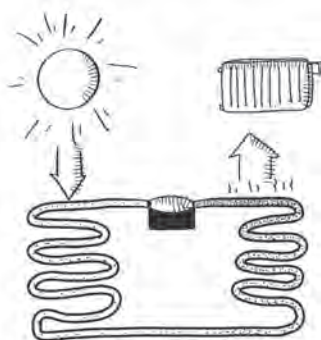


Die Wärmepumpe

Dreh- und Angelpunkt der Wärmewende

WÄRMEVERSORGUNG mittels WÄRMEPUMPE



Um die Dekarbonisierung unserer Energiewirtschaft umsetzen zu können, muss der Bedarf an Wärme und Kühlung vollständig ohne die Emission von Treibhausgasen gedeckt werden. Nach gegenwärtigem Stand des Wissens und der Technik kann dies nur mit Hilfe von Wärmepumpen geleistet werden, die gerade im Niedertemperaturbereich mit wenig zusätzlicher elektrischer Energie Wärme zum Heizen und zur Warmwasserbereitung bereitstellen können. Der Betrieb der Wärmepumpen kann mit Hilfe von regenerativ erzeugtem Strom erfolgen, was eine sehr wichtige Kopplung zwischen dem Strom- und dem Wärmesektor ermöglicht. Die Wärmepumpen können dabei dezentral oder in Fernwärmenetzen eingesetzt werden. Welche Beiträge zu beiden Einsatzgebieten durch die

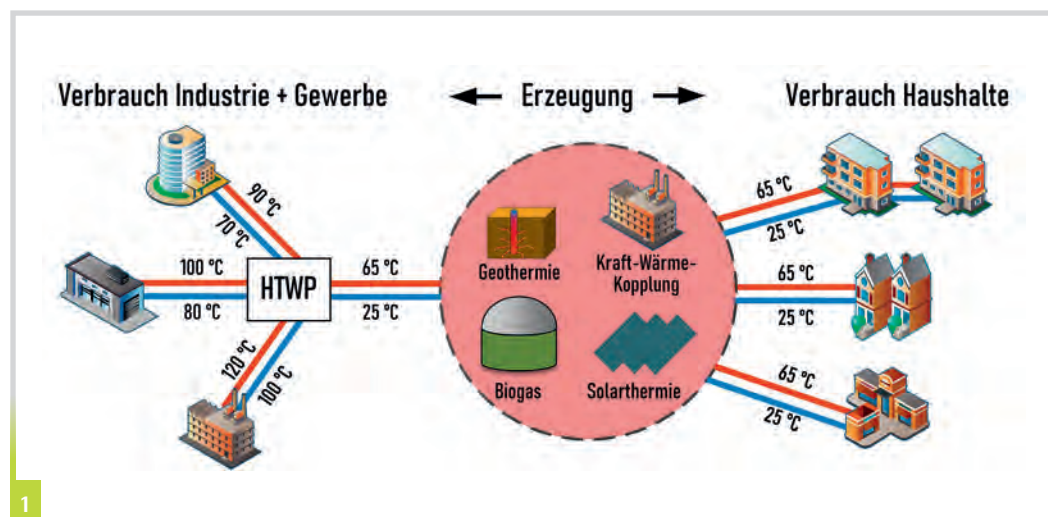
LUH geleistet werden, wird im Folgenden beschrieben. Da Wärme und Kälte bislang aber noch weitgehend durch fossile Energien bereitgestellt werden, was über 30 Prozent der derzeitigen Treibhausgas-Emissionen verursacht, und da Wärmepumpen und ihre Möglichkeiten sowohl in Industrie, Handwerk und bei privaten Haushalten noch wenig bekannt sind, widmet sich die LUH auch der Verbreiterung der Wissensbasis rund um die Wärmepumpe.

