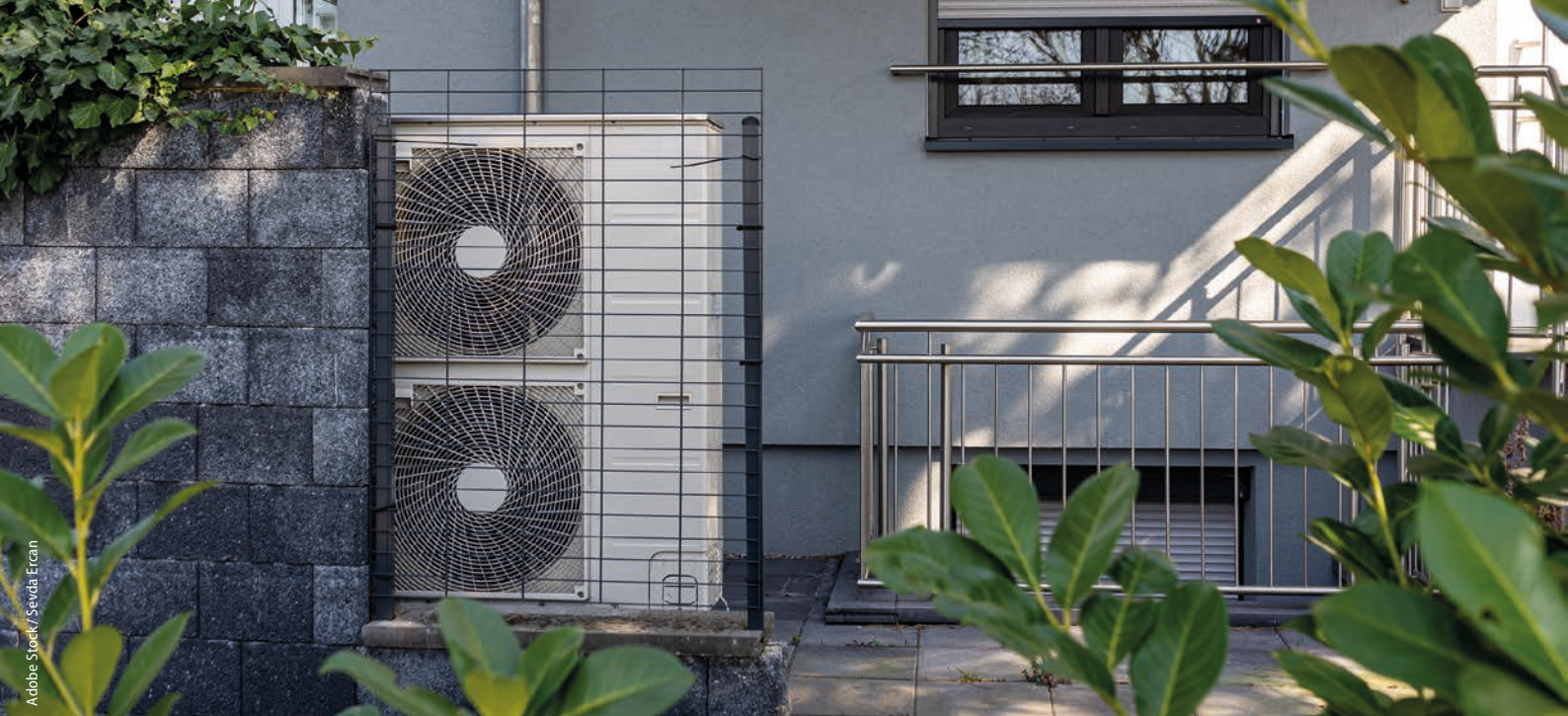




Der große Heizungstausch

Wärmepumpen-Heizungen arbeiten in Kombination mit Solarenergie klimaneutral und unabhängig von fossilen Brennstoffen.

