

Wie ist das mit der Erdwärme ?

von Joachim Grawe

e-mail Joachim.Grawe@energie-fakten.de

Hier die Fakten - vereinfachte Kurzfassung

Vor allem auf Grund von Zerfällen natürlicher radioaktiver Elemente steigt die Temperatur der Erde je 100 m Tiefe normalerweise um 3 °C. In vulkanischen Gebieten werden schneller höhere Untergrund-Temperaturen erreicht (Geothermische Anomalien) Hier kann die Erdwärme genutzt werden, wenn Warmwasser-Lagerstätten vorhanden sind. Das Wasser dringt entweder in Thermalquellen oder Geysiren nach oben, oder es muss erbohrt werden.

Ab etwa einer Temperatur von 100 °C und einer Schüttung von 30 m³ pro Stunde kommt auch eine Nutzung für die Wärme- und u. U. die Stromversorgung in Betracht. Allerdings sollte das warme Grundwasser nicht tiefer als 3.000 m liegen. Die Nutzung geschieht seit längerem weltweit, besonders in den USA, den Philippinen und Mexiko (Strom) sowie Island, Neuseeland und Russland (Wärme). Das größte

europäische Geothermie-Kraftwerk befindet sich in Lardarello (Italien).

In Deutschland sind die Voraussetzungen zur Erdwärmegewinnung nicht sonderlich günstig. Immerhin gibt es geothermische Anomalien im Oberrheingraben, im Voralpenland und im norddeutschen Becken. Zahlreiche süddeutsche Gemeinden betreiben Thermalbäder. In Waren/Müritz (älteste deutsche Anlage), Neustadt-Glewe (beide in Mecklenburg-Vorpommern), Prenzlau (Brandenburg) und Erding bei München sind geothermische Heizwerke zur Versorgung einiger hundert Gebäude entstanden.

Weniger aufwendig sind kleine Sonden bis zu 100 m Tiefe in Verbindung mit Wärmepumpen. Das (von Solarstrahlung und Geothermie erwärmte) Wasser bzw. die Sole (Salzlösung) wird durch die Wärmepumpen auf die für Warmwasser bzw. Hei-

zung eines Hauses benötigte Temperatur gehoben. Insoweit sind große Potentiale ermittelt worden.

Strom wird hierzulande aus Erdwärme bisher nicht erzeugt. Verschiedene Projekte wurden vor allem aus wirtschaftlichen Gründen nicht weiter verfolgt. Wegen des kontinuierlichen Betriebs der Anlagen (anders als bei Wind- und Solarenergie) ist die Stromerzeugung aber längerfristig interessant.

Probleme bei der Erdwärmee-Nutzung bereitet der oft hohe Gehalt des Wassers an Mineralien (Salzen) und schädlichen oder lästigen Gasen wie Schwefeldioxid und Schwefelwasserstoff. Die – infolge der niedrigen Temperaturen – ohnehin geringen Wirkungsgrade sinken wegen der dadurch notwendigen Zwischenschaltung von Wärmetauschern weiter.

Erdwärme könnte größere Bedeutung auch in Mitteleuropa

erlangen, wenn es gelänge, auch heiße Trockengesteine (ohne Warmwasser-Lagerstätten) „anzzapfen“. Dazu müssen Wasser eingepumpt und künstliche Risse im Gestein erzeugt werden. Die prinzipielle technische Machbarkeit ist erwiesen. Noch sind nicht alle Zusammenhänge erforscht. Im Wege stehen auch die hohen Kosten, vor allem,

wenn tiefer gebohrt werden muss. Ein europäisches Projekt im Elsass soll weitere Erkenntnisse vermitteln.

Nachtrag August 2005

Insgesamt gibt es inzwischen mehr als 30 Nahwärme-Systeme, die ganz oder teilweise aus Erdwärme gespeist werden. Eine Reihe weiterer Vorhaben wird

verfolgt. Ende 2003 ist in Neustadt-Glewe (Mecklenburg-Vorpommern) ein kleines Geothermie-Kraftwerk in Betrieb gegangen. Tiefbohrungen sind sehr teuer. Die Nutzung der oberflächennahen Erdwärme mit Hilfe von Wärmepumpen für einzelne Gebäude kommt rasch voran.