Das Projekt

Fernwärmenetze sind in vielen Ballungsgebieten eine effiziente Möglichkeit zur Bereitstellung von Wärme zum Heizen und zur Warmwasserbereitung in Gebäuden. Die hierzu notwendige Einspeisung der Wärme stammt der-

zeit aus wenigen Wärmequellen, typischerweise fossil betriebenen Heizkraftwerken, *siehe Bild 1*. Um die Fernwärmenetze zukünftig mit möglichst vielen klimaneutralen Wärmequellen wie Solarthermie, Erdwärme oder industrieller Abwärme speisen zu können, muss die Betriebstemperatur der Fernwärmenetze von derzeit ca. 100 °C auf zum Beispiel 70 °C abgesenkt werden. Als zusätzlicher Nutzen lassen sich dadurch die Wärmeverluste der kilometerlangen Rohrleitungen des Netzes verringern. Für die Gebäudeheizung und für die Warmwasserbereitung, also für die meisten Nutzer des Fernwärmenetzes sind die geringeren Temperaturen ausreichend, nur einige gewerbliche Nutzer benötigen weiterhin ein höheres Temperaturniveau. Um diese Temperaturlücke zu schließen müs-

Abbildung 1
Fernwärmenetz schematisch
Quelle: eigene Darstellung



sen spezielle Hochtemperatur-Wärmepumpen zum Einsatz kommen, welche die vom Netz bereitgestellte Temperatur von zum Beispiel 70 °C auf 120 °C anheben. Das Institut für Thermodynamik (IfT) erforscht für diese Zwecke im Projekt „Untersuchung von zwei Energiewandlern mit geringem Strombedarf zur Versorgung von Hochtemperaturverbrauchern aus Niedertemperatur-Fernwärme-

Das Prinzip

Die Hochtemperaturwärmepumpe am IfT basiert auf dem gleichen Funktionsprinzip wie ein handelsüblicher und millionenfach eingesetzter Kühlschrank mit mechanischem Verdichter. Aus technischer Sicht sind Kühlschränke und Wärmepumpen sehr ähnlich, die unterschiedliche Bezeichnung wird lediglich zur Unterscheidung des genutzten

koppelt sind merkt man schon bei der Luftpumpe, die sich beim Aufpumpen des Fahrradreifens deutlich erwärmt. Der in *Bild 3* dargestellte weit verbreitete Kalt-dampf-Kompressionskreisprozess einer Wärmepumpe macht dies etwas raffinierter: Zunächst nimmt das Kältemittel bei niedrigem Druck (und somit auch niedrigerer Temperatur) Wärme auf und verdampft. Anschließend



Abbildung 2
Die Ammoniak/Wasser
Hochtemperatur-Technikums-WP
Anlage am IfT
Foto: IfT

netzen“ die praktische Tauglichkeit einer umweltfreundlichen Ammoniak-Wasser Hochtemperaturwärmepumpe (HTWP), wobei Effizienz, Teillastverhalten und die Optimierung des zugrundeliegenden Kreisprozesses im Fokus der laufenden Untersuchungen stehen. Hierzu finden zum einen umfangreiche Kreisprozess-Simulationen statt, zum anderen experimentelle Untersuchungen an einem Versuchsstand im Technikumsmaßstab, siehe *Bild 2*. Das Fernwärme-Forschungsinstitut in Hannover sowie die Universität Stuttgart sind Partner in diesem Verbundprojekt.

Wärmestroms und Temperaturniveaus verwendet. Kühlschränke befördern Wärme aus ihrem kalten Inneren in die wärmere Umgebung, während Wärmepumpen Wärme aus der Umgebung auf ein höheres Temperaturniveau bringen und hiermit zum Beispiel ein Gebäude beheizen. Ihr Wirkprinzip ist in *Bild 3* zu sehen. Im Inneren einer Wärmepumpe zirkuliert ein Arbeitsfluid (Kältemittel), welches für den Energietransport zwischen den einzelnen, im Bild dargestellten Apparaten des Wärmepumpen-Kreisprozesses zuständig ist. Dass Druck und Temperatur bei einem Gas über dessen Dichte ge-

wird im Verdichter der Druck (und somit auch die Temperatur) erhöht. Nun ist eine Verflüssigung bei höherer Temperatur möglich, bei der Wärme auf der Heizseite abgegeben wird. Durch die anschließende Druckreduzierung (Entspannung) auf den niedrigeren Druck liegt das Kältemittel wieder im Ausgangszustand vor und kann erneut Wärme aufnehmen. Um Wärme, entgegen des natürlichen Temperaturgefälles, von einem niedrigeren auf ein höheres Temperaturniveau zu transportieren („pumpen“), muss also Energie für den Verdichter aufgewendet werden. Wird der nutzbare Heiz-

wärmestrom ins Verhältnis zur am Verdichter eingesetzten elektrischen Leistung gesetzt, erhält man die sogenannte Leistungszahl (engl. coefficient of performance (COP)) der Wärmepumpe. Die Leistungszahl kann Werte deutlich größer als 1 erreichen, dies bedeutet, dass die Wärmepumpe wesentlich mehr Heizwärmestrom bereit-

pumpe durch eine kleine Änderung im Kreisprozess auch zum Kühlen eingesetzt werden, also sowohl als Klimaanlage wie auch als Heizung.

