

# WÄRMEPRODUKTION: CO<sub>2</sub> IST TEIL DER LÖSUNG

Wärmepumpen sind heute die Standardlösung für eine energieeffiziente Wärmeproduktion in Wohngebäuden. In grösserer Ausführung werden sie zunehmend auch im Industrie- und Dienstleistungssektor eingesetzt. Wie eine erfolgreiche Umsetzung gelingt, zeigt ein BFE-Demonstrationsprojekt beim Einkaufszentrum Surseepark im Kanton Luzern. Die Anlage nutzt für die Produktion von Wärme und Klimakälte das natürliche Kältemittel Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Dieses ist im Betrieb sicher und effizient, bei der Umweltbelastung schneidet es deutlich besser ab als gängige Alternativen.



Das Migros-Einkaufszentrum Surseepark. Auf dem Dachaufbau rechts erkennt man die Wärmepumpen-Verdampfer bzw. Gaskühler der beiden CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen, welche Wärme aus der Umgebungsluft aufnehmen (Heizbetrieb) bzw. Wärme an die Umgebung abgeben (Klimabetrieb). Aufgrund der geringen Lärmentwicklung können die Geräte auch in Wohngebieten betrieben werden. Aus optischen Gründen sind sie mit einem Sichtschutz versehen. Foto: Genossenschaft Migros Luzern

Fachbeitrag zu den Erkenntnissen aus einem Demonstrationsprojekt im Bereich Wärmepumpen und Kältetechnik, das vom Bundesamt für Energie unterstützt wurde. Der Beitrag ist unter anderem in der Fachzeitschrift *planer+installateur* (Ausgabe März 2022) erschienen.



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

Wärmepumpen entziehen der Umgebung Wärme, bringen diese unter Einsatz von Strom auf ein höheres Temperaturniveau und stellen so Heizwärme und Warmwasser bereit. Um diesen Wärmetransfer zu leisten, braucht jede Wärmepumpe ein Kältemittel mit den passenden physikalischen Eigenschaften. Der Begriff «Kältemittel» rührt daher, dass diese Stoffe ursprünglich in Kältemaschinen zum Einsatz kamen. Dort läuft der gleiche Prozess wie in Wärmepumpen ab, allerdings dient er dort der Kälteproduktion.

### Trend zu natürlichen Kältemitteln

Seit der Erfindung der Wärmepumpe im 19. Jahrhundert kamen verschiedenste Kältemittel zum Einsatz. Bis in die 1990er Jahre waren chlorierte Kohlenwasserstoffe (FCKW) gängig, wurden dann aber wegen ihres schädigenden Einflusses auf die Ozonschicht aus dem Verkehr gezogen. An ihre Stelle traten synthetische Kältemittel basierend auf Fluorkohlenwasserstoffen (FKW), beispielsweise R-410A und R-407C für kleine Wärmepumpen von Einfamilienhäusern, oder R-134a für grössere Anlagen. Seit dem Aufkommen der Klimadebatte werden die synthetischen Kältemittel kritisch gesehen, da sie im Fall einer Leckage den Treibhaus-Effekt verstärken oder Gewässer mit Trifluoacetat (TFE) belasten. Aus diesem Grund greift man heute vermehrt auf natürliche Kältemittel wie Ammoniak, Propan und CO<sub>2</sub> zurück. Diese haben einen geringen Effekt auf den Klimawandel. Zum Vergleich: Um das Klima in gleichem Mass zu schädigen wie 1 Kilogramm R134a, müssten 1'430 Kilogramm CO<sub>2</sub> entweichen.

«Das Kältemittel CO<sub>2</sub> ist sicher und erlaubt einen energieeffizienten Betrieb der Wärmepumpe mit wenig Wartungsaufwand, daher stösst es bei nachhaltig orientierten Kunden auf steigendes Interesse», sagt Marcel Bärtsch, Leiter Technik beim Ingenieurbüro Frigo-Consulting AG (Dietikon/ZH). CO<sub>2</sub> ist besonders dann geeignet, wenn das Kältemittel von der Rücklauf- zur Vorlauftemperatur eine grosse Temperaturspreizung überwinden muss, wie es in der Regel bei Gebäuden mit hohem Warmwasseranteil oder Bestandesbauten der Fall ist. In kleinen Wärmepumpen wird CO<sub>2</sub> bisher nicht als Kältemittel eingesetzt, weil die technischen Komponenten nicht zur Verfügung stehen. Hier kommt vorzugsweise Propan als natürliche Alternative zum Zug.

