

## **1 Einleitung**

In dieser Facharbeit habe ich mich mit dem Thema Geothermie beschäftigt. Ich habe dieses Thema gewählt, da es zurzeit eine hohe Aktualität hat. Das Thema Klimaschutz und regenerative Energiequellen sind unumgänglich in der heutigen Zeit.

Ich habe mich aber auf das Thema der Oberflächengeothermie beschränkt. Zum einen, kann ich so zeigen, was jeder einzelne zum „Klimaschutz“ beitragen kann oder könnte und zum Anderen hat dieses Thema am meisten meine Neugierde geweckt.

Zuerst gebe ich in meiner Arbeit, in Kapitel 1, einen Überblick über die allgemeine Geothermie. Ihren Ursprung und wofür man sie nutzen kann.

In Kapitel 2 gehe ich auf die physikalischen Grundlagen der Geothermie ein. Das heißt die Wärmelehre und deren 1. und 2. Hauptsätze.

In Kapitel 3 wird die Wärmepumpenheizung dargestellt und erklärt. Die Voraussetzungen zum Bau, die Technik, die hinter all dem steckt, sowie die Effektivität und Leistung einer solchen Anlage.

Jedoch ist es recht schwierig dieses Thema durch praktische Versuche zu stützen, weshalb das ganze recht anspruchsvoll ist.

## 2 Geothermie

### 2.1 Definition

„Geothermische Energie ist die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der festen Oberfläche der Erde, [...]“ (Definition nach VDI 1998, URL: <http://www.geothermie-zentrum.de/geothermie.html> )

Das Wort Geothermie setzt sich aus zwei aus dem griechischen stammenden Wörtern zusammen. Zum einen aus dem Wort „geo“, was „Erde“ bedeutet und aus dem Wort „therme“. Es bedeutet Wärme.

Aus diesem Grund wird die Geothermie in Deutschland auch des Öfteren vereinfacht nur Erdwärme genannt.

Die Wärme der Erde beträgt zum Beispiel nach Schätzungen im Kern ca. 4800°C – 6000°C. Im Äußeren Kern und im Erdmantel liegt die Temperatur immer noch über 1000°C. Sogar die Temperatur in der Erdkruste beträgt noch über 100°C. Knapp unterhalb der Erdoberfläche liegt die Temperatur bei ungefähr 10 °C. Jedoch steigt sie nach dem normalen geothermischen Tiefengradient alle 100 m stetig um 3°C (jedoch ist dieser Wert in sogenannten Wärmeanomalien wesentlich höher).

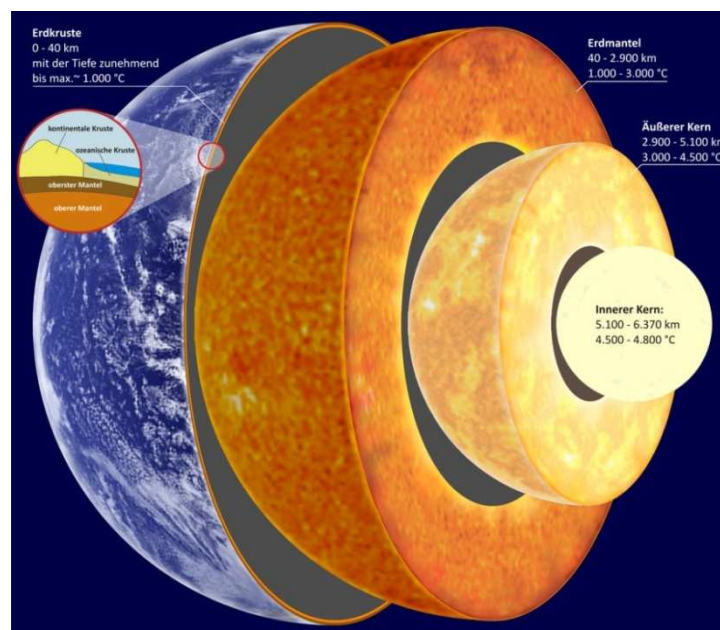


Abbildung 1: Abbildung der Erdschichten

## **2.2 Ursprung**

Diese hohen Temperaturen im Erdinneren sind aus verschiedenen Quellen entstanden. Von denen einige immer noch Wärmeenergie erzeugen. Trotzdem ist die Wärmeenergie der Erde keine regenerative Form der Energie, da sie sich nicht im vollen Umfang erneuern kann. Jedoch wird sie noch etliche Millionen Jahre nutzbar sein.

