

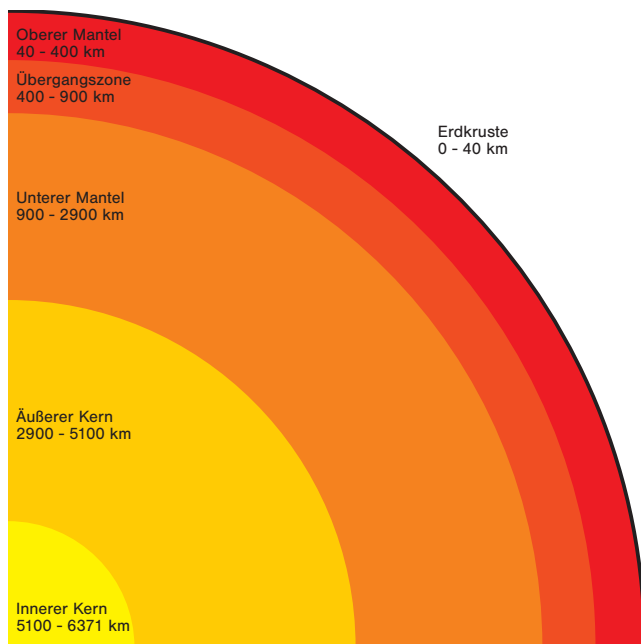
# Geothermie

## Ausweg aus der Klimafalle?

Die mittlerweile immer offensichtlicheren Auswirkungen der globalen Klimaerwärmung lösten einen Umdenkprozess im Umgang mit fossilen Energieträgern aus. Dadurch steigt auch die Nachfrage nach regenerativen Energiequellen für Gebäudeheizungen. Steigende Preise für Erdöl und Erdgas beschleunigen diesen Trend zusätzlich.

Die im Winter 2006/2007 sprunghaft angestiegenen Preise für Brennholz, Hackschnitzel und Holzpellets zeigten, obwohl sie sich mittlerweile wieder normalisierten, dass auch die Kosten für alternative Brennstoffe aus marktwirtschaftlichen Gründen nicht vollständig vom Ölpreis abgekoppelt sind. Immer häufiger wird deshalb für die Heizung auf Erdwärme zurückgegriffen.

### Der Ursprung der Erdwärme



#### Aufbau der Erde

Das Erdinnere bildet mit Temperaturen von weit über 4000 °C für aus menschlicher Sicht, unabsehbare Zeiträume eine unerschöpfliche Energiequelle. Die Energie stammt zum Teil aus der Restwärme, aus der Zeit der Erdentstehung. Radioaktiven Zerfallsprozessen im Erdinneren ähnlich einem gigantischen Kernkraftwerk, aus der Kristallisationswärme des flüssigen Erdkernmaterials, dass sich am festen inneren Erdkern anlagert.

Diese Energie treibt einen kontinuierlichen Wärmestrom aus dem Erdinneren an die Erdoberfläche an, der an der Erdoberfläche aufgrund der relativ geringen Wärmeleitfähigkeit der Gesteine im Mittel nur etwa 63 mW/m<sup>2</sup> beträgt und überwiegend ungenutzt in den Weltraum abgestrahlt wird. Die Erde hat eine Oberfläche von 510 Mio. km<sup>2</sup>. Die abgestrahlte Energie aus dem Erdinneren würde somit selbst bei der technisch nicht möglichen vollständigen Nutzung nur etwa 2,4 % des Weltenergiebedarfs von derzeit etwa 13,5 Terrawatt decken.

Die Geothermie macht sich deshalb die in den Gesteinen der Erdkruste gespeicherte Wärmeenergie zu Nutze.

### Tiefengeothermie

Dazu wird aus einer Förderbohrung Grundwasser entnommen und über eine zweite Bohrung, der Injektionsbohrung wieder dem Untergrund zugeführt, um die hydraulische Beeinflussung des Tiefengrundwassers möglichst gering zu halten. Pro 100 m Tiefe nimmt die Temperatur in der Erdkruste durch den sogenannten geothermischen Gradienten um durchschnittlich 3 °C zu. Die spezifische Wärmekapazität der in der oberflächennahen Erdkruste typischerweise vorkommenden Gesteine liegt nach VDI 4640 zwischen 1,4 und 3,4. Bei einem Wert von 2,4 MJ/(m<sup>3</sup> K) können somit bei einer Abkühlung von 1 m<sup>3</sup> Gestein um 1 °C etwa 0,7 kWh entnommen werden.

Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit der Gesteine wird die entnommene Energie sehr viel langsamer wieder nachgeliefert, als sie entnommen wird, was langfristig zu einer Abkühlung der geothermisch genutzten Gesteinschichten führt. Erfahrungen dazu liegen noch nicht vor, nach numerischen Simulationen (Wenderoth et al. 2005) muss jedoch nach einer Nutzung der Geothermiebohrung bis zur abkühlungsbedingten Unwirtschaftlichkeit mit einer Wiedererwärmungsdauer von 1000 Jahren oder mehr gerechnet werden. Es handelt sich deshalb nur bedingt um eine regenerative Energiequelle.

In Bayern liegen die bedeutendsten Vorkommen von geothermaler Tiefenwärme im Süddeutschen Molassebecken. Der geothermische Gradient ist hier kaum überdurchschnittlich. Allerdings liegt hier unterhalb der Schichten des Tertiär und der Kreide in den verkarsteten Schichten des Malm ein ergiebiger Tiefengrundwasserleiter vor, der die geothermale Nutzung begünstigt.

## Oberflächennahe Geothermie

Gänzlich anders gelagert als in der Tiefengeothermie ist die Situation bei der oberflächennahen Geothermie. Hier wird die Erdwärme aus üblicherweise maximal 100 m Tiefe gewonnen. Während in Tiefen zwischen 0 und 15 m noch saisonale Temperaturschwankungen messbar sind, liegt die Bodentemperatur zwischen 15 und 100 m Tiefe in der Größe der an der Erdoberfläche herrschenden atmosphärischen Jahresmitteltemperatur, die in Deutschland meist zwischen 8 und 12 °C liegt. Zwar reicht auch bei der oberflächennahen Geothermie der Wärmestrom aus dem Erdinneren nur für den Ausgleich eines kleinen Teils der entnommenen Energie aus. Allerdings wird die Energie hier von der Erdoberfläche nachgeliefert (Huber & Pahud 1999), was vor allem auf die Sonneneinstrahlung zurückzuführen ist, die in Deutschland mit etwa 100 W/m<sup>2</sup> in den geothermischen Wärmestrom um ein Vielfaches übersteigt. Somit bedient man sich in der oberflächennahen Geothermie genau genommen eines saisonalen Wärmespeichers und entnimmt im Winter gespeicherte Sommerwärme.

Da die oberflächennahen Gesteinstemperaturen für eine direkte Heiznutzung zu niedrig sind, erfordert die Erdwärmennutzung den Einsatz einer Wärmepumpe, die die verfügbaren Temperaturen unter Verwendung von elektrischer Energie über einen Verdampfer auf die im Heizkreislauf benötigte Temperatur anhebt (umgekehrtes Kühltankprinzip).

Je höher die Temperaturdifferenz zwischen dem Untergrund und der Heizkreistemperatur ist, desto mehr Strom wird verbraucht. Deshalb arbeitet eine optimale Erdwärme-

heizung mit niedrigen Heizkreistemperaturen zwischen 30 und 35 °C. Damit können Jahresarbeitszahlen von 4 bis 5 erreicht werden. Das heißt, dass 20 bis 25 % der erzeugten Heizleistung aus dem verbrauchten Strom stammen. Die übrigen 75 bis 80 % werden ohne weitere Kosten und ohne Umweltbelastung aus dem Untergrund entnommen.

