

WÄRMEPUMPEN MEISTERN AUCH HOHE TEMPERATUREN

Grosse Wärmepumpen mit einer Leistung von 100 kW bis zu einigen 1000 kW werden in der Schweiz zur Herstellung von Prozesswärme in der Industrie, aber auch in Wärmeverbänden für die umweltschonende Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser eingesetzt. Eine Studie der Fachhochschule Ostschweiz (früher: Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs/NTB) hat eine Stichprobe dieser Wärmepumpen-Anwendungen untersucht. Die Wissenschaftler plädieren dafür, mit der Technologie verstärkt Prozesswärme bei Temperaturen von bis zu 160 °C bereitzustellen, wenn eine geeignete Wärmequelle zur Verfügung steht.



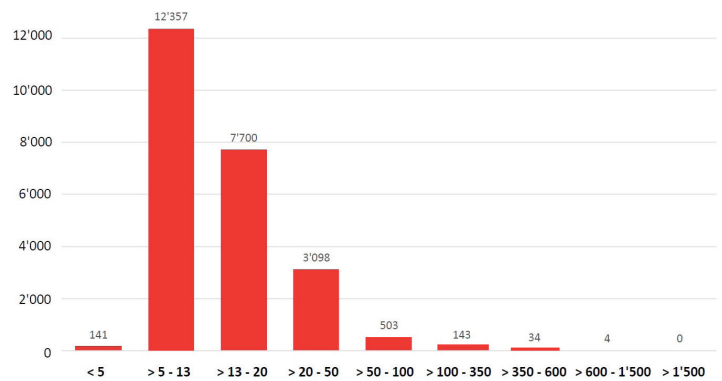
Blick in die Produktion der Härterei Gerster AG in Egerkingen (SO). Das Unternehmen hat fast eine halbe Million Franken in eine Wärmepumpe investiert und konnte damit den Energieverbrauch für Komfortwärme-Erzeugung massiv reduzieren. Über Einsparungen bei den Energiekosten ist die Investition binnen knapp zehn Jahren amortisiert. Foto: Gerster AG

Im Wohnbereich sind Wärmepumpen zur Erzeugung von Heizwärme und Warmwasser weit verbreitet. In rund 90% aller Schweizer Neubauten kommen Wärmepumpen zum Einsatz. Mit der Technologie können Öl- und Gasheizungen substituiert und die Dearbonisierung vorangetrieben werden; durch die Nutzung von Umgebungs- und Erdwärme kommen Wärmepumpen mit einem Minimum an Strom aus. Wärmepumpen werden auch in der Industrie eingesetzt, und zwar nicht nur für die Beheizung der Betriebsgebäude, sondern auch für die industriellen Prozesse. Diese machen 55% des Energiebedarfs der Industrie aus. Die notwendigen Temperaturen zur Wärmebereitstellung für Prozesse können 80 °C und mehr betragen, sind also in der Regel deutlich höher als für die Beheizung von Räumen auf 20 °C.

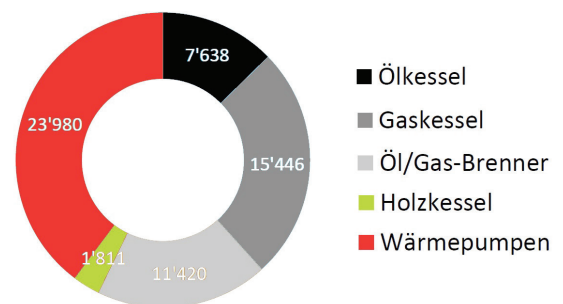
Damit eine Wärmepumpe solch hohe Temperaturen effizient und damit wirtschaftlich liefern kann, braucht sie Wärmequellen von 30 °C und mehr, beispielsweise Abwärme, die bei Prozessen im eigenen Betrieb anfällt, dies möglichst konstant und in ausreichender Menge. Wichtig ist in jedem Fall, dass die Wärmeströme in einem Betrieb zuerst analysiert werden und der energetisch geeignete Einsatzbereich der Wärmepumpe eruiert wird. Dies erfolgt beispielsweise mit einer Pinch-Analyse (siehe Texbox S. 4). «Ist eine geeignete Wärmequelle vorhanden, können Wärmepumpen Prozesswärme bis 90 °C zuverlässig bereitstellen», sagt Dr. Cordin Arpagaus, Wärmepumpen-Spezialist an der Fachhochschule Ostschweiz. «Heute sind vereinzelt auch Hochtemperatur-Wärmepumpen auf dem europäischen Markt, die Prozesswärme bis rund 160 °C zur Verfügung stellen.»

