

## Vortrag zur 9. geothermischen Fachtagung, 17. Nov. Karlsruhe

Kopplung von Geothermie und Solarthermie zur Verbesserung der Jahresarbeitszahl bei Sole-Wasser-Wärmepumpen für Ein- und Mehrfamilienhäuser

*Christoph Rosinski*

### 1. Einleitung

Mit Geothermieanlagen können Gebäude das ganze Jahr über zuverlässig mit Heizenergie und Warmwasser versorgt werden. Das am häufigsten eingesetzte Verfahren sind Erdwärmesonden, also Bohrungen mit bis zu etwa 150 Metern Tiefe. Eine andere Möglichkeit besteht im Einsatz von Erdwärmekollektoren, die unterhalb der Frostgrenze, in etwa 150 cm Tiefe im Boden verlegt werden. Die Temperaturen nahe der Oberfläche reichen allein nicht aus, das Haus zu beheizen. Daher müssen Wärmepumpen eingesetzt werden um die Temperatur des Untergrunds auf ein nutzbares Niveau zu bringen. Bei effizient ausgelegten Anlagen stammen etwa 75 % der Energie aus der Erde, etwa 25 % aus dem Antrieb der Wärmepumpe.

Auch mit Solarkollektoren kann tagsüber Energie zum Aufbereiten von Warmwasser und zum Heizen eingesammelt werden. Für die Warmwassererzeugung in Ein- und Mehrfamilienhäusern wird dieses Prinzip millionenfach angewandt. Leider steht die Sonne nicht immer in ausreichendem Maße zur Verfügung. Das macht es aufwendig, Gebäude ausschließlich mit Solarenergie zu heizen: Tage mit geringer Sonneneinstrahlung müssen mit entsprechend großen Speichersystemen überbrückt werden. Im Winter reicht die Sonnenenergie nicht aus, im Sommer steht dagegen ein enormer Überschuss an Solarwärme zur Verfügung, der nicht genutzt werden kann. Daher werden Solarheizsysteme üblicherweise mit einem zweiten Heizsystem, in der Regel mit Öl oder Gas, kombiniert.

Ein ideales Zusammenspiel Erneuerbarer Energieträger entsteht, wenn Erdwärme mit Solarenergie kombiniert wird. Bei einem solchen "geo-solarthermischen" System wird die Solaranlage in den Erdwärmekreis eingebunden. Im Winter entzieht die Wärmepumpe dem Untergrund über die Erdwärmesonden Energie zum Heizen des Gebäudes. Im Sommer erhält der Untergrund überschüssige Energie aus der Solaranlage. Dadurch steht im Winter im Boden mehr Energie zur Verfügung und der Anteil, den die Wärmepumpe leisten muss, sinkt. Sie braucht also weniger Strom für ihren Antrieb.

## 2. Ermitteln der Kennwerte eines Erdwärmesystems

Für die Auslegung einer Erdwärmeanlage zum Heizen eines Gebäudes werden die Energieverbrauchs- und Leistungsdaten benötigt. Bei großen Gebäuden muss dazu eine thermische Gebäudesimulation durchgeführt werden. Zur Auslegung von Ein- und Mehrfamilienhäusern reichen in der Regel die Daten aus dem Wärmeschutznachweis (EnEV) und der Wärmebedarfsberechnung aus. Ein typischer Heizenergieverlauf eines Einfamilienhauses ist in Abbildung 2.1 dargestellt.

