



Wärmepumpen

Auch im Winter bei niedrigen Temperaturen enthalten Erdreich und Grundwasser viel Wärme. Wärmepumpen können diese Wärmequellen nutzen, in dem sie das Temperaturniveau der entnommenen Wärme anheben und anschließend in Hausheizungen einspeisen.

EINLEITUNG

In nahezu jedem Haushalt finden sich technische Geräte, in denen Wärme gepumpt wird. Neu auf dem Markt und noch selten sind moderne Wäschetrockner mit Wärmepumpe, die im Vergleich zu Alternativeräten Energie sehr sparsam nutzen. Weit verbreitet hingegen sind Kühlschränke. Bei diesen zirkuliert in einem geschlossenen Kreislauf im Gerät ein Kältemittel. Dieses nimmt Wärme im Kühlschrankinneren auf, um sie an der Geräterückseite an die Umgebung abzugeben. Eine Wärmepumpe funktioniert nach dem gleichen Prinzip, wobei jedoch die Wärme und nicht die Kälte genutzt wird. Sie entnimmt Wärme auf niedrigem Temperaturniveau aus einer äußeren Wärmequelle, z. B. Erdreich, Grundwasser, Außenluft oder auch Abwärme. Diese hebt sie dann auf ein Temperaturniveau an, das für eine Hausheizung benötigt wird. Ziel einer guten Wärmepumpenanlage ist, dass die so aus der Umwelt entnommene Wärme um ein Mehrfaches größer ist als die zur Temperaturanhebung erforderliche Antriebsenergie.

William Thomson, der spätere Lord Kelvin, veröffentlichte 1852 die Idee, durch eine Maschine Luft in einem geschlossenen Kreislauf zu erwärmen oder abzukühlen. Er hatte beobachtet, dass sich Gase bei Kompression erwärmen. Dies zeigt im Alltag das Beispiel einer Fahrradluftpumpe. Umgekehrt sinkt die Temperatur des Gases bei Expansion. Bedeutung erlangten zuerst nur Maschinen zur Kälte-

erzeugung. Erst zwischen 1910 und 1930 wurden verschiedene Maschinen zur Wärmeerzeugung entwickelt und patentiert. Nach 1945 wurden vor allem in den USA und Japan Wärmepumpen in Lüftungsanlagen zur Beheizung im Winter und Kühlung im Sommer eingesetzt.

In Europa dominierte angesichts der anderen klimatischen Bedingungen die Anwendung in Heizsystemen. Nach den Ölpreiskrisen der 70er Jahre stieg die Zahl der in Deutschland installierten Wärmepumpen stark an. Wieder sinkende Energiepreise und technische Probleme der Anlagen ließen die Verkaufszahlen zwischen 1985 – 1993 einbrechen. Mittlerweile sind die technischen Schwachstellen behoben, die Anlagen arbeiten zuverlässig und mit besseren Leistungen. Seit Mitte der 1990er Jahre wächst in Deutschland die Zahl der jährlich verkauften Heizungswärmepumpen rasant und allein im Jahr 2007 waren es knapp 45.000 Anlagen, was ca. 9% des Heizungsmarktes entsprach. Insgesamt gab es Ende 2007 ca. 300 000 installierte Heizungswärmepumpen.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) hat im Rah-

