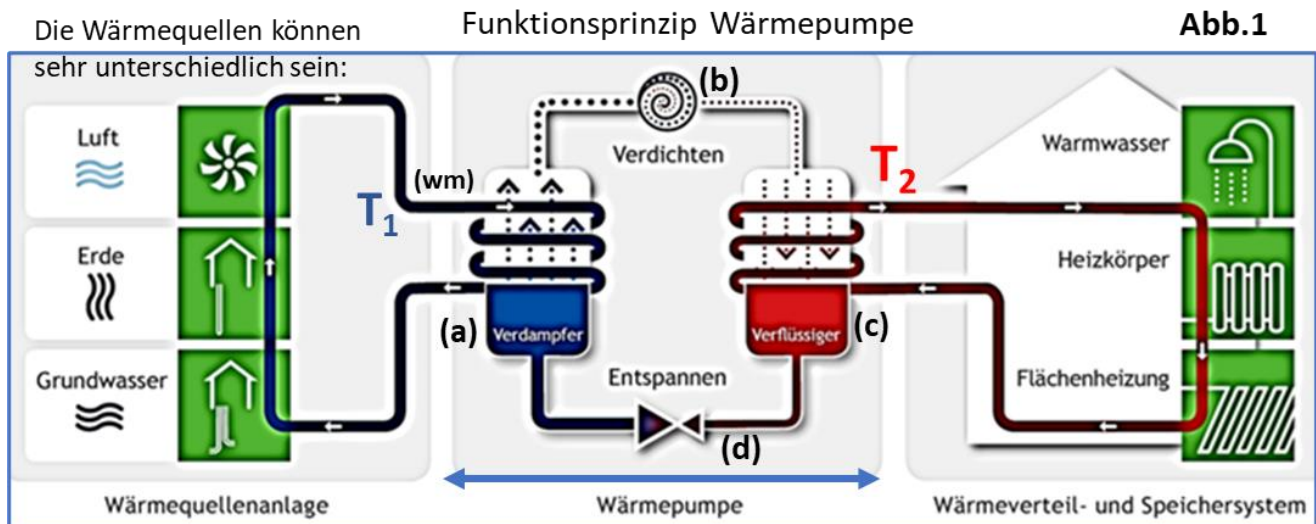


Nutzungskonzepte regenerativer Energien: Das Traumpaar Wärmepumpe mit Photovoltaik

Vortrag vom 21.09.23 von Thomas Müller im Gesprächskreis des NWW zu Lübeck dargestellt ist hier eine nachträglich erbetene Zusammenfassung.

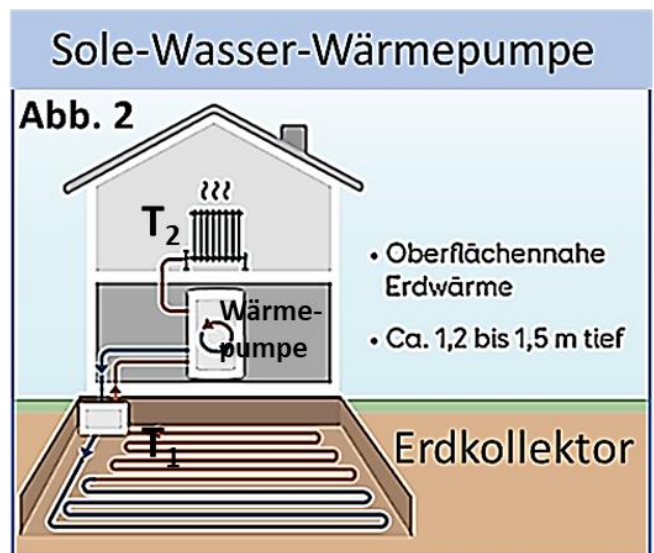
Eine Wärmepumpe entzieht einem kälteren Reservoir mit der Temperatur T_1 (z.B. Erdreich, Umgebungsluft, Grundwasser) Wärmeenergie und transportiert diese Wärme Q_1 in ein zweites Reservoir – beispielsweise eine Heizungsanlage - mit der höheren Temperatur T_2 . Die hierzu erforderliche Überführungsenergie wird der Wärmepumpe in der Regel als elektrische Energie zugeführt.