Das eingesetzte Kältemittel entscheidet über zentrale Eigenschaften einer Wärmepumpe, wie zum Beispiel erreichbare Temperaturen oder die hierzu erforderlichen Drü-

Kreisprozess, nur bei Leckagen oder bei der unsachgemäßen Entsorgung tritt Kältemittel aus. Aufgrund des milliardenfachen Auftretens dieser Kreisprozesse als Kühlschrank, Klimaanlage oder als Wärmepumpe spielt aber die Umweltverträglichkeit auch in der Gesetzgebung zu Kältemitteln eine wichtige Rolle.

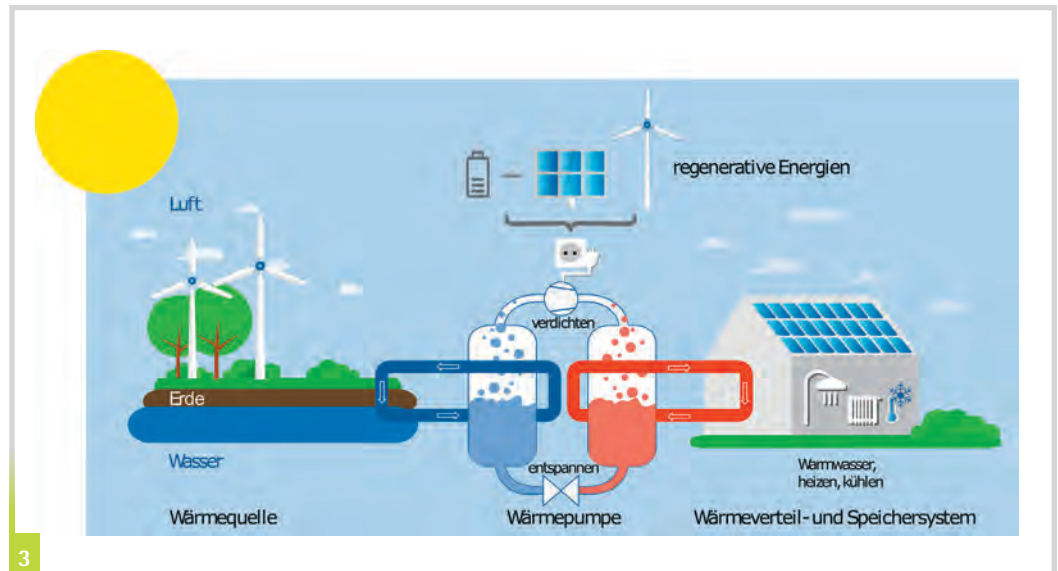


Abbildung 3
Funktionsschema einer klimaneutralen Wärmepumpe
Quelle: eigene Darstellung
(Idee vom BWP e. V.)

stellen kann als dass elektrische Leistung dafür aufgewendet wird. Ein elektrischer Heizlüfter kann nur eine Leistungszahl von maximal 1 erreichen. Entsprechend bieten Wärmepumpen einen starken Hebel, um regenerative elektrische Energie für Heizanwendungen nutzbar zu machen. Aus diesem Grund sind Wärmepumpen eine Schlüsseltechnologie für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung in Deutschland, wobei neben der in großen Stückzahlen notwendigen Niedertemperatur-WP zur Gebäudeheizung auch viele weitere Varianten entwickelt werden, so zum Beispiel die eingangs beschriebene Hochtemperatur-WP oder die WP zur effizienten Beheizung von Elektrofahrzeugen. Wegen der schon erwähnten Nähe zum Kühlschrank kann eine Wärme-

cke. Neben den thermodynamischen Eigenschaften spielt auch die Umweltverträglichkeit des eingesetzten Kältemittels eine wesentliche Rolle. Das bedeutet, dass es ein möglichst geringes Treibhausgaspotenzial (Global Warming Potential GWP) haben muss, keine ozonzerstörenden Substanzen enthalten darf (Ozone Depletion Potential ODP = 0) sowie dass andere Gefahrenpotenziale wie Brennbarkeit und Toxizität beachtet werden müssen. Weder die bisher üblichen synthetischen Kältemittel wie zum Beispiel das noch weit verbreitete R 134a (GWP-Wert von 1600) noch die zukünftig favorisierten ‚natürlichen‘ Kältemittel wie Ammoniak, Wasser, Propan oder auch CO₂ (GWP-Wert von 1) erfüllen alle erwünschten Eigenschaften. Eigentlich verbleibt das Kältemittel im