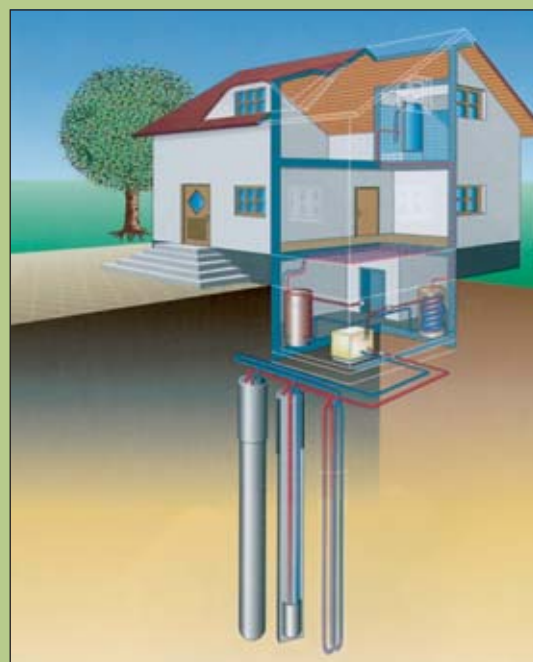


Abb. 1

Modell einer Wärmepumpenheizung mit Erdwärmesonden

men der Energieforschung die Entwicklung effizienter und umweltfreundlicher Wärmepumpen gefördert. Hierzu zählen u. a. Langzeitstudien, Untersuchungen zu umweltfreundlichen Kältemitteln und zur Kombination einer Wärmepumpe mit einer Lüftungsanlage. Weitere Forschungsvorhaben betrafen Wärmepumpen, die für den Einsatz in großen Wohnanlagen und der Industrie entwickelt wurden. Nachfolgend stehen Wärmepumpen für Ein- oder Zweifamilienhäuser im Vordergrund.

PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

Die „Heimat“ der Wärmepumpe in der Physik ist die Thermodynamik, die Lehre über Energieumwandlung und Wärmeströme. Vor allem drei physikalische Prinzipien sind zum Verständnis einer Wärmepumpe grundlegend: Alltägliche Erfahrung ist, heißer Kaffee wird mit der Zeit kälter und gekühlte Getränke wärmer. Beide Temperaturen gleichen sich an die Raumtemperatur an und es entsteht ein Wärmestrom. Selbstständig fließt dieser nur von einem höheren zu einem tieferen Temperaturniveau. Um Wärme gegen die natürliche Richtung fließen zu lassen, muss eine Pumpe arbeiten. Wärme verhält sich hier wie Wasser, das bergab selbstständig fließt, bergauf aber gepumpt werden muss. Zweitens liegt die Siedetemperatur von Flüssigkeiten bei niedrigerem Druck tiefer als bei hohem Druck.

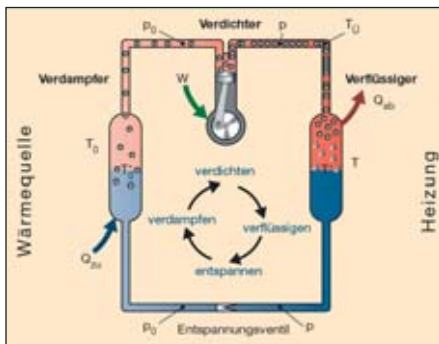


Abb. 2 Kreisprozess der Wärmepumpe (Q_{zu} = zugeführte Wärme, Q_{ab} = abgegebene Wärme, P_0 = niedriger Druck, P = hoher Druck, T = Temperatur, W = zugeführte Antriebsenergie)

So siedet Wasser im Hochgebirge bei niedrigeren Temperaturen als auf Meereshöhe. Drittens erfordert ein Verdampfungsprozess Energie, die bei einer Kondensation wieder frei wird. Führt man in einem kreisförmigen Prozess, z. B. in einer Wärmepumpe, zuerst eine Verdampfung und dann eine Kondensation durch, hat man Wärme transportiert.

