

Stand: September 2006

Erdwärme

Erdwärme gehört zu den Energiequellen, deren Einsatz den Ausstoß von Treibhausgasen deutlich reduzieren kann. Im Gegensatz zu den anderen regenerativen Energien steht sie fast überall und jederzeit zur Verfügung – unabhängig vom Klima und von der Jahres- und Tageszeit. Allerdings können die Wärmespeicher unter ungünstigen Bedingungen abnehmen, da eine „Wärmelagerstätte“ abgebaut wird.

Aufgrund der gestiegenen Heizöl- und Erdgaspreise zeigte sich in den letzten Jahren ein enormer Aufschwung bei der Nutzung oberflächennaher Erdwärme. In dieser Publikation finden Sie grundlegende Informationen sowie weiterführende Hinweise zum Thema Erdwärme.

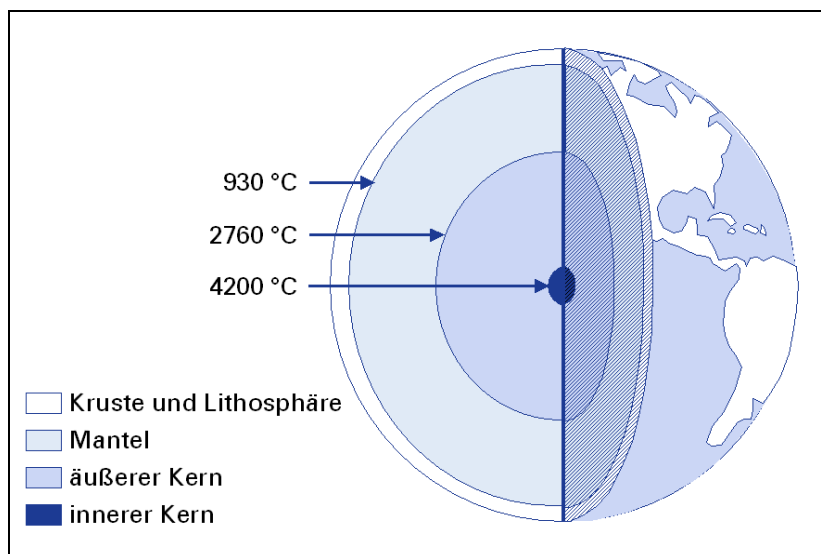
1 Entstehung und Vorkommen

Erdwärme ist die Wärmeenergie im Erdinneren (s. Abb. 1). Die Erdwärme an der Erdoberfläche setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen:

Der Zerfall natürlicher radioaktiver Elemente liefert den Hauptteil der Wärme. Beispielsweise kann eine Granitschicht von 10 – 20 km Mächtigkeit einen Wärmefluss von 0,02 – 0,05 W/m² produzieren.

Ein Teil der Wärme stammt aus der Erdentstehung vor ca. 4,5 Mrd. Jahren, als sich Gase, Gestein und Staub zusammenballten. Dabei wurden riesige Energiemengen freigesetzt. Der größte Teil wurde an das Weltall abgegeben, der Rest ist im Erdinneren eingeschlossen. Die Temperatur im Erdinneren ist nicht überall gleich (s. Abb. 1).

Abb. 1: Schematische Temperaturverteilung im Erdinneren. Quelle: Huenges 2000



In der obersten Schicht der Erdkruste nimmt die Temperatur generell zu, je tiefer man bohrt:

- Im Durchschnitt nimmt die Temperatur um ca. 3 °C pro 100 m Tiefe ab.
- Eine stärkere Zunahme wurde z. B. im Oberrheintalgraben (Soultz-sous-Forêt) oder im Bereich des Landshut-Neuöttinger Hochs gefunden. In Gebieten mit aktivem Vulkanismus wie Italien, Island oder Neuseeland nimmt die Temperatur noch deutlicher zu (s. Abb. 2).
- Nur in der obersten Schicht bis ca. 10 m Tiefe machen sich auch jahreszeitliche Einflüsse bemerkbar.