Denise Müller-Dum und Jens Kube

Aktuell heizt rund die Hälfte aller deutschen Haushalte mit Erdgas. Diesen enormen Verbrauch eines fossilen Brennstoffs gilt es mit Blick auf die Klimaerwärmung und die Abhängigkeit von russischen Gaslieferungen zu reduzieren. Auch in Anbetracht steigender Preise überlegen viele Hauseigentümer:innen, ihre Gasheizung durch eine Wärmepumpe zu ersetzen. Der Bund bezuschusst den Einbau einer Wärmepumpe mit bis zu 50 Prozent der Kosten. Nach Angaben des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle hat sich seit Beginn des Kriegs in der Ukraine die monatliche Zahl der Förderanträge mehr als verdoppelt; das Bundeswirtschaftsministerium hat im Mai angekündigt, Handwerksbetriebe beim Einbau von Wärmepumpen etwa durch Weiterbildungen zu unterstützen.

Eine Wärmepumpe funktioniert ähnlich wie ein Kühlschrank oder eine Klimaanlage: Ein Arbeitsmittel zirkuliert,

das beim Verdampfen Wärme aufnimmt und beim Kondensieren wieder abgibt. So kann eine Wärmepumpe einem kühleren Ort Wärme entziehen und sie an einem wärmeren Ort wieder abgeben. Als Arbeitsmittel kommen Fluorkohlenwasserstoffe oder weniger klimaschädliche Kohlenwasserstoffe wie Propan zum Einsatz.¹⁾

Der Kreislauf besteht aus vier Schritten: Zunächst verdampft das flüssige Arbeitsmittel, indem es Wärme aus der Umgebung aufnimmt. Sein Druck wird dafür so weit gesenkt, dass der Siedepunkt unterhalb der Umgebungstemperatur liegt. Im zweiten Schritt verdichtet ein Kompressor das Gas, wodurch es sich erhitzt. Im Verflüssiger liegt seine Temperatur dann über der Umgebungstemperatur, sodass das Kältemittel Wärme abgibt und dabei kondensiert. Im letzten Schritt dehnt sich das flüssige Kältemittel hinter einem Drosselventil aus, und der Kreislauf beginnt von vorne. Veranschaulicht im Druck-Volumen-Diagramm ergeben diese Zustandsänderungen einen Kreisprozess – genauer einen linkslaufenden

Carnot-Prozess. Während der rechtslaufende Carnot-Prozess eine Wärmekraftmaschine beschreibt, also eine Maschine, die Wärme in mechanische Arbeit umwandelt, wendet die Wärmepumpe mechanische Arbeit auf, um eine höhere Umgebungstemperatur zu erzeugen.

Woher die Wärme kommt

Bei Wärmepumpenheizungen kann das Kältemittel Wärme aus der Außen- oder Abluft, dem Grundwasser oder dem Erdreich aufnehmen. Für Grundwasser und Erdreich sind entsprechende Bohrungen nötig. Je nach Wärmequelle spricht man daher von Luft-Wasser-, Wasser-Wasser- oder Sole-Wasser-Wärmepumpen, da die Wärme aus dem Erdreich auf eine frostsichere Flüssigkeit – eine Sole – in einem Rohrsystem übergeht. Der jeweils zweite Zusatz „Wasser“ verrät, dass die Wärme im Kondensator an das Heizungswasser abgegeben wird. Entsprechend geben Luft-Luft-Wärmepumpen die Wärme direkt an die Luft ab. Diese kommen häufig als Klimaanlage beim Kühlen von Ge-

1) vgl. Physik Journal, Mai 2022, S. 44

2) Wir danken Thomas Schönenbach für hilfreiche Hinweise zum Thema. Weitere Informationen bietet ein Physikkonkret: bit.ly/3AEyIXv (PDF).