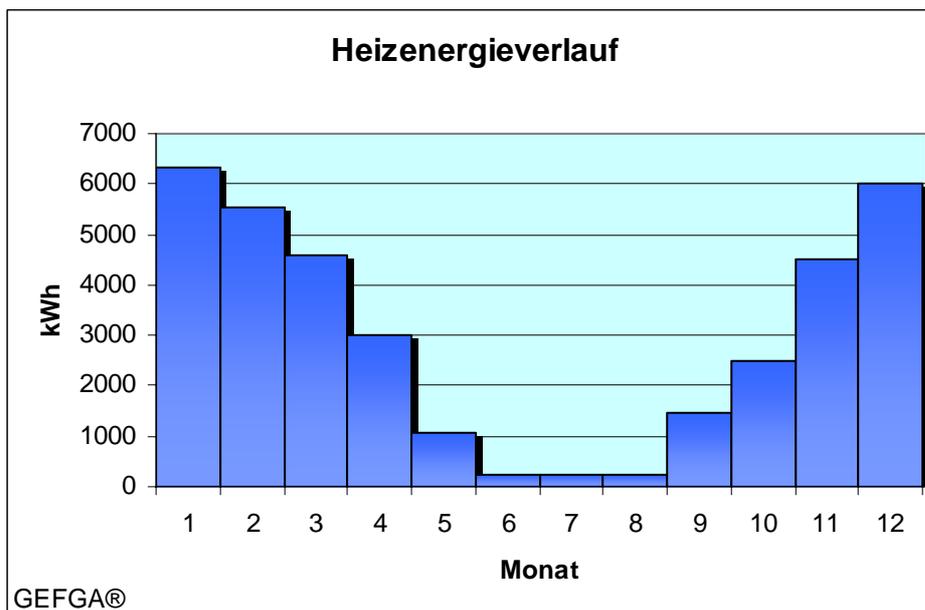


Abb. 2.1: Jahresheizenergieverlauf eines Einfamilienhauses

Mit den ermittelten Energie- und Leistungsdaten des Gebäudes wird das Erdwärmesystem ausgelegt. Nach der VDI 4640 (Thermische Nutzung des Untergrundes Erdgekoppelter Wärmepumpenanlagen) können dabei Anlagen bis zu 30 kW Heizleistung anhand von spezifischen Entzugsleistungen ausgelegt werden. Bei größeren Anlagen und Anlagen mit zusätzlichen Wärmequellen, zum Beispiel Kühlung, muss die korrekte Anlagenauslegung durch Berechnungen nachgewiesen werden. Dazu ist es in der Regel erforderlich, die sich aus dem Heizbedarf ergebenden Temperaturen im Jahresverlauf über den vorgesehenen Betriebszeitraum hinweg zu berechnen. Für diese Berechnungen stehen Programme, wie das EED (Earth Energy Designer) zur Verfügung.

Mit dem in Abb. 2.1 dargestellten Heizenergieverlauf wurde eine Musterauslegung nach VDI 4640 für eine Erdwärmesondenanlage durchgeführt. Um die Jahrestemperaturen einer Erdwärmesondenanlage darzustellen (Abb.: 2.2, 2.3), wurde die sich aus der VDI 4640 ergebene Erdwärmesonde mit den Heizenergiewerten mit dem EED Programm simuliert.

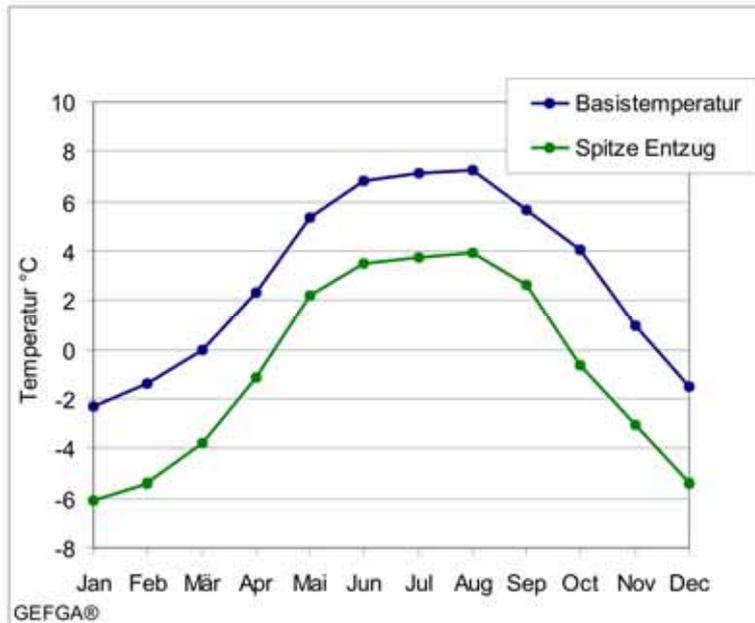


Abb. 2.2: Jahresverlauf der Solemitteltemperatur nach 25 Jahren Betriebszeit der Erdwärmeanlage

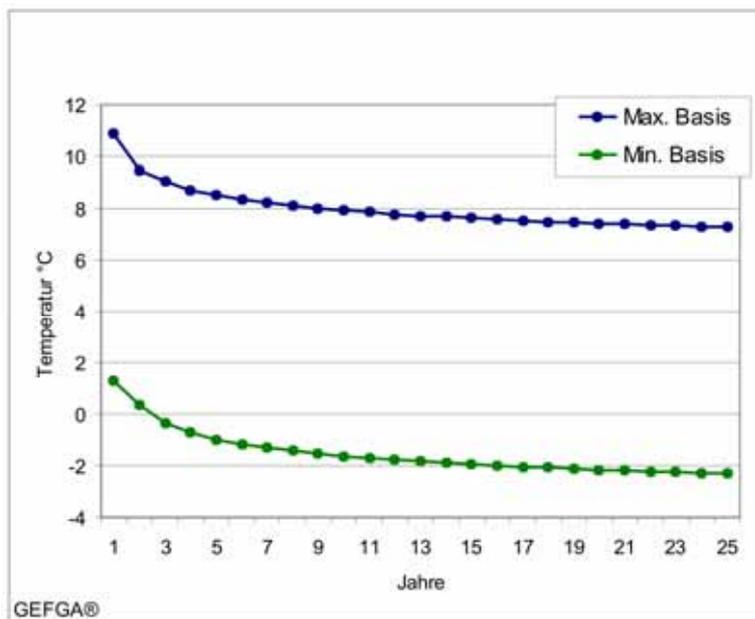


Abb. 2.3: Basistemperaturverlauf (Min. und Max.) über 25 Jahre Betriebszeit einer Erdwärmeanlage

In Abbildung 2.3 lässt sich erkennen, dass die Untergrundtemperaturen in den ersten Jahren deutlich fallen und nach etwa 10 Jahren konstant bleiben. Nach diesem Zeitraum hat sich eine entsprechend große Temperatursenke ausgebildet, so dass genügend Energie aus dem Untergrund zu den Erdwärmesonden nachströmen kann.