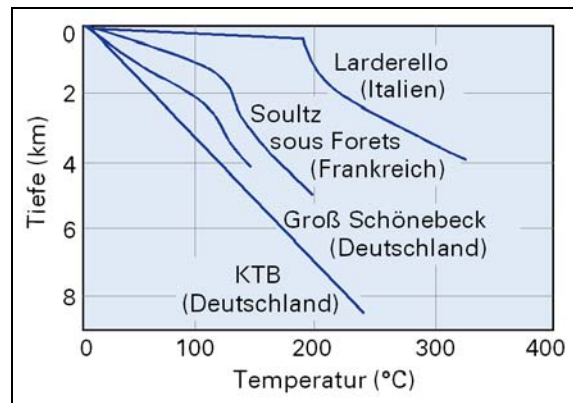


Abb. 2: Temperaturzunahme mit der Tiefe in Deutschland, Frankreich und Italien. KTB: kontinentale Tiefbohrung, Quelle: Huenges 2000, verändert

In Deutschland wird v.a. Warm- bzw. Heißwasser aus 1.000 bis über 3.000 m Tiefe genutzt (hydrothermale Geothermie, s. Abschnitt 3). Darüber hinaus sind auch die niedrigeren Temperaturen in geringer Tiefe für die Energiegewinnung nutzbar (oberflächennahe Geothermie, s. Abschnitt 2).

2 Oberflächennahe Geothermie

Die mittlere Temperatur in der obersten Bodenschicht beträgt in Bayern ca. 7 – 12 °C. Obwohl das Temperaturniveau also relativ niedrig ist, bietet sich ein breites Anwendungsspektrum in kleinen und mittleren dezentralen Anlagen, z. B. in Einfamilienhäusern, Wohnsiedlungen, Büro- und Verwaltungsgebäuden, Schulen, Krankenhäusern, Museen oder Schwimmbädern.

2.1 Sonden, Kollektoren, Grundwasserförderung und Wärmepumpen

Erdwärme kann zur Heizung oder zur Kühlung verwendet werden. Dazu wird die Erdwärme entweder in einem offenen oder in einem geschlossenen System gewonnen:

Bei **offenen Systemen** entnimmt man kontinuierlich oberflächennahes Grundwasser (s. Abb. 3). Am Wärmetauscher gibt das Grundwasser seine Wärme ab (Hausheizung) oder es erwärmt sich durch überschüssige Raumwärme (Klimatisierung). Anschließend leitet man das – abgekühlte bzw. erwärmte – Wasser in denselben Grundwasserleiter zurück.

Diese Art der Erdwärmenutzung ist bei geringer Tiefe des Grundwassers besonders effizient, zudem ist auch die Nutzung des Grundwassers als Kühlmedium im Sommer einfach möglich.

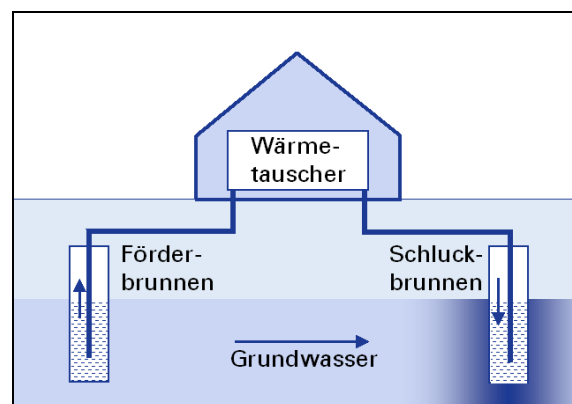


Abb. 3: Gewinnung von Erdwärme durch direkte Nutzung des Grundwassers

In **geschlossenen Systemen** zirkuliert eine Wärmeträgerflüssigkeit und transportiert die Wärme zur Wärmepumpe. Dort wird die Wärmeträgerflüssigkeit abgekühlt (Hausheizung) oder erwärmt (Klimatisierung). Anschließend fließt sie erneut in die Sonden bzw. Kollektoren und gleicht sich wieder der Bodentemperatur an.