Das zentrale Funktionselement einer Wärmepumpe ist der Kältemittel-Kreislauf, in dem ein Kältemittel mit sehr niedrigem Siedepunkt zirkuliert. Dieser Kreislauf umfasst die vier Komponenten Verdampfer (a), Verdichter (b), auch Kompressor genannt, Verflüssiger (c), auch Kondensator genannt und Expansionsventil (d) (vgl. Abb.1). Die Temperatur T_1 des Wärmequellenmediums - dieses strömt bei (wm) in den Verdampfer, vgl. Abb.1 - ist im Vergleich viel höher als der Siedepunkt des Kältemittels, das bei (a) flüssig in den Verdampfer gelangt und diesen – nun „erhitzt“ durch das Wärmequellenmedium – gasförmig verlässt weiter nach (b). Der Verdichter (b) komprimiert dieses Gas erheblich und erhöht somit seine Temperatur auf ein für Heizanlagen nutzbares Niveau. Der Verflüssiger (c) überträgt die Wärme des heißen Gases über einen Wärmetauscher unmittelbar an das Heizungswasser, dieses verlässt den Verflüssiger mit der Vorlauftemperatur T_2 . Das somit hier abgekühlte Kältemittel ist wieder flüssig und fließt weiter zum Expansionsventil (d), wird hier funktionsmäßig (u.a. druckvermindert) wieder dem Verdampfer angepasst, der Kreislauf beginnt somit bei (a) von Neuem.

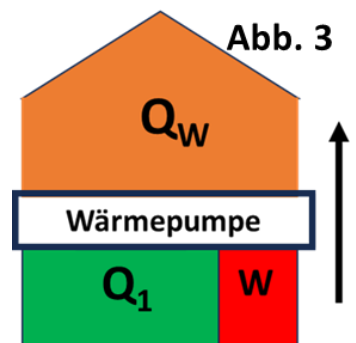
Die Vorlauftemperaturen (T_2 in obiger Abb.1) von modernen, marktgängigen Wärmepumpen erreichen Werte bis zu $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ bei Außentemperaturen von etwa $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hierzu zwei konkrete Beispiele: Die beiden Luft-Wasser-Wärmepumpen Viessmann Vitocal 250-A (Testsieger Platz 1 Sept. 2023 bei Stiftung Warentest) und Wolf CHA – 10/400V (Platz 2 im Test) erfüllen die o.g. Kriterien. Üblicherweise haben Luft-Wasser-Wärmepumpen für den Notfall (sehr kalte Umgebungsluft) einen leistungsstarken elektrischen Heizstab als zweites Heizsystem eingebaut. Das gilt auch für die soeben genannten Geräte.

Die Bezeichnung einer Wärmepumpe richtet sich nach der Wärmequelle (Reservoir1) mit der Temperatur T_1 und dem Wärmeabgabebereich (Reservoir2) mit der Temperatur T_2 . Abb.2 kennzeichnet hier eine Sole-Wasser-Wärmepumpe. Sole ist eine wässrige Lösung von Salzen und fließt hier in den frostfrei gelegenen Rohren des Erdkollektors (Reservoir1). Reservoir2 ist hier das mit Wasser gefüllte Heizsystem des Gebäudes. Die Erdwärme in ca.1,5m Tiefe ist ganzjährig ziemlich konstant bei etwa $10\text{ }^\circ\text{C}$. Das ist ein Vorteil im Vergleich zur Luft-Wasser-Wärmepumpe, die erhebliche Temperaturschwankungen der Umgebungsluft erfährt.



Eine wichtige Größe zur Beschreibung der Leistungsfähigkeit einer Wärmepumpe ist ihre Leistungszahl, auch **COP** genannt. Sie beschreibt das Verhältnis der an das Heizungsnetz abgegebenen Wärmeenergie Q_w zur aufgenommenen elektrischen Energie W der Wärmepumpe: **Leistungszahl COP = Q_w / W** (vgl. Abb.3)

Hierzu ein Beispiel: Eine Wärmepumpe liefert die Wärmeenergie $Q_w = 3,5\text{ kWh}$ an die Gebäudeheizung, hierzu benötigt sie die elektrische Energie $W=0,69\text{ kWh}$. Somit ist ihre Leistungszahl = $3,5\text{ kWh} / 0,69\text{ kWh} = 5,07$ (dimensionsfreie Zahl).



Die gesamte Wärmeenergie $Q_w = Q_1 + W$ ist hier also etwa 5 mal so groß wie die benötigte elektrische Energie W . Die Energie $Q_1 = 3,5\text{ kWh} - 0,69\text{ kWh} = 2,81\text{ kWh}$ ist Umgebungswärme. 1 kWh elektrische Energie erzeugt hier etwa 5 kWh Wärme.