Da bei der Stromproduktion nur ein Wirkungsgrad von etwa 35 % erreicht wird, werden in der gesamten Energiebilanz der oberflächennahen Erdwärmennutzung etwa 75 % der in die Heizung eingespeisten Energie zusätzlich zur Erdwärme aus anderen Primärenergiequellen benötigt (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz 2005). Trotzdem werden im Vergleich zur herkömmlichen Ölheizung etwa 30 bis 45 % an Primärenergie gespart. Da die Stromproduktion nur zum Teil aus fossilen Energieträgern erfolgt, wird bei der in Deutschland üblichen Stromproduktion gegenüber der Ölheizung sogar 45 bis 55 % an Kohlendioxid eingespart. Eine kohlendioxidfreie Heizung ist bei der oberflächennahen Geothermie jedoch nur bei kohlendioxidfreier Stromproduktion möglich.

Als Energiequellen in der oberflächennahen Geothermie kommen unterirdische Wärmetauscher oder die direkte Grundwassernutzung in Frage.

Die Erdwärmetauscher können als Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren oder erdberührten Betonbauteilen konzipiert werden. In ihnen zirkuliert eine Sole, die die Energie vom Wärmetauscher im Untergrund zur Wärmepumpe im Gebäude transportiert.

Erdwärmesonden werden in Deutschland überwiegend in Tiefen bis zu 99 m gebohrt. Bei größeren Tiefen ist



**FÜR BAU UND BODEN**

Mettener Straße 33 · 94469 Deggendorf  
Tel.: 0991 37015-0 · Fax: 0991 33918  
[www.eigenschenk.de](http://www.eigenschenk.de)

INGENIEURLEISTUNGEN  
FORSCHUNG  
BERATUNG

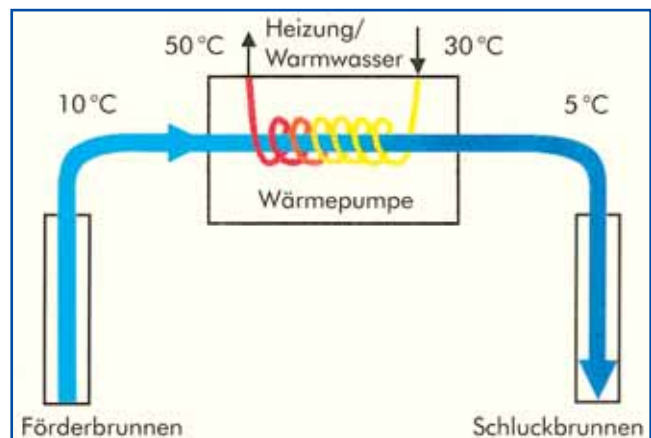
**EIGENSCHENK** 

eine Genehmigung nach Bergrecht erforderlich. Sie sind wegen ihres relativ geringen Flächenbedarfs und der geringen Anforderungen an den Untergrund nahezu überall sowohl für Neubauten als auch für bestehende Gebäude einsetzbar. Pro Meter Sondenlänge kann abhängig von den geologischen Standortverhältnissen eine Entzugsleistung zwischen 20 und 80 W/Sondenmeter angesetzt werden (VDI 4640). Bei kleineren Grundstücken muss damit gerechnet werden, dass die Wärmeentnahme und damit die Abkühlung des Untergrundes über die Grundstücksgrenzen hinausgeht. Ein Betrieb mehrerer nahe beieinander liegender Erdwärmesondenanlagen ist jedoch trotzdem problemlos möglich (Huber & Pahud 1999). Allerdings stellt sich dann langfristig eine geringere Untergrundtemperatur ein. Dadurch ist zum Einen ein frostsicheres Wärmetauschermedium unerlässlich, zum Anderen muss aufgrund der höheren Temperaturdifferenz zwischen Untergrund und Heiztemperatur mit etwas geringeren Jahresarbeitszahlen und damit mit höherem Stromverbrauch als bei optimalen Bedingungen gerechnet werden. Um Planungssicherheit zu schaffen, empfiehlt sich im Vorfeld die Simulation des Langzeitverhaltens des Erdwärmesondensystems.

Erdwärmekollektoren können bei einem Neubau mit ausreichend vorhandener Freifläche von etwa 1,5 bis 2 mal der zu beheizenden Wohnfläche relativ kostengünstig errichtet werden. Da sich die winterliche Abkühlung der Erdoberfläche bis etwa 2 m unter der Geländeoberfläche deutlich auswirkt, arbeiten die meisten dieser Anlagen jedoch in einem etwas ungünstigeren Temperaturbereich.