Sonden können über 100 m tief in den Boden reichen, bei Kollektoren werden die Rohre unter der Frostgrenze horizontal verlegt (ca. 1,2 – 1,5 m Tiefe, s. Abb. 4). Die Wärmeträgerflüssigkeit ist i. d. R. ein Wasser-Frostschutz-Gemisch, z. B. Ethylen- oder Propylenglykol.

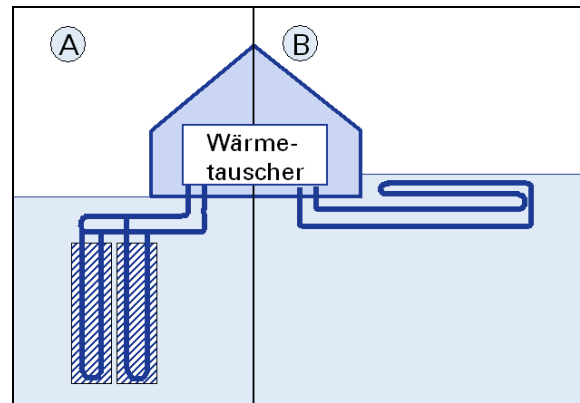


Abb. 4: Gewinnung von Erdwärme mit Sonden (A) oder Kollektoren (B)

Wichtiger Bestandteil einer Erdwärmeanlage ist die **Wärmepumpe**. Mit ihr kann man die niedrige Temperatur der Erdwärme z. B. für eine Hausheizung anheben. Das funktioniert im Prinzip wie ein Kühlschrank, nur umgekehrt:

Die Wärme aus dem Grundwasser (bei offenen Systemen) bzw. aus der Wärmeträgerflüssigkeit (bei geschlossenen Systemen) wird über einen Wärme-tauscher an ein Kältemittel abgegeben (s. Abb. 5). Dieses Kältemittel zirkuliert in einem geschlossenen Kreislauf und wechselt immer wieder zwischen flüssig und gasförmig: Bei der Erwärmung verdampft das Kältemittel. Der Dampf wird im Kompressor verdichtet und dadurch weiter erwärmt. Die Wärme wird in einem Kondensator wieder abgegeben, wobei das Kältemittel kondensiert. Das flüssige Kältemittel steht unter hohem Druck und wird mit einem Drosselventil entspannt.

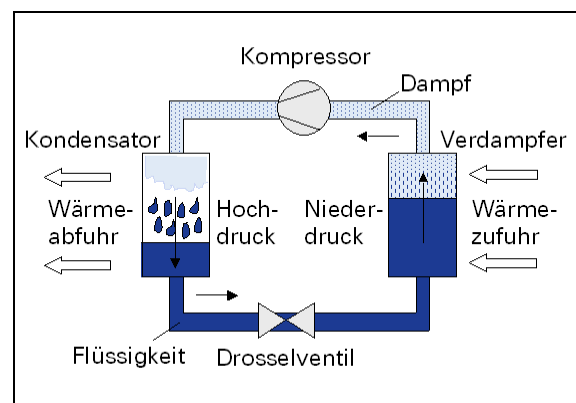


Abb. 5: Funktionsschema einer Wärmepumpe, Quelle: Berger, LfU

Die **genutzte Wärme** kann z. B. aus dem Grundwasser, aber auch aus der Umgebungsluft stammen. Außerdem kann Abwärme genutzt werden, z. B. bei Lüftungssystemen für Wohnhäuser, aber auch z. B. bei Kuhställen und Milchkühlungen. Allerdings kann der Strombedarf für die Wärmepumpe sehr hoch sein, wenn man ein Medium mit zu geringer Temperatur nutzt. Dies kann sogar zu einer „verkappten Stromheizung“ führen und ist aus Umweltsicht nicht zu empfehlen, zumal die Gewinnung von Strom mit hohen Energieverlusten verbunden ist.

