

# Geothermie und Wärmepumpen

## Kurzbeschreibung

### *Allgemeines Geothermie*

Der Wärmestrom aus dem Erdinneren stammt zum Teil noch aus der Zeit der Erdentstehung. Die Abkühlung der Erde wird durch andauernde radioaktive Zerfallsprozesse im flüssigen Erdkern wesentlich verlangsamt. Die Sonneneinstrahlung spielt nur oberflächennah eine – für Wärmepumpen bedeutende – Rolle.

Bei der Nutzung von Erdwärme sind primär oberflächennahe Nutzungen (Wärmepumpen, Erdwärmeheizungen und -kühlungen) von Nutzungen tiefer Vorkommen (Tiefengeothermie) zu unterscheiden. Letztere können neben der direkten Nutzung von Temperaturgradienten (Der Temperaturgradient ist hier sehr vereinfacht gesagt, die Temperaturänderung in der Tiefe ausgedrückt in Kelvin pro 100m; Anm. d. Korrekturleser\_in) zusätzlich auch zur Stromproduktion verwendet werden.

Im Energiemix der erneuerbaren Energie ist die tiefe Geothermie das kleinste Leistungssegment, gleichzeitig dasjenige mit dem stärksten Ausbaupotenzial im Vergleich zum Bestand.

Stromerzeugung durch Nutzung von Tiefengeothermie wird in Österreich nach dem Ökostromgesetz tariflich gefördert.

### *Wärmepumpen*

In Wärmepumpenanwendungen wird die relativ niedrige Temperatur der oberflächennahen Erdschichten bzw. des oberflächennahen Grundwassers mithilfe einer – in Privathäusern meist elektrisch betriebenen – Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gebracht. Technisches Wirkprinzip ist das eines Kälteschranks.

Wärmepumpen arbeiten nur bei – nur in seltenen Fällen und unter günstigen Randbedingungen der Anwendung erreichtem – hohem Wirkungsgrad ökologisch, energetisch und wirtschaftlich effizient. In den weitaus überwiegenden Fällen ist es sinnvoller, ein gut gedämmtes Passivhaus mit Sonne und Holz zu beheizen und bloß dessen Abwärme durch Wärmepumpen zu regenerieren.

Die verstärkte Nutzung von Wärmepumpen ist also kritisch zu sehen. Vielfach ist die Primär-Energiebilanz nicht positiv. Mehr Wärmepumpen benötigen auch mehr Strom, was im Widerspruch zu Stromeffizienz sowie Stromerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung und aus erneuerbaren Energien steht.

Im Gegensatz zur Fernwärme wird kein Leitungsnetz zum Wärmetransport über große Distanzen benötigt, allerdings wird der benötigte Strom nicht dezentral produziert. Zudem stammt dieser v.a. in der Hauptheizperiode Winter überwiegend aus kalorischen (bzw. Atom-) Kraftwerken mit vergleichsweise geringem Wirkungsgrad (im Vergleich zu z.B. Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen).

Die ökologischen Folgen der Erwärmung von Grundwasser durch den Einsatz von Wärmepumpen im Sommer (zur Kühlung von Gebäuden) wurde bislang ohne Ergebnisse und nicht ausreichend (über längere Zeit) untersucht (Bakterienpopulationen, Selbstreinigungsvermögen des Grundwassers; erste Forschungen erst seit 2006, Langzeitforschung nötig).

### *Tiefe Geothermie*

Das Wärmevorkommen in der Erdkruste ist enorm. In der Literatur sind diesbezüglich verschiedene Hochrechnungen zu finden, z.B. könnte mit den Wärmevorräten, die in den oberen drei Kilometern der Erdkruste gespeichert sind, rechnerisch und rein theoretisch der derzeitige weltweite Energiebedarf für über 100.000 Jahre gedeckt werden.

Allerdings verführen solche Hochrechnungen zu Vorstellungen eines tatsächlich nutzbaren, unbegrenzten Potenzials. Tatsächlich ist nur ein sehr kleiner Teil dieser Energie technisch nutzbar und die Auswirkungen auf die Erdkruste bei umfangreichem

Wärmeabbau sind ungewiss.

Die Nutzung von Erdwärme in tieferen Schichten ist bevorzugt in Gebieten mit überdurchschnittlich hoher Wärmestromdichte sinnvoll, kann prinzipiell aber auch abseits davon geschehen.

Erdwärme kann als langfristig nutzbare Energiequelle gelten, die grundsätzlich unabhängig von Jahres- und Tageszeit stetig zur Verfügung steht. Die Bezeichnung von Erdwärme als regenerativer Energieträger ist hingegen nur bedingt korrekt.

Die Nutzung von Tiefengeothermie – abseits von Heißwasservorkommen im Bereich geothermischer Anomalien – führt zu einem regionalen Abbau des Wärmeverrats im Tiefengestein der Erdkruste. Die Nachlieferung der Wärme aus weiter entfernten Schichten braucht je nach geologischer Beschaffenheit – zumindest bei den meisten Standorten in Mitteleuropa – sehr lange Zeiträume. Nach etlichen Jahrzehnten ist der lokale Wärmeverrat erschöpft, und die Kraftwerke müssen ihren Standort wechseln und zum nächsten Vorkommen übersiedelt werden.

Island hat hier besonders gute Voraussetzungen, die so allerdings auf kaum ein anderes Land übertragbar sind.

Das gedankliche Spielen mit nach menschlichen Maßstäben „unerschöpflichen“ Energiequellen hat einen folgenschweren psychologischen Effekt: Die Zurkenntnisnahme der Grenzen irdischen Lebens und Wirtschaftens wird nicht vollzogen, das Konsum- und Versorgungsdenken, die Ausbeutung „der Natur“ werden fortgeschrieben (vgl. Anmerkung in Kurzbeschreibung und Kapitel 4 – „grundsätzliche Problematiken, Fortsetzung des Konsum- und Versorgungsdenkens, der allgemeinen Wachstumsideologie und des Steuerungsgedankens“ – im Text zum Ökostromgesetz). Dabei kann sehr schnell die Begrenzung der Lebensgrundlagen aus dem Blick geraten, welche mit bislang weitgehend auch materiell ausuferndem Wirtschaftswachstum nicht verträglich sind. Zu große Technikgläubigkeit kann hier kontraproduktiv sein, wenn damit die grundsätzliche Wachstumsproblematik der Industriegesellschaften überdeckt wird.

Allerdings wird die Nutzung von Tiefengeothermie z.B. vom Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland als wichtiger Pfeiler im Ausstiegsprozess aus fossilen Energieträgern gesehen.

Tiefe Geothermieprojekte bergen zudem technische (geologische, seismische), wirtschaftliche und ökologische Risiken.

Für ökologische und wirtschaftliche Effizienz bei der Stromproduktion ist die gleichzeitige Nutzung der Wärme über Fernwärmenetze erforderlich, daher sind große Siedlungsräume in der Nähe Voraussetzung.

Prinzipielle und weitgehende ungeklärte Risiken sind das Aufheizen von Grundwasser zur Kühlung (nötig wie bei konventionellen Dampfkraftwerken auch), das Zusammenführen unterschiedlicher Grundwasserhorizonte bzw. das Risiko der Verseuchung von Grundwasser mit Chemikalien aus der Anlage (Trinkwasserschutz, biologische Selbstreinigungskraft des Grundwassers).

Weiters ist nicht definitiv feststellbar, welche Auswirkungen das Abkühlen von (großen) Teilen der Erdkruste – für mehrere tausend Jahre – auf die Geosphäre haben würde.

Die großtechnische energetische Nutzung der Tiefengeothermie erfordert also einen sehr hohen technischen Aufwand und bringt v.a. bei verstärktem Ausbau – grundsätzlich ähnlich wie bei der Nutzung der Kernenergie oder Gentechnik auch – nicht restlos kontrollierbare und abschätzbare Risiken mit sich.

Nutzungskonflikte mit anderen Nutzern sind weiters zu beachten.

## **Literatur:**

Einspeisetarife für Strom aus EE-Anlagen

<http://www.e-control.at/de/industrie/oeko-energie/einspeisetarife> (Stand 22.05.2010)

Gronemeyer M. (2008): „Genug ist genug. Von der Kunst des Aufhörens“. Primus Verlag, Darmstadt.

Gronemeyer M. (2002): Die Macht der Bedürfnisse. Überfluss und Knappheit. Primus Verlag, Darmstadt.

## **ausführlichere Beschreibungen und Erläuterungen**

### **1 Begriffsklärung**

Geothermie bezeichnet sowohl die ingenieurtechnische Beschäftigung mit der Nutzung der Erdwärme (im zugänglichen Teil der Erdkruste) als auch die wissenschaftliche Untersuchung der thermischen Situation des Erdkörpers.

Sie kann direkt genutzt werden, etwa zum Heizen und Kühlen (Wärmepumpenheizung), als auch zur Erzeugung von elektrischem Strom in Gasturbinen oder in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (siehe Kapitel 3).

### **2 Ursprung geothermischer Energie**

(größtenteils

aus:[http://de.wikipedia.org/wiki/Geothermie#Ursprung\\_geothermischer\\_Energie](http://de.wikipedia.org/wiki/Geothermie#Ursprung_geothermischer_Energie) Stand 28.03.2010)

Geothermie stammt zum Teil (geschätzt: 30-50%) aus der Restwärme aus der Zeit der Erdentstehung, zum anderen (geschätzt: 50-70%) aus radioaktiven Zerfallsprozessen, die in der Erdkruste seit Jahrmillionen kontinuierlich Wärme erzeugt haben und heute noch erzeugen. Ganz oberflächennah kommen Anteile aus der Sonneneinstrahlung auf die Erdoberfläche und aus dem Wärmekontakt mit der Luft dazu.