Die Wärmepumpen-Forschungslandschaft in und an der LUH

Die Suche nach neuen, umweltfreundlichen Kältemitteln ist eine der Forschungsaufgaben, der sich das IfT unter anderem im eingangs geschilderten Projekt widmet. Das hier derzeit favorisierte Ammoniak/Wasser Gemisch stellt zwar besondere Anforderungen an den Prozess, ist aber thermodynamisch sehr effektiv. Ein weiterer Schwerpunkt am Institut ist der Entwurf möglicher innovativer Kreisprozesse des Kältemittels, welche zukünftigen Wärmepumpen zugrunde gelegt werden können. Hierzu werden die Zustandsänderungen, die das Kältemittel durchläuft, mittels Simulation vorausberechnet und an Experimenten validiert.

Am Institut für Solarenergieforschung (ISFH) werden Wärmepumpen seit 15 Jahren als Bestandteil moderner Wärmeversorgungssysteme untersucht. Zentrale Themenkomplexe sind die optimierte Systemintegration, eine nachhaltige Quellwärmebereitstellung und die unabhängige Bewertung und Qualitätskontrolle von Wärmepumpensystemen. Am Wärmepumpenprüfstand des ISFH (siehe Bild 4) werden Wärmepumpen und -systeme nach etablierten Normen geprüft oder in Hardware-in-the-Loop-Verfahren unter dynamischen Umgebungsbedingungen untersucht. Das Monitoring realer Anlagen ermöglicht die Bewertung von Wärmepumpen im Feld.

Das vom Institut für Meteorologie und Klimatologie durchgeführte Projekt „Demonstrator für die solare Wärmewende (DESWENDE)“ zum Thema „Solare Wärmepumpen – Heizen und Kühlen mit Hilfe der Sonne“ soll Bürger sowie Wirtschaftsunternehmen die Funktionsweise und die Einsatzmöglichkeiten von Wärmepumpen näherbringen. Der Demonstrator des DESWENDE Projektes fand am 20. und 21. August 2022 am Tag der offenen Tür im Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) großen Anklang. Herr Dr. Habeck, Bundesminister für Wirtschaft und Klimaschutz, informierte sich persönlich am Stand, siehe Bild 4. Durch das Ansprechen mehrerer Sinne sollen Wärmepumpen vor allem in Verbindung mit solar erzeugtem Strom direkt erfahrbar werden. Dafür wird durch die reale Anlage, bestehend aus einer Luft-Luft Wärmepumpe mit PV-Anlage, Batterie und gegebenenfalls einem Sonnensimulator, die Funktionsweise des Systems vermittelt. Unterstützt wird das Projekt durch die niedersächsische Klimaschutz- und Energieagentur (KEAN) und

durch das Institut für Didaktik der Physik der LUH.

Das ISFH und das IfT haben zusammen mit dem Energieforschungszentrum Niedersachsen (EFZN) und der Klimaschutz- und Energieagentur KEAN die Wärmepumpen-Initiative Niedersachsen (WIN) gegründet, ein Netzwerk zur Unterstützung der



Abbildung 4
DESWENDE im Einsatz beim Tag der offenen Tür im Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
Foto: IfT

schnelleren Verbreitung von Wärmepumpen. Auch diese Initiative ist aus der Einsicht heraus entstanden, dass aus Sicht der zwingend erforderlichen Dekarbonisierung des wichtigen Wärmesektors die Wärmepumpe eine zentrale Rolle spielt, zur Realisierung der angestrebten Verbreitung dieser interessanten thermodynamischen Maschine aber noch sehr viel Aufklärungsarbeit, aber auch Forschungs- und Förderungsbedarf gibt.

Prof. Dr. Stephan Kabelac
Prof. Dr. Rolf Brendel
Prof. Dr. Gunther Seckmeyer

→ Infos und Kontaktdaten
ab Seite 68