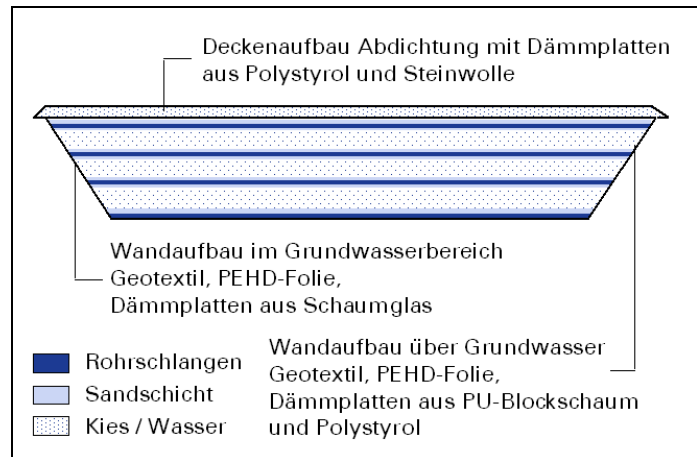
2.2 Wärmespeicherung

Das Erdreich kann auch zur Wärmespeicherung verwendet werden, z. B. um Wärme aus Solar-kollektoren im Winter zum Heizen zu verwenden. Umgekehrt kann Kälte im Erdreich gespeichert werden, wenn z. B. im Winter dem Erdreich Wärme für Heizzwecke entzogen wurde. Diese Kälte kann im Sommer zur Klimatisierung verwendet werden. Derzeit sind Systeme zur Wärmespeicherung aber meist noch nicht wirtschaftlich. Es wird nach Lösungen gesucht, bei denen die hohen Speicherverluste kompensiert werden können.

Beispiel LfU-Gebäude in Augsburg

2.000 m² Sonnenkollektoren erhitzen Wasser, das in einen Aquifer mit 20 km Rohrschlangen geleitet wird. Dadurch erwärmt sich das Wasser im Aquifer (6.000 m³ Inhalt, s. Abb. 6). Diese Energie kann zeitnah zu Heizzwecken oder über eine Adsorptionskältemaschine zur Kühlung der Laborräume genutzt werden. Der restliche Wärmebedarf wird über Fernwärme gedeckt.

Abb. 6: Aquiferspeicher am LfU Augsburg



2.3 Erste Planungsschritte

Generell ist die Nutzung der oberflächennahen Erdwärme fast überall in Bayern möglich. Einige grundlegende Planungsschritte für eine Erdwärmeanlage finden Sie in Kasten 1.

Kasten 1: Umstellung auf Erdwärme in einem Einfamilienhaus

Minimierung des Energiebedarfs: Durch Gebäudesanierung und -dämmung sollte der Energiebedarf des Gebäudes gesenkt werden, um die Anlage möglichst gering dimensionieren zu können. Fast 75 % ihres Energieverbrauchs verwenden die Privathaushalte für die Raumheizung, Einsparungen in diesem Bereich sind daher besonders lohnend (s. Publikation [Cleverer Umweltschutz – Energiesparen](#)).

Alternativen prüfen: Je nach Standort und Grundstücksgröße kommen unterschiedliche Verfahren in Frage. Möglich sind z. B. Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden, Grundwasser-Wärmepumpen, erdberührte Betonbauteile und künstlich angelegte Wärmespeicher (thermische Untergrundspeicher).