Abb. 2 zeigt den Kreisprozess in einer Kompressions-Wärmepumpe. In einem geschlossenen Kreislauf zirkuliert ein Kältemittel (Kohlenwasserstoffe, z. B. Propan oder Fluorkohlenwasserstoffe, z. B. R 134a). Wichtigste Eigenschaft von Kältemitteln ist, dass sie auch bei niedrigen Temperaturen leicht verdampfen. Durch Expansion sinkt die Temperatur des Kältemittels unter das Niveau der Umgebungswärme ab. Diese Temperaturdifferenz zwischen z. B. oberflächennahen Erdschichten und dem Kältemittel ermöglicht einen Wärmestrom zum Verdampfer. Anschließend wird der Kältemitteldampf vom Verdichter angesaugt und komprimiert. Durch diese Druckerhöhung wird die Temperatur des Kältemittels über das Niveau der Hausheizung angehoben. Am Verflüssiger liegt wieder eine Temperaturdifferenz vor und es kommt zu einem Wärmestrom zur Heizung. Das unter Hochdruck stehende Kältemittel kühlt wieder ab, kondensiert und wird über ein Drosselventil entspannt. Anschließend beginnt der Kreisprozess, d. h. verdampfen – verdichten – verflüssigen – entspannen, von Neuem.

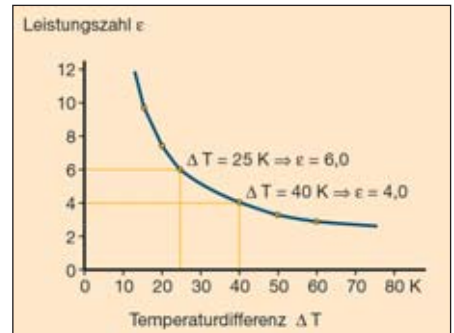


Abb. 3 Leistungszahl in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Verdampfer und Verflüssiger (bezogen auf $T_0 = 273$ K). Näherungsweise wird die tatsächliche Leistungszahl mit 50% des theoretisch möglichen Idealwertes (Carnot-Wert) angenommen.

Entscheidend für die Effizienz einer Wärmepumpe ist die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Heizung. Je geringer sie ausfällt, um so bessere Leistungen werden ermöglicht (Abb. 3). Bei einer Wärmepumpenheizung sind dabei die winterlichen Klimabedingungen ausschlaggebend. Von Vorteil sind demnach Wärmequellen, die im Winter über möglichst hohe Temperaturen verfügen, und Heizungssysteme, die mit möglichst niedrigen Temperaturen arbeiten.

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Wärmestrom
- > Kreisprozess
- > Temperaturdifferenz

ANLAGENTECHNIK

Eine Wärmepumpenanlage besteht aus den Komponenten: Wärmequellenanlage, Wärmepumpe und Wärmenutzungsanlage. Wärmepumpen (WP) können nach verschiedenen technischen Prinzipien angetrieben werden: Kompressions-WP mit Elektromotor oder Gasmotor oder Absorptions-WP mit einem thermischen Verdichter zur Nutzung z. B. von Abwärme mit hoher Temperatur. Daneben existieren noch weitere Verfahren. Im privaten Wohnungsbau dominieren strombetriebene Kompressions-Wärmepumpen und stehen nachfolgend im Mittelpunkt. Die Effizienz von Wärmepumpen wird durch die Kennwerte in Abb. 4 dargestellt. Ein sehr wichtiger Wert ist die Leistungszahl, die z. B. auch das Nutzerverhalten und das Klima einbezieht. Die Wärmepumpentechnik funktioniert heute genau so zuverlässig wie andere Heiztechniken.

Abb. 5 zeigt einen Überblick der verschiedenen Wärmequellen. Wasser und Erde (überwiegend in Neubauten; 2007: ca. 60%

	Bedeutung	Aussage
Leistungszahl (ϵ)	Das Verhältnis von abgegebener Wärmeleistung zu aufgenommener, elektrischer Antriebsleistung zu einem bestimmten Zeitpunkt und für bestimmte Temperaturverhältnisse.	Effizienz der Wärmepumpe bei Prüfbedingungen.
Jahresarbeitszahl (β)	Das Verhältnis der pro Jahr gelieferten Heizwärme (Q) zur benötigten Antriebsenergie (W). Damit werden u. a. betriebsbedingte Schwankungen gemittelt.	Effizienz der gesamten Wärmepumpen-Heizungsanlage.