Wie ist das mit der Erdwärme ?

von Joachim Grawe

e-mail Joachim.Grawe@energie-fakten.de

Hier die Fakten - Langfassung

1. Erdwärme (Geothermie) entsteht überwiegend durch Zerfälle natürlicher radioaktiver Elemente in der Erdkruste, aber auch (an der Erdoberfläche weniger spürbar) im Erdinneren; in geringem Umfang wirkt sich Resthitze aus dem Entstehungsprozess der Erde aus. Sie bewirken, dass die Temperatur mit zunehmender Tiefe steigt, normalerweise mit 3 °C je 100 m (geothermischer Tiefengradient). Die Energieflussdichte ist mit 0,06 Watt (W) je m² sehr gering und erlaubt keine technische Nutzung der Geothermie (ausser über Wärmepumpen – siehe unten). An vielen Stellen der Erde mit aktiven oder erloschenen Vulkanen ist jedoch glutflüssige Magma aus dem Erdinnern in die Nähe der Erdoberfläche aufgequollen. In diesen Gebieten (geothermischen Anomalien) werden bis zum Vierfachen höhere Untergrund-Temperaturen erreicht.

2. Wenn in geothermischen Anomalien poröse (durchlässige) Gesteinsformationen vorhanden

sind, kann Grundwasser in sie eindringen und Warmwasser-Lagerstätten bilden. Nicht selten tritt das Wasser entweder in flüssigem Aggregatzustand oder als Dampf auf natürlichem Wege zutage in Form von Thermalquellen und Geysiren (heissen Quellen, die in regelmäßigen Abständen Wasser- oder Dampffontänen ausstoßen). Solche Quellen und erbohrte Vorkommen warmen bzw. heißen Wassers lassen sich balneologisch (für Bäder) und ab einer Temperatur von etwa 100 °C sowie bei ausreichender Ergiebigkeit (Schüttung mindestens 30 m³ pro Stunde) mit erprobter Technik auch für Zwecke der Wärme- und Stromversorgung nutzen. Man unterscheidet oberflächennahe (bis 400 m) und Tiefen-Geothermie. Die Vorkommen sollten im Regelfall nicht tiefer als 3.000 m liegen.

3. Bei der geothermischen Stromerzeugung sind die USA, die Philippinen und Mexiko führend. Weltweit sind bisher mehr als 250 Anlagen mit zu-

sammen rd. 9.000 Megawatt elektrischer Leistung (MW_{el}) errichtet worden.

Das älteste und größte europäische Erdwärme-Kraftwerk befindet sich in der Toskana nahe Lardarello. Dort wird seit 100 Jahren Strom erzeugt. Die Anlagen sind auf eine Gesamtleistung von 480 MW_{el} ausgebaut worden. Der in einem Umkreis von mehreren Quadratkilometern ausströmende Dampf wird in oberirdischen Rohrleitungen zu den Turbinen geleitet.

Dort wo die Temperatur für eine Stromerzeugung nicht ausreicht, kann Geothermie (ab etwa 35 °C) zur Wärmeversorgung genutzt werden. Auch das geschieht in vielen Ländern mit geothermischen Anomalien. Weltweit ist eine Kapazität von rd. 15.000 Megawatt thermisch (MW_{th}) installiert. Anlagen dieser Art werden vor allem in Island, Neuseeland und Russland, aber auch im Pariser Becken, betrieben.

4. In Deutschland sind die Voraussetzungen zur Nutzung der

LANGFASSUNG

Erdwärme (ausser für Thermalbäder und über Wärmepumpen) nicht sehr günstig. Jedoch gibt es Anomalien im Oberrheingraben, im Norddeutschen Becken und im süddeutschen Molassegebiet (Molasse = Sedimentgesteine) zwischen Donau und Alpen mit Temperaturen bis zu 100 °C in 1.000 bis 2.000 m Tiefe. Das insgesamt technisch nutzbare Potential (ohne Rücksicht auf Wirtschaftlichkeit) wird immerhin auf etwa fünf Prozent des deutschen Endenergieverbrauchs geschätzt.

Rd. 20 Gemeinden betreiben Thermalbäder auf der Basis von Erdwärme, als größte Stuttgart. Vereinzelt werden nebenbei auch Gebäude beheizt und warmes Brauchwasser bereitet. Die energetische Nutzung begann 1984 in der ehemaligen DDR mit dem Heizwerk Waren/Müritz. Seine thermische Leistung beträgt 5,2 MW_{th}. Versorgt werden 800 Wohnungen, ein Kindergarten und ein Einkaufszentrum. Die modernsten geothermischen Heizzentralen mit 12 bzw. 18 MW_{th} gingen 1992 in Neustadt-Glewe (Mecklenburg-Vorpommern) und 1998 in Erding bei München in Betrieb. Das Vorkommen in Erding liefert stündlich 100 m³ Wasser mit 65 °C. In Prenzlau (Brandenburg) wird die Erdwärme in 3.000 m Tiefe durch einen Wärmetauschvorgang genutzt. Kaltes Wasser wird durch ein Rohr in die Tiefe geleitet, dort erwärmt und über ein zweites Rohr (Doppelrohrsystem) nach oben geleitet. Bei zu geringer Temperatur wird das Wasser durch eine Wärmepumpe erhitzt. Die Anlage versorgt

rd. 3.000 Wohnungen. Auch in diesen Fällen geht es um die Belieferung nahegelegener Neubaugebiete. Weite Transportwege verträgt die Erdwärme nicht (wie generell die Fernwärme). In einer Anzahl – meist süddeutscher – Gemeinden werden weitere Projekte verfolgt. In Braunau (Österreich) und Simbach (Bayern) ist grenzüberschreitend die größte Anlage mit 40 MW_{th} im Bau.