Wirtschaftlichkeit prüfen: Günstig ist, wenn im Haus ein Niedertemperatur-Heizsystem eingebaut ist, z. B. eine Fußbodenheizung. Neubauten sollte man daher mit einem Niedertemperatur-Heizsystem ausstatten, wenn an eine Erdwärmenutzung gedacht wird. Bei zu hohen Vorlauftemperaturen für das Heizungssystem ist dagegen der Energieverbrauch der Wärmepumpe zu groß. Auch bei sehr langen Sonden kann die Anlage u.U. nicht wirtschaftlich arbeiten. Die Prüfung der Wirtschaftlichkeit einer Umstellung erfolgt durch einen Heizungsbaufachbetrieb (möglichst mit einschlägiger Erfahrung) oder einen Energieberater (Adressen s. Kasten S. 8).

Planung der Anlage: Grundlegende Parameter sind der Wärmebedarf und die Wärmeentzugsleistung, die am Verdampfer der Wärmepumpe zur Verfügung stehen muss (ca. 20 – 80 W/m Bohrlochlänge¹). Wie lang die Sonden sein müssen, hängt u. a. vom Untergrund ab, insbesondere von der Gesteinsart und der Wassersättigung. Auskünfte und Daten zur Geologie erhalten Sie beim Bayerischen Landesamt für Umwelt. Ggf. müssen mehrere kürzere Sonden gebaut werden, um die Sohlschicht des obersten Grundwasserleiters nicht zu durchbohren. Auskünfte zu wasserwirtschaftlichen Fragen erhalten Sie beim Wasserwirtschaftsamt. (Adressen s. Kasten S. 8.)

Anzeige bzw. Genehmigung der Bohrung: Rechtzeitig vor Beginn der Bohrungen muss das Vorhaben der unteren Wasserrechtsbehörde (Landratsamt oder kreisfreie Stadt) angezeigt und ggf. eine wasserrechtliche Erlaubnis beantragt werden (s. dazu Abschnitt 5). Wichtige Hinweise zu Erdwärmesonden enthält der „Leitfaden Erdwärmesonden in Bayern“. Je nach Art der geplanten Anlage und je nach den hydrogeologischen Bedingungen müssen weitere Behörden eingeschaltet werden.

¹ s. VDI-Richtlinie 4640

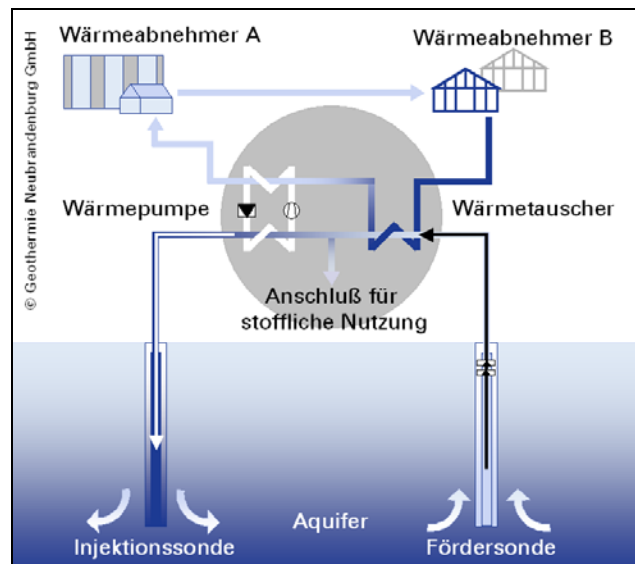
3 Tiefengeothermie

Warmes bis heißes Untergrundwasser (40 bis > 100 °C) kann für die **Wärmeversorgung** in Städten (Nah- und Fernwärmenetze), in Bädern oder zu gewerblichen Zwecken genutzt werden. Dazu werden hydrothermale Lagerstätten mit mindestens zwei Bohrungen erschlossen:

Aus der Fördersonde wird Warmwasser gefördert. Seine Wärmeenergie wird über einen Wärmetauscher an das Heiznetz abgegeben. Dabei kühlt das Thermalwasser ab. Anschließend wird es durch eine Injektionssonde wieder in dasselbe Grundwasservorkommen gepumpt (s. Abb. 7).