Erdberührte Betonbauteile z.B. von Tiefgründungen können bereits während der Bauphase kostengünstig mit Wärmetauschern ausgestattet werden. Sie bilden damit eine interessante Alternative zu den Erdwärmesonden. Schäden an den Gründungsbauwerken, wie sie z.B. durch Frost infolge zu starker Abkühlung der Wärmetauscher auftreten können müssen durch eine fachgerechte Planung und Auslegung des Systems ausgeschlossen werden.

Bei ausreichender Verfügbarkeit von Grundwasser bietet die direkte thermische Nutzung des Grundwassers über eine Grundwasserwärmepumpe eine interessante Alternative. Da der konvektive Wärmetransport über das Grundwasser wesentlich mehr Wärme transportiert als der rein konduktive Wärmetransport im trockenen Untergrund, steht hier bei ausreichender Grundwasserergiebigkeit für die geothermische Nutzung nahezu unbegrenzt Energie zur Verfügung. Eine Grundwasserförderleistung von 1 l/s, die in grundwasserdurchströmten Kiesen üblicherweise problemlos erreicht wird, reicht beispielsweise für den Betrieb einer 14 kW Wärmepumpe.



Prinzipische Skizze der geothermischen Grundwassernutzung

Ein zusätzlicher Vorteil der oberflächennahen Geothermieanlagen ist, dass sie im Sommer auch zur Gebäudekühlung verwendet werden können. Ein Aspekt, der angesichts der drohenden Klimaerwärmung immer mehr zum Tragen kommt. Für die Wärmetauschersysteme hat die sommerliche Kühlnutzung den zusätzlichen Vorteil, dass ein Teil der im Winter entnommenen Energie wieder zurückgeführt wird, was die sommerliche Erholung des abgekühlten Untergrundes beschleunigt, und damit den Wirkungsgrad für die nächste Winterheizperiode verbessert.

## Fazit

Obwohl die in der gesamten Erde gespeicherte Energie unseren derzeitigen Weltenergiebedarf theoretisch für ca. 30 Millionen Jahre decken könnte, sind wir mit unseren derzeitigen technischen Möglichkeiten in der Lage, nur die Energie der Erdkruste bis in maximal 10 km Tiefe zu erreichen. Diese Tiefe ist so gering, dass Sie in Abb. 1 bestenfalls Haaresbreite hätte. Derzeit ist die tiefe Geothermie deshalb nur an bestimmten geeigneten Standorten wirtschaftlich nutzbar.

Die oberflächennahe Geothermie ist nahezu überall nutzbar, bedingt jedoch über die Stromzufuhr zur Wärmepumpe auch den Verbrauch eines bei der derzeitigen Stromproduktion erheblichen Anteils von konventioneller Energie.

Sowohl die oberflächennahe Geothermie, als auch die tiefe Geothermie können einen wichtigen Beitrag zur Schonung unserer Energiereserven und zur Verringerung der Kohlendioxidemissionen leisten. Die Geothermie ist jedoch in ihrer heutigen Nutzung nicht geeignet, die globalen Energieprobleme im Alleingang zu lösen.

Dr. Christoph Barth & Eduard Eigenschenk  
IFB Eigenschenk GmbH

## Literatur

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (2005): Oberflächennahe Geothermie – Heizen und Kühlen mit Energie aus dem Untergrund, München, 20 S.

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (2004): Bayerischer Geothermieatlas, München.

Huber, A. & Pahud, D. (1999): Untiefe Geothermie: Woher kommt die Energie? 17 S., Schlußbericht BfE Projekt.-Nr. 33'206, Zürich/Lausanne.

VDI 4640 (2001): Thermische Nutzung des Untergrundes, Düsseldorf.

Wenderoth F., T. Fritzer, M. Gropius, B. Huber & A. Schubert (2005): Numerische 3D-Modellierung eines geohydrothermalen Dublettenbetriebs im Malmkarst. Geothermische Energie 48, 12. Jahrgang/Heft 4/5, August-Oktober 2005.