Übliche Luft-Wasser-Wärmepumpen haben im Durchschnitt die Leistungszahl ca. 4, Sole-Wasser-Wärmepumpen die Leistungszahl ca. 5. Diese Leistungszahlen sind stark abhängig von den jeweils vorliegenden Temperaturen T_1 und T_2 .

In Abb.4 ist die Abhängigkeit der Leistungszahl einer üblichen Luft-Wasser-Wärmepumpe von den Temperaturen T_1 (Umgebungsluft) und T_2 (Vorlauftemperatur). dargestellt. Das Paar (T_1/T_2) nennt man auch den Betriebspunkt der Wärmepumpe. Die Tabelle in Abb.4 stammt aus dem Datenblatt des Gerätes aroTHERM plus VWL 35/6. In allen 4 Fällen ist die gewählte Vorlauftemperatur $35\text{ }^\circ\text{C}$, die jeweiligen Lufttemperaturen sind $-7\text{ }^\circ\text{C} / 2\text{ }^\circ\text{C} / 7\text{ }^\circ\text{C} / 10\text{ }^\circ\text{C}$.

Heizleistung/Elekt.Leistung/COP bei A-7/W35	3,6 kW / 1,55 kW / 2,2
Heizleistung/Elekt.Leistung/COP bei A2/W35	2,0 kW / 0,51 kW / 3,9
Heizleistung/Elekt.Leistung/COP bei A7/W35	3,3 kW / 0,69 kW / 4,8
Heizleistung/Elekt.Leistung/COP bei A10/W35	3,4 kW / 0,64 kW / 5,3

Abb. 4 Vaillant Heizungswärmepumpe Luft/Wasser aroTHERM plus VWL 35/6 A

Im Betriebspunkt ($10\text{ }^\circ\text{C} / 35\text{ }^\circ\text{C}$) (vgl. Pfeil in 4.Tabellenzeile) liefert die Wärmepumpe die Heizleistung 3,4 kW, hier gilt $\text{COP} = 5,3$. Für den Betriebspunkt ($-7\text{ }^\circ\text{C} / 35\text{ }^\circ\text{C}$) ist die Leistungszahl $\text{COP}=2,2$, also viel kleiner.

Allgemein gilt: Der COP einer Wärmepumpe gilt nur für einen bestimmten Betriebspunkt, er wird messtechnisch in Praxisanwendungen der Wärmepumpe bestimmt.

$$\text{Carnot-Leistungszahl} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

Temperaturen in Kelvin

Reale Wärmepumpen haben aufgrund von Reibungsverlusten in den internen Bauteilen (z.B. Kompressor, Pumpen) stets Leistungszahlen, die deutlich kleiner sind als im reversiblen Idealfall einer völlig verlustfrei – also reversibel – arbeitenden Wärmepumpe.

Eine gute Erläuterung betreffend diesen Idealfall der Carnot-Leistungszahl - auch mit COP_{max} bezeichnet - ist im Buch „Physik/ P.Tipler, G.Mosca“ dargestellt.

Die Leistungszahl COP ist nach oben begrenzt, der theoretisch maximal mögliche COP-Wert ist die Carnot-Leistungszahl COP_{max} , in der Praxis gilt $\text{COP} < \text{COP}_{\text{max}}$. Das Verhältnis $\epsilon = \text{COP} / \text{COP}_{\text{max}}$ der realen zur idealen Leistungszahl heißt Gütegrad der Wärmepumpe; praktisch werden Gütegrade um 0.4 bis 0.6 erreicht. Tatsächliche Leistungszahlen erreichen also nur 40% bis 60% von COP_{max} (Carnot). vgl. hierzu: [www.effiziente-waermepumpe.ch/wiki/Leistungszahl_\(COP\)](http://www.effiziente-waermepumpe.ch/wiki/Leistungszahl_(COP))