### **2.2.1 Restwärme**

Unter Restwärme versteht man die Energie, die von der Entstehung der Erde übrig geblieben ist. Es handelt sich hierbei um umgewandelte kinetische Energie. Diese entstand als vor ungefähr 5 Milliarden Jahren Materie angelagert wurde, da das Gestein eine geringe Wärmeleitfähigkeit(s. Kapitel 3.2.1 Bodenbeschaffenheit) hat, ist sie in Teilen immer noch vorhanden.

Die Restwärme hat einen Anteil von circa 30% an der gesamten Wärmeenergie der Erde.

### **2.2.2 radioaktiver Zerfall von Isotopen**

Auch beim Zerfall von Isotopen entsteht Wärmeenergie. Diese wird im Gestein gespeichert und entsteht kontinuierlich. Die häufigsten Isotopen, die dafür genutzt werden, sind die Isotopen Kalium 40, Uran 235, Uran 238 und Thorium 232.

Diese Quelle der Wärmeenergie macht 70% des Gesamtwärmepotentials aus.

### **2.2.3 eingestrahlte Sonnenenergie**

Auch die durch die Sonneneinstrahlung verursachte Wärmeenergie wird von der Erde aufgenommen und im Gestein gespeichert, Jedoch gilt das nur für die oberste Schicht der Erde. Daher ist diese Schicht der Erde sehr Jahreszeitenabhängig, da im Winter die Sonne nicht so intensiv scheint, wie im Frühling oder Sommer. Erst ab einer Tiefe von ungefähr 15 m liegt die Temperatur konstant bei 10°C und ist somit nicht mehr Saisonabhängig.

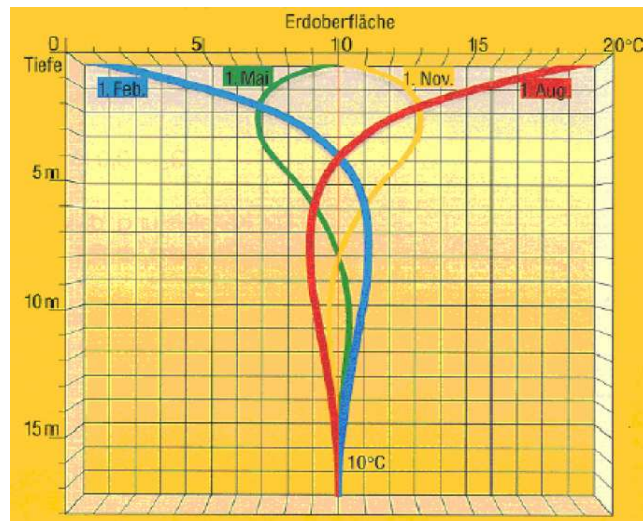


Abbildung 2 :Diagramm der obersten Schicht der Erde

### 2.2.4 Wärmestrom aus dem Erdinneren

Die letzte Quelle der Erdwärme ist der Wärmestrom aus dem Erdinneren. Wie der Name schon erklärt, wird Wärme aus dem Erdinneren in die äußeren Schichten der Erde geleitet. Dies geschieht durch die Konduktion, die Konvektion und die Wärmestrahlung. Wegen der geringen Wärmestromdichte ( $0.063 \text{ Watt/m}^2$ ) ist diese Quelle aber fast zu vernachlässigen, da sie kaum Wärmeenergie in die äußersten Schichten leitet.