Abb. 4 Kennwerte von Elektro-Wärmepumpen

	Erdwärme-(Kollektor)	Erdwärme-(Sonde)	Grundwasser	Luft	Massivabsorber
Örtliche Verfügbarkeit	überall	überall	nicht überall	überall	nur bei Neubauten
Platzbedarf	hoch	gering	gering	gering	gering
Temperatur im Winter	-5° – +5°C	0° – +10°C	+8° – +12°C	-25° – +15°C	-3 – +5 °C
Wasserrechtlich genehmigungspflichtig	nein	immer	immer	nein	nein
Erreichbare Jahresarbeitszahl	bis 4	bis 4,5	bis 4,5	bis 3,3	-

Abb. 5 Kenndaten wichtiger Wärmequellen für WP-Anlagen im privaten Wohnungsbau unter mitteleuropäischen Klimabedingungen. Massivabsorber sind z. B. erdberührende Betonteile (z. B. Gründungspfähle), in die ein Wärmetauscher von Beginn an „eingebaut“ wird.

Marktanteil) verfügen während des Winters, wenn der Heizwärmebedarf groß ist, über eine relativ hohe, stabile Durchschnittstemperatur. Dies begrenzt den notwendigen Temperaturhub und ist für die Leistung einer Wärmepumpe von Vorteil. Wärmepumpen mit der Wärmequelle Luft werden häufig in energetisch sanierten Altbauten installiert und haben 2007 einen Marktanteil von rund 40% erreicht.

Der Anschluss an eine Flächenheizung (z. B. Fußbodenheizungen) ist für die Wärmepumpe günstig. Diese arbeiten mit niedrigen Vorlauftemperaturen, meist 35 °C. Auch

dies begrenzt den Temperaturhub. Derart niedrige Heizungstemperaturen reichen für die Warmwasserversorgung nicht aus, hier sind mindestens 55 °C erforderlich. Hierfür kann entweder auch die Wärmepumpe eingesetzt, eine zweite, kleinere Brauchwasser-Wärmepumpe integriert oder z. B. auf eine thermische Solaranlage zurückgegriffen werden.

In Häusern mit sehr niedrigem Wärmebedarf (z. B. Passiv-, 3-Liter- oder KfW40-Häuser), reicht eine, in die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung integrierte, kleine Wärmepumpe (Lüftungskompaktgerät) zur

alleinigen Deckung des Wärmebedarfs des gesamten Gebäudes aus. Ein Passivhaus mit einem Lüftungskompaktgerät und einer tatsächlichen Wohnfläche von 100 m² benötigt etwa 1.800 - 2.000 kWh Strom pro Jahr für Heizung, Warmwasser und Antrieb der Pumpen.

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Leistungszahl
- > Jahresarbeitszahl
- > Fußbodenheizung
- > Abluft-Wärmepumpe

ERDGEKOPPELTE WÄRMEPUMPEN

Mehr als die Hälfte aller neuen Wärmepumpen im privaten Wohnungsbau arbeiten mit Erdwärmetauschern. Diese können als Erdwärmesonden (Abb. 1) vertikal in einem Bohrloch von bis zu 150 m Tiefe oder als Erdwärmekollektoren (Abb. 6) horizontal in 1,2 - 2 m tiefen Gräben verlegt werden. Entscheidungskriterien hierfür sind der vorhandene Platz, die wasserrechtliche Situation und die Bodenverhältnisse vor Ort. Gute Voraussetzungen bieten wassergesättigte Lehmböden (Abb. 7). Bei Erdwärmesonden wird das Bohrloch rings um die Sonde mit einer Bentonit/Zement-Füllung wieder verschlossen, um einen ungestörten Wärmeübergang zwischen Erde und Erdsonde zu gewährleisten und Grundwasservorkommen in unterschiedlicher Tiefe nicht künstlich miteinander zu verbinden. Abb. 8 zeigt den Temperaturverlauf im ungestörten Erdreich mit zunehmender Tiefe. Der Einfluss der Sonnenwärme ist bis zu einer Tiefe von 10 - 20 m nachweisbar. In Erdwärmesonden zirkuliert in einem geschlossenen Kreislauf ein Wasser-Glykol-Gemisch (Sole). Meist bestehen die Sonden aus koaxialen oder U-förmigen Kunststoffrohren. In Erdwärmekollektoren kann auch direkt das Kältemittel (Direktverdampfer-System), dann allerdings in Kupferrohren, zirkulieren. Dieses System hat

