

Marktentwicklung für industrielle Wärmepumpen: Verbreitungsmodell und Handlungsoptionen

Matthias Speich¹⁾, Cordin Arpagaus²⁾, Frédéric Bless²⁾, Silvia Ulli-Beer¹⁾

¹⁾ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, School of Engineering, Institut für Nachhaltige Entwicklung INE, Technoparkstrasse 2, CH-8401 Winterthur,
matthias.speich@zhaw.ch, ullb@zhaw.ch

²⁾OST – Ostschweizer Fachhochschule, Departement Technik, Institut für Energiesysteme IES, CH-9471 Buchs, cordin.arpagaus@ost.ch, frederic.bless@ost.ch

4. November 2025



Abbildung 1: Beispiel einer industriellen Wärmepumpe in der Energiezentrale eines Schweizer Unternehmens
(Foto: C. Arpagaus, OST IES, 4. Juni 2024).

Einleitung

Industrielle Wärmepumpen sind entscheidend für die Dekarbonisierung von Prozesswärme, doch das Marktpotenzial wird bislang kaum ausgeschöpft. Dieser Artikel untersucht die Marktentwicklung und präsentiert Handlungsoptionen basierend auf Interviews und Workshops mit Schweizer Industrieunternehmen, Technologieanbietern und Forschenden des SWEET DeCarbCH Projekts. Ein dynamisches Wirkmodell veranschaulicht die Zusammenhänge.

Grosses Potenzial, aber bisher langsame Verbreitung

Industrie-Wärmepumpen sind eine reife Technologie zur Bereitstellung von Prozesswärme im Temperaturbereich von etwa 80 bis 200 °C sowie von Prozesskälte (siehe Abbildung 1). Unterschiedliche Bauarten und Kreislaufkonzepte decken vielfältige Anwendungsfälle ab. Für die Schweizer Industrie schätzen technoökonomische Analysen das Potenzial auf 700 MW ein (Arpagaus, 2023). Allerdings nutzten heutzutage nur wenige Unternehmen Wärmepumpen zur Prozesswärmeerzeugung.

Hindernisse bekannt – was tun?

Die Hindernisse sind bekannt. Ein Hauptfaktor ist die Wirtschaftlichkeit: In der Schweiz liegt das Strom-/Gas-Preisverhältnis bei etwa 2,5, sodass ein wirtschaftlicher COP (Coefficient of Performance) mindestens 2,5 betragen sollte. Weitere Hemmnisse sind der hohe Kapitalbedarf, das kundenseitige Bewusstsein, die Fähigkeiten sowie der Mangel an qualifizierten Fachkräften. Eine Interviewstudie im Schweizer Industriesektor (Hafner et al., 2022) zeigte, dass solche Hindernisse sowohl durch die Industriebetriebe selbst als auch durch Planer, Berater, Technologielieferanten, Behörden, Politik und die Kundschaft beeinflusst werden. Eine Ökosystembetrachtung zeigt, wie koordinierte Aktionen die Verbreitung beschleunigen können.

Schlüsselfaktoren bei der Investitionsentscheidung

Gemäss unseren Erkenntnissen aus Interviews wird der Investitionsentscheid von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Die Wirtschaftlichkeit wird als positiv wahrgenommen. Dies hängt nicht nur von technoökonomischen Sachverhalten ab, sondern auch davon, ob das Unternehmen diesen «Business case for sustainability» (Schaltegger et al., 2012) wahrnimmt .
- Dekarbonisierung ist für das Unternehmen strategisch wichtig.
- Wärmepumpen werden als zuverlässig wahrgenommen.
- Das Unternehmen verfügt über die notwendigen Fähigkeiten oder will diese aufbauen und pflegen.
- Energieverantwortliche sehen Wärmepumpen als geeignete Lösung.