Die Temperatur im inneren Erdkern beträgt nach verschiedenen Schätzungen 4800°C bis 7700°C. 99% unseres Planeten sind heißer als 1000°C; ca. 90% des Rests sind immer noch heißer als 100°C. Fast überall hat das Erdreich in 1 km Tiefe eine Temperatur von 35°C bis 40°C. Unter besonderen geologischen Bedingungen – zum Beispiel in heutigen oder früheren Vulkangebieten – liegen „geothermische Anomalien“ vor. Hier kann die Temperatur oberflächennah viele hundert Grad Celsius erreichen.

#### **2.2 Quantität und Qualität: Wärmestrom aus dem Erdinneren**

Die Wärme wird aus tieferen Teilen der Erde durch Wärmeleitung (Konduktion), aber auch mittels Wärmetransport (Konvektion) durch aufsteigende Tiefenwässer oder Gase in für die Nutzung erreichbare Tiefen transportiert.

In geothermisch „anormalen“ Gebieten kann die Wärmeflussdichte um ein Vielfaches größer sein als im Durchschnitt.

Beispiele für Gebiete mit geothermischen Anomalien sind:

- -Gebiete mit einer großen Wärmestromdichte wie in aktiven oder geologisch bis vor kurzem aktiven vulkanischen Bereichen oder oberhalb auskühlender Plutone\*, bei denen die Wärmestromdichte noch über dem Durchschnitt liegt.
- Gebiete mit einem hohen Wärmetransport durch Konvektion, wie in großen Grabenbrüchen.
- Gebiete mit großen Mengen frei verfügbaren warmen oder heißen Tiefenwassers, wie an der Basis tiefer Sedimentbecken, wo das dort gespeicherte heiße Wasser angezapft wird.
- Gebiete mit einem Gestein mit einem hohen Wärmeleitkoeffizienten, wie im

Umfeld von Salzstöcken.

\* Plutone: innerhalb der Erdkruste auskristallisierende oder auskristalisierte Körper aus magmatischem Gestein. Schmelzflüssige Magmen aus tieferen Schichten der Erdkruste oder des Erdmantels sind in bereits verfestigte, höher gelegene Schichten eingedrungen und dort langsam erstarrt. Plutone haben eine erhebliche Größe (bis zu mehrere 100 km Durchmesser) und weisen dabei keine spezielle Gestalt auf.

### 2.2.1 Wärmestrom aus dem Erdinneren durch Wärmeleitung

Der terrestrische Wärmestrom, die von der Erde pro Quadratmeter an der Oberfläche an die Atmosphäre (und weiter in den Weltraum) abgegebene Leistung, beträgt durchschnittlich etwa  $0,063 \text{ W/m}^2$  ( $63 \text{ mW/m}^2$ ). Die physikalisch korrekte Bezeichnung ist Wärmestromdichte.

Wegen der häufig geringen Wärmestromdichte wird bei der Geothermienutzung außerhalb von Gebieten mit einer erhöhten Wärmestromdichte zunächst nicht die aus dem Erdinneren nachströmende Energie, sondern die in der Erdkruste gespeicherte Energie durch die Abkühlung eines Teils des Erdkörpers über einen bestimmten Nutzungszeitraum von einigen Jahrzehnten genutzt.

Dazu ein Zitat aus dem Sachstandsbericht des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag „Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland“ (Seite 20):

„Der natürliche Wärmestrom aus dem Erdinnern liegt bei ca.  $70 \text{ kW/km}^2$  (Anmerkung: entspricht  $0,07 \text{ W/m}^2$ ). Beides zusammen reicht nicht aus, um die bei einer Stromerzeugung dem Quader (Anm: Gesteinsvolumen) zu entnehmende thermische Leistung von mehreren MW auszugleichen. In diesem Sinne steht eine Erdwärmenutzung immer für „lokalen Abbau“ der gespeicherten Wärmeenergie. **Geothermische Energie kann also nur in einem weiteren Sinne zu den regenerativen Energien gerechnet werden**“ (Anm: da bei rein konduktiver<sup>1</sup> Wärmenachlieferung meist mehr Energie durch Abkühlung des erschlossenen Gebirgskörpers abgezogen wird, als aus dem Erdinneren nachströmt).

Eine großtechnische Geothermienutzung außerhalb geothermisch begünstigter Gebiete muss daher so dimensioniert werden, dass die Auskühlung des betreffenden Erdkörpers so langsam voranschreitet, dass in der Nutzungszeit der Anlage die Temperatur nur in einem Umfang absinkt, der einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlage gestattet.

Durch die geringe Wärmeleitfähigkeit von Gesteinen und dem daraus resultierenden niedrigen Temperaturgradienten von etwa 3 Kelvin (K) pro 100m können für die Stromerzeugung nutzbare Temperaturniveaus nur erreicht werden, in dem möglichst große Bohrtiefen erschlossen werden. Diese sind bei der tiefen Hochenthalpiegeothermie wiederum begrenzt durch die begrenzte Temperaturbeständigkeit der Bohrgeräte und Hilfsmittel.

Die Nutzung eines „normalen“ geringen konduktiven Wärmestroms bedarf daher entweder technischer Hilfsmittel (bei einem niedrigen Temperaturniveau beispielsweise einer Wärmepumpe) oder bei direkter Nutzung eines höheren Temperaturniveaus, wie es erst in tieferen Bereichen der Erdkruste auftritt.

### 2.2.2 Wärmestrom aus dem Erdinneren durch Konvektion

In offenen (nicht durch Kristallisation verstopften) Kluftsystemen oder in für Wasser durchlässigen Gesteinsschichten dringt Wärme wesentlich effektiver in ein Geothermieprojekt nach. Der tatsächlich nutzbare Wärmestrom reicht dann wesentlich weiter über die durch die Bohrung erschlossene Gesteinsschicht hinaus.

---

<sup>1</sup> Wärmeleitung

### **3 Förderung nutzbarer Erdwärme (= Nutzung von Erdwärme)**

(größtenteils

[http://de.wikipedia.org/wiki/Geothermie#Einteilung\\_der\\_Geothermiequellen](http://de.wikipedia.org/wiki/Geothermie#Einteilung_der_Geothermiequellen)

28.03.2010)

aus:  
Stand

Zwei Gliederungsprinzipien laufen parallel bzw. überschneiden sich:  
Einteilung nach Erschließungstiefe (oberflächennahe, flache, tiefe Geothermie) und  
Einteilung nach der verfügbaren Wärmemenge (Hoch- und Niedertemperatur-Lagerstätten).

Geothermie kann als Energiequelle zur Gewinnung von Wärme und Strom genutzt werden. Technisch möglich sind die direkte Nutzung der oberflächennahen Geothermie, etwa zum Heizen und Kühlen (meist als Wärmepumpenheizung), und die Nutzung der tiefen Geothermie (bzw. von Hochenthalpie-Lagerstätten) ebenfalls direkt oder auch indirekt zur Stromerzeugung.

Weiters wird zwischen Hoch- und Niedertemperatur-Lagerstätten unterschieden.

#### **3.1 Hochenthalpie-Lagerstätten**

Hochenthalpie-Lagerstätte bedeutet, dass Bereiche bzw. „Lagerstätten“ eine hohe Temperatur bereitstellen. Solche Lagerstätten sind nur im Bereich geothermischer Anomalien zu finden (s.o.). Die weltweite Stromerzeugung aus Geothermie wird durch die Nutzung von Hochenthalpie-Lagerstätten dominiert.

#### **3.2 Niedertemperatur-Lagerstätten**

In nicht-vulkanischen Gebieten können die Temperaturen im Untergrund sehr unterschiedlich sein. In der Regel sind jedoch, wenn für die Nutzung höhere Temperaturen gebraucht werden, als sie mit flachen Bohrungen zu erschließen sind, tiefe Bohrungen notwendig. Für eine wirtschaftliche Stromerzeugung sind Temperaturen über 80 °C bis 100 °C erforderlich.

#### **3.3 Oberflächennahe Geothermie**

Diese Form reicht bis etwa zehn Meter Tiefe. Technisch wird sie durch oberflächennahe Sonden oder Kollektoren verwirklicht und wird zum Rückkühlen („Kälteerzeugung“), als Wärmequelle für Wärmepumpen oder als Wärmespeicher für Niedertemperaturwärme (z.B.: aus thermischer Solartechnik) verwendet.

Da in den oberflächennahen Schichten nur Temperaturen von zwischen 4,7°C im Frühjahr und maximal 13,9°C in Herbst herrschen, muss zur Warmwassergewinnung die Temperatur im System mithilfe einer Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gebracht werden.

Die Temperaturen der Luft schwanken mit der Jahreszeit sehr stark. Innerhalb der oberen Schichten des Erdbodens werden diese Temperaturen jedoch nicht bzw. nur sehr stark gedämpft nachvollzogen. Der Temperaturverlauf folgt über das Jahr einer harmonischen Schwingung. In 5 bis 10 m Tiefe entspricht die im Boden gemessene Temperatur praktisch der Jahresmitteltemperatur des Standortes (ca. 8 bis 10°C in Deutschland).