Industrielles Potenzial wird unterschätzt

Prozesswärme wird hauptsächlich mittels fossiler Brennstoffe erzeugt. Doch auch in der Industrie hat die umweltfreundliche Wärmepumpen-Technologie in den letzten Jahren Fuss gefasst. Gemäss Statistik der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz (FWS) wurden im Jahr 2019 knapp 24'000 Wärmepumpen verkauft, davon 181 mit einer Heizleistung von 100 kW und mehr, wie sie in grossen Wohn- und Verwaltungsgebäuden, in Wärmeverbänden und in der Industrie zum Einsatz kommen. Für die begrenzten Stückzahlen nennt Cordin Arpagaus drei Gründe: «Die Anschaffung eines Heizkessels ist günstiger und er ist einfacher installiert; die in der Regel günstigeren Betriebskosten einer Wärmepumpe werden dabei nicht berücksichtigt. Kommt hinzu, dass manche Energieverantwortliche von Industrieunternehmen und Planer leistungsfähigen Wärmepumpen ganz einfach noch



Gemessen an der Zahl der in der Schweiz verkauften Wärmepumpen haben Anlagen mit einer Leistung von mehr als 100 kW noch einen geringen Anteil. Im Jahr 2019 waren es 181 Stück. Hierbei ist zu beachten, dass die Grafik unvollständig ist, weil sie nicht alle verkauften Anlagen mit grosser Leistung erfasst. Bezogen auf die Substitution fossiler Energieträger fällt jede der Grossanlagen besonders ins Gewicht. Grafik: FWS



Wärmepumpen stehen bei den in der Schweiz verkauften Heizsystemen (Stückzahlen) an der Spitze. Grafik: FWS/bearbeitet C. Arpagaus

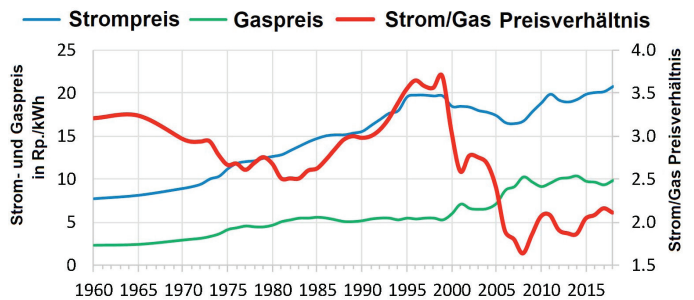
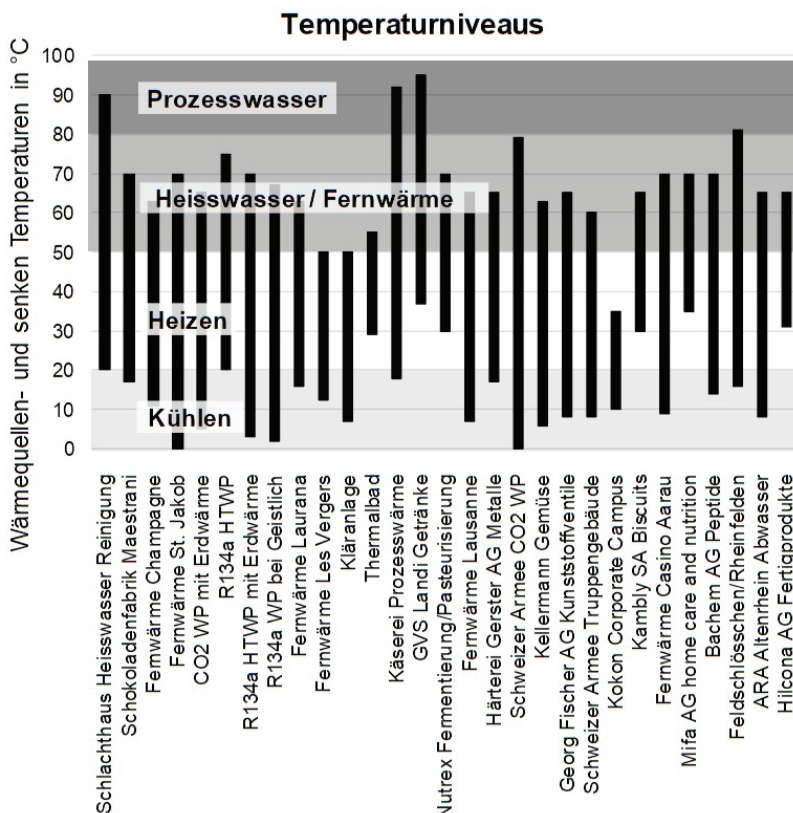
zu wenig Beachtung schenken. Die Anwender verfügen oft nicht über die Informationen, um den Systemwechsel auf erneuerbare Wärmeerzeugungs-Technologien zu vollziehen.»

