

MÖGLICHKEITEN ZUR EFFIZIENZSTEIGERUNG IN INDUSTRIEPROZESSEN MIT ABSORPTIONSWÄRMEPUMPEN

Elena Steinwender(*)¹, Michael Wernhart¹, René Rieberer¹, Marlene Kienberger²,
Christoph Weinzettl², Markus Damm³

Motivation und Hintergründe

Absorptionswärmepumpen gewinnen in der industriellen Energieversorgung an Bedeutung, weil sie ungenutzte oder zu niedrige Abwärme effizient in Nutzwärme umwandeln. Statt eines elektrisch betriebenen Verdichters nutzen sie einen thermisch angetriebenen Kreisprozess aus Verdampfung, Absorption und Desorption. (siehe Herold et al., 2016 [1]). Ein Kältemittel (z.B. Wasser) verdampft bei geringem Druck, wird anschließend von einem Lösungsmittel absorbiert und durch Zufuhr von Wärme im Generator wieder ausgetrieben [2].

Angeichts des europäischen Energieziels von mehr Elektrifizierung, und der damit verbundenen Zunahme strombasierter Technologien bieten Absorptionswärmepumpen einen wichtigen systemischen Vorteil: Wie Ayoub et al. (2025) zeigen [3], entlasten sie die Stromnetze, da sie primär thermisch angetrieben werden. Dadurch eignen sie sich zur Dekarbonisierung industrieller Prozesse, ohne den bereits stark beanspruchten Strombedarf weiter zu erhöhen.

Industrielle Prozesse, in denen große Mengen ungenutzter Abwärme anfallen sind z.B. die Ziegelindustrie, wo beim Brenn- und Trocknungsprozess kontinuierlich hohe Abgastemperaturen entstehen [4]. Ähnlich ist die Situation in Fernwärmenetzen, in denen Rücklauftemperaturen oder externe Abwärmequellen häufig ein zu niedriges Temperaturniveau aufweisen, um direkt wieder eingespeist zu werden [5]. Absorptionswärmepumpen schließen diese Effizienzlücke, da sie ungenutzte Wärme auf das erforderliche Temperaturniveau anheben und fossile Brennstoffe oder elektrische Spitzenlast ersetzen.

Technische Einschränkungen des derzeit verbreiteten Sorptionsmittels LiBr verhindern die vollständige Ausschöpfung dieser Potenziale, da ab Antriebstemperaturen über 90 °C verstärkte Korrosions- und Kristallisationsneigungen auftreten. [6] [7]

In diesem Beitrag werden Arbeitsstoffpaare mit Wasser (H₂O) als Kältemittel vorgestellt. Dadurch ergeben sich spezifische thermodynamische sowie sicherheits- und umweltrelevante Anforderungen:

- Kältemittel mit hoher latenter Verdampfungswärme → kleine Massenströme [6]
- gute Wärme- und Stoffübertragungseigenschaften im relevanten Temperaturbereich → hohe spezifische Leistungsdichten in Absorber und Generator, effizienter Betrieb [6]
- ungiftig, nicht korrosiv, nicht brennbar, chemisch stabil und umweltfreundlich

Da It. Ji et al., 2023 [8] bislang kein Arbeitsstoffpaar existiert, das alle thermodynamischen, sicherheitstechnischen und ökologischen Anforderungen gleichzeitig vollständig erfüllt, und das Forschungspotenzial nicht ausgeschöpft ist, ergeben sich vielfältige Weiterentwicklungsmöglichkeiten.

Um die mit LiBr verbundenen Einschränkungen zu überwinden, wurden zuletzt alternative Lösungsmittel für wasserbasierte Arbeitsstoffpaare entwickelt, darunter ionische Flüssigkeiten (ILs) und tief-eutektische Lösungsmittel (DES). ILs bieten durch ihre hohe thermische Stabilität und ausgeprägte Hydrophilie einen erweiterten nutzbaren Arbeitsbereich. Zudem sind sie nicht flüchtig, wenig korrosiv und weitgehend frei von Kristallisationsneigung. [8] Tief-eutektische Lösungsmittel (DES) sind Gemische aus zwei oder mehr Komponenten, die über Wasserstoffbrückenbindungen interagieren und deren gemeinsamer Schmelzpunkt deutlich unter dem der einzelnen Reinstoffe liegt. Ihre Vorteile liegen

¹ TU Graz Institut für Wärmetechnik, Inffeldgasse 25/B, +43 316 873 7801, +43 316 873 7302, elena.steinwender@tugraz.at