### 3. Effizienz einer Wärmepumpenanlage

Die Effizienz einer Wärmepumpenanlage ist abhängig vom Temperaturhub zwischen der Energiequelle und dem Versorgungssystem. In Abbildung 3.1 wurden typische Quellen- und Versorgungssysteme dargestellt. Je höher der Temperaturhub zwischen Quelle und Verbraucher, desto geringer die Effizienz einer Wärmepumpenanlage.

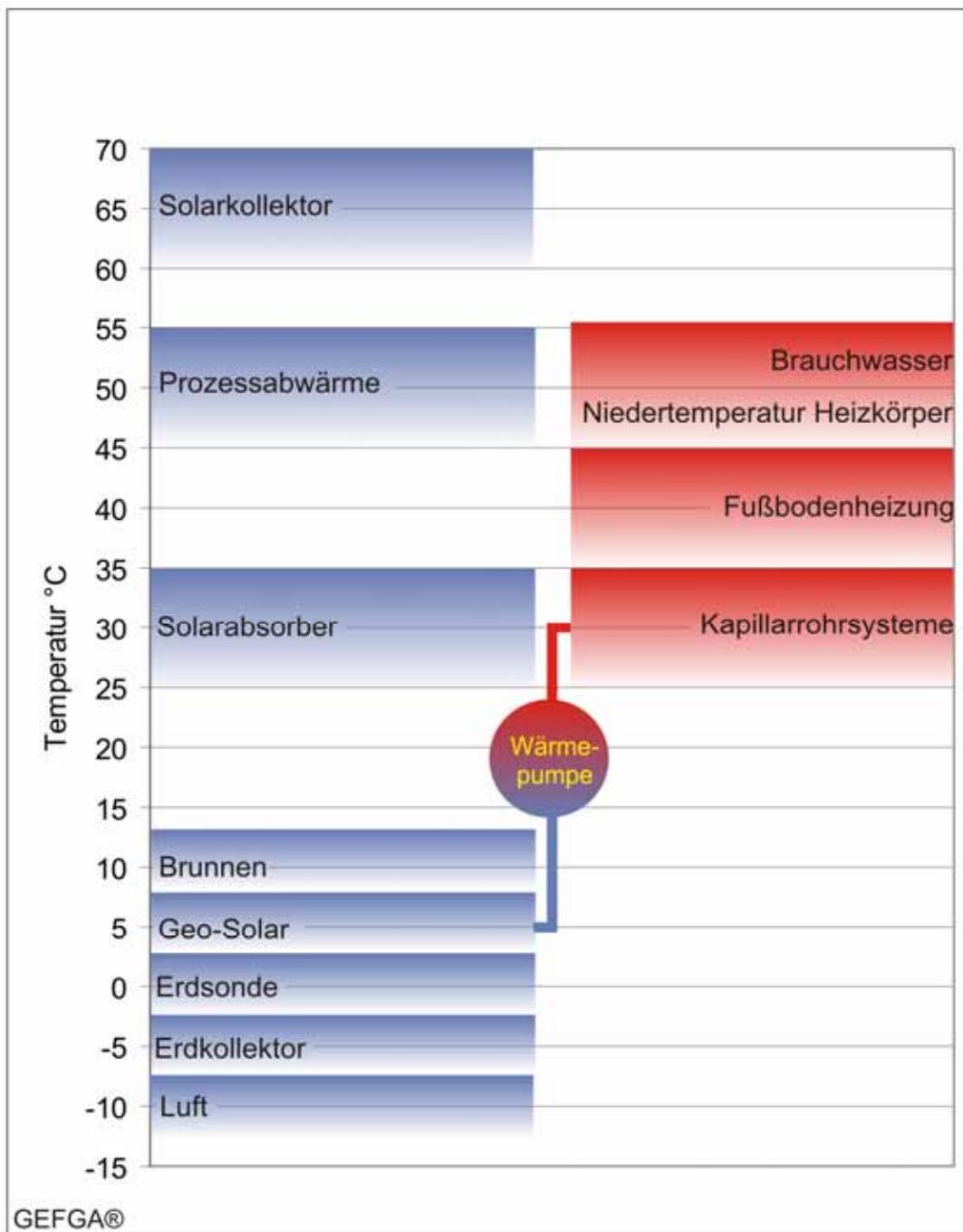


Abb. 3.1: Temperaturebenen von Energiequellen und Verbrauchern

Die Abhängigkeit zwischen Temperaturhub und Effizienz (Arbeitszahl) einer Wärmepumpenanlage ist in Abbildung 3.2 dargestellt. Für das Diagramm wurden Standard Sole/Wasser-Wärmepumpen mit einer Arbeitszahl von 4,4 bei Quelltemperatur 0°C und Verbrauchertemperatur von 35°C zu Grunde gelegt.