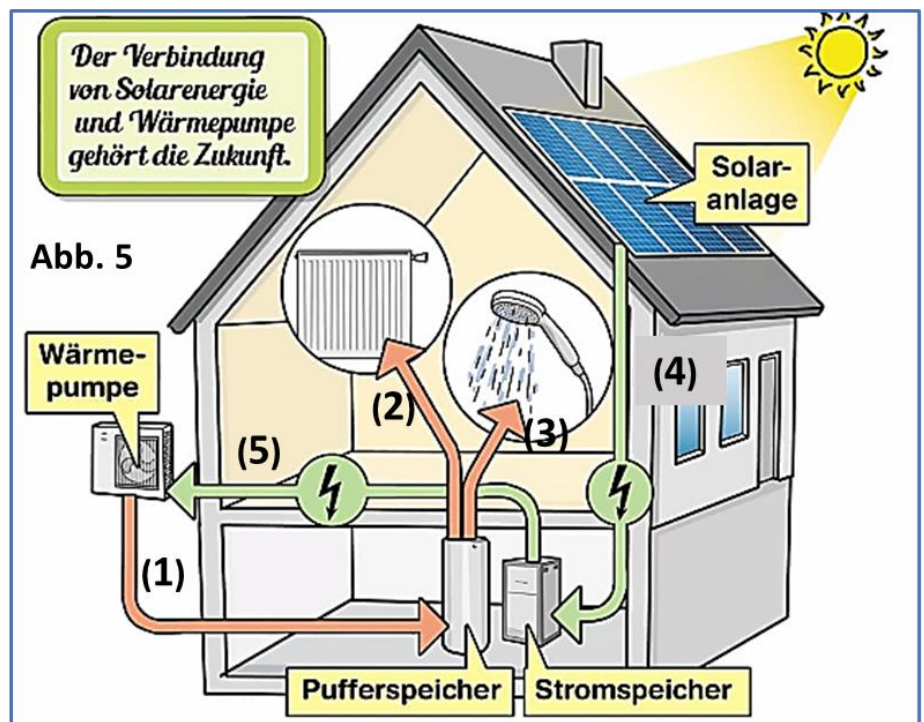
Hier ein Anwendungsbeispiel: Zur Berechnung der Carnot-Leistungszahl wählen wir die Wärmepumpe aroTHERM plus gemäß Abb.4 im Betriebspunkt (10 °C / 35 °C). Umrechnung der Temperaturen in Kelvin: $T_1 = (10 + 273) \text{ K} = 283 \text{ K}$, $T_2 = (35 + 273) \text{ K} = 308 \text{ K}$; $\text{COP}_{\text{max}} = 308 \text{ K} / (308 \text{ K} - 283 \text{ K}) = 12,3$. Laut Tabelle in Abb.4 ist $\text{COP} = 5,3$. Der Gütegrad dieser Wärmepumpe im betrachteten Betriebspunkt ist also $\epsilon = 5,3 / 12,3 = 0,43$. Ergänzender Hinweis hierzu: Theorie (u.a. Carnot-Formel) und im offiziellen Datenblatt genannter COP-Wert des Herstellers (Messwert) passen plausibel zusammen.

Das Zusammenwirken von Wärmepumpe, Solaranlage, Stromspeicher (Batterie) und Pufferspeicher in einer haus-internen Verbundanlage ist hier – graphisch auf das Wesentliche reduziert – in Abb.5 gezeigt.

Nicht eingezeichnet ist der Anschluss an ein haus-externes Stromnetz.

In der Heiztechnik unterscheidet man Heizwasser und Brauchwasser (Trinkwasser). In Abb.5 betrachten wir wasser- und stromführende Leitungen. Über (1) fließt heißes Wasser aus der Wärmepumpe in den Pufferspeicher. (2) und (3) leiten Heiz- und Brauchwasser.

