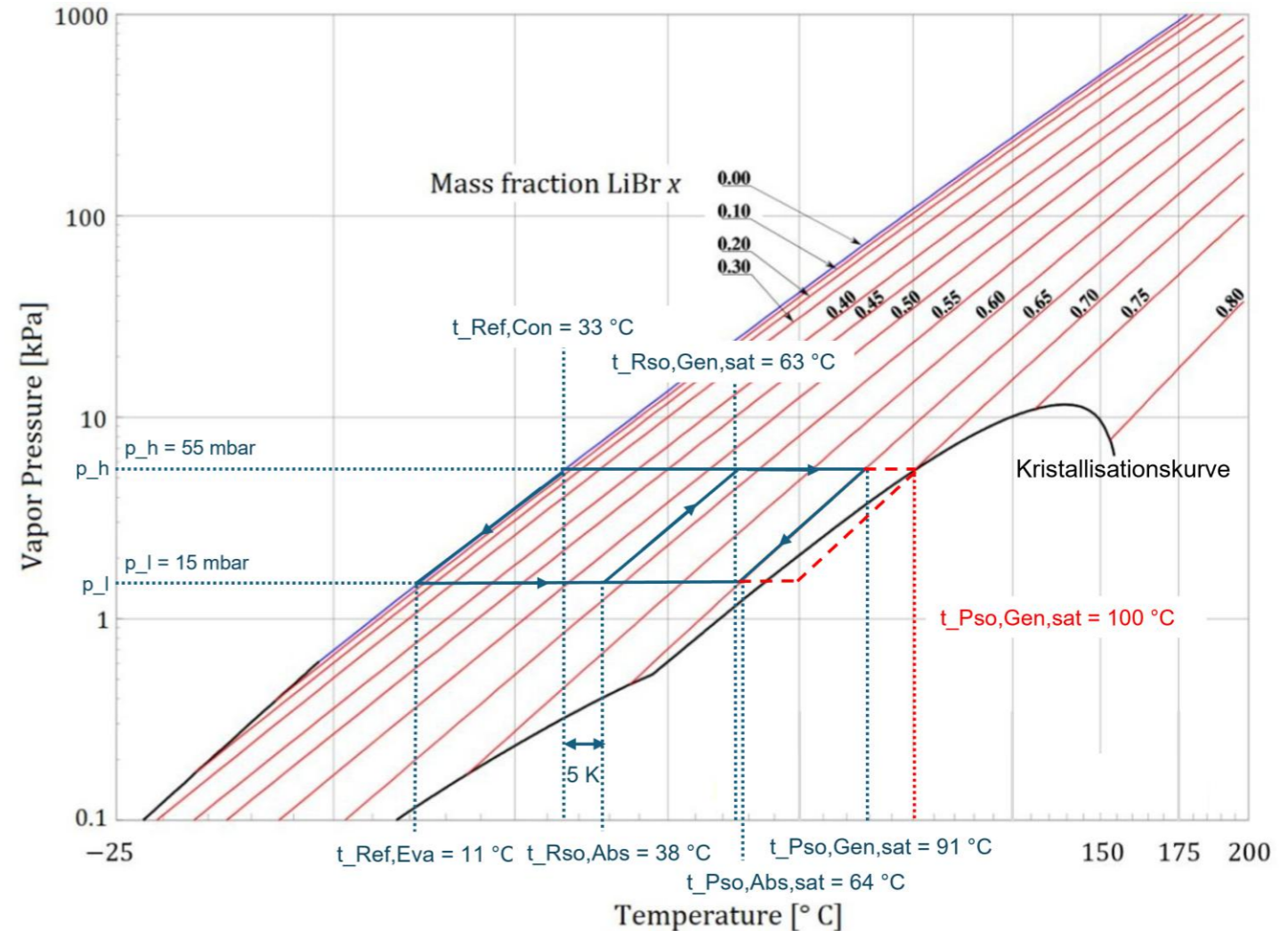


Abb. 6 p/t/x – Diagramm von wässriger LiBr-Lösung mit eingezeichnetem Kühlbetrieb