Zunehmend wird die Erdwärme in einer Tiefe bis zu 100 m durch Sonden für den Betrieb von Wärmepumpen „angezapft“. In verschiedenen Städten Nordrhein-Westfalens geschieht das schon in größerem Umfang, In Ettlingen (Baden) wurden bei einer systematischen Untersuchung große Potentiale ermittelt. Auch einige öffentliche Gebäude (u.a. der Reichstag in Berlin, aber Ergänzung durch Rapsdiesel-Heizkraftwerk) werden so beheizt. Erdwärme-Wärmepumpen sind eine unter den deutschen Gegebenheiten vielversprechende Technik.

5. Gegenüber der Solarstrahlung und der Windkraft hat die Geothermie den großen Vorteil, dass sie nicht unständig, sondern gleichmäßig Energie liefert. Nach einigen Jahrzehnten ist allerdings ein Reservoir erschöpft. Es dauert Jahrtausende, bis das nachströmende Wasser wieder auf die ursprüngliche Temperatur erhitzt ist. Jedoch kann in nicht allzu großer Entfernung eine neue Bohrung niedergebracht werden.

Geothermische Heizwerke können Wärme an Orten wie den genannten mit drei bis vier Cents je Kilowattstunde (kWh_{th}) etwa zum Doppelten des derzei-

tigen Erdgaspreises bereitstellen.

Die Stromgestehungskosten aus Erdwärme sind noch zwei- bis dreimal so hoch wie diejenigen konventioneller Kraftwerke. Dabei spielt es eine Rolle, dass der Wirkungsgrad geothermischer Anlagen wegen der im Verhältnis niedrigen Ausgangstemperaturen gering ist.

6. Der meist (allerdings nicht bei den Vorkommen im Alpenvorland) hohe Gehalt des Thermalwassers an Mineralien (Salzen) ist bei der balneologischen Nutzung grundsätzlich vorteilhaft. Andererseits schafft er Korrosionsprobleme bei den Energieanlagen. Vielfach sind deshalb Wärmetauscher notwendig. Dadurch sinkt aber der Wirkungsgrad weiter. Das Wasser muss nach dem Entzug der Wärme in den Untergrund zurückgeleitet werden. Eine Belästigung oder sogar Beeinträchtigung können die gasförmigen Substanzen wie Schwefelwasserstoff darstellen. Auch die Emissionen von Schadgasen (z.B. Schwefeldioxid) sind nicht gering.

7. Die Erdwärme würde für die Energieversorgung der Menschheit wesentlich größere Bedeutung erlangen, wenn auch die heißen Trockengesteine ohne natürliche Dampf- oder Heisswasser-Vorkommen der geothermischen Anomalien ausgebeutet werden könnten. Hierzu ist in den 1970er Jahren in den USA das Hot-Dry-Rock-Verfahren entwickelt worden. In ein Bohrloch (Injektionsbohrung) wird kaltes Wasser eingepresst. Das Gestein in der Tiefe wird künstlich zertrümmert, bzw. vorhandene Risse werden technisch er-

LANGFASSUNG

weitert. Das Wasser durchströmt diese und heizt sich dabei auf. Durch ein Steigrohr in einer zweiten, einige hundert Meter entfernten Bohrung (Extraktionsbohrung) soll es möglichst ohne Energieaufwand wieder nach oben steigen. Die prinzipielle Machbarkeit wurde erwiesen. Allerdings sind noch verschiedene technische Probleme zu lösen. Für den Erfolg kommt es sehr auf die Eignung des Gesteins und dessen Temperatur an. Nur ein Teil des Wassers kann wieder gewonnen werden. Die Kosten sind hoch.

Auch in Deutschland wurde ein Forschungsprojekt der Hot-Dry-Rock-Technik in Urach (Württemberg) technisch erfolgreich durchgeführt. Man musste dort aber sehr tief bohren. Ein weiteres Vorhaben in Bühl (Baden) scheiterte an mangelnder Wirtschaftlichkeit.