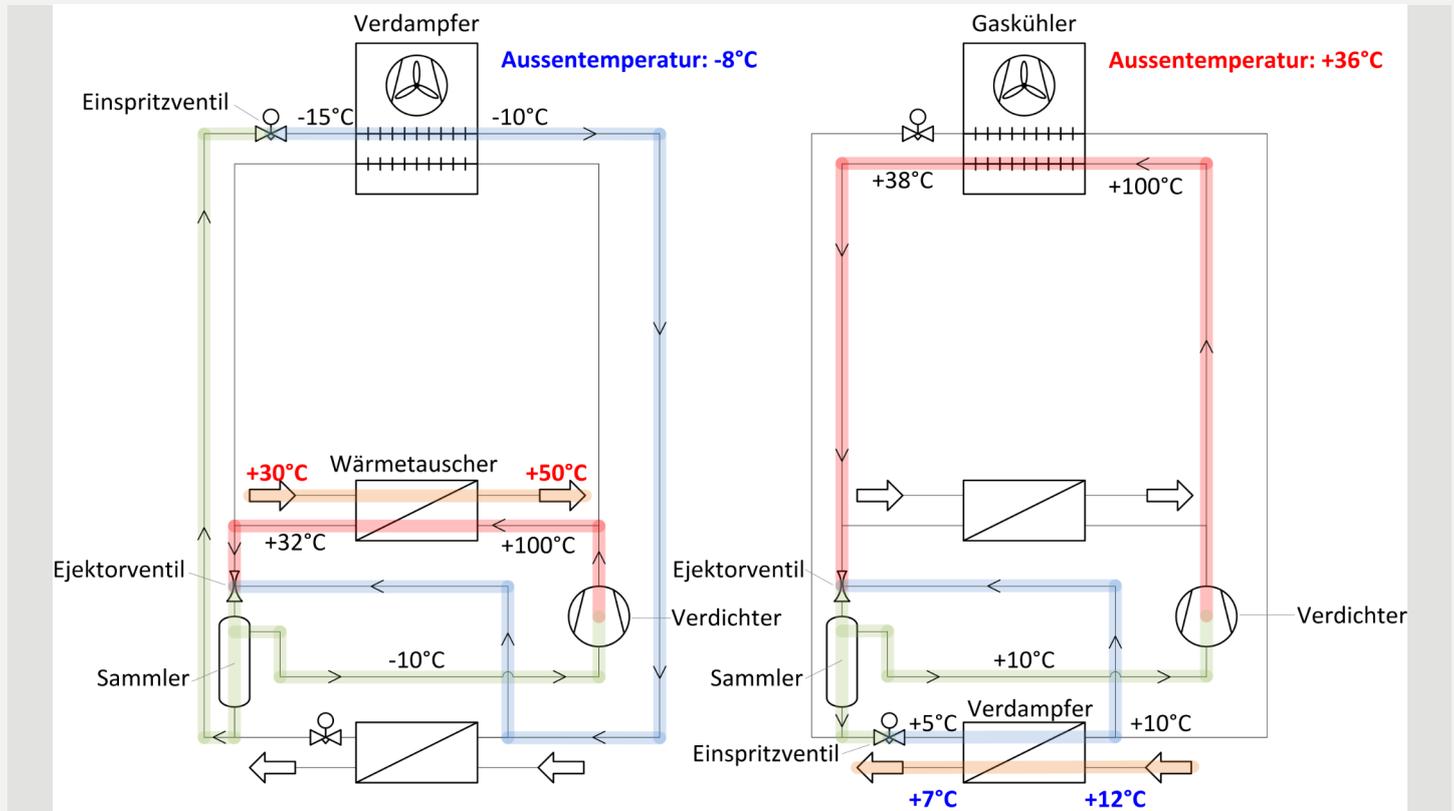
### «Umweltverträglichste Lösung»

Eines der ersten grossen Projekte mit dem Kältemittel CO<sub>2</sub> in einer reversiblen Wärmepumpe für die Beheizung und Klimatisierung eines Grossgebäudes wurde 2019 in Sursee realisiert. Dort betreibt die Genossenschaft Migros Luzern das Einkaufszentrum Surseepark. In zwei Gebäuden (Surseepark I, Surseepark II) mit insgesamt rund 33'000 m<sup>2</sup> Verkaufsfläche sind ein MMM-Supermarkt, Migros Fachmärkte und weitere Food- und Non-Food-Geschäfte untergebracht. Im Jahr 2018 hat die Migros ein neues Heiz- und Kühlsystem für das Einkaufszentrum evaluiert, um die bestehenden Ölheizungen und Klimakälteanlagen zu ersetzen. «Wir entschieden uns für Wärmepumpen mit dem natürlichen Kältemittel CO<sub>2</sub>», sagt Markus Rütli, Leiter Gebäudetechnik bei der Genossenschaft Migros Luzern. «Aus den zwölf geprüften Konzepten