### 2.3 Nutzung

Um die Wärmeenergie direkt zu nutzen, wird auf die Oberflächengeothermie zugegriffen. Diese beschreibt das Wärmevorkommen in den oberflächennahen Teilen des Erdinneren. Also die Schichten bis zu 400 m Tiefe. Alles was tiefer liegt wird als Tiefengeothermie bezeichnet. Diese wird jedoch meistens zur Strom- und nicht zur direkten Wärmeerzeugung genutzt.

Jedoch liegt die Temperatur in den Tiefen bis zu 400 m nur bei  $8\text{-}12^\circ\text{C}$ . Zum Heizen wird aber eine Temperatur von mind.  $35\text{-}55^\circ\text{C}$  benötigt. Um dieses Niveau zu erreichen werden Wärmepumpen eingesetzt. Diese erschließen die Energie des Erdwärmepotentials durch Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden,

Grundwasserbrunnen, oder erdberührten Betonbauteilen. (Im weiteren Verlauf werde ich mich jedoch auf die Erdwärmesonden konzentrieren.)

Wenn die Temperatur in das erhöhte Niveau umgewandelt wurde (d.h. auf eine Temperatur von mind.35°C) kann diese von der Wärmepumpenheizung zum heizen gebraucht werden(äheres zu diesem Vorgang in Kapitel 3 „Wärmepumpenheizung“).

### **3. physikalische Grundlagen**

#### **3.1 Hauptsätze der Wärmelehre/Thermodynamik**

In der Thermodynamik oder Wärmelehre gibt es vier Hauptsätze. Jeodch spielen nur der 1. Und 2. Hauptsatz eine wichtige Rolle in der Geothermie.

##### **3.1.1 1.Hauptsatz**

Der erste Hauptsatz der Wärmelehre ist das Prinzip von der Erhaltung der Energie:

„ In einem abgeschlossenen System, in dem beliebige Vorgänge ablaufen, bleibt die vorhandene Gesamtenergie unverändert. Energie kann weder verloren gehen noch aus den Nichts entstehen. “ (Helmholtz, 1877)

Aus dieser Aussage vom Physiker Helmholtz leitet sich der erste Hauptsatz der Wärmelehre ab.

Die Summe der einem System von außen zugeführten Wärme und zugeführten Arbeit ist gleich der Zunahme der inneren Energie:

$$\Delta U = Q + W$$

Die gespeicherte innere Energie ist eine Zustandsgröße. Wohingegen die zugeführte Wärme keine Zustandsgröße ist.

##### **3.1.2 2.Hauptsatz**

Der zweite Hauptsatz ist das Prinzip von der Vermehrung der Entropie

„ In einem abgeschlossenen System verlaufen die natürlichen Vorgänge immer so, dass die Entropie zunimmt.“

Die Entropie ist eine Zustandsgröße. Sie ist der Quotient der reversiblen aufgenommenen Wärmemenge Q und der absoluten Temperatur T bei der Aufnahme

$$\Delta S = \frac{Q(rev.)}{T}$$

Die Einheit von der Entropie ist :  $[S] = \frac{J}{K}$

## 4 Wärmepumpenheizung

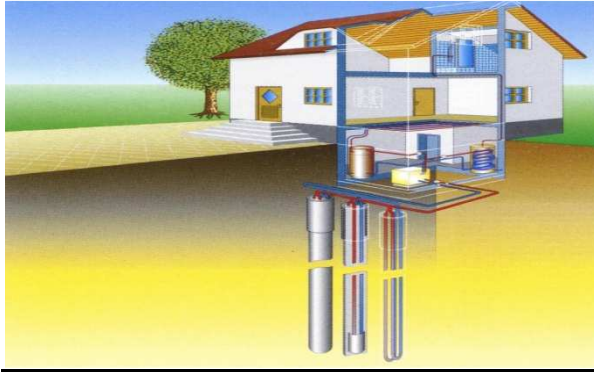


Abbildung 3: Wärmepumpenheizung

### 4.1 Definition/Aufbau

Eine Wärmepumpenheizung besteht aus einer Erdwärmesonde (Wärmequellenanlage) einer Wärmepumpe und einer Wärmenutzungsanlage, zum Beispiel eine Fußbodenheizung.

