

Wärmeerzeugung im Gebäudebestand mit erneuerbaren Energien

Elektrische Sole-Wasser-Wärmepumpe

Sole-Wasser-Wärmepumpen nutzen die in der Erde gespeicherte Wärme zur Raumheizung und Warmwasserbereitung.

Die Wärme aus dem Erdreich kann mit folgenden Wärmequellen erschlossen werden:

- Erdwärmesonden
- Erdwärmekollektoren oder Erdwärmekörbe

Funktionsweise/Aufbau

Hauptbestandteile einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage:

- Sole-Wasser-Wärmepumpe
- Erdwärmequelle
- Heizungs-Pufferspeicher
- Trinkwarmwasserspeicher

Sole-Wasser-Wärmepumpen nutzen als Energiequelle Erdwärme, die über einen Solekreislauf zur Wärmepumpe geführt wird. Im Verdampfer wird damit das Kältemittel erwärmt und verdampft. Das gasförmige Kältemittel wird im Verdichter unter Einsatz von elektrischer Energie komprimiert und so auf ein höheres Temperaturniveau gebracht. Der erhitzte Kältemitteldampf überträgt seine thermische Energie auf das Heizungswasser, kühlt ab und kondensiert. Nach Entspannung des Kältemittels im Expansionsventil durchläuft es den Kreislauf erneut.

Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Invertertechnologie verfügen über einen leistungsgeregelten Kältekreis, wodurch die Leistung der Wärmepumpe an den jeweiligen Wärmebedarf des Gebäudes angepasst werden kann. Bei einer leistungsgeregelten Wärmepumpe wird häufiges Takten im Teillastbereich vermieden und die Effizienz (Jahresarbeitszahl) der Wärmepumpe erhöht.

Sole-Wasser-Wärmepumpe

Wärmequelle

Um dem Erdreich die Wärme zu entziehen, kommen üblicherweise senkrechte Erdwärmesonden oder horizontal verlegte Erdwärmekollektoren zum Einsatz. Für ihre Dimensionierung sind die Entzugsleistung des Erdreichs und die Kälteleistung (Verdampferleistung) der Wärmepumpe maßgeblich.

Erdwärmesonde

Erdwärmesonden benötigen nur eine geringe Fläche. Für die Einbringung muss das Grundstück jedoch genügend Platz und Zugang für das Bohrgerät bieten. Je nach Heizlast werden mehrere Erdsonden eingebracht, die für eine gleichmäßige Durchströmung gleich lang und parallel geschaltet sein müssen. In der Regel ist eine Genehmigung des Bauamtes und der Wasserbehörde einzuholen. Bohrungen tiefer als 100 m sind bei kleinen Wohngebäuden selten. In diesen Fällen ist die Genehmigung des Bergbauamtes erforderlich. Erdsonden sind kostenintensiver als Erdkollektoren. Länge und Anzahl der Erdsonden sind von einem Fachbetrieb detailliert zu berechnen, da die Schwankungen bei der tatsächlich vorliegenden Entzugsleistung erheblich sein können. Als Näherungswert für normales Festgestein gelten 50 W/m.

Beispiel: Für eine Sole-Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 9,5 kW und einer Kälteleistung von 8 kW ergibt sich bei einer Entzugsleistung von 50 W/m eine notwendige Bohrtiefe von etwa 160 m. Es sind zwei Bohrungen von je 80 m Länge erforderlich.