Dr. Cordin Arpagaus und Prof. Stefan Bertsch vom Institut für Energiesysteme an der Fachhochschule Ostschweiz haben in einer vom Bundesamt für Energie unterstützten Studie 29 Anwendungen von grösseren Wärmepumpen, darunter 15 in der Industrie, erfasst und untersucht. Diese Beispiele zeigen die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis. Viele davon stammen aus der Lebensmittelindustrie, wo die Wärmepumpen Warmwasser, Heissluft und Prozesswärme liefern, weitere Anlagen aus der verarbeitenden Industrie. Die Anlagen waren überwiegend seit 2007 in Betrieb genommen worden und verfügen typischerweise über Wärme- und/oder Kühlleistungen von mehreren 100 kW bis einigen 1'000 kW.

Prozesswärme bis 165 °C

Eine wichtige Erkenntnis aus den Fallbeispielen der Studie: Dank Einsatz von Wärmepumpen lässt sich der Energieverbrauch um 30 bis 40% senken, wie die Studienautoren auf der Grundlage der verfügbaren Firmenauskünfte schreiben. In Einzelfällen wie beispielsweise der Härterei Gerster AG in Egerkingen (SO) liegen die Einsparungen sogar noch deutlich höher: Statt wie früher zwei Gasboiler stellt heute eine 260 kW-Wärmepumpe 65-gradige Heizwärme bereit. So können jährlich 800 MWh Gas eingespart werden, während die Wärmepumpe, die nun die Wärme liefert, mit 190 MWh Strom auskommt. Als Wärmequellen nutzt die Wärmepumpe die Abwärme aus der Produktion von Kühlwasser.

Herkömmliche Wärmepumpen stossen bei 90 bis 100 °C an ihre Grenzen. So erreichen nur drei Wärmepumpen in den 29 Fallstudien der Untersuchung knapp über 90 °C (nämlich in der Berg-Käserei Gais im Appenzell, in der Getränkeabfüllung bei der GVS Landi AG in Schaffhausen-Herblingen und im Schlachthaus Zürich). Um das Einsparpotenzial im Bereich der Industrie auch bei höherem Temperaturbedarf auszuschöpfen, müssten in Zukunft vermehrt Wärmepumpen eingesetzt werden, die Prozesswärme im höheren Temperaturbereich bei über 100 °C bereitstellen.