Blick auf eine der beiden reversiblen CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen im Surseepark. Die Anlage hat eine Wärmeleistung von 550 kW und eine Klimaleistung von 630 kW. Foto: Genossenschaft Migros Luzern

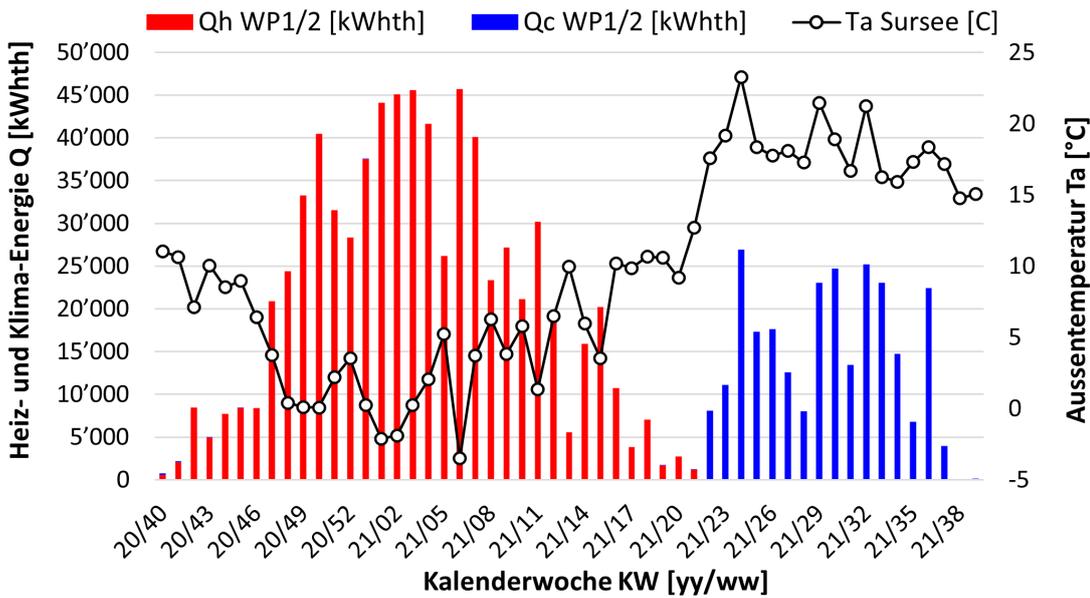
## REVERSIBLE LUFT/WASSER-WÄRMEPUMPE MIT EJEKTOR



Reversible Wärmepumpen stellen in den Winter- und Übergangsmonaten Heizwärme bereit, an heißen Sommertagen ermöglichen sie die Klimatisierung der Räume. Die Darstellung links zeigt die Luft/Wasser-Wärmepumpe beispielhaft im Heizbetrieb: Das -15 °C kalte Kältemittel CO<sub>2</sub> verdampft im Verdampfer und erwärmt sich dabei auf -10 °C (indem es der -8 °C «warmen» Umgebungsluft Wärme entzieht). Das so erwärmte Kältemittel wird von Ejektorventil angesaugt und strömt in den Sammler. Von dort gelangen die gasförmigen Teile des Kältemittels zum Verdichter; aufgrund der Kompression steigt die Temperatur auf 100 °C. Diese Wärme gibt das Kältemittel im Wärmetauscher (Gaskühler) an den Heizkreislauf des Gebäudes ab (das Heizwasser erwärmt sich dabei auf 50 °C, das Kältemittel kühlt sich auf 32 °C ab). Die flüssigen Anteile des Kältemittels gelangen aus dem Sammler in den Verdampfer, wo sie erneut Wärme aus der Umgebungsluft aufnehmen, nachdem sie im Einspritzventil wieder auf -15 °C abgekühlt wurden.

Das Schema rechts zeigt den Klimabetrieb: Das komprimierte, 100 °C heiße Kältemittel durchströmt den Gaskühler, gibt dabei Wärme an die Umgebungsluft ab und kühlt auf 38 °C ab. Das so abgekühlte Kältemittel gelangt zum Ejektorventil, wird dort entspannt und dabei weiter auf 10 °C abgekühlt. Im Sammler befinden sich flüssige und gasförmige Bestandteile: Die gasförmigen Teile gelangen wieder zum Verdichter, die flüssigen Teile werden im Einspritzventil durch Entspannung auf 5 °C abgekühlt. Das so abgekühlte Kältemittel nimmt im Wärmetauscher Wärme aus dem Klimakreislauf des Gebäudes auf (Abkühlung von 12 auf 7 °C), wodurch das Gebäude gekühlt werden kann. Das Kältemittel erwärmt sich dabei auf 10 °C auf. Anschliessend wird das Kältemittel vom Ejektorventil angesaugt.