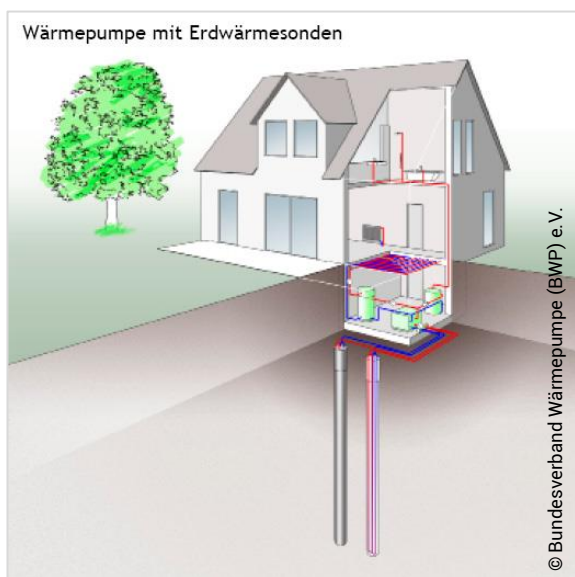


Abbildung 1: Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden

Erdwärmekollektor

Erdwärmekollektoren werden oberflächennah im frostfreien Bereich in einer Tiefe von ca. 1,2 bis 1,5 m verlegt. Sie benötigen eine ausreichend große Fläche, die nicht überbaut werden darf, um eine Regeneration des Erdreichs im Sommer durch Außenluft, Solarstrahlung und Niederschläge zu gewährleisten. Eine Sonderform bilden Erdwärmekörbe, bei denen die Rohrschlangen spiralförmig angeordnet sind. Erdwärmekörbe benötigen weniger Fläche als ein Erdkollektor und werden in eine Tiefe von 2 bis 4 m gesetzt. Die Größe der notwendigen Fläche eines Erdkollektors hängt maßgeblich von den Eigenschaften des Erdreichs sowie von der Sonneneinstrahlung und damit von der Klimaregion ab. Bei der Dimensionierung sind daher die beiden Grenzwerte maximale flächenspezifische Entzugsleistung und Entzugsenergie maßgeblich. Je nach Bodenbeschaffenheit und Klimazone sind Entzugsleistungen für das Erdreich zwischen 10 und 35 W/m² und eine Entzugsenergie zwischen 20 und 60 kWh/m²a möglich.

Beispiel: Für eine Sole-Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 9,5 kW und einer Kälteleistung von 8 kW ergibt sich bei einer mittleren Entzugsleistung von 25 W/m² eine notwendige Kollektorfläche von etwa 320 m². Die Mindestfläche aus der maximalen Entzugsenergie von 45 kWh/m²a beträgt circa 290 m².

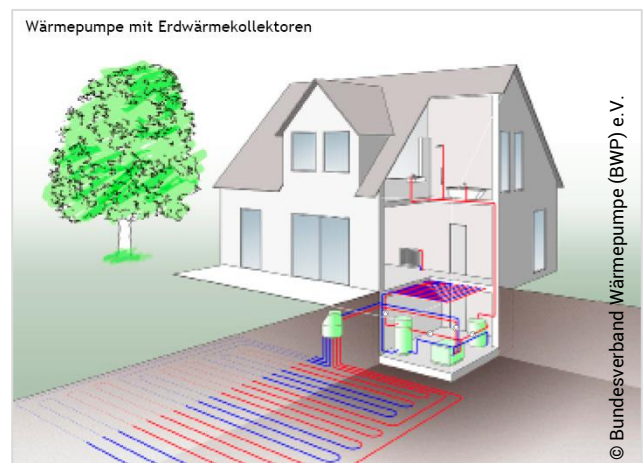


Abbildung 2: Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdkollektor

In VDI 4640 Teil 2: 2019-06 „Thermische Nutzung des Untergrunds – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen“ werden die Auslegung und Installation von Wärmepumpenanlagen mit Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren ausführlich behandelt. Im Wohngebäudebestand ist der Aufwand für die Erschließung der Wärmequelle Erdwärme in der Regel sehr hoch, da ein Eingriff in ein gestaltetes Grundstück erfolgt.

Sole-Wasser-Wärmepumpe

Betrieb und Kombinationsmöglichkeiten

Sole-Wasser-Wärmepumpen werden aufgrund der nahezu gleichbleibenden Quelltemperatur übers Jahr monovalent betrieben.

Ein effizienter Betrieb von Sole-Wasser-Wärmepumpen ist bei niedrigen Systemtemperaturen möglich. In Verbindung mit Heizkörpern sind Vorlauftemperaturen von 50 bis 60 °C anzustreben. Es sind aber auch Vorlauftemperaturen beispielsweise für die Warmwasserbereitung bis 70 °C möglich. In Bestandsgebäuden ist das deutliche Absenken der Systemtemperaturen oft nur mit einem (teilweisen) Heizflächenaustausch möglich. Es sind in jedem Fall eine Heizlastberechnung und ein hydraulischer Abgleich durchzuführen.

Für den Betrieb von Wärmepumpen werden von den Energieversorgern spezielle Wärmepumpentarife mit einem günstigeren Arbeitspreis je Kilowattstunde angeboten. Es ist ein zweiter Stromzähler erforderlich, für den ein jährlicher Grundpreis zu entrichten ist. Der Wärmepumpentarif ermöglicht es dem Energieversorger, bei hoher Stromnachfrage ein bis drei Stromabschaltungen pro Tag bis maximal zwei Stunden vorzunehmen. Dafür muss die Wärmepumpe von außen steuerbar sein. Die Zeit der Abschaltung wird durch Wärme im Pufferspeicher und/oder durch im Gebäude selbst gespeicherte Wärme überbrückt.