◀ Wärmepumpen verraten sich durch ein Maschinengehäuse im Freien, in dem sich auch der Kompressor befindet.

bäuden zum Einsatz. Für das Heizen eignen sie sich aufgrund der geringeren Wärmekapazität von Luft im Vergleich zu Wasser nur bei gut gedämmten Häusern.

Für den Betrieb benötigt die Wärmepumpe elektrische Energie; ein Vielfaches davon gibt sie als Wärme ins Haus ab, indem sie aus der Umgebung Wärme aufnimmt (**Abb. 1**). Ein Maß dafür ist die Leistungszahl ε_c (engl. „Coefficient of Performance“). Sie gibt das Verhältnis von erzeugter Wärmeleistung und eingesetzter elektrischer Leistung an; ihr Maximalwert entspricht dem Kehrwert des Carnot-Wirkungsgrads η_c :

$$\varepsilon_c = \frac{1}{\eta_c} = \frac{T_w}{T_w - T_k}, \quad (1)$$

wobei T_w und T_k die absoluten Temperaturen des wärmeren bzw. kälteren Reservoirs darstellen. Während ein möglichst effektiver Carnot-Prozess also bei großen Temperaturunterschieden stattfindet, arbeitet eine Wärmepumpe am effizientesten bei geringer Temperaturdifferenz. Dann muss sie am wenigsten gegen den natürlichen Drang zum Temperaturausgleich arbeiten; im Extremfall identischer Temperaturen $T_w = T_k$ stellt sich die gewünschte Temperatur T_w von selbst ein.

In der Realität verhindern Verluste durch Abwärme und Reibung, dass Wärmepumpen den Idealwert ε_c erreichen. Daher gilt es, die tatsächliche Leistungszahl im Labor für einzelne Betriebspunkte zu bestimmen. So beschreibt die Angabe $\varepsilon(W10/W35)$ das Verhältnis bei einer Grundwassertemperatur von 10 °C und einer Vorlauftemperatur von 35 °C für eine Wasser-Wasser-Wärmepumpenheizung.

Doch auch einzelne Leistungszahlen aus dem Labor sind in der Praxis nur begrenzt aussagekräftig, weil die Betriebspunkte im Jahresverlauf und unter realen Bedingungen schwanken. Oft wird darum die Jahresarbeitszahl angegeben, die dem Verhältnis von erzeugter Wärme zu der in Form von Strom zugeführten

Energie im Jahresmittel entspricht. Nutzt eine Wärmepumpenheizung beispielsweise im Schnitt 2,5 kWh Strom und 7,5 kWh Anergie aus der Umwelt, um 10 kWh Heizwärme zu erzeugen, beträgt die Jahresarbeitszahl vier. Grundsätzlich gilt: je höher die Jahresarbeitszahl, desto effizienter die Wärmepumpe.

Unterschiedlich effizient

Die Arbeitszahlen von Luft-Wasser-Wärmepumpen liegen zwischen 2,5 und 3, die von Sole-Wasser-Wärmepumpen zwischen 3,5 und 4,5. Die höchsten Arbeitszahlen von rund 5 erreichen Wasser-Wasser-Wärmepumpen, die allerdings wegen der Bohrung bis zum Grundwasser in der Installation aufwändiger sind. Generell führt basierend auf Gl. (1) ein niedriger Temperaturunterschied zwischen Wärmequelle und gewünschter Vorlauftemperatur zu einer höheren Jahresarbeitszahl. Daher eignen sich Wärmepumpen vor allem für Heizungsanlagen mit niedriger Vorlauftemperatur, wie sie zum Beispiel bei den großflächigen Heizkörpern von Fußbodenheizungen vorliegen. Im Sommer lässt sich eine solche Anlage prinzipiell zum Kühlen nutzen.