Je günstiger Strom im Vergleich zu Gas ist, desto eher ist der Einsatz einer Wärmepumpe gegenüber einer Gasheizung wirtschaftlich. Langfristig betrachtet ist Strom heute im Vergleich zu Gas relativ günstig (Verbrauchsprofile: 20'000 kWh Gas, 4'500 kWh Strom). Grafik: Schlussbericht «Industrial Heat Pumps in Switzerland»

Abwärme aus Kühlprozessen

Potenzielle industrielle Anwendungen für Hochtemperatur-Wärmepumpen sind gemäss Schlussbericht «die Heissluftzerzeugung und Luftvorwärmung für Trocknungsprozesse (d.h. Holz, Papier, Klärschlamm, Stärke, Ziegel und Tierfutter) durch Abwärmenutzung feuchter Abluft oder die Prozessdampferzeugung zur Sterilisation und Pasteurisation von Lebensmitteln (z.B. Milch, Getränke, Saft)». Eine geeignete Wärmequelle ist die Abwärme aus Kühlanlagen (Kondensationswärme der Kältemaschinen), wie das in der Lebensmitte-

Wärmepumpen decken bereits einen grossen Temperaturbereich von Wärmequellen und -senken in Industriebetrieben und Wärmeverbänden ab. Die höchsten Vorlauftemperaturen von über 90 °C wurden in den Fallstudien der Berg-Käserei Gais im Appenzell, des Schlachthofes in Zürich sowie bei der Getränkeabfüllung in der GVS Landi beobachtet. Wärmepumpen, die Wärme von rund 70 °C liefern, sind seit vielen Jahren auf dem Markt. Um das Prozesswärmepotenzial der Industrie weiter auszuschöpfen, sollten auch vermehrt Hochtemperatur-Wärmepumpen eingesetzt werden. Grafik: Schlussbericht «Industrial Heat Pumps in Switzerland»

Industrie oft der Fall ist. Andere Wärmequellen sind Abwärme aus industriellen Prozessen und von Druckluftkompressoren, aber auch Abwasser oder Abluft aus Trocknungsprozessen.

Können Wärmepumpen in einem industriellen Kontext eingesetzt werden, wo gleichzeitig ein Bedarf für Kälte und Wärme besteht, resultiert eine besonders effiziente und wirtschaftliche Gesamtlösung. Das zeigt das Beispiel des Pharmazulieferers Bachem AG (Bubendorf/BL). Hier stellen zwei Ammoniak-Wärmepumpen Kaltwasser als Prozesskälte mit 8 °C bereit. Die Abwärme aus dem Kühlprozess wird von einer dritten Wärmepumpe zu Heizwärme und Warmwasser aufbereitet – dies bei einer hohen Leistungszahl (Coefficient of performance, COP) von 7.1 (im Betriebspunkt W38/W71, also Quelltemperatur 38 °C und Senktemperatur bei 71 °C). Aus einer Kilowattstunde (kWh) Strom resultieren somit 7.1 kWh Wärme. Der Durchschnitt des COP lag bei den



Zwei Niederdruckverdichter (links, Mitte) sorgen beim Pharmazulieferer Bachem AG in Bubendorf (BL) für Prozesskälte. Der Hochdruckverdichter (rechts) nutzt die Abwärme aus der Kälteproduktion zur Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser. Foto: eicher+pauli Liestal AG

EPFL ENTWICKELT PLANUNGSTOOL FÜR INDUSTRIELLE WÄRMEPUMPEN

Das im Haupttext vorgestellte Forschungsprojekt ist Teil eines internationalen Forschungsprogramms der Internationalen Energieagentur (IEA) zu industriellen Wärmepumpen (bekannt als «Annex 48: Industrial Heat Pumps»). Zum gleichen Forschungsprogramm gehört ein zweites Schweizer Projekt unter dem Titel «Integrated industrial heat pump systems», das Forscherinnen und Forscher der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) durchgeführt haben.