Effizienzvorteile, da ein Wärmetauscher zwischen Wärmequelle und Wärmepumpe entfällt.

Bei einer Wärmepumpenheizung müssen die einzelnen Komponenten – Erdwärmesonde, Wärmepumpe und Heizung – genau aufeinander abgestimmt werden, um gute technische und ökonomische Ergebnisse zu erzielen. Ausgehend vom Wärmebedarf des Hauses werden die Länge der Erdwärmesonden und die Leistung der Wärmepumpe festgelegt. Hierzu ein Beispiel: Ein Neubau erhält eine Heizung mit einer Leistung von 5 kW. Bei einer mittleren, thermischen Bodenqualität [$\lambda = 2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; $\sim 55 \text{ W/m}$] benötigt man bei einer Jahresarbeitszahl von 3,5 für ein einzelnes Haus etwa 90 m Erdwärmesondenlänge. Wenn eine Wärmepumpe eine höhere Jahresarbeitszahl schafft, muss auch die Sondenlänge leicht erhöht werden. Um Erdwärmesonden nachhaltig über viele Jahre betreiben zu können, darf während der Heizperiode nur so viel Wärme entnommen werden, wie während des Sommers durch natürliche Wärmeleitung wieder regeneriert werden kann. Langzeituntersuchungen zeigen, dass bei sorgfältiger Planung ein derartiges Gleichgewicht erreicht wird und die Sonden über viele Jahre zuverlässig funktionieren.

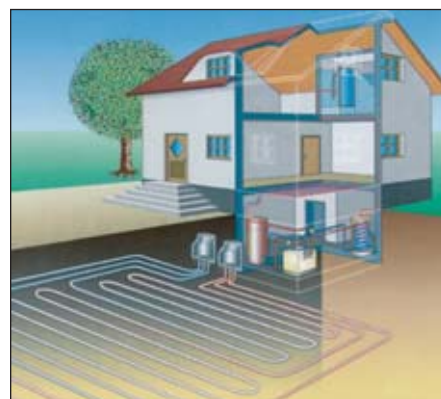


Abb. 6 Modell einer Wärmepumpen-Heizanlage mit Erdwärmekollektor

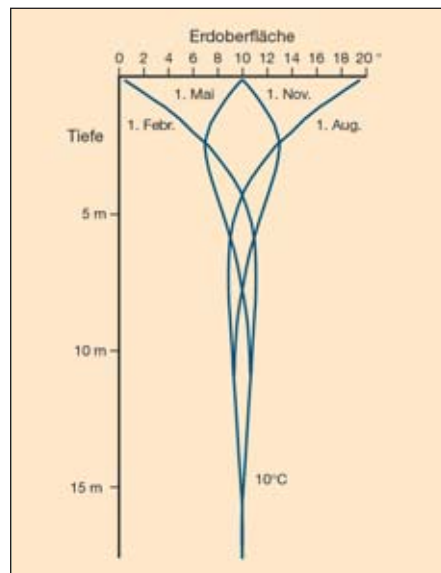


Abb. 8 Einfluss der Jahreszeiten auf die Temperatur der obersten Erdschichten

Erdwärmekollektor		Erdwärmesonde	
Bodenqualität	Spezifische Wärmeentzugsleistung [W/m ² (Kollektorfläche)]	Bodenqualität	Spezifische Wärmeentzugsleistung [W/m (Sondenlänge)]
Trockener nichtbindiger Boden	8 - 10	Kies, Sand trocken	20 - 25
Bindiger Boden feucht	16 - 30	Kies, Sand wasserführend	55 - 80
Wassergesättigter Sand/Kies	30 - 40	Ton, Lehm feucht	30 - 50
		Kalkstein	45 - 70
		Sandstein	55 - 80
		Gneis, Granit	55 - 85