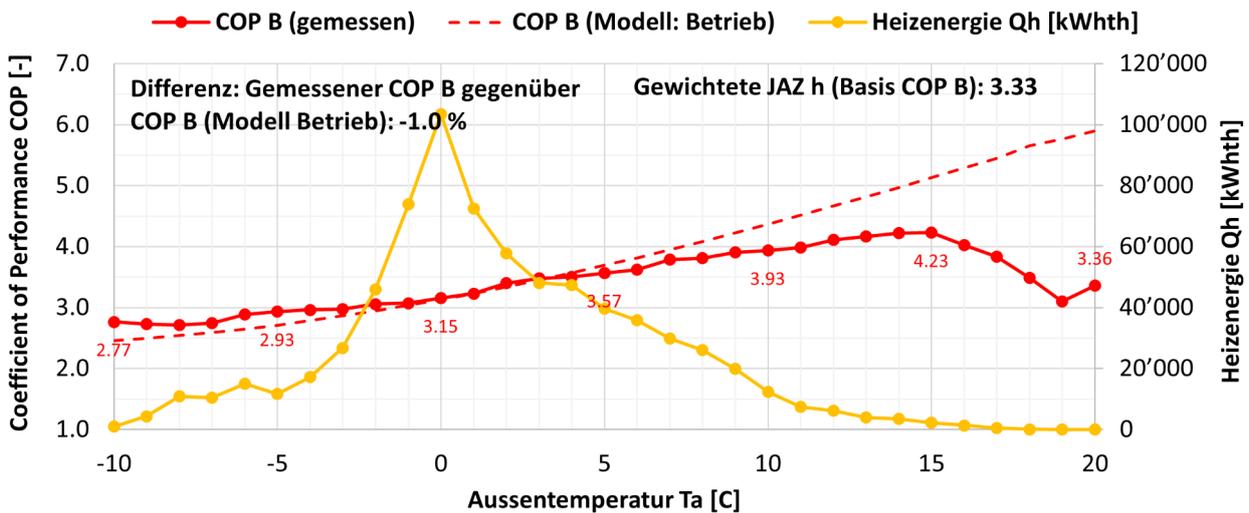
Das Ejektorventil ist eine innovative Komponente, welche die Effizienz von Wärmepumpen um 15 und mehr Prozent verbessert. Im Heiz- wie im Klimabetrieb ermöglicht das Ejektorventil eine Vorverdichtung des Kältemittels, und dies ohne Einsatz elektrischer Energie. Dadurch wird der Verdichter entlastet bzw. dessen Stromverbrauch reduziert, was sich in einer Effizienzsteigerung der Wärmepumpe äussert. BV



nahmen wir zugunsten dieses Pilotprojekts deutlich höhere Investitionskosten in Kauf, um die umweltverträglichste Lösung zu realisieren. Durch die tiefen Lebenszykluskosten über die nächsten 15 Jahre kann ein Teil der Mehrinvestitionen wieder kompensiert werden.»

Der Entscheid fiel im Einklang mit der Klima- und Energiestrategie der Migros. Diese fordert im Bereich Heizung-Lüftung-Klima (HLK) einen Ausstieg aus synthetischen Kältemitteln –

ein Vorgehen, das die Migros bei der Produktkühlung (Kühl- und Tiefkühlgeräte) schon seit Jahren praktiziert (im Surseepark mit dem natürlichen Kältemittel CO<sub>2</sub>). Die beiden Luft/Wasser-Wärmepumpen im Surseepark I und II arbeiten reversibel, sie stellen also sowohl Heizwärme und Warmwasser (insgesamt 2 x 550 kW Heizleistung) als auch Klimakälte (2 x 630 kW Klimaleistung) bereit. Beide Wärmepumpen sind mit sogenannten Ejektorventilen ausgerüstet. Diese ermöglichen einen besonders energieeffizienten Betrieb.