# Alternative Lösungsmittel

- Im Rahmen von „AbSorbEnt“: Auswahl aus 95 alternativen Lösungsmitteln mittels Knock-out Verfahren
- Ionische Flüssigkeiten (Ionic liquids, IL)
  - Chemisch: Salze (Anionen/Kationen)
  - Schmelzpunkt  $< 100\text{ °C}$
  - Kein Kristallisationsrisiko
  - [EMIM][MeSO<sub>3</sub>] stabil  $> 150\text{ °C}$
  - Aktuelle Tests in bestehender LiBr-Anlage am IWT
- Stark eutektische Lösungsmittel (Deep eutectic solvents, DES)
  - Mehrkomponentengemische mit stark erniedrigtem Schmelzpunkt
  - Einfache Herstellung, biologisch abbaubar
  - Vielversprechendes DES: *Betain:Glycerol*
  - Hydrolysestabilität bis  $150\text{ °C}$

# H<sub>2</sub>O/[EMIM][MeSO<sub>3</sub>]

- Vergleich LiBr & IL
  - spez. Lösungsumlauf  $f$

$$f = \frac{x_{PSO}}{x_{PSO} - x_{RSO}}$$

- Gegenüberstellung

H <sub>2</sub> O/LiBr	H <sub>2</sub> O/[EMIM][MeSO <sub>3</sub> ]
$x_{PSO} = 0,65$	$x_{PSO} = 0,96$
$x_{RSO} = 0,53$	$x_{RSO} = 0,86$
$f = 5,4$	$f = 9,6$