Mittels Erdwärmesonden (vertikale Bohrungen), Erdwärmekollektoren (horizontal und oberflächennah ins Erdreich eingebrachte Systeme) oder Erdwärmekörpern, aber auch mit erdgebundenen Beton-Bauteilen wird die Wärme an die Oberfläche befördert.

Saisonale Wärmespeicher

Erdwärme steht unabhängig von der Tages- und Jahreszeit und auch unabhängig vom

Wetter zur Verfügung.

Optimal wird eine Anlage, in der das oberflächennahe Temperaturniveau genutzt werden soll, dann arbeiten, wenn sie auch zeithomogen genutzt wird. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn im Winter mithilfe einer Wärmepumpe das oberflächennahe Temperaturniveau von ca. 10 °C zum Heizen genutzt wird und sich dabei entsprechend absenkt, und im Sommer dann dieses Reservoir zur direkten Kühlung benutzt wird. Beim Kühlen im Sommer wird dem oberflächennahen Reservoir Wärme zugeführt und damit teilweise oder vollständige Regeneration erreicht. Eine Energiezufuhr in das System besteht dann zum einen in der Herstellung der Anlage und während des Betriebes im Wesentlichen aus der Antriebsleistung für die Wärme- bzw. Umwälzpumpe.

Die Anlage kann weiter durch Kombination mit anderen Anlagen aufgewertet bzw. optimiert werden. Bei der Kombination mit Solarthermie (Warmwasserbereitung über Sonnenkollektoren) kann dem System während des Sommers zusätzlich Wärme zugeführt werden, die dem unterirdischen Wärmespeicher im Winter wieder entnommen wird.

Saisonale Speicher können sowohl oberflächennah, als auch tief ausgeführt werden. Sogenannte Hochtemperatur-Speicher (> 50 °C) sind allerdings nur in größerer Tiefe möglich.

### **3.4 Flache Geothermie**

Die flache Geothermie reicht in eine Tiefe von ca. 100 Meter und wird hauptsächlich als Wärmequelle für Wärmepumpen und zum Rückkühlen („Kälteerzeugung“) mithilfe von Tiefensonden genutzt.

Ein wichtiges Anwendungsgebiet ist hier die Integration in die Gebäudetechnik mithilfe der Betonkernaktivierung. Bei Großprojekten im Hochbau- sowie im Tiefbaubereich können umfangreiche Tiefgründungen (bis über 40 Meter) notwendig sein. Werden diese Tiefgründungen mit Sonden ausgestattet (sogenannte „Energiepfähle“), können über ein Rohrleitungssystem und einem darin zirkulierenden Kältemittel die massiven Betonteile von nahen Gebäuden mit den Sonden verbunden werden und so einen Temperaturaustausch durchführen. Dabei kann die im Sommer abgeführte und im Erdreich gespeicherte Wärme im Winter zur Unterstützung der Heizung verwendet werden.

### **3.5 Tiefe Geothermie**

Mit zunehmender Tiefe in der *Erdkruste* steigt die Temperatur relativ rasch an. Im Durchschnitt beträgt die Temperaturerhöhung 35 K bis 40 K pro Kilometer Eindringtiefe. Dieser Wert kann regional stark abweichen (Wärmeanomalien).

Bei der tiefen Geothermie werden meist Tiefen zwischen (1000) 2000 bis 3000 (4000m) erschlossen. Dabei können Temperaturen von 150 bis 350 °C auftreten, wodurch neben der Anwendung als Direktheizung die Stromerzeugung mittels Dampfturbinen möglich ist.

Generell werden im Bereich der tiefen Geothermie drei Arten der Wärmeentnahme aus dem Untergrund unterschieden:

#### **3.5.1 Hydrothermale Systeme**

Im Untergrund vorhandene Thermalwässer zirkulieren zwischen zwei Brunnen über vorhandene natürliche Grundwasserleiter (Aquifere). Aus diesen wird Wasser gefördert, abgekühlt und (heute üblicherweise) reinjiziert.

#### **3.5.2 Petrothermale Systeme (auch HDR-Systeme – Hot-Dry-Rock)**

Mit hydraulischen Stimulationsmaßnahmen werden im quasi trockenen, wenig wasserdurchlässigen Gestein künstlich Risse und Klüfte erzeugt, in welchen künstlich eingebrachtes Wasser oder CO<sub>2</sub> zwischen zwei tiefen Brunnen zirkuliert.

### **3.5.3 Tiefe Erdwärmesonden**

Das Wärmeträgermedium zirkuliert in einem geschlossenen Kreislauf innerhalb einer Bohrung in einem U-Rohr oder einer Koaxialsonde. Bei dieser Art wird vergleichsweise wenig Wärme abgeführt, da das Medium nicht tief in den angrenzenden Untergrund bzw. das Gestein vordringt, sondern nur im geschlossenen System der Sonde zirkuliert. Die Wärmeübertragungsfläche mit dem Untergrund beschränkt sich auf die Mantelfläche der Bohrung.

Gegenüber offenen Systemen besteht der Vorteil, dass bei planmäßigem Betrieb kein Kontakt zwischen Wärmeträgermedium (Wasser mit Zusätzen, spezielle Flüssigkeiten mit niedrigem Siedepunkt, unter Druck verflüssigte Gase) und Grundwasser besteht.

Welches der in Frage kommenden Verfahren zum Einsatz kommt, ist von den geologischen Voraussetzungen am Standort, von der benötigten Energiemenge und dem geforderten Temperaturniveau der Wärmenutzung abhängig.

Derzeit werden in Deutschland fast ausschließlich hydrothermale Systeme geplant.

### **3.6 Weitere Nutzungsarten**

Erdwärme kann und wird weiters bei Tunnelprojekten oder Bergbauanlagen genutzt.

Die vielen, zum Teil aufschlussreichen Details zur Technik siehe [http://de.wikipedia.org/wiki/Geothermie#Einteilung\\_der\\_Geothermiequellen](http://de.wikipedia.org/wiki/Geothermie#Einteilung_der_Geothermiequellen) (Stand 28.03.2010), sowie weitere, dort angegebene, Literatur.

## **4 Energiebereitstellungsarten**

Die Geothermie ist global gesehen eine langfristig nutzbare Energiequelle. Mit den Vorräten, die in den oberen drei Kilometern der Erdkruste gespeichert sind, könnte im Prinzip, rechnerisch und theoretisch der derzeitige weltweite Energiebedarf für über 100.000 Jahre gedeckt werden. Allerdings ist nur ein kleiner Teil dieser Energie technisch nutzbar und die Auswirkungen auf die Erdkruste bei umfangreichen Wärmeabbau sind ungewiss.

Bei der Nutzung der Geothermie unterscheidet man zwischen direkter Nutzung, also der Nutzung der Wärme selbst, und "indirekter Nutzung", der Nutzung nach Umwandlung in Strom in einem Geothermiekraftwerk. Mit Einschränkungen sind zur Optimierung der Wirkungsgrade auch hier Kraft-Wärme-Kopplungen (KWK) möglich. Vor allem in dünn besiedelten Gegenden bzw. an weit von Siedlungen mit Wärmebedarf entfernten Kraftwerksstandorten lassen sich nur schwer KWK-Anlagen realisieren und die Effizienz an diesen Standorten ist dann wesentlich geringer.

### **4.1 Heizen und Kühlen mit Erdwärme (= direkte Nutzung)**

Für die meisten Anwendungen werden nur relativ niedrige Temperaturen benötigt (siehe Lindal-Diagramm).

Aus tiefer Geothermie können häufig die benötigten Temperaturen direkt zur Verfügung gestellt werden. Reicht dies nicht, so kann die Temperatur durch Wärmepumpen angehoben werden, wie dies meist bei der oberflächennahen Geothermie geschieht.

**Lindal-Diagramm:**

<b>Nutzungsart</b>	<u>Temperatur in °C</u>
Einkochen und Verdampfen, Meerwasserentsalzung	120
Trocknung von Zementplatten	110
Trocknung von organischem Material wie Heu, Gemüse, Wolle	100
Lufttrocknung von Stockfisch	90
Heizwassertemperatur zur Raumheizung (klassisch)	80
Kühlung	70
Tierzucht	60
Pilzzucht, Balneologie, Gebrauchtwarmwasser	50
Bodenheizung	40
Schwimmbäder, Eisfreihaltung, Biologische Zerlegung, Gärung	30
Fischzucht	20
Natürliche Kühlung	<10

In Verbindung mit Wärmepumpen wird Erdwärme in der Regel zum Heizen und Kühlen von Gebäuden sowie zur Warmwasserbereitung eingesetzt (siehe Wärmepumpenheizung).

Nur wenige Anwendungen sind ohne Wärmepumpe möglich. Die wichtigste ist die natürliche Kühlung, bei der Wasser mit der Temperatur des flachen Untergrundes, also der Jahresmitteltemperatur des Standortes, direkt zur Gebäudekühlung verwendet wird. Diese natürliche Kühlung hat das Potential, weltweit Millionen von elektrisch betriebenen Klimageräten zu ersetzen. Sie wird jedoch derzeit nur wenig angewendet.

Eine weitere direkte Anwendung ist das Eisfreihalten von Brücken und Straßen. Auch hier wird keine Wärmepumpe benötigt, denn der Speicher wird durch Abführung und Einspeicherung der Wärme mit einer Umwälzpumpe von der heißen Fahrbahn im Sommer regeneriert. Dazu zählt auch das frostfreie Verlegen von Wasserleitungen. Die im Boden enthaltene Wärme lässt den Boden im Winter nur bis in eine geringe Tiefe einfrieren.