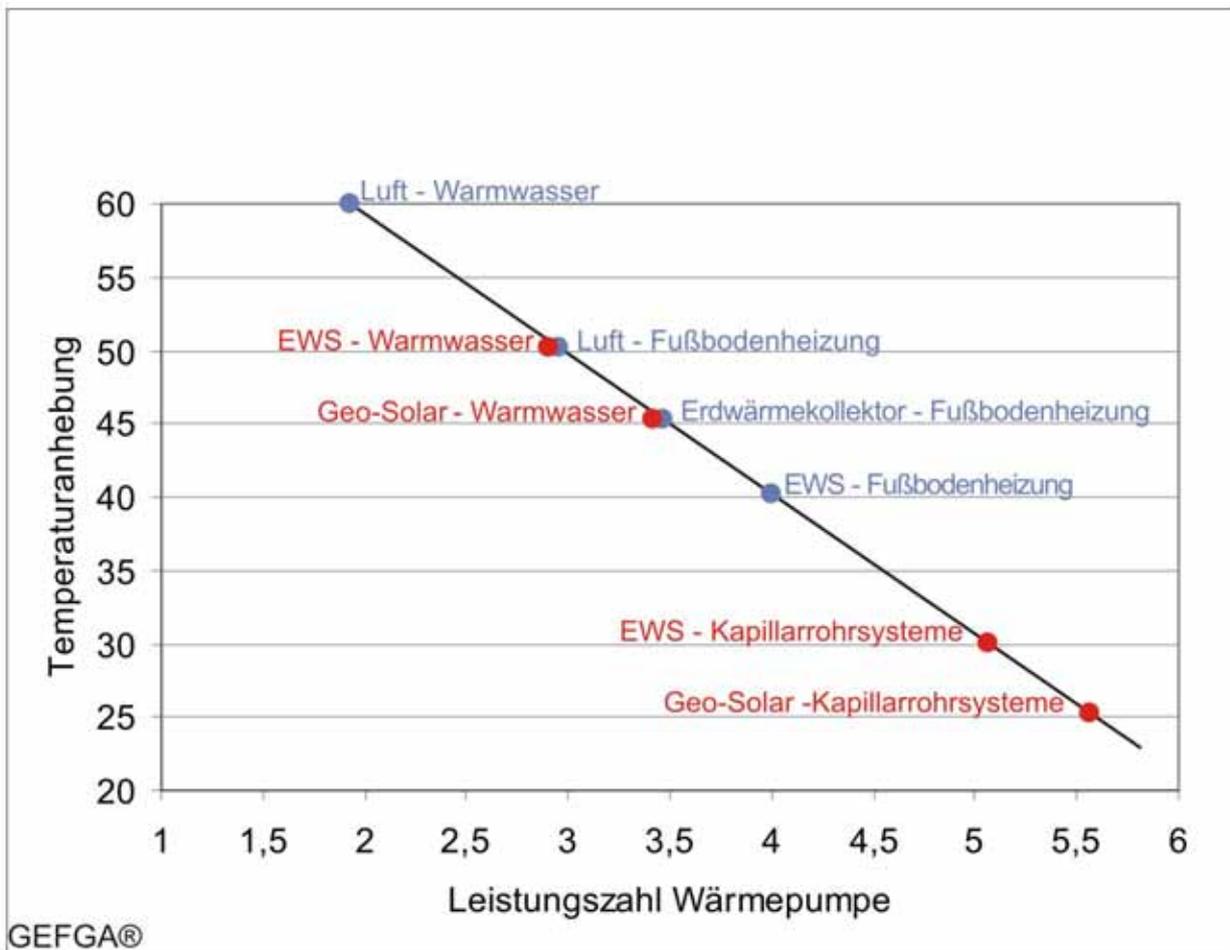


Abb. 3.2: Leistungszahl einer Wärmepumpe in Abhängigkeit des Temperaturhubs. In die Abbildung sind typische Kombinationen aus Quellen und Verbrauchersystemen eingetragen. EWS = Erdwärmesonde

Da mit geringer werden des Temperaturunterschieds zwischen Quellen und Verbraucherseite die Effizienz der Wärmepumpenanlage steigt, werden für Wärmepumpenanlagen möglichst hohe Quelltemperaturen am Standort eines Gebäudes aufgesucht. Die Luft bietet im Winter bei Werten um -12°C die geringste Quelltemperatur. Brunnenanlagen mit Durchschnittstemperaturen von 10°C bieten in der Regel die höchsten Quelltemperaturen. Brunnenanlagen sind standortbedingt in den meisten Fällen nicht ausführbar.

Zur Erhöhung der Quellentemperatur bietet es sich an, Abwärme, etwa aus der Kühlung eines Gebäudes, zur Regeneration in den Untergrund abzuführen. Diese Möglichkeit wird bei Großanlagen für Büro- und Verwaltungsgebäude häufig genutzt und führt zu besonders wirtschaftlichen Anlagensystemen.

Bei Ein- und Mehrfamilienhäusern liegt die sommerliche Kühllast in der Regel unter 15 % der Heizlast im Winter. Mit dem Einspeisen der Energie aus dem Gebäude im Sommer kann das Gebäude gekühlt werden. Die eingespeiste Energie reicht jedoch in der Regel nicht aus, den Untergrund nachhaltig zu regenerieren. Zur Regeneration müssen andere Energiequellen, wie Sonnenenergie, herangezogen werden. In Abbildung 3.3 wird die durchschnittliche Solarenergieeinstrahlung dargestellt.