Mit Sole-Wasser-Wärmepumpen sind sowohl eine passive als auch eine aktive Kühlung möglich. Vorteil der Kühlung ist die Rückführung der Wärme und damit die Regeneration des Erdreichs um die Erdsonde oder den Erdkollektor. Bei einer passiven Kühlung („Natural Cooling“) wird die Wärme aus dem Heizkreis direkt über einen Wärmeübertrager an die Soleflüssigkeit abgegeben und ins Erdreich transportiert. Eine aktive Kühlung erfolgt bei reversiblen Wärmepumpen durch Umkehr des Wärmepumpenkreislaufs. Die Kühlleistung ist hier höher als bei passiver Kühlung. Bei der Kühlung der Wohnräume ist eine Unterschreitung des Taupunktes zu vermeiden, um die Bildung von Kondenswasser zu verhindern. Im Kühlbetrieb betragen die Vorlauftemperaturen somit 18 bis 20 °C, wodurch Flächenheizungen für die Kühlung besonders geeignet sind. Bei Heizkörpern ist wegen des geringen Temperaturunterschieds und der relativ kleinen Fläche die Kühlleistung sehr begrenzt. Hier können beim gegebenenfalls ohnehin notwendigen Heizflächenaustausch sogenannte Nieder-temperaturheizkörper mit integrierten Ventilatoren zum Einsatz kommen, die die warme oder kühle Luft effektiv im Raum verteilen.

Bei einem Betrieb in Verbindung mit einer Photovoltaik-Anlage kann die Sole-Wasser-Wärmepumpe mit selbst erzeugtem Strom betrieben werden. Die Ansteuerung erfolgt über einen auf Smart Grid Ready (SG-Ready) oder Photovoltaik Ready (PV-Ready) ausgelegten Eingang. Eine optimierte Nutzung des Stroms aus Photovoltaik-Anlagen ist bei Wärmepumpen mit Invertertechnologie möglich, da bei ihnen der Strombedarf durch die Anpassung an die benötigte Heizleistung sinkt und der PV-Strom kontinuierlich verbraucht wird. Sinnvoll ist die Kombination mit einem Stromspeicher. Der Strom kann auch indirekt durch die Erhöhung der Temperatur im Puffer- bzw. Warmwasserspeicher oder in einer Flächenheizung gespeichert werden. Die Nutzung des selbst erzeugten Stroms erhöht den Eigenstromanteil und damit die Wirtschaftlichkeit der Photovoltaik-Anlage.

Umweltwirkung

Kältemittel: Die Regelung der Verfügbarkeit und Nachfrage sowie der Kontrolle von Emissionen durch Kältemittel erfolgt im Rahmen der F-Gase-Verordnung. Mit dem Global Warming Potential (GWP) wird das Treibhauspotenzial in Bezug auf CO₂-Äquivalente angegeben. Die GWPs gängiger in Sole-Wasser-Wärmepumpen eingesetzter Kältemittel sind:

■ R290 (Propan)	3 kg CO ₂ -Äq.
■ R1234ze (Hydrofluorolefine)	7 kg CO ₂ -Äq.
■ R454C	148 kg CO ₂ -Äq.
■ R32	675 kg CO ₂ -Äq.
■ R407C	1.770 kg CO ₂ -Äq.
■ R410A	2.088 kg CO ₂ -Äq.

Schallemissionen: Moderne Sole-Wasser-Wärmepumpen weisen einen gemessenen Schalleistungspegel von etwa 40 bis 50 dB(A) auf und sind damit deutlich leiser als Luft-Wasser-Wärmepumpen. Bei der Aufstellung des Geräts im Gebäude und der Anbindung an die Wärmeverteilung sollten dennoch Maßnahmen vorgesehen werden, um Betriebsgeräusche in den Wohnräumen und die Übertragung von Schwingungen zu vermeiden.

Sole-Wasser-Wärmepumpe

Effizienz und Erfüllung der Vorgabe zum Betrieb mit 65 Prozent erneuerbarer Energie

Neu eingebaute oder aufgestellte Heizungsanlagen müssen im Regelfall entsprechend Gebäudeenergiegesetz (GEG) (ab 01.01.2024) mindestens 65 Prozent der von der Anlage bereitgestellten Wärme (Erzeugernutzwärmeabgabe) mit erneuerbarer Energie oder unvermeidbarer Abwärme erzeugen. Bei verbundenen Anlagen zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung gilt dies für das Gesamtsystem. Bei getrennter Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser gilt die Vorgabe jeweils für das Einzelsystem, das neu eingebaut oder aufgestellt wird.