#### 4.1.1 Erdwärmesonde

Erdwärmesonden transportieren die Erdwärme durch eine Trägerflüssigkeit (Sole) zur Wärmepumpe. Erdwärmesonden sind einfache Rohrbündel.

Die Sole ist meistens einfaches Wasser mit etwas Frostschutz versetzt, damit es im Winter oder bei kalten Temperaturen nicht gefriert.



Abbildung 4: Erdwärmesonde

### 4.1.2 Wärmepumpe

Das Prinzip einer Wärmepumpe ähnelt sehr dem Prinzip eines Kühlschranks. Eigentlich ist es der gleiche Vorgang nur umgekehrt.

Die von der Erdwärmesonde transportierte Sole wird durch den Kompressor verdichtet. Dazu wird elektrische oder mechanische Energie genutzt. Durch diesen Vorgang wird die Sole erhitzt und es entsteht das sogenannte Heißgas.

Das Heißgas gibt seine neugewonnene Wärmeenergie an den Wärmenutzer ab und wechselt somit wieder den Aggregatzustand. Es kondensiert vom gasförmigen Zustand, also vom Heißgas, wieder zum flüssigen Zustand. Zum flüssigen Arbeitsmittel.

Das flüssige Arbeitsmittel wird daraufhin wieder entspannt und somit abgekühlt. Dieser Vorgang findet in einem Expansionsventil statt.

Nach der Abkühlung wiederholt sich der Vorgang, wiederum. Deswegen kann man sagen, dass „der Energietransfer in Wärmepumpen [als] thermodynamischer Kreisprozess [erfolgt]“ (Initiative klimafreundliches Bayern, S.3).

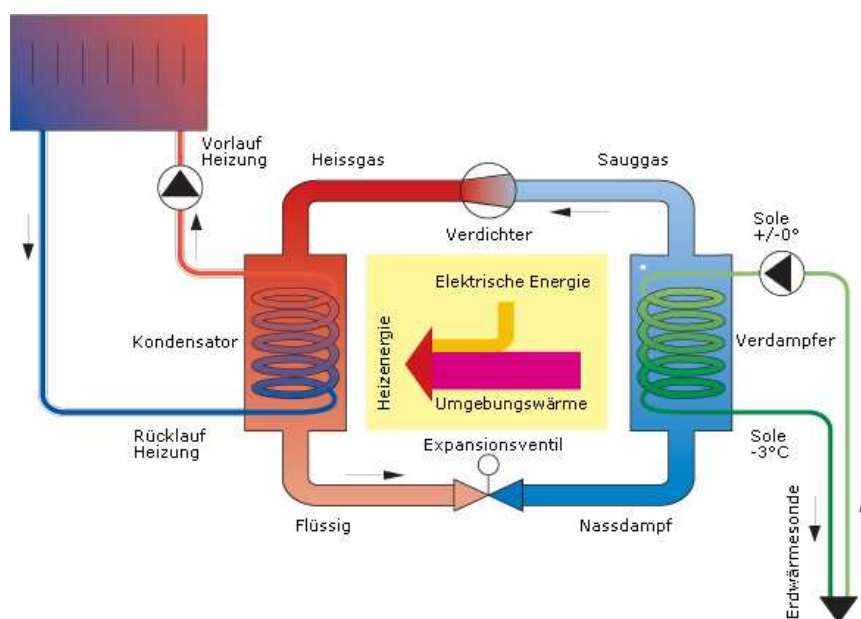


Abbildung 5: Kreislauf der Wärmepumpe

## **4.2 Voraussetzungen für den Bau einer Wärmepumpenheizung**

Damit eine Wärmepumpenheizung effektiv ist müssen bestimmte Voraussetzungen gegeben sein.