Adoptionstreiber im Unternehmen

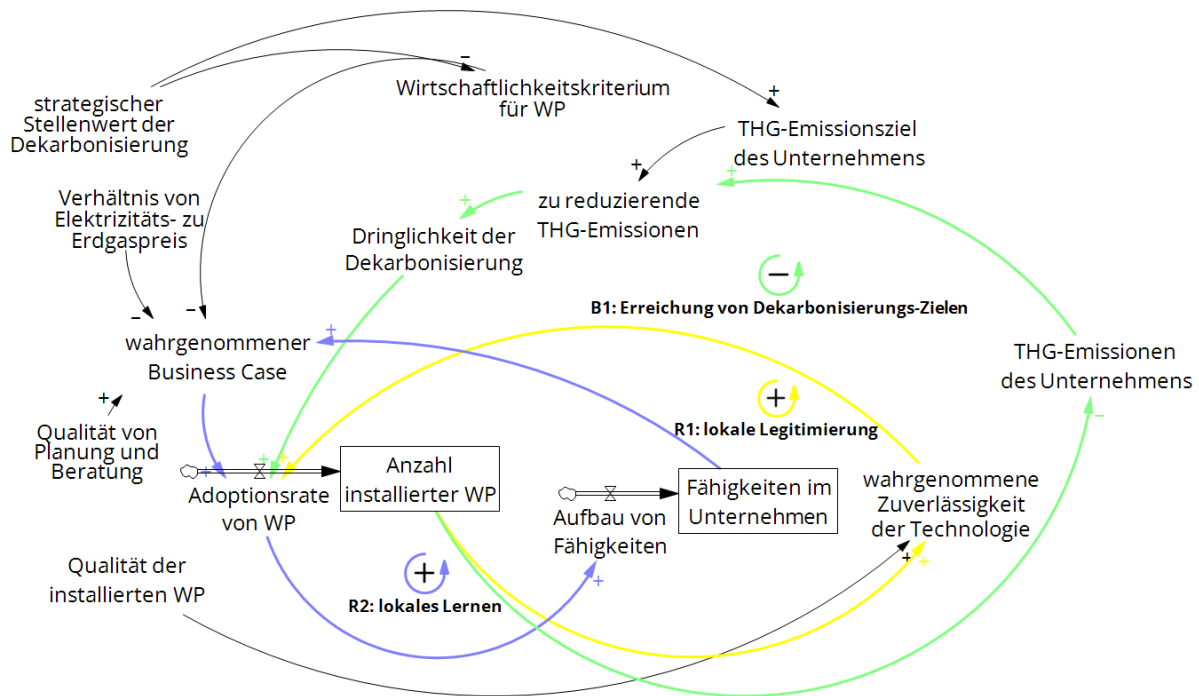


Abbildung 2: Entwicklungsdynamiken innerhalb eines Unternehmens oder einer Branche, die die Adoption industrieller Wärmepumpen beeinflussen (+ gleichgerichteter und - entgegengesetzter Einfluss zwischen den Variablen; **R** selbstverstärkende und **B** balancierende Rückkopplung in einem Wirkungskreis).

Die erste Stufe des Wirkmodells beschreibt die Dynamiken innerhalb eines Unternehmens oder einer homogenen Branche (Abbildung 2). Einige Faktoren, wie Energiepreise und Prozessbedingungen, sind kaum beeinflussbar. Der strategische Stellenwert der Dekarbonisierung bestimmt die Emissionsziele und die Flexibilität bei den Wirtschaftlichkeitskriterien, was den Business Case stärkt. Andere Faktoren, die im Einflussbereich des Unternehmens liegen, sind in Abbildung 2 farblich hervorgehoben und als selbstverstärkende (R) oder balancierende (B) Rückkopplung gekennzeichnet.

B1 – Erreichung von Dekarbonisierungszielen: Mit zunehmender Differenz zwischen Emissionszielen und tatsächlichen Emissionen nimmt die Dringlichkeit, Massnahmen umzusetzen, zu. Dies begünstigt die Einführung von Wärmepumpen. Damit wird aber auch die Dringlichkeit weiterer Massnahmen entschärft. Unternehmerische Emissionsziele sind somit ein Treiber, aber wenig ambitionierte Ziele können die Diffusion ausbremsen.