- 1,6× höherer Lösungsumlauf bei IL
- Höherer Pumpbedarf

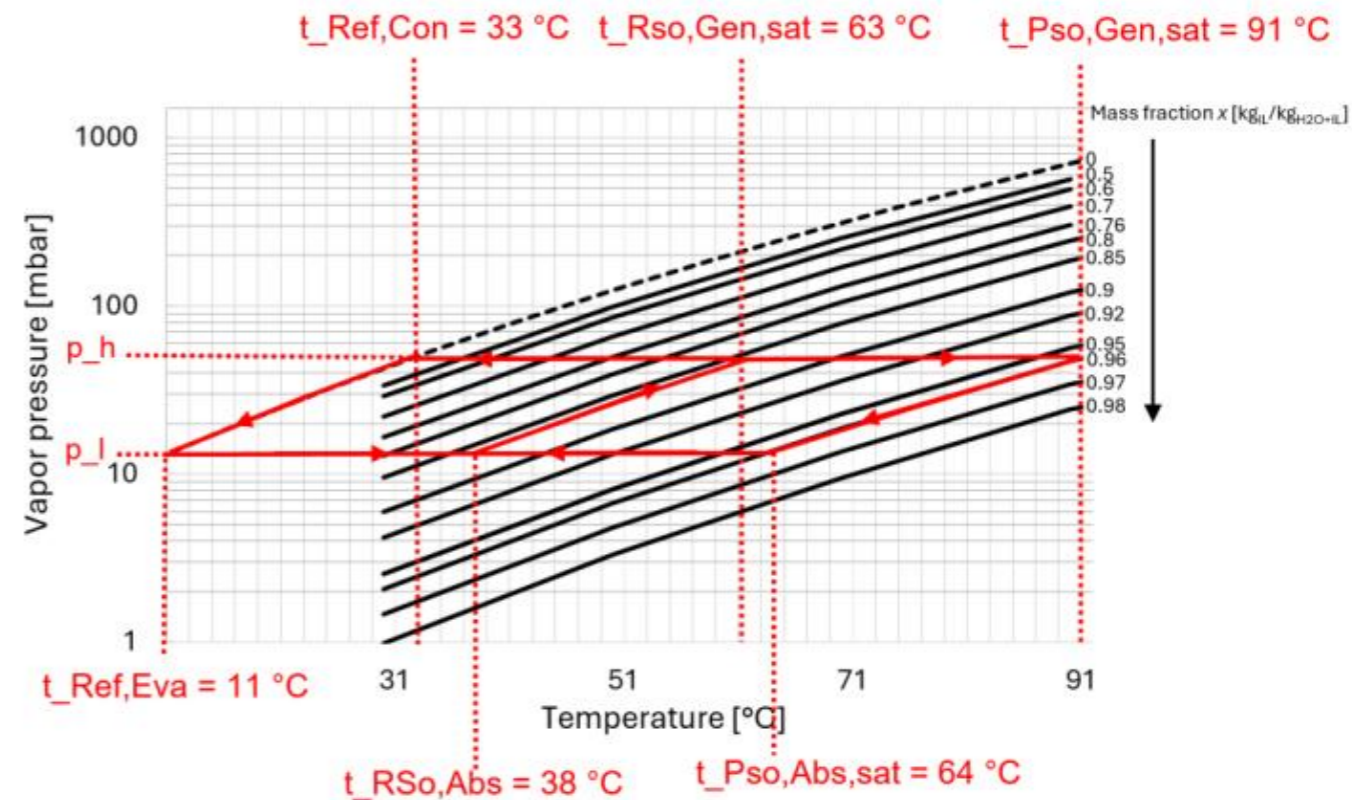


Abb. 7 p/t/x – Diagramm von wässriger [EMIM][MeSO<sub>3</sub>] - Lösung mit eingezeichnetem Kühlbetrieb (aufgrund begrenzter Datenlage von Zheng et al. (2020) nur Ausschnitt dargestellt) (in Anlehnung an Wernhart et al., 2024)

# Fazit & Ausblick

- Potenzial von Absorptionswärmepumpen (AWPs)
  - Nutzung industrieller Abwärme
  - Reduktion fossiler Energieträger und CO<sub>2</sub>-Emissionen
- Stand der Technik: H<sub>2</sub>O/LiBr
  - H<sub>2</sub>O/LiBr-Systeme als etablierte Referenztechnologie
  - Begrenzte Einsatzbereiche (Temperaturniveau, Kristallisationsrisiko)
- Innovationspotenzial
  - Alternative Arbeitsstoffe (z. B. Ionic Liquids, Deep Eutectic Solvents)
  - Verbesserte Betriebssicherheit
  - Erweiterung des nutzbaren Temperaturbereichs
  - Steigerung der Effizienz

Dieses Projekt wird vom Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2022 durchgeführt. (Projektnummer: FO999905735)

**Project** AbSorbEnt – Development of a new generation of sorbents and optimization of the absorption heat pump cycle  
**FFG-Nr.** FO999905735  
**Consortium** TU Graz, Institute of Thermal Engineering, Inffeldgasse 25 / B, A 8010 Graz  
TU Graz, Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology, Inffeldgasse 25 / C, A 8010 Graz  
EAW Energieanlagenbau GmbH Westenfeld, Oberes Tor 106, D 96830 Röhmbild  
proionic GmbH, Parkring 18 / H, A 8047 Grambach



Funding agencies:



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

# Referenzen

- Rieberer, R. (2025). Unterlagen zur Lehrveranstaltung "Wärmepumpentechnik". Technische Universität Graz.
- Wernhart, M., Rieberer, R., Zlabinger, S., Unterberger, V., & Göllles, M. (2020). Dynamische Simulation von Absorptionskälteanlagen: Dymola-Modell einer H<sub>2</sub>O/LiBr-Absorptionskälteanlage. in Proc. Deutsche Kälte-Klima-Tagung: Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e.V.
- Rechberger, C. (2009). Wärmerückgewinnung mittels Rauchgaskondensationsanlagen bei biomassebefeuerten Heizkraftwerken. Diplomarbeit, IWT TU Graz.
- Herold, K. E., Radermacher, R., & Klein, S. A. (2016). Absorption Chillers and Heat Pumps. CRC Press.
- Wernhart, M., Rieberer, R., Weinzettl, C., & Demmelmayer, P. (2024). AbSorbEnt-On the search of alternative sorbents. International Sorption Heat Pump Conference.
- Zheng, C., Zhou, J., Pei, Y., Yanb, B., 2020. Equilibrium Thermodynamic Properties of Aqueous Solutions of Ionic Liquid 1-Ethyl-3-Methylimidazolium Methanesulfonate [EMIM][MeSO<sub>3</sub>]. Sci Rep 10, 3174. DOI: 10.1038/s41598-020-59702-z.