Für die Wärmenutzung aus tiefer Geothermie eignen sich niedrigthermale Tiefengewässer mit Temperaturen zwischen 40 und 100°C. Das Thermalwasser wird gewöhnlich aus 1000 bis 2500 Metern Tiefe über eine Förderbohrung an die Oberfläche gebracht, gibt den wesentlichen Teil seiner Wärmeenergie an einen zweiten, den „sekundären“ Heiznetzkreislauf ab. Ausgekühlt wird das „Originalwasser“ anschließend über eine zweite Bohrung wieder mit einer Pumpe in den Untergrund verpresst, und zwar in die Schicht, aus der es entnommen wurde.

direkte Nutzung der Erdwärme weltweit			
<b>Nutzungsart</b>	<b>Energie TJ/a</b>	<b>Leistungsabgabe</b>	<b>Jahresmittelwert</b>
<b>GW</b>			
Wärmepumpen	86.673	2,75	
Bäder	75.289	2,39	
Raumheizung	52.868	1,68	
Gewächshäuser	19.607	0,62	
Industrie	11.068	0,35	
Landwirtschaft	10.969	0,35	
Trocknung (Landwirtschaft)	2.013	0,06	
Kühlen, Schneeschmelzen	1.885	0,06	
Andere Nutzung	1.045	0,03	
<b>Total</b>	<b>261.418</b>	<b>8,29</b>	

**4.2 Stromerzeugung**

Schema Stromerzeugung mittels Geothermie  
<http://de.wikipedia.org/w/index.php?>



[title=Datei:Geothermie\\_verfahren.png&filetimestamp=20050625185321](#) (28.03.2010)

Bei der hydrothermalen Stromerzeugung sind Wassertemperaturen von mindestens 100°C notwendig. Hydrothermale Heiß- und Trockendampfvorkommen mit Temperaturen über 150°C können direkt zum Antrieb einer Turbine genutzt werden. In Deutschland liegen allerdings die üblichen Temperaturen geologischer Warmwasservorkommen niedriger. Lange Zeit wurde Thermalwasser daher ausschließlich zur Wärmeversorgung im Gebäudebereich genutzt. Neu entwickelte „Organic Rankine Cycle“-Anlagen (ORC) ermöglichen eine Nutzung von Temperaturen ab 80°C zur Stromerzeugung. Diese arbeiten mit einem organischen Medium, das bei relativ geringen Temperaturen verdampft. Dieser Dampf treibt über eine Turbine den Stromgenerator an.

Beim Kalina-Verfahren werden Zweistoffgemische, so zum Beispiel aus Ammoniak und Wasser als Arbeitsmittel verwendet.

Für Anlagen in einem kleineren Leistungsbereich (< 200 kW) sind auch motorische Antriebe wie Stirlingmotoren denkbar. Geothermie ist zur Abdeckung des Grundlaststrombedarfes (kein Spitzenstrom) geeignet.<sup>2</sup>

Dabei muss beachtet werden, dass bei Verwendung von Pentan (hochentzündliches organisches Medium) oder Ammoniak (giftig) als Wärmeträgermedium des Sekundärkreislaufs aufwändige Vorkehrungen ergriffen werden müssen, um die Betriebs- und Umweltsicherheit solcher Anlagen im Betrieb und bei der Wartung zu gewährleisten.

#### **4.2.1 Stromerzeugung aus Hochenthalpielagerstätten**

Die Stromerzeugung aus Geothermie ist in Ländern wie z.B. Island oder Kalifornien, die über Hochenthalpielagerstätten verfügen, wo Temperaturen von mehreren hundert Grad in vergleichsweise geringen Tiefen (< 2000 m) angetroffen werden, seit Jahrzehnten eine etablierte Technik. Die Lagerstätten können dabei, je nach Druck und Temperatur, wasser- oder dampf-dominiert sein. Bei modernen Förderungstechniken treten praktisch keine negativen Umweltauswirkungen wie Schwefelgeruch mehr auf.

#### **4.2.2 Stromerzeugung aus Niederenthalpielagerstätten**

In Niederenthalpielagerstätten, wie sie ungünstigerweise in Deutschland und Österreich meist angetroffen werden, ist wegen der geringen Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf der maximal mögliche Wirkungsgrad systembedingt niedriger als in Hochenthalpielagerstätten.

Durch andere Kreisprozesse (z.B. Kalinaprozess mit Ammoniak) versucht man, den Abstand zwischen Vor- und Rücklauftemperatur zu erhöhen. Dabei ist aber zu beachten, dass die Sicherheitsanforderungen für den Umgang mit Ammoniak wesentlich anspruchsvoller sind, als für den Umgang mit Wasser oder auch organischen Arbeitsmitteln.

Der Eigenstromverbrauch solcher Anlagen kann bis zu 25% der erzeugten Strommenge betragen.

## **5 Wärmepumpen**

### **5.1 Technik und Effizienz von Wärmepumpen**

s. auch Kapitel 3.3.

*Arbeitszahl (Jahresarbeitszahl, JAZ)*

Die Arbeitszahl (oder Jahresarbeitszahl) wird zur Beschreibung der Energieeffizienz von Wärmepumpen verwendet. In der üblichen Definition wird die Jahresarbeitszahl als Quotient aus Wärmeabgabe und aufgenommener elektrischer

---

<sup>2</sup> Grundlast ist jener Teil der elektrischen Leistung, der durchgehend 24h am Tag nachgefragt wird

Energie bei Betrieb über ein ganzes Jahr (bzw. über die Heizperiode) angegeben:

$JAZ = Q_{ab} / Q_{el} = \text{Abgegebene Wärme} / \text{zugeführte elektrische Energie}$

Nicht enthalten sind in dieser Definition alle "Neben"verbräuche, wie z.B. Verteilenergie (Ventilatoren oder Umwälzpumpen), Abtauvorrichtungen (z.B. Heizstäbe) und Soleumwälzpumpen. Auch Verluste von etwaigen Speichern sind nicht enthalten. Auf diese Art ist eine in Prospekten angegebene hohe Arbeitszahl erklärbar, die jedoch nicht für das Gesamtsystem relevant ist. Man sollte sich jedenfalls davor hüten, den berechneten Wärmebedarf des Hauses durch 4 oder 5 zu dividieren, um auf den notwendigen Stromverbrauch zu schließen.

Für die oft angewendete mindestens zu erreichende Untergrenze von  $JAZ=3$  wird die über eine Heizperiode benötigte elektrische Energie herangezogen, die notwendig ist, um das betrachtete Gebäude zu beheizen. Diese Grenze wird oft als sinnvolle und notwendige Untergrenze verwendet, da die Erzeugung und der Transport von elektrischer Energie bis zum Endverbraucher einen Wirkungsgrad von etwa 30% hat. Bei einer noch niedrigeren JAZ wäre es nämlich dann energetisch besser, den Brennstoff direkt im Haus zu verfeuern als im Kraftwerk zu verstromen (abhängig von der Herkunft des Stromes in der Heizperiode, „Winterstrommix“).

Leider wird eine gute (hohe) Jahresarbeitszahl fast immer mit einem energetisch gut funktionierenden Gesamtsystem gleichgesetzt, was nicht immer stimmen muss. So kann die Arbeitszahl erhöht werden, indem zur Warmwasserbereitung ein Elektro-Heizstab verwendet wird. Dadurch arbeitet die Wärmepumpe auf ein niedrigeres Temperaturniveau hin (z.B. 30° statt 55°C) und die Arbeitszahl verbessert sich. Ob dadurch der gesamte Energieverbrauch des Haushalts reduziert wird, lässt sich aber nicht beantworten.

Auch bei Lüftungswärmepumpen kann die Arbeitszahl der Wärmepumpe erhöht werden, indem auf einen integrierten Wärmetauscher zwischen Fort- und Zuluft verzichtet wird (dann arbeitet die Wärmepumpe auf ein niedrigeres Temperaturniveau hin). Auch hier lässt sich dadurch nicht auf eine Energieersparnis schließen.

*Leistungszahl (COP, Wirkungsgrad)*

Im Unterschied zur Jahresarbeitszahl sagt die Leistungszahl (Coefficient of Performance, COP) aus, wie gut die Wärmepumpe im optimalen Betriebspunkt arbeitet, also nicht über das ganze Jahr gemessen. Die Leistungszahl ist also ein Qualitätsmerkmal für eine Wärmepumpe bzw. einen Wärmepumpentyp, hat aber nur begrenzte Aussagekraft über den zu erwartenden Energiebedarf. Eine Leistungszahl von z.B. 5 heißt also nicht, dass nur ein Fünftel des Heizwärmebedarfs in Form von elektrischer Energie zugeführt werden muss (da die Wärmepumpe ja nur selten im optimalen Betriebspunkt arbeitet). Die erreichbare Jahresarbeitszahl wird also immer niedriger sein als die Leistungszahl.

aus: <http://www.energiesparhaus.at/Fachbegriffe/arbeitszahl.htm> (Stand: 30.05.2010):

Zur Technik gibt es viele weitere Literatur im Internet, oder z.B. auf Seiten der TU-Wien.