### **4.2.1 Bodenbeschaffenheit**

#### **4.2.1.1 Wärmeleitfähigkeit/ Wärmekapazität**

Zum einen die Wärmeleitfähigkeit. Je leitfähiger ein Gestein ist desto effektiver ist die Wärmepumpenheizung. Diese These ergibt sich aus der Formel:

$$\lambda = W / (m \cdot K)$$

Wobei  $\lambda$  die Wärmeleitfähigkeit des Gesteins ist.

Zum Anderen ist auch die Wärmekapazität ein Faktor.

$$C = [MJ / (m^3 \cdot K)]$$

Beispielwerte:

Gestein	Mittlere Wärmeleitfähigkeit	Spezifische Wärmekapazität
Granit	3.4	2.1 - 3.0
Basalt	1.7	2.3 - 3.6
Kalkstein	2.8	2.1 - 2.4
Mergelstein	2.1	2.2 - 2.3
Glimmerschiefer	2.0	2.2
Sand, trocken	0.4	1.3 - 1.6
Sand, nass	2.4	2.2 - 2.9

[siehe Fotos im Anhang]

#### **4.2.1.2 Fluidgehalt**

Ein Gestein ist außerdem leitfähiger, wenn der Fluidgehalt im Gestein höher ist.

Diese These kann man sehr gut an der Wärmeleitfähigkeit von Sand beweisen. Während Sand im trockenen Zustand nur eine Wärmeleitfähigkeit von 0.4 hat, hat er im



wassergesättigten Zustand einen Wert von 2.4. Dies zeigt die Wichtigkeit des Faktors Wasser und verdeutlicht, dass Wasser ein guter Wärmeleiter ist.

#### **4.2.2 Ermittlung der Bodenbeschaffenheit**

Um herauszufinden wie viele Erdwärmesonden man benutzen oder wie tief man bohren muss, richtet man sich bei einer verlangten Leistung von bis zu 30kW nach Tabellen, Karten oder Nomogrammen.

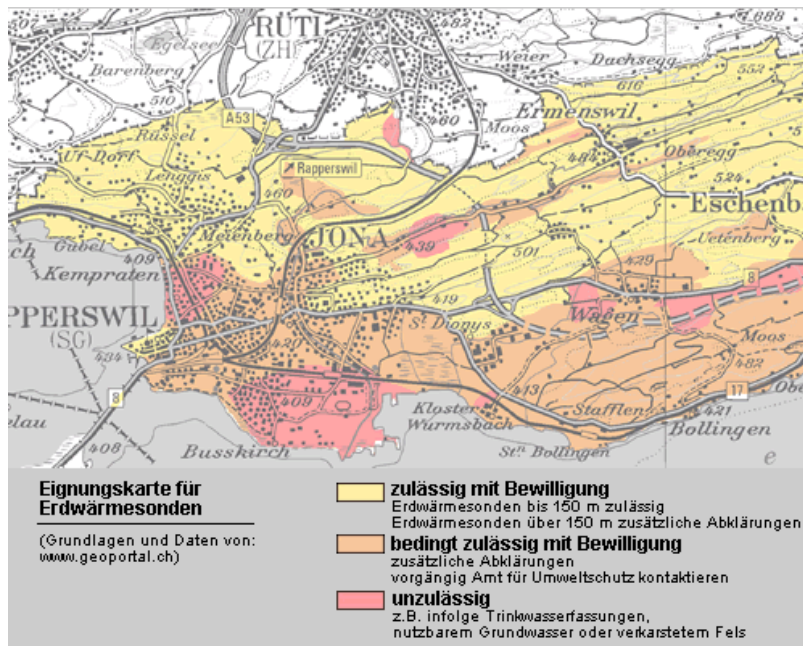


Abbildung 6: Eignungskarte für Erdwärmesonden

Bei größeren und anspruchsvolleren Anlagen wird der „**thermische Response-Test**“ durchgeführt.

Bei diesem Test wird mithilfe einer schon vorhandenen und fertiggestellten Erdwärmesonde Druck und Temperatur aufgezeichnet. Dadurch werden differenzierte Informationen geliefert. Dies geschieht indem die Response bzw. „Antwort“ ausgewertet wird.