R1 – Lokale Legitimierung: Viele Unternehmen äusseren Vorbehalte gegenüber Wärmepumpen, da sie Betriebsstörungen oder ungenügende Leistung befürchten. Bewähren sich Wärmepumpen, begünstigt dies weitere Investitionen. Ist die Leistung hingegen ungenügend, verstärkt dies die Vorbehalte. Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) haben oft nur Potenzial für eine Wärmepumpe, während Grossunternehmen eher Potenzial für mehrere Anlagen haben. Bei KMUs erfolgt die Legitimierung somit vor allem zwischen Unternehmen derselben Branche.

R2 – Lokales Lernen: Mit der Integration von Wärmepumpen werden neue Fähigkeiten aufgebaut: Mitarbeitende werden geschult, Steuerungssysteme implementiert und Energieverantwortliche kennen die Einsatzgrenzen. Künftige Investitionen berücksichtigen dies, etwa bei der

Prozessgestaltung und der Einbindung komplementärer Technologien (z.B. Photovoltaik, Wärmespeicher). So wird die weitere Integration von Wärmepumpen begünstigt.

Auch das Ökosystem entwickelt sich über die Zeit

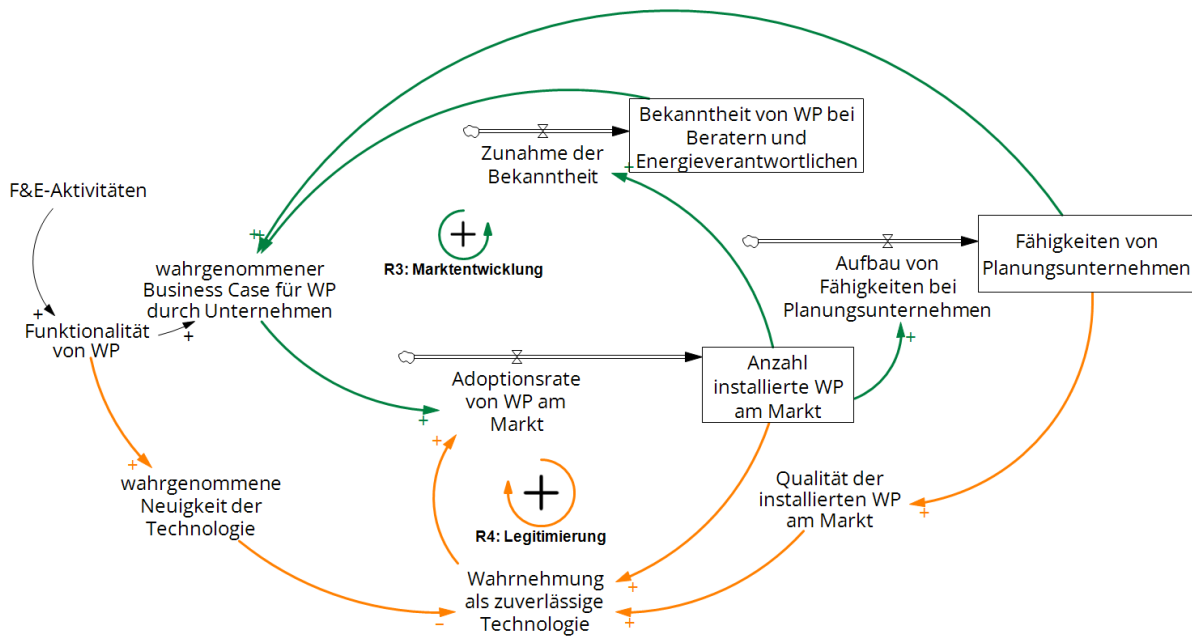


Abbildung 3: Entwicklungsdynamiken auf Ökosystemebene.

Einige der Faktoren, die die Adoption beeinflussen, werden nicht von den Industrieunternehmen selbst, sondern von der Anbieterseite beeinflusst. Daraus ergeben sich weitere selbstverstärkende Rückkopplungen (Abbildung 3).

R3 – Angebotsseitige Marktentwicklung: Durch F&E werden Wärmepumpen leistungsfähiger und/oder preisgünstiger. Dadurch sehen mehr Unternehmen einen Business Case und investieren in Wärmepumpen. Somit sammeln Planer, Berater, Installateure und Integratoren Erfahrungen und bauen entsprechende Fähigkeiten auf. Da Anlagen besser geplant und realisiert werden können, verbessert sich das Wertversprechen von Wärmepumpen. Referenzprojekte wirken sich positiv auf den Investitionsentscheid aus.