Coefficient of Performance (COP) der beiden Wärmepumpen bei der Wärmeproduktion in Abhängigkeit von der Aussentemperatur. Bei tiefen Aussentemperaturen liegt der gemessene COP (rot ausgezogen) über dem Planungswert (rot gestrichelt). Bei hohen Aussentemperaturen liegt der gemessene COP unter dem Planungswert. Die Experten führen das Unterschreiten des Planungswerts bei hohen Aussentemperaturen unter anderem darauf zurück, dass der Wärmebedarf in der Planung überschätzt wurde und infolgedessen die Wärmepumpen im tatsächlichen Betrieb stark im Teillast arbeiten. Betrachtet man die im COP ausgedrückte Wärmeleistung über ein ganzes Jahr hinweg, erhält man eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3.33. Die Wärmepumpen stellen über ein Jahr hinweg also gut dreimal soviel Wärmeenergie bereit, wie sie an elektrischer Energie verbrauchen. Grafik: BFE-Schlussbericht

## Anspruchsvolle Pionieranlage

Nach der Inbetriebnahme wurde die Pionieranlage in Sursee erst einreguliert und dann von Herbst 2020 bis Herbst 2021 einer detaillierten Messkampagne unterzogen, die vom Pilot- und Demonstrationsprogramm des BFE finanziell unterstützt wurde. «Die Betriebsoptimierung war relativ aufwändig, weil die HLK-Systeme in beiden Gebäuden in unterschiedlichem Mass erneuert wurden und weil die Versorgung der zwei Gebäude lange Leitungen und eine komplexe Steuerung erfordert. Unterdessen läuft die Anlage störungsfrei, und mit einer Jahresarbeitszahl von 3.33 (Heizbetrieb) und 5.32 (Klimabetrieb) erzielen wir energetisch ein gutes Ergebnis», sagt der Migros-Projektverantwortliche Markus Rütli und ergänzt: «Mit dem Projekt konnten wir wertvolle Erfahrungen punkto Steuerungs- und Regelstrategie, Teillastverhalten der Wärmepumpen sowie dem Zusammenspiel von Ejektoren und Drosselventil sammeln.»

Diese Erfahrungen helfen dem Gebäudetechnik-Experten nun bei der Umsetzung weiterer Projekte. So wurde im Herbst 2020 im Einkaufscenter Migros Herti in Zug ebenfalls eine reversible CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe eingebaut, die dank der bisherigen Erfahrungen aus der Anlage im Surseepark kompakter und günstiger realisiert werden konnte. Durch geringfügige Anpassungen in der Systemauslegung und im Betrieb konnte die JAZ im Heizbetrieb um 8% gesteigert werden. Bei dem für 2023 geplanten Ersatz der Gasheizung im Einkaufszentrum Zugerland in Steinhausen will die Migros ebenfalls auf reversible CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen zurückgreifen; die Anlage dürfte aus den Erfahrungen und Optimierungen der beiden realisierten Anlagen nochmals an Kosteneffizienz gewinnen. Damit zeichnet sich ab, was die Autoren des Schlussberichts zum Wärmepumpen-Projekt in Sursee bereits vorausgesagt hatten: «Wir sind der Überzeugung, dass reversible Luft/Wasser-CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen in Zukunft eine relevante Rolle bei der Beheizung und Klimatisierung von modernisierten Grossgebäuden oder Neubauten spielen werden.»

- Der **Schlussbericht** zum BFE-Projekt «Reversible Wärmepumpe für effiziente Beheizung und Klimatisierung von modernisierten Grossgebäuden» ist abrufbar unter: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=43179>
- Gesetzliche Bestimmungen zu **Kältemitteln** in der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung finden Sie [hier](#).

## P+D-PROJEKTE DES BFE

Die im Haupttext vorgestellten Projekte wurden vom Pilot- und Demonstrationsprogramm des Bundesamts für Energie (BFE) unterstützt. Mit dem Programm fördert das BFE die Entwicklung und Erprobung von innovativen Technologien, Lösungen und Ansätzen, die einen wesentlichen Beitrag zur Energieeffizienz oder der Nutzung erneuerbarer Energien leisten. Gesuche um Finanzhilfe können jederzeit eingereicht werden.

➤ [www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration](http://www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration)

- **Auskünfte** zum Thema des Artikels erteilen Dr. Men Wirz ([men.wirz@atlbfe.admin.ch](mailto:men.wirz@atlbfe.admin.ch)), verantwortlich für das Pilot- und Demonstrationsprogramm des BFE, und Stephan Renz ([info@atrenzconsulting.ch](mailto:info@atrenzconsulting.ch)), externer Leiter des BFE-Forschungsprogramms Wärmepumpen und Kältetechnik.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Wärmepumpen und Kältetechnik finden Sie unter [www.bfe.admin.ch/ec-wp-kaelte](http://www.bfe.admin.ch/ec-wp-kaelte)