Diese Interpretation beruht auf der Basis von „analytische[n] Lösungen der Linienquelle oder die einer zylindrischen Sonde mit Näherung für hinreichend grosse Zeiten.“ (Innovative Verbesserung bei Thermal Response Tests, S.3). Die Formel zur Auswertung und Interpretation lautet:

$$T(r,t) = T_0 + \frac{q}{4\pi\lambda} \cdot \int_{\frac{r^2}{4at}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du = T_0 + \frac{q}{4\pi\lambda} \left[ \ln\left(\frac{4at}{r^2}\right) - \gamma \right]$$

T = Temperatur

$\lambda$  = Wärmeleitfähigkeit

a = Temperaturleitfähigkeit (Diffusivität)

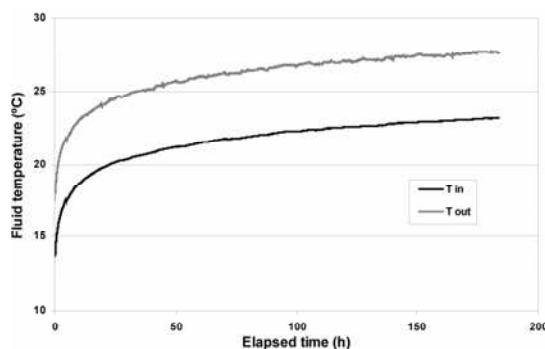
r = Abstand

q = konstante Heizleistung

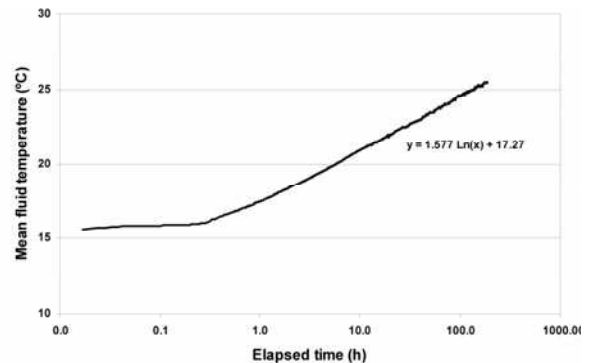
für  $t > \frac{4r^2}{a}$

Folgerung:

Temperaturänderung proportional zu  $\ln(t)$  und umgekehrt proportional zur Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$ .



typischer Temperaturverlauf



linearer Anstieg der Temperatur

### 4.3 Energiegewinn/Leistung

Die Gesamtenergie setzt sich aus der Antriebsenergie und der Wärmeenergie, die der Erde entzogen wird, zusammen.

Beschreiben kann man dies mit der Leistungszahl „ $\epsilon$ “ und der Jahresarbeitszahl „ $\beta a$ “.

Diese beiden Zahlen geben Auskunft über die Qualität der Wärmepumpe bzw. Wärmepumpenheizung.

$$\text{Leistungszahl „}\epsilon\text{“} = \frac{\text{momentan abgegebene Wärmeleistung (kW therm.)}}{\text{momentan aufgenommene Antriebsleistung (kW elektr.)}}$$

$$\text{Jahresarbeitszahl „}\beta a\text{“} = \frac{\text{jährlich abgegebene Wärmeleistung (kWh therm.)}}{\text{jährlich aufgenommene Antriebsleistung (kWh elektr.)}}$$

Abschließend kann man sagen, dass die Wärmepumpenheizung gegenüber modernen Ölkesseln 30- 45 % und gegenüber Gas-Brennern 20-35 % Primärenergie spart.

### **5. Bewertung**

Durch diese Facharbeit habe ich viel über das Thema der regenerativen Energiequellen und im speziellen der Geothermie gelernt. Durch diese Erkenntnisse kann ich mir gut vorstellen im späteren Berufsleben in diesem Bereich weiterzuarbeiten und an der Entwicklung neuartiger Sonden oder Pumpen, die noch effektiver sind, mitzuarbeiten.