Aus dieser ebenfalls vor kurzem abgeschlossenen Studie ist ein Software-Werkzeug hervorgegangen, das die Planung von industriellen Wärmepumpen optimiert. Das Tool erlaube «eine optimale Auslegung von industriellen Wärmepumpen», sagt Studien-Hauptautorin Dr. Anna Wallerand. «Unsere Software ermittelt für den konkreten Anwendungsfall Planungsgrößen wie Leistung und Temperaturhub, zeigt den optimalen Aufbau mehrstufiger Wärmepumpen einschliesslich der zugehörigen Temperaturniveaus, und es schlägt dem Planer geeignete Kühlmittel und Kompressoren vor.»

Mit dem Werkzeug kann die Integration von Wärmepumpen verbessert werden, was nach Auskunft der Forscherin den Kostenaufwand um 5 bis 30 % senken kann. Es kann auch vermieden werden, dass Wärmepumpen falsch eingesetzt werden; dass sie zum Beispiel Abwärme nutzen, die unter energetischen Gesichtspunkten besser direkt (und damit ohne Einsatz einer Wärmepumpe) im Produktionsprozess herangezogen würde (z.B. über einen Wärmetauscher).

Grundlage für den Einsatz des Tools ist eine Pinch-Analyse, welche alle Energieflüsse der involvierten Prozesse nachzeichnet und damit den idealen Integrationspunkt der Wärmepumpe identifiziert. Für die Pinch-Analyse steht marktreife Software zur Verfügung (<https://pinch-analyse.ch/>). Das Software-Tool der EPFL, mit dem darüber hinaus die geeignete Wärmepumpe konfiguriert wird, ist bisher noch ein akademisches Forschungsergebnis. Bis Wärmepumpen-Planer es nutzen können, muss die Benutzerfreundlichkeit verbessert werden. BV

➤ Der **Schlussbericht** zum Projekt «Integrated industrial heat pump systems» der EPFL ist abrufbar unter: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=38624>

untersuchten Anlagen in den 29 Fallstudien bei rund 4.0 (bei einem Temperaturhub von 50 Kelvin).

Trotz höherer Investitionskosten wirtschaftlich

Eine Wärmepumpe hat bezogen auf eine Kilowattstunde bereitgestellter Wärme höhere Investitionskosten als eine Gasheizung. Wegen der sehr effizienten Energienutzung ist eine Wärmepumpe über den gesamten Lebenszyklus hinweg jedoch mitunter gleich wirtschaftlich oder sogar noch wirtschaftlicher als eine Gasheizung.

Cordin Arpagaus erhält immer wieder Anfragen aus der Industrie, die sich für den Einsatz von Hochtemperatur-Wärmepumpen interessieren. Einmal ist es ein grosser Schweizer Detailhändler, ein anderes Mal ein Vitaminhersteller aus der Nordwestschweiz, dann Energieberater, Planungsbüros oder Wärmepumpenhersteller. «Die Industrie spürt den öffentlichen Druck, die Energieeffizienz zu erhöhen und die CO₂-Emissionen zu senken. Industrielle Wärmepumpen mit höheren Vorlauftemperaturen werden in den nächsten Jahren weiter an Bedeutung gewinnen», ist der Forscher überzeugt.

- Den **Schlussbericht** zum Forschungsprojekt «Industrial Heat Pumps in Switzerland – Application Potentials and Case Studies» finden Sie unter:
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=41721>
- Informationen zur Erforschung industrieller Wärmepumpen unter dem Dach der IEA (**Annex 48** «Industrial Heat Pumps»): <https://heatpumpingtechnologies.org/annex48/>
- **Auskünfte** erteilt Stephan Renz (info[at]renzconsulting.ch), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Wärmepumpen und Kälte.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Wärmepumpen und Kälte finden Sie unter der Webadresse www.bfe.admin.ch/ec-wp-kaelte



Dr. Anna Wallerand, Wissenschaftlerin am Institut für Industrieprozesse und Energiesysteme (IPESE) der EPFL, und Dr. Cordin Arpagaus, Wärmepumpen-Forscher am Institut für Energiesysteme an der Fachhochschule Ostschweiz. Fotos: EPFL/Fachhochschule Ostschweiz