²TU Graz – Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik, Inffeldgasse 25/C, A-8010 Graz, +43 316 873 7484, www.ceet.tugraz.at

³proionic GmbH, Parkring 18/H, A-8074 Raaba-Grumbach, +43 664 88933943, m.damm@arkema.com, www.proionic.com

in der einfachen Herstellung, der guten biologischen Abbaubarkeit, den vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten und ihrer hohen Kosteneffizienz. [9]

Erkenntnisse und Ausblick

Im Forschungsprojekt *AbSorbEnt* wurden aus insgesamt 95 entwickelten Kandidaten mittels Knock-out-Verfahren (u.a. Hydrolysestabilität) zwei besonders vielversprechende Arbeitsstoffe identifiziert: das IL [EMIM][MeSO₃] und das DES Betain:Glycerol. Beide Stoffsysteme werden derzeit in einer für LiBr ausgelegten Versuchsanlage bei Antriebstemperaturen bis 200 °C und Drücken zwischen 10 mbar und 1,4 bar getestet. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Anlage unter identischen externen Betriebsbedingungen erfolgreich mit [EMIM][MeSO₃] betrieben werden kann und dieser Arbeitsstoff bei hohen Antriebstemperaturen eine potenzielle Alternative zu LiBr darstellt. Zudem belegen Wernhart et al. (2025) [10], dass [EMIM][MeSO₃] bis 180 °C langfristig thermisch stabil bleibt und sowohl das IL als auch das DES Betain:Glycerol deutlich weniger aggressive Korrosionsneigung aufweisen als LiBr. In beiden Fällen werden im Betrieb Inhibitoren eingesetzt.

Im Rahmen dieses Konferenzbeitrags wird das Potential des Einsatzes einer AWP zur Effizienzsteigerung mit alternativem Sorptionsmittel anhand des Vergleiches mit LiBr in unterschiedlichen beispielhaften Industrien analysiert.

Danksagung

Diese Arbeit entstand u.a. im Rahmen des Projekts „AbSorbEnt“ – (FFG Projekt Nr. FO999905735). Der Dank gilt den Projektpartnern EAW und proionic durch welche diese Arbeit ermöglicht wurde.

Referenzen

- [1] K. Herold, R. Radermacher und S. Klein, *Absorption Chillers and Heat Pumps*, CRC Press, 2016.
- [2] F. Ziegler, „Absorption heat pumps,“ *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, 2002.
- [3] D. Ayou, W. Wu und C. A., „Absorption-based heat pumps for decarbonization of industrial process heating: performance, current status and new developments,“ *Thermal Science and Engineering Progress*, Nr. 62, 2025.
- [4] AIT, „dryficiency.eu,“ 2025. [Online]. Available: <https://dryficiency.eu/integration-demonstration/wienerberger-brick-industry>. [Zugriff am 27.11.2025].
- [5] Z. Y. Xu, H. C. Mao, D. S. Liu und R. Z. Wang, „Waste heat recovery of power plant with large serial absorption heat pumps,“ *Energy, Elsevier*, Nr. 165, pp. 1097-1105, 2018.
- [6] Z. Xu und R. Wang, „Absorption heat pump for waste heat reuse: current states and future development,“ *Front. Energy*, Bd. 11, pp. 414-436, Dezember 2017.
- [7] P. Chatzidakis und B. Dawoud, „An alternative approach towards absorption heat pump working pair screening,“ *Renewable Energy*, Nr. 110, pp. 47-58, September 2017.
- [8] L. Ji, S. Shukla, Z. Zuo, X. Lu, X. Ji und C. Wang, „An overview of the progress of new working pairs in absorption heat pumps,“ *Energy Reports*, Bd. 9, pp. 703-729, Dezember 2023.
- [9] C. Weinzettl, P. Demmelmayr, L. Pachernegg-Mair, M. Wernhart, R. Rieberer, R. Kalb und M. Kienberger, „Determination of physiochemical properties of hydrophilic natural deep eutectic solvents as potential sorption media in absorption heat pumps and sorption heat storage units,“ *Chemical Engineering Journal*, Bd. 527, p. 15, 2026.
- [10] M. Wernhart, E. Steinwender, R. Rieberer, C. Weinzettl, M. Kienberger, M. Damm, R. Kalb, M. Otto und C. Kemmerzell, „Alternative Sorptionsmittel für Absorptionswärmepumpen. Stoffeigenschaften von IL und DES sowie Betriebsverhalten im "gläsernen Demonstrator",“ Magdeburg, 2025.