R4 – Legitimierung im Ökosystem: Mit diesen Fähigkeiten steigt die Qualität der installierten Wärmepumpen. Dadurch werden Wärmepumpen eher als zuverlässig und leistungsfähig wahrgenommen. Allerdings wird diese Entwicklung dadurch abgeschwächt, dass neue Produkte sowohl als neuartig als auch als weniger erprobt wahrgenommen werden.

Fazit und Handlungsempfehlungen

Auf **Unternehmensebene** bestätigt diese Studie die Bedeutung einer strategisch geplanten Dekarbonisierung. Damit werden die Voraussetzungen für eine optimale Systemauslegung geschaffen: Aufbau von Fähigkeiten, Integration komplementärer Technologien etc. Bestehende Angebote (PINCH-Analyse, Dekarbonisierungs-Roadmaps etc.) sollten somit fortgeführt und weiterhin unterstützt werden.

Auch die Wahl des Geschäftsmodells für die Implementierung soll langfristig geplant werden. Aktuell gewinnen dienstleistungsbasierte Angebote (z.B. Heat-as-a-Service, Decarbonization-as-a-Service) an Bedeutung (Arpagaus et al., 2023). Je nach Geschäftsmodell sollen andere Fähigkeiten aufgebaut werden. Im herkömmlichen Fall sind vor allem Betreiber-, bei dienstleistungsbasierten Angeboten vor allem Beschaffungskompetenzen notwendig (WBCSD, 2022).

Um selbstverstärkende Rückkopplungen der Marktentwicklung und Legitimierung zu nutzen, ist ein orchestriertes Vorgehen sinnvoll: gemeinsame Vision entwickeln, Übersicht über neue Angebote schaffen, Schnittstellen (z. B. Musterverträge) zur Risikoreduktion definieren, anerkannte Tools (z.B. Wirtschaftlichkeitsrechner wie auf <https://www.sweet-decarb.ch/decarbonization-tools>) bereitstellen und neue Geschäftsmodelle dokumentieren.

Dies erfordert einen Überblick über Wärmepumpentechnologien, Akteure und Entwicklungen. Geeignet sind Organisationen mit Fokus auf die Förderung der Energieeffizienz, etwa Verbände, die von Forschungsinstitutionen unterstützt werden.

Danksagung

Die hier veröffentlichten Forschungsergebnisse wurden im Auftrag des BFE im Rahmen des SWEET DeCarbCH Projekts durchgeführt (www.sweet-decarb.ch, Projekt Nr. SI/502260). Die Autoren bedanken sich beim BFE für die finanzielle Unterstützung.

Referenzen

- Arpagaus, C. (2023). High-Temperature Heat Pumps: Swiss National Market. *IEA HPT TCP Annex 58 14th Status Meeting*, 29. Retrieved from <https://heatpumpingtechnologies.org/annex58/wp-content/uploads/sites/70/2023/09/swiss-national-market-hthps-cordin-arpagaus.pdf>
- Arpagaus, C., Sidharth, P., Stefan, N., Rigo, T., & Stefan, B. (2023). Review of Business Models for Industrial Heat Pumps. *36th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2023)*, 749–760. <https://doi.org/10.52202/069564-0068>
- Hafner, S., Speich, M., Bischofberger, P., & Ulli-Beer, S. (2022). Governing industry decarbonisation: Policy implications from a firm perspective. *Journal of Cleaner Production*, 133884. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133884>
- Schaltegger, S., Freund, F. L., & Hansen, E. G. (2012). Business cases for sustainability: the role of business model innovation for corporate sustainability. *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, 6(2), 95. <https://doi.org/10.1504/IJISD.2012.046944>
- WBCSD. (2022). *Heat as a service: How to decarbonize commercial and industrial heat use with third-party capital investments*. Retrieved from <https://www.wbcds.org/wp-content/uploads/2023/10/Heat-as-a-Service.pdf>