## **5.2 Risiken für die Wirtschaftlichkeit eines oberflächennahen Geothermieprojekts**

Bei der oberflächennahen Geothermie besteht das größte Risiko in einer Übernutzung der Geothermiepotentiale. Wenn benachbarte Geothermieanlagen sich gegenseitig beeinflussen, kann die Vorlauftemperatur der im Abstrom des Grundwassers gelegenen Anlage so weit abgesenkt werden, dass die Wärmepumpe nur noch mit einer sehr

ungünstigen Leistungszahl betrieben werden kann. Dann heizen die Nutzer\_innen im Grunde genommen mit Strom und nicht mit Erdwärme. Das tückische daran ist, dass die Fläche im Anstrom des Grundwassers, in der eine Errichtung einer weiteren Anlage zu einer zusätzlichen erheblichen Absenkung der Temperatur des Grundwassers für die betroffene Anlage führt, sehr groß sein kann und es für die Betreiber\_innen schwierig ist, die Ursache hierfür zu erkennen. Sie werden das wahrscheinlich nur merken, wenn sie den außentemperaturbereinigten Stromverbrauch ins Verhältnis zur genutzten Wärmemenge setzen, um so die Leistungszahl beobachten zu können. Das erfordert aber die Kenntnis der mittleren wirksamen Außentemperatur und der im Haus abgegebenen Wärmemenge und bedarf eines großen Messaufwandes.

### **5.3 Ökologische Effekte der oberflächennahen Erdwärmenutzung, Gesamtenergiebilanz**

#### *Oberflächennahe Geothermie-Nutzung mit Wärmepumpen*

Bei der geothermischen Nutzung mit Wärmepumpen wird die (Niedertemperatur-)Wärme der oberen Erdschichten genutzt, sei es durch Verlegung von Wärmetauschern in wenigen Metern Tiefe („oberflächennahe Geothermie“) oder durch Bohrungen in bis zu 100 Metern („Flache Geothermie“) Tiefe. Für Tiefenbohrungen muss die Genehmigung der Wasserbehörde eingeholt werden und sichergestellt sein, dass das Grundwasser nicht gestört oder beeinträchtigt wird.

Teilweise nutzen Wärmepumpen auch die Wärme der Umgebungsluft. Sie bringen die Wärme von einer niedrigen Temperatur auf ein Nutzwärmeniveau von 30 bis 60°C für Raumwärme und Warmwasser. Je höher diese Temperaturdifferenz ist, umso geringer ist der Wirkungsgrad bzw. die Arbeitszahl der Wärmepumpe. Diese gibt an, wie viel Nutzwärme bezogen auf den Einsatz von Strom erzeugt wird. Da die Wärmepumpen in der Regel mit Strom betrieben werden, können sie den Effizienzverlust von großen – z.B. mit Kohle oder Uran betriebenen – Kondensationskraftwerken (33% Wirkungsgrad) meist nur bei Arbeitszahlen von 3,0 bis 4,0 so gerade kompensieren.

Sinnvoll kann der Einsatz von Wärmepumpen hinsichtlich der primärenergetischen und ökologischen Gesamtbilanz sein, wenn Reservoirs oder Abwärmequellen mit höherem Temperaturniveau genutzt werden, wie etwa die Abluft von Gewerbe- oder Sporthallen, die Abluft aus Wohnräumen bei Niedrigenergie- oder Passivhäusern oder die Abwärme von Abwasser. Hier kann die Arbeitszahl der Pumpen Werte bis zu 5,0 und 6,0 erreichen.

Die Investition in eine Wärmepumpe ist immer im Zusammenhang mit der zusätzlich nötigen Stromproduktion im Rahmen einer Gesamtenergiebilanz zu betrachten. Vergleicht man die Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz von Wärmepumpen mit Arbeitszahlen bis 4,0, die mit Kohle- oder Atom-Kondensationsstrom (Wirkungsgrad ca. 33%) betrieben werden mit einer effizienten Erdgasheizungsanlage, ergibt sich für die Pumpe praktisch kein Vorteil.

Der „BUND für Umwelt und Naturschutz Deutschland“ stellt fest: Wärme aus Wärmepumpen sollte nicht als „erneuerbare Energie“ behandelt werden, wenn ihre Gesamtprimärenergiebilanz nicht eindeutig besser ist als bei anderen Systemen. Vorteile in der CO<sub>2</sub>-Bilanz ergeben sich gegenüber fossilen Heizungssystemen nur, wenn der Strom allein oder „im Strommix“ durch Atomkraft erzeugt wird. Die Nutzung von Atomstrom (nicht nur für den Betrieb von Wärmepumpen) lehnt der BUND jedoch aufgrund der immens hohen Umwelt- und Gesundheitsgefahren prinzipiell ab.

Gesamtenergetisch günstiger sind gasbetriebene Wärmepumpen, deren Antriebskraft aus einem Motor oder einer Gasturbine stammt. In der Gesamtenergiebilanz kann diese Kombination von Kraft-Wärme-Kopplung und Wärmepumpe bis zu 30% einsparen.

Die Nutzung der Geothermie mit Wärmepumpen hat eine technische und wirtschaftliche Alternative: nämlich die Wärmedämmung von Alt- und Neubauten (bis hin zum Passivhaus-Niveau) und die Beheizung mit Holz und/oder Solarenergie. Gerade bei Passivhäusern ist der Einsatz kleiner Pumpen zur Wärmerückgewinnung

aus der Abluft sehr sinnvoll.

Besonders positiv ist die passive Nutzung von Erdwärme (bzw. „Erdkälte“ im Sommer) für die Heizung oder Kühlung von Wohn- und Geschäftsgebäuden mit Passivhaus-Bauweise.

Bei Wohnsiedlungen und größeren Gewerbebauten sollten Systeme der Kraft-Wärme-Kopplung, die neben Wärme auch Strom produzieren, den Vorrang haben gegenüber Systemen mit Wärmepumpen, die Strom verbrauchen.

Um die ungünstige Gesamtenergiebilanz von Strom aus fossiler oder atomarer Energie zu verbessern, werden Wärmepumpen manchmal gezielt mit „grünem“ Strom aus erneuerbarer Energie betrieben. Doch sinnvoll ist das nur, wenn die Pumpe durch die Nutzung von Abwärme hohe Arbeitszahlen erreicht (Wirkungsgrad, Gesamtenergiebilanz).

Für den BUND haben die Senkung des Stromverbrauchs und Wärmebedarfs, die effiziente Stromerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung und die Nutzung erneuerbarer Energien Vorrang.

direkt übernommen aus: Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND, Hrsg.), Neumann W., Schönauer S. (2007): „Strom und Wärmeerzeugung aus Geothermie“. Kapitel 3. Reihe BUND-Positionen, Berlin.

## **6 Tiefe Geothermie (Wärme und Strom)**

s. auch Kapitel 3.5.

### **6.1 Primär technische und Sicherheitsrisiken der tiefen Geothermie**

Durch die relativ starke Zunahme oberflächennaher Geothermieranlagen steigt auch entsprechend das Risiko von technischem Versagen bzw. von Fehlplanungen.

Die tiefe Geothermie muss sehr sorgfältig geplant und durchgeführt werden, um mögliche Risiken für Mensch und Natur niedrig zu halten. Die Tiefbohr tätigkeiten werden daher von zahlreichen Behörden überwacht und setzen ein umfangreiches Genehmigungsverfahren voraus.

#### **6.1.1 Risiken seismischer Ereignisse**

Kleinere, kaum spürbare Erderschütterungen (Seismizität) sind bei Projekten der tiefen Geothermie in der Stimulationsphase (Hochdruckstimulation) möglich. Im späteren Verlauf, soweit nur der Dampf entzogen wird und nicht reinjiziert wird, ist es durch Kontraktion des Speichergesteins, zu Landabsenkungen gekommen (z. B. in Neuseeland, Island, Italien). Diese Probleme führten bereits zur Einstellung von Geothermieprojekten.

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten seismischer Ereignisse und deren Intensität richtet sich stark nach den geologischen Gegebenheiten (z. B. wie permeabel die wasserführende Gesteinsschicht ist), sowie nach der Art des Nutzungsverfahrens (z. B. mit welchem Druck das Wasser in das Gestein injiziert wird oder mit welchem Druck stimuliert wird).

Ob stärkere Schadböden durch Geothermie ausgelöst werden können, ist derzeit noch umstritten.

siehe [http://de.wikipedia.org/wiki/Geothermie#Risiken\\_seismischer\\_Ereignisse](http://de.wikipedia.org/wiki/Geothermie#Risiken_seismischer_Ereignisse)

ggf.

weitere:  
(Stand:

28.03.2010)

### **6.1.2 Risiko von Schäden an Gebäuden durch die Verformung der Tagesoberfläche**

In Staufen im Breisgau (Deutschland) traten nach dem Abteufen mehrerer Erdwärmesonden (mit je ca. 140 m Tiefe), zur Beheizung unter anderem des Rathauses, erhebliche kleinräumige Hebungen von bis zu 20 cm im bebauten Stadtgebiet auf, die zu großen Zerrungen und Stauchungen bzw. Schiefstellungen an Gebäuden führten. Über 200 Häuser wurden dabei erheblich beschädigt. Die Ursache ist offiziell noch nicht geklärt, wahrscheinlich fand aber eine Reaktion von Wasser mit Anhydrit (wasserfreier dehydrierter Gips) statt. Durch die Umwandlung von Anhydrit zu Gips nimmt das Gestein Kristallwasser auf, wodurch es an Volumen zunimmt. Geschieht dies großflächig, so wird die Ausdehnung gegebenenfalls zur Tagesoberfläche übertragen und führt dort zu lokalen Hebungen, wodurch die Tagesoberfläche deformiert wird.