Diese Arbeit hat mir gezeigt, wie viel man für den Klimaschutz tun kann und wie lohnenswert das Bemühen ist in zukunftsorientierte Heiztechnik zu investieren.

Eine spezielle Danksagung möchte ich noch an Herrn Köhler richten, der mich mit vielen Unterlagen, Fotos und Informationen zum Thema Geothermie versorgt hat.

### **6. Erklärung**

Ich erkläre, dass ich die Facharbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literatur- und Quellenverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

---

Ort und Datum

---

Unterschrift

## 7 Glossar

### Gestein Fotos

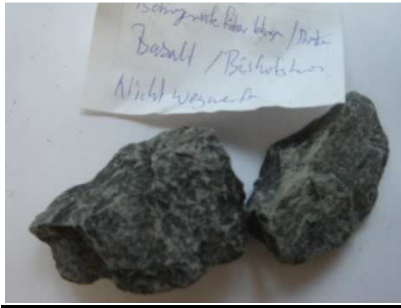
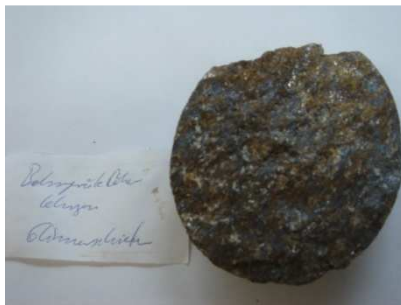


Abbildung 7: Basalt

Abbildung 8 :Glimmerschiefer



## Wärmepumpenheizung



Abbildung 9 : Wärmepumpenheizung

## **8 Quellenverzeichnis**

(Internet)

[http://lmswww.epfl.ch/Common\\_Documents/Consulting\\_Services/Joined%20paper%20for%20Karlsruhe%20conference%20nov%202006.pdf](http://lmswww.epfl.ch/Common_Documents/Consulting_Services/Joined%20paper%20for%20Karlsruhe%20conference%20nov%202006.pdf) ( thermischer Response-Test)

<http://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmelehre> (Thermodynamik)

<http://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rme%C3%BCbertrager> (Wärmeübertrager)

<http://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmepumpenheizung> (Wärmepumpenheizung)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Geothermie> ( Erdwärme)

<http://www.geothermie-zentrum.de/geothermie.html> (Geothermie)

<http://www.geothermie-zentrum.de/geothermie/oberflaechennahe-geothermie.html>  
(Oberflächennahe Geothermie)

<http://www.erdwaerme-heizung.biz/Waermepumpen.html> (Wärmepumpen)

<http://www.stmwivt.bayern.de/pdf/energie-und-rohstoffe/Geothermie.pdf> (Initiative klimafreundliches Bayern)

<http://www.bioc.unizh.ch/bipweb/kursheft/theorie/Radioaktiv.pdf> (Zerfall radioaktiver Isotope)

(Bücher)

Compact Handbuch, Physik, Heinz Gascha Kompaktverlag

Planung und Installation. Wärmepumpen, Stiebel Eltron

Plan ; Planungs- und Installationshandybuch, -weishaupt-

Metzler Physik, Joachim Grehn, 2. Auflage

(Bilder)

<http://www.k-w-info.de/resources/funktion-waermepumpe.png> (funktion waermepumpe)

<http://www.bohr-tec.de/media/thumbs/sondenarten.jpg> (Sondenarten)

[http://www.geothermie-zentrum.de/uploads/pics/oberfl\\_chen\\_geothermie.jpg](http://www.geothermie-zentrum.de/uploads/pics/oberfl_chen_geothermie.jpg)  
(Oberflächennahe Geothermie)

<http://www.geothermie-zentrum.de/typo3temp/pics/a38a8354e0.jpg> (Geothermie)

[http://www.heizung24.ch/tl\\_files/grafiken/wp\\_karte.gif](http://www.heizung24.ch/tl_files/grafiken/wp_karte.gif) (Karte)