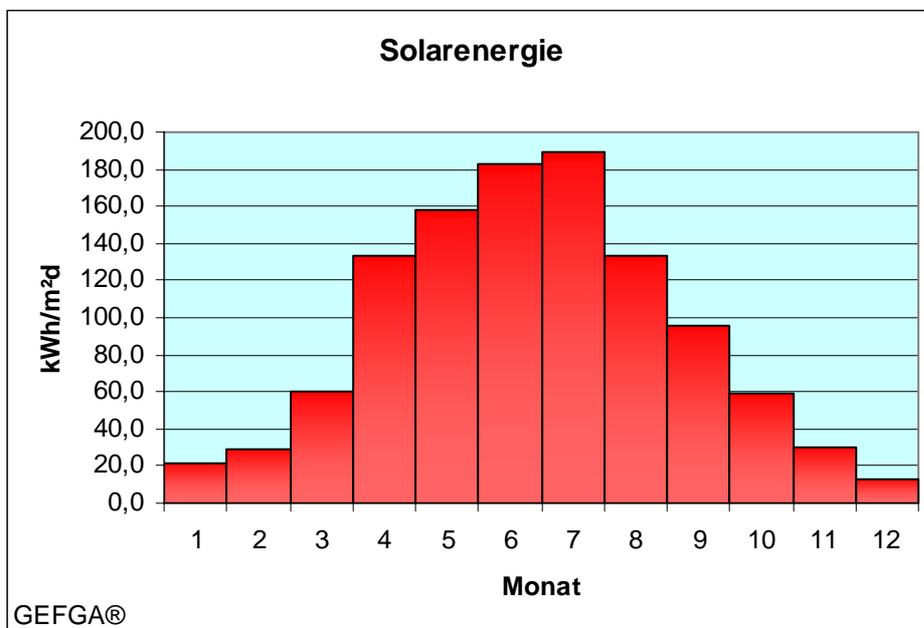


Abb. 3.3: Jahressolarenergie (Deutschland Mittelgebirge).

Im Winter, wenn der Heizbedarf am höchsten ist, ist der Solarenergieertrag am geringsten. Im Sommer, wenn der Heizbedarf gering ist erreicht der Solarertrag ein Maximum (Abb. 3.4).

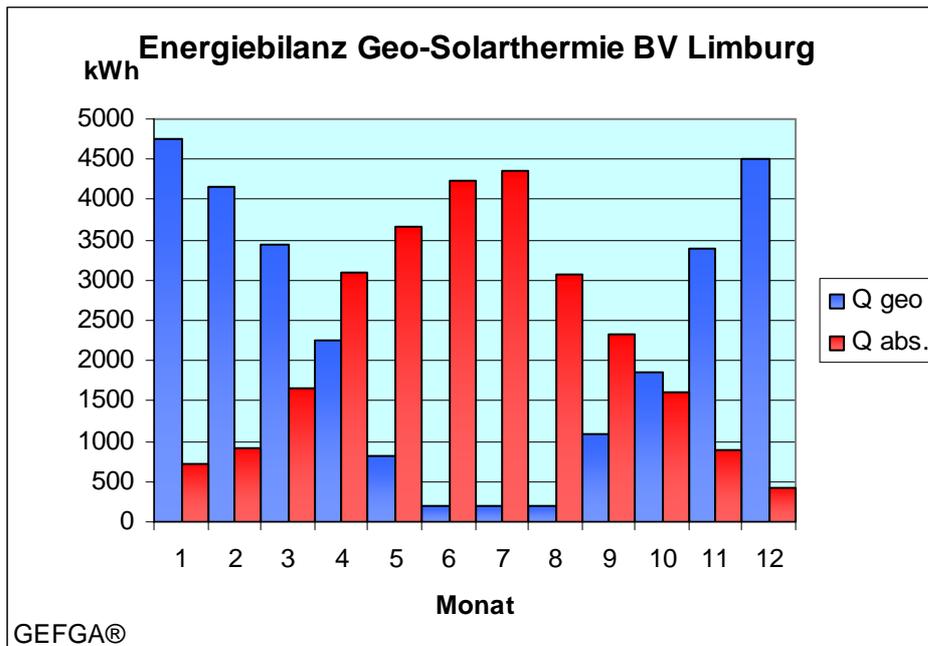


Abb. 3.4: Jahresenergiebilanz Heizen, Solarertrag bei einem Bauvorhaben in Limburg ( $Q_{geo}$  = Heizenergie  $Q_{abs}$  = Solarenergie).

Der Energieentzug aus dem Untergrund im Winter kann mit dem Solarenergie-Eintrag im Sommer kompensiert werden. Beim Energieentzug (Heizfall) wird eine Energie-senke aufgebaut, die mit Einlagerung von Solarenergie wieder gefüllt wird. Wird im Jahresmittel soviel Energie in den Untergrund zurückgeführt, wie ihm entnommen wird, verhält sich eine Erdwärmeanlage wie ein Speichersystem. Solange kein Energie-überschuss in den Untergrund eingelagert wird, entstehen auch keine Speicher-verluste. Die unter Abb. 2.2 und 2.3 dargestellte Erdwärmeanlage wurde nach einem Solareintrag über Solarabsorber neu berechnet. In Abbildung 3.5 und 3.6 lässt sich die Veränderung erkennen.