Das Problem des Aufquellens von Anhydrit bei der Umwandlung zu Gips ist aus dem Tunnelbau und dem Tiefbau bekannt und hängt von den regionalen geologischen Bedingungen ab.

### **6.1.3 Arteser**

Ein weiteres potenzielles Risiko bei einer Geothermiebohrung ist das Anbohren von Artesern, da der artesischer Austritt von Grundwasser nur sehr schwer bzw. kostenaufwändig zu stoppen ist und sehr große Schäden durch eine dann eintretende Überschwemmung eintreten können.

Ein Arteser entsteht, wenn man in ein Grundwasserleiter mit gespanntem Grundwasser bohrt, dessen hydraulisches Potential so hoch ist, dass es von alleine, d.h. ohne Pumpen, bis zur Erdoberfläche oder höher aufsteigt (genauere Definition und Grafiken, sowie Fotos dazu unter: <http://www.erdenergie.ch/?p=24> Stand: 23.05.2010).

### **6.1.4 Gespannte Gase**

Auch gespannte Gase können unvermutet angetroffen werden. Denkbar sind Kohlendioxid, Stickstoff aber auch Erdgas gegebenenfalls in Zusammenhang mit Erdöl. Solche Funde sind meistens nicht wirtschaftlich verwertbar, führen aber zu hohen Zusatzkosten auch wegen zusätzlicher Maßnahmen zum Explosionsschutz und zusätzlicher Kontamination der Bohrspülung mit Kohlenwasserstoffen.

## **6.2 Risiken für die Wirtschaftlichkeit eines tiefen Geothermieprojekts**

Bei der tiefen Geothermie ist vor allem das Fündigkeitsrisiko und das Umsetzungsrisiko zu beachten.

Die Risiken können beim Eintreten des Schadensfalls zu einer Unwirtschaftlichkeit des Vorhabens führen. Um das Scheitern von Geothermieprojekten zu verhindern, bietet die öffentliche Hand manchmal Bürgschaften an, die wirksam werden, wenn zum Beispiel in einer Bohrung kein heißes Tiefenwasser in ausreichender Menge angetroffen wird.

### **6.2.1 Fündigkeitsrisiko**

Wenn zum Beispiel die Geothermie von der Erschließung von in Klüften zirkulierendem heißen Tiefenwassers abhängt – heißen Quellen – hängt der Erfolg natürlich davon ab, ob bei der Bohrung solche Heißwasser führenden Klüfte mit ausreichender Schüttung tatsächlich angetroffen werden.

## **6.2.2 Umsetzungsrisiko**

Wenn beispielsweise Klüftzonen durch einen Riss (Frac) erst geschaffen werden müssen, um zwei Bohrungen zu verbinden und dabei die Oberfläche des aufgerissenen Gebirges als Flächenwärmetauscher zu nutzen, dann kann es passieren, dass die Risse die Bohrung nicht verbinden oder nach einiger Zeit kollabieren und damit ihre Funktion verlieren. Hier kann man von Umsetzungsrisiko sprechen, welches je nach Konzept und Standort unterschiedlich hoch sein kann.

## **6.2.3 Betriebsrisiko**

Während des Betriebes können Prozesse zu Einwirkungen auf das Projekt führen, die den Wärmeertrag so mindern, dass unplanmäßige Wartungsarbeiten erforderlich werden (z. B. Auflösungen von Kristallbildungen durch Säuerung). Da dann meistens teure Bohrausrüstungen angemietet und Fachleute bezahlt werden müssen, kann das zur Unwirtschaftlichkeit des Gesamtvorhabens führen.

## **6.3 Ökologische Aspekte und Risiken der tiefen Geothermie**

Inhalte dieses Kapitels übernommen aus: Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND), Dr. Werner Neumann, Sebastian Schönauer, Strom und Wärmeherzeugung aus der Geothermie, Anforderungen an die Produktionsprozesse aus ökologischer Sicht, Broschüre BUNDpositionen, 2007, in:

[http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/energie/20070300\\_energie\\_geothermie\\_position.pdf](http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/energie/20070300_energie_geothermie_position.pdf) (Stand 26.05.2010)

### **6.3.1 Regeneration des Wärmepotentials in der Erdkruste**

Die Geothermie wird zu den regenerativen Energiequellen gezählt, da ihr Potenzial als sehr groß und nach menschlichem Ermessen unerschöpflich gilt. Theoretisch würde allein die in den oberen 3 Kilometern der Erdkruste gespeicherte Energie ausreichen, um den derzeitigen Energieverbrauch der Menschheit für etwa 100.000 Jahre mit Energie zu versorgen. Allerdings ist nur ein sehr kleiner Teil dieser Energie technisch nutzbar.

Im Arbeitsbericht 84 des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag wurde 2003 ein jährliches technisches Angebotspotenzial aus geothermischer „Stromerzeugung von ca. 300 TWh/a für Deutschland ermittelt, was etwa der Hälfte der gegenwärtigen Bruttostromerzeugung entspricht“. Die Berechnungen in der Studie ermitteln einen nachhaltigen Nutzungszeitraum von eintausend Jahren für diese Form von 50% geothermischer Gesamtstromerzeugung.

Bei großtechnischen Anwendungen (Geothermie-Stromkraftwerke) wird Wärme dem Untergrund in großen Maßstab entzogen, und – in Abhängigkeit von dem vorherrschenden Anteil von Wärmeleitung bzw. -konvektion sowie damit verbunden geologischen Rahmenbedingungen – regional mehr Wärme entzogen, als zunächst „nachfließen“ (geleitet werden bzw. strömen) kann. Die in der Erdkruste gespeicherte Energie wird so abgebaut. Nach Beendigung der Nutzung werden sich jedoch die natürlichen Temperaturverhältnisse nach einer gewissen Zeit wieder einstellen – das Wärmepotenzial würde regenerieren. Die Nutzungsdauer eines Kraftwerks bzw. Standortes ist also je nach Rate der entnommenen Energie begrenzt.

Das Entnahmeszenario der Studie berücksichtigt die Wärmeströme in der Potenzialberechnung.

#### **6.3.1.1 Regeneration des Wärmereservoirs durch Konvektion in klüftigen Systemen**

Wärmetransport durch Konvektion ist effektiver als Wärmeleitung. Deswegen wird in Mitteleuropa primär nach geologischen Gebieten gesucht, in denen hydrothermale Systeme etabliert werden können. In Klüften strömt warmes oder heißes Tiefenwasser nach (offene Kluftsysteme in Karstgebieten oder geologischen Bruchzonen).

In einer Modellrechnung über den Wärmetransport wurde in diesem Zusammenhang exemplarisch für einen Standort im bayerischen Molassebecken das Folgende festgestellt: Für ein hydrothermales System im Malmkarst mit 50l/s Reinjektionsrate und 55 °C Reinjektionstemperatur wurde die folgende Zeitdauer für die Wärmeregeneration unmittelbar um die Injektionsbohrung nach Abschluss des Betriebs bei rein konduktivem Wärmetransport berechnet:

Nach 2.000 Jahren wird eine Temperatur von 97 °C und etwa 8.000 Jahre nach Betriebsende die Ausgangstemperatur von 99,3 °C wieder erreicht.

„Die Modellierung der Wärmeregeneration nach Abschluss eines 50 Jahre währenden Betriebszeitraumes unter den gegebenen Randbedingungen verdeutlicht, dass frühestens nach 2000 Jahren mit einer weitgehenden thermischen Regeneration des Reservoirs im Malm zu rechnen ist“. Die Modellrechnung verdeutlicht aber auch das hohe Potenzial des Reservoirs: „Im vorliegenden Szenario kann zusammengefasst gesagt werden, dass im Betriebszeitraum von 50 Jahren erwartungsgemäß nur von einer geringen thermischen Beeinflussung des Nutzhorizontes auszugehen ist, da die erschlossene Malm-Mächtigkeit mehrere 100 Meter beträgt und somit ein ausreichend großes Wärmereservoir zur Wiedererwärmung des injizierten Wassers zur Verfügung steht. Exemplarisch zeigt ... die radiale Kaltwasserausbreitung im Injektionshorizont zu diesem Zeitpunkt [mit] [einem] Radius von ca. 800 m.“

### **6.3.1.2 Regeneration des Wärmereservoirs ausschließlich über Wärmeleitung in dichtem Gestein**

In diesen Fällen wird Wärme ausschließlich aus dem Wärmestrom konduktiv nachgeliefert.

Der Wärmestrom hängt vom Wärmeleitkoeffizienten des benachbarten Untergrundes ab. Die Entnahme muss so gestaltet werden, dass während der geplanten Betriebsdauer die Rücklauftemperatur nicht unter den Mindestwert absinkt, der durch das Nutzungskonzept bestimmt wird.

Die Regeneration des Wärmepotentials im Abbaubereich benötigt wesentlich mehr Zeit als bei konvektivem Wärmetransport.

### **6.3.2 Kontamination von Grund- bzw. Oberflächenwasser mit Schadstoffen**

Nach gesetzlichen Bestimmungen muss ausgeschlossen werden, dass Quellen oder sogar Heilquellen durch ein Geothermieprojekt beeinträchtigt werden.