Bis kürzlich war eine Jahresarbeitszahl von über 3,5 Voraussetzung für die staatliche Förderung einer Wärmepumpe. An die Stelle dieser Kennzahl ist nun die jahreszeitbedingte Raumheizungseffizienz η_s getreten. Sie ist der Quotient aus der jahreszeitlichen Leistungszahl, die schwankende klimatische Bedingungen berücksichtigt, und einem Primärenergiefaktor, der beschreibt, welcher Strommix die Wärmepumpe antreibt.

Besonders umweltfreundlich arbeiten Wärmepumpen in Kombination mit Solarstrom. So läuft die Wärmepumpe nicht nur klimaneutral, sondern auch wirtschaftlich: Solarstrom vom eigenen Dach ins Stromnetz einzuspeisen, bringt nur zwischen 6 und 13 Cent pro Kilowattstunde ein. Der Preis für Strom aus dem Netz beträgt dagegen etwa 37 Cent pro Kilowattstunde. Allerdings kostet die Kombination von Wärmepumpe und Photovoltaikanlage zunächst viel Geld: In der Regel

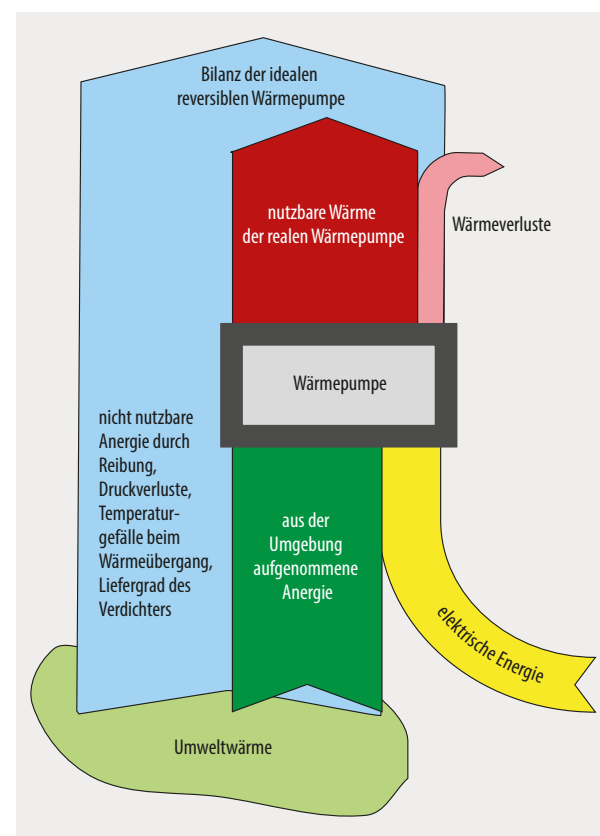


Abb. 1 In die Bilanz einer Wärmepumpe geht neben der elektrischen Energie (gelb) auch die aus der Umgebung aufgenommene Anergie (grün) ein. Nach Abzug der Wärmeverluste verbleibt die nutzbare Wärme (rot).

kommen mehr als 40 000 Euro zusammen inklusive einem ausreichend großen Stromspeicher.

Wärmepumpen lassen sich aber auch mit Solarthermie kombinieren. Dabei richten Solarkollektoren die Sonnenstrahlung auf einen Absorber, der eine Wärmeträgerflüssigkeit erhitzt. Auf diese Weise ist es möglich, Wärme direkt in den Heizkreis einzuspeisen, was die Wärmepumpe entlastet. Alternativ heizt die Solarwärme die Wärmequelle auf: Der reduzierte Temperaturunterschied zwischen Quelle und Senke sorgt dafür, dass die Wärmepumpe effizienter arbeitet. Auch diese Kombination erfordert umfangreiche Investitionen zwischen 18 000 und 35 000 Euro. Wenn die Preise für Gas und Heizöl weiter steigen, dürfte sich das langfristig dennoch bezahlt machen.²⁾

Die Autor:innen

Dr. Denise Müller-Dum und **Dr. Jens Kube**,
awk/jk – Agentur für Wissenschaftskommunikation, awkjk.de