Abb. 7 Übersicht über den Einfluss des Bodens auf den Wärmeentzug. Die Werte vor Ort können durch Grundwassereinfluss u. ä. stark abweichen. Die Werte der horizontalen und der vertikalen Erdwärmetauscher sind nicht miteinander vergleichbar, da es sich um verschiedene Maßeinheiten handelt. (Werte nach VDI 4640)

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Erdwärmesonde
- > Erdwärmekollektor
- > Auslegung
- > Nachhaltigkeit

Lange waren FCKW-haltige Kältemittel ein zentrales Problem in der Ökobilanz von Wärmepumpen. Heute sind nur noch chlorfreie Fluorkohlenwasserstoffe (z. B. R 134a) bzw. halogenfreie Kältemittel (z. B. Propan) erlaubt.

Ein wichtiges Kriterium in der ökologischen Bewertung einer Wärmepumpenheizung ist die Primärenergiebilanz. Unter welchen Bedingungen trägt eine Wärmepumpe zum Energiesparen bei? In dieser Bewertung ist die Wärmepumpe an die Energiebilanz der Kraftwerke gekoppelt. Geht man vom durchschnittlichen Wirkungsgrad der deutschen Kraftwerke von 38 % und WP-Jahresarbeitszahlen zwischen 3,5 und 4 aus, dann erreicht eine Wärmepumpe einen Wirkungsgrad bezogen auf Primärenergie von 133 – 152%. Sie kann demnach gegenüber anderen Heizsystemen gut bestehen. Die CO₂-Emissionen einer Wärmepumpenanlage im Vergleich zu anderen Heiztechnologien werden gesellschaftlich kontrovers diskutiert und bewertet. Hierbei sind die Kraftwerke, die den Strom tatsächlich liefern, und die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage die entscheidenden Annahmen.

Verbraucher können durch die Wahl des Anbieters die ökologische Qualität (d. h. CO₂-Emissionen) ihres Stroms beeinflussen und z. B. auch komplett auf Strom aus Windenergie, Wasserkraft oder Kraft-Wärme-Kopplung wechseln. Damit besteht die Möglichkeit, die Bewertung der eigenen Wärmepumpenheizung von der allgemeinen Stromdiskussion zu entkoppeln. Auch eine weitere Modernisierung der Kraftwerke und ein wachsender Beitrag von Strom aus erneuerbaren Energiequellen nutzt der Umweltbilanz der Wärmepumpentechnologie.

Heute sind erdgekoppelte Wärmepumpen für Neubauten oft eine interessante Heizungs-technologie, neben z. B. thermischen Solaranlagen, Brennwertgeräten, Holzheizungen oder Nahwärmenetzen. In besonders energie-sparenden Gebäuden, wie z. B. dem Passivhaus, hat sich das Lüftungscompactgerät, bei dem eine Wärmepumpe die künstliche Wärmequelle Abluft nutzt, als bedarfsgerechte Technologie bewährt. Die vor mehr als 150 Jahren formulierte Idee von Lord Kelvin ist auch im 21. Jahrhundert noch sehr lebendig.