Bei der Förderung von Thermalfluiden (Wasser/Gas) stellen gegebenenfalls die Wasserinhaltsstoffe eine Umweltgefahr dar, falls das Fluid nicht reinjiziert wird. Die Reinjektion der Thermalfluide ist allerdings mittlerweile Standard.

Enthalten die durchströmten Erdschichten Sulfide, so kann hochgiftiger und hochentzündlicher Schwefelwasserstoff freigesetzt werden.

Wird Wasser aus tiefen, sauerstofffreien Grundwasserschichten mit gelöstem zweiwertigem Eisen (FeII) in sauerstoffreiche (Oberflächen-) Gewässer gebracht, so kommt es zur Erniedrigung des pH-Wertes bzw. Versauerung durch die Oxidation von zwei- zu dreiwertigem Eisen. Dabei wird im Wasser gelöster Sauerstoff in dreiwertige Eisenverbindungen übergeführt. Es kann Sauerstoffmangel in Oberflächengewässern entstehen, der sogar Fischsterben



auslösen kann.

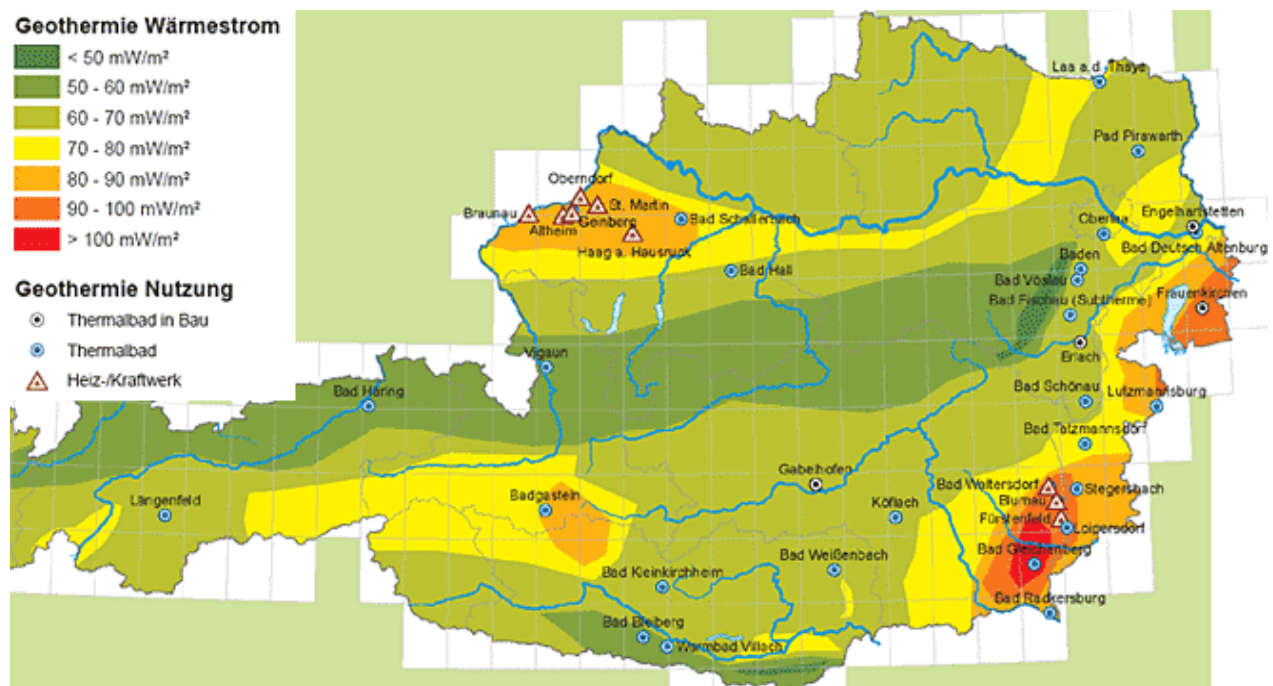
Im Bereich der oberflächennahen Geothermie besteht das Risiko, bei Nutzung eines tieferen Grundwasserleiters den trennenden Grundwassernichtleiter derart zu durchstoßen, dass ein die Grundwasserstockwerke verbindendes Fenster entsteht, mit der möglichen Folge nicht gewünschter Druckausgleiche und Mischungen. Bei einer ordnungsgemäßen Ausführung der Erdwärmesonde wird dies allerdings zuverlässig verhindert.

Auch gespannte Gase können unvermutet angetroffen werden. Denkbar sind Kohlendioxid, Stickstoff aber auch Erdgas gegebenenfalls in Zusammenhang mit Erdöl. Solche Funde sind meistens nicht wirtschaftlich verwertbar, führen aber zu hohen Zusatzkosten auch wegen zusätzlicher Maßnahmen zum Explosionsschutz und zusätzlicher Kontamination der Bohrspülung bzw. von vorher trinkbaren Grundwassers mit Kohlenwasserstoffen.

Die Gefahr der ungewollten und Wasserqualität beeinträchtigenden Zusammenführung unterschiedlicher Grundwasserschichten bzw. -ströme besteht grundsätzlich immer.

#### 6.4 Status und Potenzial der Nutzung Tiefer Geothermie in Österreich (Wärme und Strom)

Zur Verteilung des Wärmestromdichte in der Erdkruste auf österreichischem Bundesgebiet:



Karte mit Erdtemperaturen und Kraftwerken aus: Geo-Atlas Österreich - Die Vielfalt des geologischen Untergrundes, T. Hofmann & H.P. Schönlaub (Hrsg.), Böhlau Verlag Wien; Quelle: <http://science.orf.at/science/news/154441> (Stand: 11.02.2009)

Unter den derzeitigen wirtschaftlichen und geologischen Rahmenbedingungen liegt das Geothermie-Potential in Österreich insgesamt bei 2000 MW thermischer Energie und rund 7 MW Strom. Die geologisch günstigsten Lagen sind die steirische Thermenregion, das ober- und niederösterreichische Molassebecken und das Wiener Becken. In einigen dieser Gebiete ist allerdings die Besiedlung sehr gering, was die Wirtschaftlichkeit der Nutzung beeinträchtigt. Bis heute konnten insgesamt zwölf geothermische Anlagen mit einer thermischen Leistung von ca. 41,5 MW in Österreich errichtet werden. Die Anlage in Altheim, die ca. 650



Haushalte mit Wärme versorgt, ist derzeit das größte auf Geothermie basierende Nahwärmesystem in Österreich. Bei zwei Anlagen werden die Thermalwässer mittels ORC-Turbine zusätzlich auch zur Stromerzeugung genutzt.

aus <http://www.energyprojects.at/waermeinfo.php>, (Stand: 9.4.2010),  
Quelle: Österreichischen Energieagentur

#### *Geothermale Stromerzeugung in Österreich:*

insgesamt kleiner Anteil vom gesamten Nutzungspotential der Erdwärme; grundsätzlich in Österreich – auf eben niedrigem Niveau – noch deutlich ausbaufähig (von 0.002 TWh/a im Jahr 2008 auf 1.0 TWh/a im Jahr 2020;

Quelle: Photovoltaic Austria (Hrsg., 2009): "2020 - 100% sauberer Strom für alle". Eigenverlag ("Stromgipfel\_2009.pdf");

#### *Bestand der tiefen Geothermie in Österreich*

*Karte:* Bestand und Potenzialgebiete der hydrothermalen Geothermie in Österreich.:  
<http://www.regioenergy.at/geothermie> (Stand: 02.04.2010)

Geothermale Energie wird schon sehr lange genutzt – allerdings größtenteils „nur“ für die sogenannte balneologische Nutzung, d.h. als direkte Warmwassernutzung in Thermalbädern. Erst seit ca. 1980 wurde begonnen, Geothermie auch für die umweltfreundliche Energieproduktion, vor allem als Fern- und Nahwärme, zu nutzen. Möglich ist weiters auch die Kälte- und Elektrizitätsproduktion, wenngleich beide Sparten gegenwärtig kaum eine Rolle spielen. Die Wahrnehmung der Geothermie in der aktuellen Energiedebatte ist sehr gering bis nicht vorhanden, obwohl in Österreich bereits ca. 15 Anlagen seit einigen Jahren Wärme, zwei der Anlagen auch kombiniert Elektrizität produzieren. Die aktive installierte Wärme-Gesamtleistung liegt etwa bei 93 Megawatt bzw. die thermische Arbeit bei ca. 139 Gigawattstunden pro Jahr (Schätzung, Stand 2006). Im Energiemix der erneuerbaren Energie ist die tiefe Geothermie damit das kleinste Leistungssegment, gleichzeitig dasjenige mit dem stärksten Ausbaupotenzial im Vergleich zum Bestand. Die stärkste österreichische Wärmeanlage in Altheim/Oberösterreich versorgt in einem Nahwärmenetz immerhin etwa 700 Haushalte mit CO<sub>2</sub>-frei gewonnener Wärme. Zusätzlich gibt es in den letzten Jahren eine starke Zunahme der seichten Geothermie (Erd-Wärmepumpen bis maximal 400 m Tiefe) im privaten Hausbau für die Raumheizung, speziell bei Neubauten im Passiv- oder Niedrigenergiestandard.