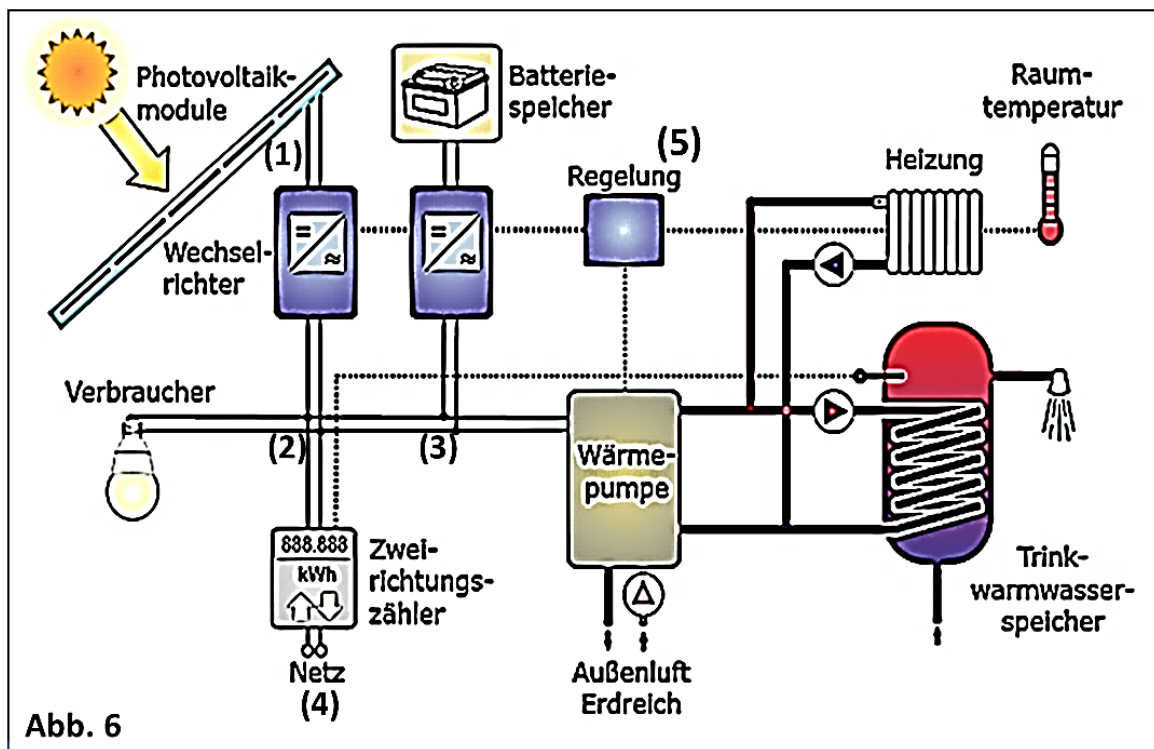
Über Leitung (4) gelangt der elektrische Strom aus der Solaranlage in den Stromspeicher, über (5) erreicht der Strom die Wärmepumpe.



Wie leistungsfähig ist eine wärmetechnische Anlage von dieser Art (Abb.5) ? Hierzu ein aktuelles Praxisbeispiel (mir persönlich gut bekannt): Der Verbund einer Solaranlage mit 10 kWp, einem Batteriespeicher mit 8 kWh und einer Luft-Wasser-WP (max. 70 °C Vorlauf) in einem gut isolierten Neubau (Einfamilienhaus) bewirkt laut Hausbesitzer durchschnittlich 75 Prozent Selbstversorgung. Unter der folgenden Adresse: <https://www.thermondo.de/info/rat/waermepumpe/waermepumpe-mit-photovoltaik/> ist folgender Text zu finden: „Wenn die Kombination aus Wärmepumpe mit Photovoltaik plus Stromspeicher optimal genutzt wird, ist bei Häusern mit hohem Energiestandard ein Autarkiegrad von ca. 70 Prozent möglich. Selbst bei Häusern mit schlechterem Energiestandard sind es immer noch ca. 35 Prozent; / Text zuletzt aktualisiert am: 23.10.2023.“ (Zitatende)

Die wärmetechnische Anlage gemäß Abb.5 soll nun in Abb.6 deutlich detaillierter gezeigt werden. Hierzu betrachten wir zusätzlich eine Regelungs-Software („Energiemanagementsystem“), gespeichert im Modul (5). Diese Software regelt die Zusammenarbeit der einzelnen Komponenten der Anlage miteinander. Hierzu ein Regelungs-Beispiel: Im Falle starker Sonneneinstrahlung soll der erzeugte Solarstrom (1) vorrangig für die hausinternen Verbraucher, danach für die eigenen Energiespeicher (z.B. Batterie und Wasserspeicher) verfügbar sein. Falls dann noch Solarstrom übrig ist, kann dieser ins externe Netz (4) eingespeist werden. Der Wechselrichter bei (1) wandelt die von der PV-Anlage erzeugte Gleichspannung in Wechselspannung um (hier 230V), die bei (2) die Hauptleitung kontaktiert.

Hausinterne Vernetzung von Wärmepumpe, Photovoltaikanlage und Batteriespeicher



„Das schlaue Wärmepumpensystem mit Energiemanagement“ (Zitat) – so kennzeichnet ein hier führendes Unternehmen die oben beschriebene Kombination aus Wärmepumpe, PV-Anlage, Stromspeicher und Softwaremodul. Mit diesem durchaus humorvollen und fachlich guten Zitat möchte ich meinen Vortrag abschließen.