Bei Einbau einer Sole-Wasser-Wärmepumpe gilt die Vorgabe als erfüllt, wenn die Wärmepumpe zur vollständigen Raumheizung und Trinkwassererwärmung eingesetzt wird.

Erfolgt eine von der Wärmepumpe getrennte dezentrale elektrische Trinkwassererwärmung, gilt die Anforderung an die Warmwasserbereitung ebenfalls als erfüllt. Bei Einsatz elektrischer Durchlauferhitzer müssen diese elektronisch geregelt sein.

Die Effizienz von Wärmepumpen ist von der Quellentemperatur und der Vorlauftemperatur des Heizungssystems abhängig. Mittlere Leistungszahlen für marktgängige Sole-Wasser-Wärmepumpen geprüft nach DIN EN 14825 sind:

Quellentemperatur	Temperaturniveau niedrig 35/28 °C		Temperaturniveau mittel 55/45 °C	
	Vorlauftemperatur	COP	Vorlauftemperatur	COP
0 °C	34 °C	4,4	52 °C	3,0
0 °C	30 °C	5,0	42 °C	3,6
0 °C	27 °C	5,3	36 °C	4,1

Im Betrieb kann mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe bei einem mittleren Temperaturniveau typischerweise eine Jahresarbeitszahl von 3,6 bis 4,0 erzielt werden.

Bei Einsatz eines Erdwärmekollektors als Wärmequelle verringert sich die Jahresarbeitszahl geringfügig (~ 0,2), da sich im gesamten Jahresmittel eine geringere Quellentemperatur als bei einer Erdwärmesonde ergibt.

Kennwerte und Kosten

Sole-Wasser-Wärmepumpen werden über die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM) – Zuschuss: Anlagen zur Wärmeerzeugung gefördert. Die Förderrichtlinie wurde 2023 überarbeitet und trat am 01.01.2024 in Kraft (weitere Informationen siehe Hintergrund-Factsheet).

Neben der Wärmepumpen-Grundförderung von 30 Prozent erhalten Wärmepumpen, die Erdwärme nutzen, einen Bonus von 5 Prozentpunkten. Für eine Förderung müssen Wärmepumpen ab 01.01.2024 eine Mindest-Jahresarbeitszahl von 3,0 einhalten. Der Nachweis erfolgt in der Regel nach dem Berechnungsverfahren der VDI 4650 Blatt 1. Ist zur Absenkung der Systemtemperaturen und damit zum effizienten Betrieb der (teilweise) Austausch der Heizkörper erforderlich, sind diese ebenso förderfähig.

Zusätzliche Förderkomponenten, abhängig vom Ambitionsniveau und der persönlichen Situation, sind im Hintergrund Factsheet übersichtlich dargestellt. Die Obergrenze einer Förderung liegt bei 55 Prozent, selbstnutzende Eigentümer können bis zu 70 Prozent Förderung erhalten.

Sole-Wasser-Wärmepumpe	
Energieverbrauch (Strom)	
geringer Verbrauch	3.700 kWh/a
hoher Verbrauch	7.000 kWh/a
Energiekosten mit WP-Tarif	
geringer Verbrauch	1.300 €/a
hoher Verbrauch	2.200 €/a
Investitionskosten	
Sole-Wasser-Wärmepumpe	28.000 €
Erdsonde	17.000 €
alternativ Erdkollektor	10.000 €
Heizflächenaustausch	6.000 €
Instandsetzungsaufwand	1,0 % der Investitionskosten
Wartungskosten / sonstige jährliche Kosten	150 €
Lebensdauer	20 Jahre



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Die Veröffentlichung dieser Publikation erfolgt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) unterstützt die Bundesregierung in verschiedenen Projekten zur Umsetzung der energie- und klimapolitischen Ziele im Rahmen der Energiewende.

Kontakt:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Arne Höllen
Seniorexperte, Klimaneutrale Gebäude
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin
Tel.: +49 30 66 777-641
E-Mail: arne.hoellen@dena.de

E-Mail: info@dena.de / info@gebaeudeforum.de
Internet: www.dena.de / www.gebaeudeforum.de

Alle Rechte sind vorbehalten.
Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.