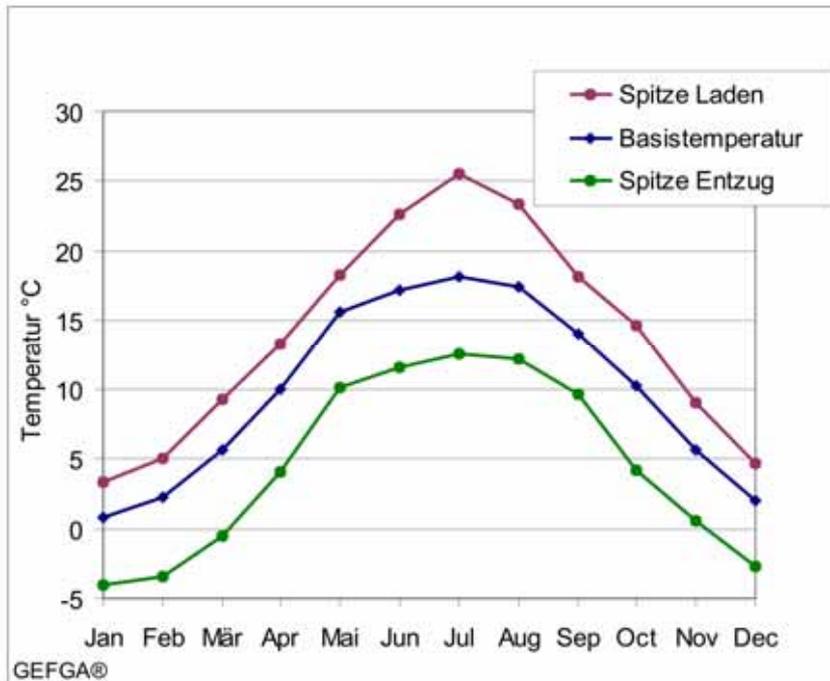


Abb. 3.5: Jahresverlauf der Solemitteltemperatur nach 25 Jahren Betriebszeit der Geo-Solar-Erdwärmeanlage

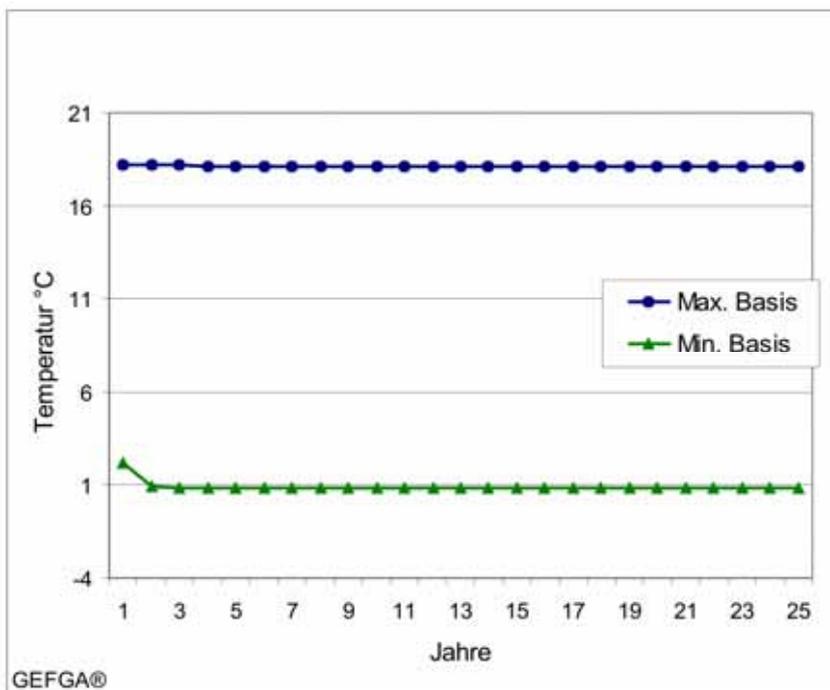


Abb. 3.6: Basistemperaturverlauf (Min. und Max.) über 25 Jahre einer Geo-Solar-Erdwärmeanlage

Aus Abbildung 3.6 ist zu erkennen, dass sich die Max. – Min.-Temperaturen nach einem Jahr nicht mehr verändern und die Basistemperaturen deutlich über den Temperaturen der Abbildungen 2.2 und 2.3 liegen. In der nachfolgenden Abbildung 3.7 wurden die Basistemperaturdifferenzen der Erdwärmesondenanlage ohne Rege-  
neration und mit Solarregeneration gebildet.