Unter „tiefer Geothermie“ wird im Folgenden die Analyse von Potenzialen zur Wärmeerzeugung für Gebäude verstanden, die sich aus der Nutzung existierender heißer Tiefenwässer oder heißer Gesteinsschichten in Österreich ergeben. Der aktive Anlagenbestand wird bei der technischen Potenzialabschätzung nicht berücksichtigt (dies geschieht erst bei der Analyse der realisierbaren Potenziale). Die für die Wärmergewinnung relevanten Böden und Grundwässer befinden sich in einer Tiefe von mindestens 1,5 bis etwa 3 km Tiefe, die Energieerzeugung kann dabei durch einen Wärmetausch direkt aus dem heißen Grundwasser oder mit eingeschleiften Rohrleitungen erfolgen. Bei der Grundwasser- oder hydrothermalen Nutzung werden die heißen Wässer an die Erdoberfläche gepumpt, dort wird die Wärme in einer Wärmetauschanlage entnommen, danach wird das abgekühlte Wasser in einer Entfernung von ca. 5 Kilometern wieder zurück in die Tiefe gepumpt. Bei der In-situ-Variante wird die Wärme aus heißen Gesteinsschichten über eine Rohrschleife, gefüllt mit einem flüssigen Wärmeträgermedium, entnommen, d.h. es gibt keinen Direktkontakt zu wasserführenden Schichten.

Die tiefe Geothermie braucht ganz besondere geologische Gunstlagen, zu diesen Eigenschaften gehört eine bestimmte Porosität des Gesteins, eine bestimmte Mächtigkeit der wasserführenden Schichten (Mindestvolumen und -Temperatur der Wässer) und eine bohrtechnisch erreichbare Tiefe der Aquifere (das sind Gesteinsschichten der

Grundwasserhorizonte). Die Lage dieser Gebiete ist mittlerweile zu großen Teilen aus Bohrungen der OMV oder anderen geologischen Grundlagenforschungen bekannt. Die Größe der Potenzialgebiete – verknüpft mit einem technisch möglichen Energieertrag pro Fläche – lässt es zu, einen Wert pro Bezirk zu ermitteln.

Rein physikalisch-theoretisch betrachtet ist die Geothermie als Energiequelle unerschöpflich, denn 99% des Erdvolumens sind über 1000°C heiß, aber im Rahmen der vorliegenden Studie sollen aber vor allem jene Gebiete analysiert werden, die bereits eine wirtschaftliche Nutzung der geothermischen Energie betreiben oder in denen eine solche in Zukunft bei guter Wirtschaftlichkeit höchstwahrscheinlich zu erwarten ist. Der natürliche durchschnittliche Wärmestrom aus dem Erdinneren beträgt ca. 65 W/m<sup>2</sup> (Haas, Reinhard, et. al., 2006, S. 70), es gibt aber besondere geologische Zonen, die schon in relativ „geringen“ Tiefen über ein deutlich höheres Temperaturniveau verfügen und in denen gleichzeitig der geologische Wissensstand aufgrund von zahlreichen Bohrungen der OMV (für Explorationszwecke von Kohle, Erdöl oder Erdgas) sehr gut ist. Diesen Gebieten gilt das besondere Interesse, räumlich gehört dazu das westliche Oberösterreich, die Südsteiermark und das Südburgenland sowie das nördliche Wiener Becken incl. großer Stadtteile Wiens.

Die Ergebnisse dieser Potenzialanalyse sind hier zu sehen: Technisches Potenzial | Reduziertes technisches Potenzial

<http://www.regioenergy.at/geothermie> (Stand: 02.04.2010)

Es gibt auch noch weitere geothermische Potenziale, die sich weltweit erst in der Pilotphase befinden, oder geologisch in Österreich nicht attraktiv genug sind, um derzeit eine bedeutende Rolle zu spielen. Das bedeutet freilich nicht, dass sich das in ferner Zukunft nicht ändern könnte oder dass das theoretisch riesige Potenzial vernachlässigbar wäre. Diese Potenziale sind:

- Potenziale aus der sogenannten seichten Geothermie. Darunter wird die Wärmegewinnung mit Flach- oder Tiefkollektoren bis zu einer maximaler Tiefe von 400 Metern verstanden, meist für einzelne Gebäude. Die seichte Geothermie nutzt die Wärmezunahme (im Durchschnitt etwa +3°C pro 100 m Tiefe) über ein Trägermedium per Wärmepumpe. Besondere Potenziallagen sind also nicht notwendig und dadurch auch nicht räumlich verortbar.

- In-situ-Verfahren (Geschlossene, mit Wärmemedium gefüllte Rohrschleife), die auch wesentlich größere Erträge ermöglichen würden, aber viel tiefere Bohrtiefen (> 2500 m) benötigen.

- Hot-Dry-Rock Verfahren: Hierbei wird künstlich Wasser von der Oberfläche mit hohem Druck in heißes Gestein eingebracht, um die Erwärmung dann abzutauschen. Damit können seismische Risiken einhergehen. Es gibt weltweit erst einige Pilotanlagen.

- Nutzung von Magmavorkommen oder von hydrothermalen Hochdrucklagerstätten

*Zur Wirtschaftlichkeit:*

Allgemein gilt für die Geothermie genau wie für alle erneuerbaren Energieträger: je teurer und knapper fossile Brennstoffe werden, desto attraktiver werden sehr bald die erneuerbaren, weil die benötigten Rohstoff- und Betriebskosten entweder sinken oder nicht im selben Maße wie bei den fossilen Trägern steigen werden. Zusätzlich kann von einer Effizienz- und Ertragssteigerung des Outputs durch technische Innovationen und auch gezielte Förderpolitik ausgegangen werden. Die Steigerung der Produktionsanteile aus erneuerbaren Energien ist kein Imageprojekt, sondern wird mit sehr ambitionierten Produktionsanteilen von nationalen und EU-weiten Politiken und Richtlinien vorgeschrieben.

aus: <http://www.regioenergy.at/geothermie> (Stand 02.04.2010)

## Glossar

**Thermalfluide, Fluide:** gemeint sind bewegliche bzw. flüchtige Stoffe in der Erdkruste, entweder Flüssigkeiten, Gase, oder verflüssigte Gase (unter Standardnormalbedingungen Gase)

## Literatur / Weblinks

Dietmar Adam (2008), Effizienzsteigerung durch Nutzung der Bodenspeicherung, Präsentationsslide der Ringvorlesung Ökologie der Technischen Universität Wien, Institut für Grundbau und Bodenmechanik, aus 2008:

[http://www.bpi.tuwien.ac.at/english/teaching/2008-04-17\\_Geothermie-TU-Wien.pdf](http://www.bpi.tuwien.ac.at/english/teaching/2008-04-17_Geothermie-TU-Wien.pdf)  
(Stand 21.04.2010)

BRÜCK, Jürgen (2008): Neue Energiekonzepte für Haus- und Wohnungsbesitzer. [mit Checklisten, Spar-Tipps und Förderprogrammen]. Deutsches Institut für Normung. Berlin: Beuth

LOOSE, Peter (2007): Erdwärmenutzung. Versorgungstechnische Planung und Berechnung (2., überarb. und erg. Aufl.). - Heidelberg: Müller

umfassender und guter Wikipedia-Artikel zu Geothermie  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Geothermie> (Stand 28.03.2010)

Einspeisetarife, u.a. Geothermie, in Österreich:  
<http://www.e-control.at/de/industrie/oeko-energie/einspeisetarife> (Stand 22.05.2010)

Gronemeyer M. (2008): „Genug ist genug. Von der Kunst des Aufhörens“. Primus Verlag, Darmstadt.

Gronemeyer M. (2002): Die Macht der Bedürfnisse. Überfluss und Knappheit. Primus Verlag, Darmstadt.

Erklärung Fachbegriff Jahresarbeitszahl, JAZ:  
<http://www.energiesparhaus.at/Fachbegriffe/arbeitszahl.htm> (Stand 30.05.2010)

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND, Hrsg.), Neumann W., Schönauer S. (2007): „Strom und Wärmeerzeugung aus Geothermie“. Kapitel 3. Reihe BUND-Positionen, Berlin.

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) (2007), Dr. Werner Neumann, Sebastian Schönauer, Strom und Wärmeerzeugung aus der Geothermie, Anforderungen an die Produktionsprozesse aus ökologischer Sicht, Broschüre BUNDpositionen, 2007, in:

[http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/energie/20070300\\_energie\\_geothermie\\_position.pdf](http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/energie/20070300_energie_geothermie_position.pdf) (Stand 26.05.2010)

Beschreibung von Artesern, im Zusammenhang mit Erdwärme:  
<http://www.erdenergie.ch/?p=24> (Stand 23.05.2010)

Karte mit Erdtemperaturen und Kraftwerken aus: Geo-Atlas Österreich - Die Vielfalt des geologischen Untergrundes, T. Hofmann & H.P. Schönlaub (Hrsg.), Böhlau Verlag Wien; Quelle: <http://science.orf.at/science/news/154441> (Stand 11.02.2009)

Geothermie Potential in Österreich, Österreichischen Energieagentur:  
<http://www.energyprojects.at/waermeinfo.php>, (Stand 9.4.2010)

Bestand und Potenzialgebiete der hydrothermalen Geothermie in Österreich:  
<http://www.regioenergy.at/geothermie> (Stand 02.04.2010)

Umweltministerium Baden-Württemberg (2005), Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden, 4. überarbeitete Neuauflage, Mai 2005

Herbert Paschen, Dagmar Oertel, Reinhard Grünwald (2003), Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland, Sachstandsbericht, Büro für Technikfolgen Abschätzung (TAB) beim Deutschen Bundestag, Arbeitsbericht Nr. 84, Februar 2003.