Derzeit läuft ein groß angelegtes Pilotprojekt der EU in Soultz-sous-Forêts (Elsass). In 1.000 m Tiefe wurden 110 °C gemessen. In einem Test konnten 1997 aus 3.900 m bis zu 90 m³ Wasser pro Stunde mit 142 °C gefördert werden. Mittlerweile ist die Bohrung an ihrem Endpunkt bei 5.000 m angelangt. Dort ist heißes Trockengestein mit 200 °C anzutreffen. Es weist natürliche Spalten und Risse auf, die aber noch erweitert werden müssen. Geplant ist zunächst eine Anlage mit rd. fünf MW_{el} und rd. 50 MW_{th} Leistung. Sie könnte 20 bis 30 Jahre betrieben werden. Dann müsste sie einige Kilometer versetzt werden. Die Kosten des dort zu erzeugenden Stroms werden auf 7 bis 8 Cent je kWh_{el}

geschätzt. Das ist mehr als zweimal so hoch wie die Vollkosten eines neuen Kern-, Kohle- oder Gaskraftwerks.

Nachtrag Dezember 2003

Ende 2003 ging in Neustadt-Glewe ein erstes kleines Erdwärmekraftwerk mit 210 Kilowatt Leistung in Betrieb. Die Investitionskosten betragen rd. 1,6 Millionen EURO; 50 Prozent davon wurden von der Bundesregierung gefördert. Da das heiße Wasser aus rd. 2.200 Meter Tiefe nur 98 °C misst, war die Installation einer gewöhnlichen Dampfturbine nicht möglich. Statt dessen wird das Kraftwerk im sog. Organic Rankine Cycle betrieben, d. h., die Turbine wird mit dem aus Erdöl gewonnenen Kohlenwasserstoff Perfluoropentan beaufschlagt, der schon bei 30 °C siedet.

Nachtrag August 2005

a) In den letzten 1 1/2 Jahren sind weitere Erdwärme-Nutzungen hinzu gekommen. Insgesamt gibt es in Deutschland mittlerweile 34 geothermische Systeme.

b) So wird der neu entstehende Stadtteil München-Riem (ehemaliges Flughafen-Gelände) seit Ende 2004 mit einer Kombination aus einer geothermischen Anlage und zentralen Erdgas-Kesseln beheizt. Erstere soll 50 % des Jahresbedarfs liefern. Ihre Wärmeleistung beträgt 7 Megawatt (MW). Die beiden Bohrungen sind bis zu einer Tiefe von 3020 bzw. 2746 m getrieben worden. Die Schüttung beträgt gut 140 m³ pro Stunde bei einer Förder-Temperatur

von 93 °C. Nach der Ausnutzung wird das Wasser mit rd. 60 °C in den Untergrund zurück geleitet.

- c) Ähnliche Projekte der geothermalen Wärmegewinnung werden an mehreren Standorten im Oberrheingraben (u. a. Bruchsal, Ettenheim, Kehl, Speyer) und im bayerischen Voralpenland (z. B. Unterhaching) verfolgt. Dagegen ist das auf die Stromerzeugung abzielende Hot-Dry-Rock-Vorhaben in Bad Urach wegen unerwarteter Mehrkosten in finanzielle Schwierigkeiten geraten. Der Bohrturm wurde abgebaut. Nach wie vor gilt: Wenn tief gebohrt werden muss, können geothermische Systeme, vor allem bei schwierigem Untergrund, sehr teuer werden. Die Bohrungen für das System in München-Riem (siehe oben b) kosteten rd. 850 Euro je m. Größere Kostensenkungen sind insoweit kaum möglich.
- d) Zunehmendes Interesse findet die Nutzung der oberflächennahen Erdwärme (inzwischen bis 200 m) mit Hilfe von Wärmepumpen für die Beheizung und Warmwasserversorgung von einzelnen Gebäuden. Durch staatliche Förderung hat diese Form der Geothermie vor allem in Baden-Württemberg deutlich zugenommen. Bei sorgfältiger Planung und richtiger Dimensionierung sind die Anlagen dank der Zuschüsse wirtschaftlich.
- e) Langfristig wird ein Anteil der Geothermie an der deutschen Stromerzeugung von 2 % für möglich gehalten. Wesentlich

LANGFASSUNG

größere Bedeutung dürfte die Erdwärme für den Wärmemarkt erlangen. So gibt es Schätzungen, dass Wärmepumpen, die dem Erdreich die Wärme entziehen, langfristig bis zu 10 % des gesamten Endenergieverbrauchs decken könnten (an dem die Niedertemperatur-Wärme bis 100 °C einen Anteil von mehr als 40 % hat). Dieser Wert erscheint allerdings sehr optimistisch. ■