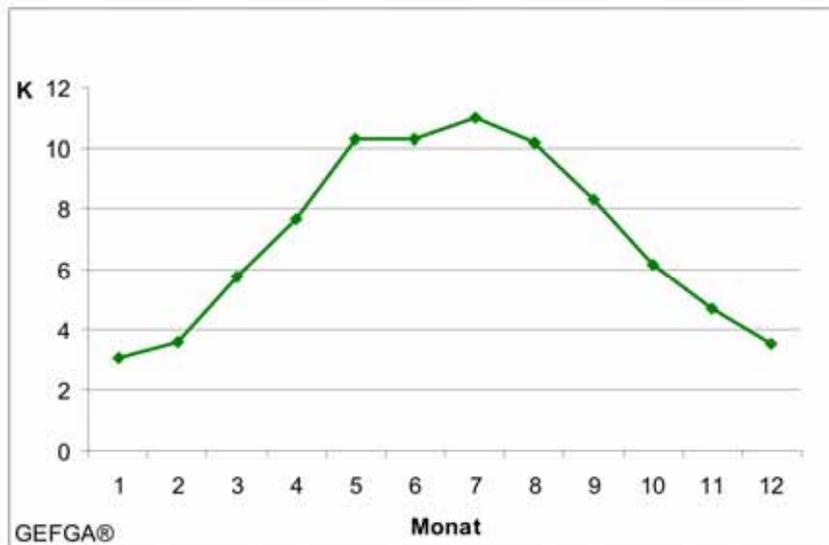


Abb. 3.7: Basistemperaturdifferenz zwischen den Min.-Werten einer Erdwärmesondenanlage und einer Geo-Solar-Erdwärmeanlage

Als gemittelter Wert ergibt sich eine Quelltemperaturerhöhung von über 6 Kelvin im Jahresdurchschnitt und damit eine erhebliche Effizienzsteigerung der Wärmepumpenanlage.

Auch auf der Verbraucherseite lässt sich mit geeigneten Heizflächensystemen eine Optimierung der Temperaturebene erzielen. Um Vorlauftemperaturen unter 30°C zu realisieren, können moderne Kapillarrohrsysteme als Wand-, Decken- oder Fußbodensysteme eingesetzt werden. Kapillarrohrmodule können oberflächennah zum Heizen und Kühlen direkt unter den Wandputz oder auf den Estrich unter einen Fliesen- oder Steinbelag eingebracht werden. Damit kann die Verbrauchertemperatur ebenfalls um 6 Kelvin gegenüber einer Anlagenauslegung mit einer Vorlauftemperatur von 35°C gesenkt werden.

#### 4. Aufbau einer Geo-Solaranlage

Der prinzipielle Aufbau einer Geo-Solaranlage ist in Abbildung 4.1 dargestellt. Die Hauptkomponenten bilden das Erdwärmesystem aus Erdwärmesonden oder Erdwärmekollektoren, einer Wärmepumpe mit den hydraulischen Einrichtungen als Wärmepumpenmodul, einem Solarabsorbersystem, einem Flächenheizsystem mit möglichst geringen Vorlauftemperaturen und einem Hydraulikmodul zur hydraulischen Umschaltung des Erdwärme-Solarabsorberkreises mit entsprechender Regelung.