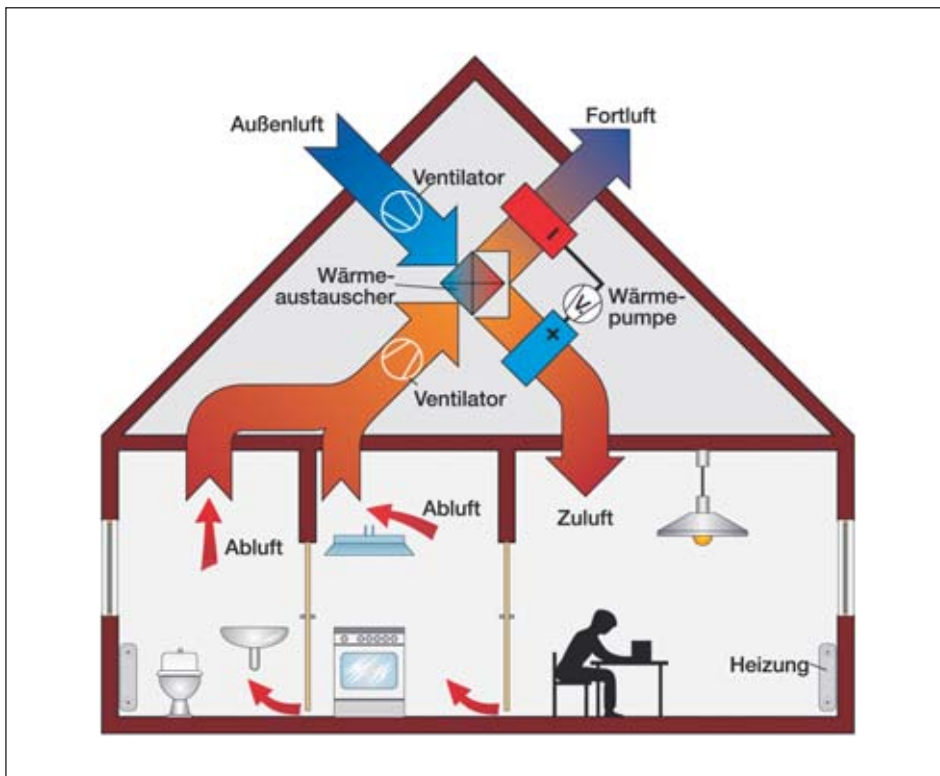


Abb. 9 Wärmerückgewinnung aus Abluft mithilfe einer kleinen Wärmepumpe

ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

1. Baumann, M.; Laue, H.-J.; Müller, P. u. a.: Wärmepumpen. Heizen mit Umweltenergie. BINE-Informationspaket. FIZ Karlsruhe. BINE Informationsdienst, Bonn (Hrsg.). Berlin: Solarpraxis, 2007. 112 S., 4., erw. u. vollst. überarb. Aufl., ISBN 978-3-934595-60-6, 19,80 Euro
2. Der Einbau einer Wärmepumpenheizung kann, wenn bestimmte technische Anforderungen erfüllt sind, öffentlich gefördert werden. Das BINE-Förderportal www.energiefoerderung.info bietet einen aktuellen Überblick über öffentliche Förderprogramme.
3. Informationen zu erdgekoppelten Wärmepumpen bietet auch das Portal www.geothermie.de der „Geothermischen Vereinigung – Bundesverband Geothermie“.

▼ **Herausgeber**
FIZ Karlsruhe GmbH
 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

▼ **Autor**
 Uwe Milles

▼ **ISSN**
 1438-3802

▼ **Nachdruck**
 Nachdruck des Textes zulässig bei vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares – Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten.

▼ **Stand**
 Dezember 2008

BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienz-technologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter www.bine.info und per Newsletter zeigt BINE, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderter Informationsdienst von FIZ Karlsruhe.

Kontakt

Fragen zu diesem **basisEnergieinfo**?
 Wir helfen Ihnen weiter:

Tel.: 0228 92379-44



FIZ Karlsruhe GmbH, Büro Bonn
 Kaiserstraße 185 – 197
 53113 Bonn

Tel.: 0228 92379-0
 Fax: 0228 92379-29

E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de
 Internet: www.bine.info