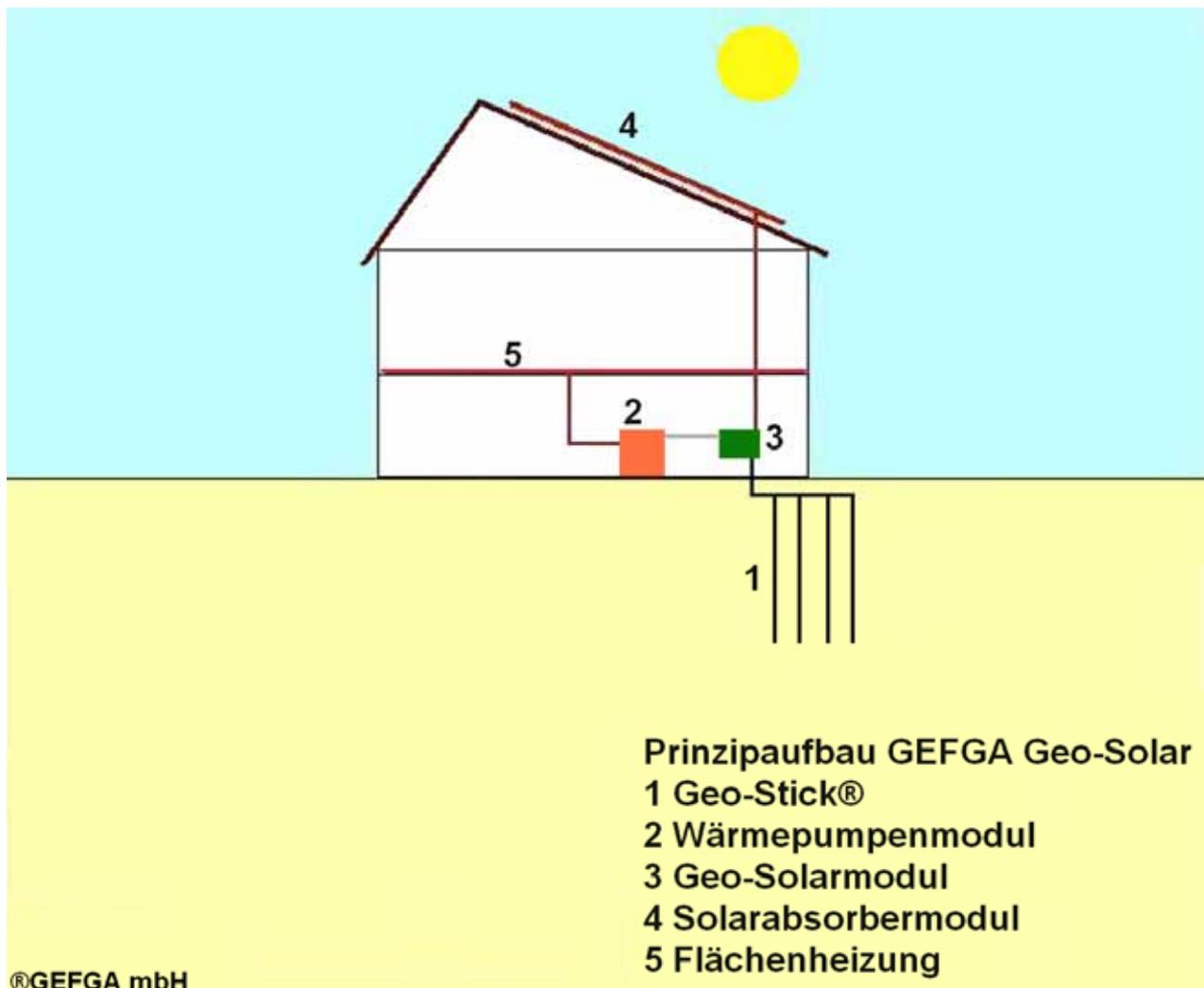


Abb. 4.1: Aufbau einer Geo-Solaranlage

## 5. Pilotprojekt in Limburg

Im Rahmen eines Forschungsprojekts der BDU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt) ist in Limburg an der Lahn eine Pilotanlage entstanden. Die Firma GEFGA, Gesellschaft zur Entwicklung und Förderung von Geothermen Anlagen mbH, in Limburg an der Lahn hat mit der Firma Rheinzink aus Datteln, Produzent von Zinkdach- und Solarabsorbersystemen (QUICK STEPP), und dem Bauherrn ein Gesamtkonzept entwickelt und ausgeführt. Das Institut für Solarenergieforschung GmbH in Hameln wird die Anlage während der normalen Gebäudenutzung über zwei Jahre messtechnisch erfassen und auswerten. Dabei werden sämtliche Energiemengen und Temperaturen der Solarabsorber, Erdwärmesonden und der Verbraucher erfasst und zur Auswertung gespeichert. Die Energie- und Leistungswerte wurden mit einer thermischen Gebäudesimulationsberechnung (mh-Software) ermittelt, die Erdwärmesonden mit dem EED Programm ausgelegt, der Solarenergieertrag mit T\*SOL berechnet. Die Anlage des Gebäudes wurde im September 2006 in Betrieb genommen. Aus den Messdaten und den Auswertungen sind Erkenntnisse im dynamischen Zusammenspiel von Erdwärmespeicher, Solarabsorber und Gebäude zu erwarten. Daraus können Rechenverfahren zur Auslegung von Geo-Solarthermie-Anlagen entwickelt werden.

Bei dem Gebäude handelt es sich um ein Einfamilienhaus mit folgenden Eckdaten:

Wohnfläche:	300 m <sup>2</sup>
Wärmebedarf:	15 kW
Heizenergie:	35.750 kWh incl. Warmwasser ohne Schwimmbad
Wärmepumpenfabrikat:	Öko Energy Systems, Typ: Cora 14 TMS, reversibel
Solarabsorber:	44m <sup>2</sup> QuickStep; Rheinzink
Dachform:	Pulldach, Ausrichtung nach Süd-Ost
Erdwärmesonden:	14 GeoSticks á 17,5 m; GEFGA mbH
Warmwasserspeicher:	400 l
Heizflächen:	300 m <sup>2</sup> Wand, Decke und Fußboden als Kapillarrohr
Heiztemperatur:	VL-RL gleitend, 30 - 26°C bei -12°C Außentemperatur
Swimmingpool:	Länge, Breite Tiefe 7,5 x 4,0 x 1,5 = 45 m <sup>3</sup>

Je nach Anforderungen des Gebäudes schaltet die Wärmepumpe ein: bei Sollwertunterschreitung der Raumtemperatur, der Vorlauftemperatur des Flächenheiz- und Kühlsystems, der Warmwassertemperatur oder der Temperatur des Schwimmbades. Die Versorgung der Wärmepumpe mit Energie erfolgt über den Solekreis der Erdwärmesonden. Wird am Solarabsorberausgang eine höhere Temperatur als am Ausgang des Erdwärmesondenfeldes gemessen, schaltet ein Dreiwegeventil den Solarabsorberkreis dem Erdwärmekreis hydraulisch zu und die Solarladepumpe wird eingeschaltet.



## 6. Fazit

Durch Kopplung von Geothermie und Solarthermie können Sole-Wasser-Wärmepumpensysteme erheblich in ihrer Arbeitszahl verbessert werden. In Zusammenhang mit modernen Niedrigtemperatursystemen (Kapillarrohrsysteme) kann der Temperaturhub von Quelle zu Verbrauchseite um bis zu 15 Kelvin reduziert werden. Die sich durch Reduzierung des Stromverbrauchs der Wärmepumpe ergebenden Energieeinsparungen liegen über 30 % gegenüber einer Erdwärmesondenanlage ohne solare Regeneration. Die Kosten einer Geo-Solaranlage liegen einwenig höher, als die einer konventionellen Erdwärmesondenanlage. Die Mehrkosten des Systems amortisieren sich durch die höheren Einsparungen in der gleichen Zeit wie eine Erdwärmesondenanlage gegenüber einem konventionellen Heizungssystem mit Öl oder Gas.