Falls das geförderte Wasser für direkte Nutzungen nicht warm genug ist, kann die Temperatur mit einer Wärmepumpe angehoben werden (s. Abschnitt 2.1).

Abb. 7: Hydrothermale Heizzentrale, Quelle: http://www.geothermie.de/geothermieartikel/basisartikel/hydrothermale_geothermie.htm



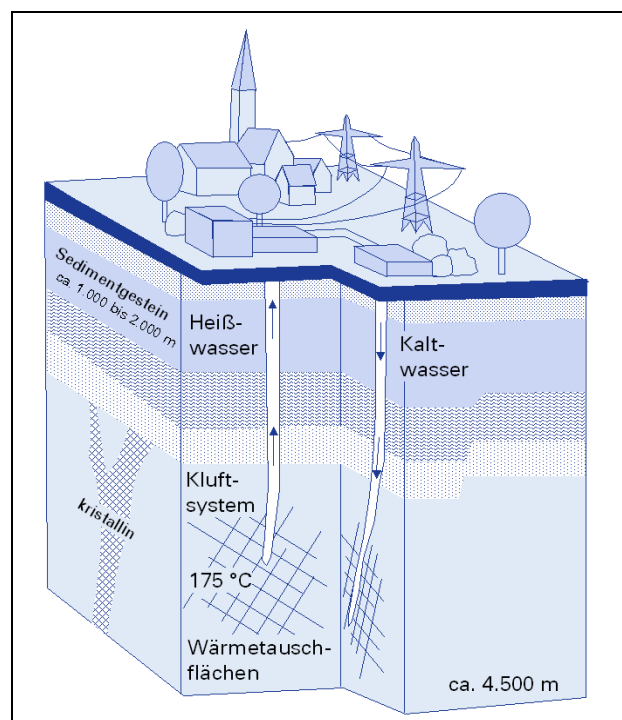
Bei ausreichend hohen Temperaturen und Fördermengen ist grundsätzlich auch eine hydrothermale **Stromerzeugung** möglich, wengleich der Wirkungsgrad mit 8 – 13 % gegenüber einem Wirkungsgrad von ca. 80 % bei der Stromerzeugung durch Wasserkraft noch sehr gering ist.

Ein weiteres Verfahren, das in den USA entwickelt wurde, ist das **Hot-Dry-Rock-Verfahren**. Dabei nutzt man heißes Gestein in mehreren Kilometern Tiefe mit Temperaturen deutlich über 100 °C. Um im Untergrund große Oberflächen als Wärmetausch-Flächen zu erzeugen, wird z. B. Wasser mit hohem Druck in ein Bohrloch gepresst, so dass sich Klüfte aufweiten oder neu bilden.

Anschließend wird kaltes Wasser eingespeist, das sich in den heißen Klüften erhitzt (s. Abb. 8). Das erhitzte Wasser wird in einem zweiten Bohrloch wieder abgepumpt und über Wärmetauscher zu Heizzwecken verwendet. Außerdem kann der Wasserdampf zur Stromerzeugung über Turbinen, die Generatoren antreiben, genutzt werden.

Das Hot-Dry-Rock-Verfahren wird in der EU seit einigen Jahren am Forschungsstandort Soultz (Elsaß) und in Bad Urbach in Baden-Württemberg erprobt. Dieses spezielle Verfahren wird daher in absehbarer Zeit in Bayern nicht zum Einsatz kommen.

Abb. 8: Hot-Dry-Rock-Verfahren. Quelle: Forum für Zukunftsennergien 1994



Für die hydrothermale Geothermie sind Gebiete mit mächtigen Sedimentgesteinen besonders geeignet, z. B. das Bayerische Molassebecken, das norddeutsche Becken und der Oberrheingraben (s. Abb. 9). Auch in anderen Gebieten gibt es potenziell nutzbare Wasserleiter, allerdings mit geringer Wasserführung oder mit zu geringer Temperatur.

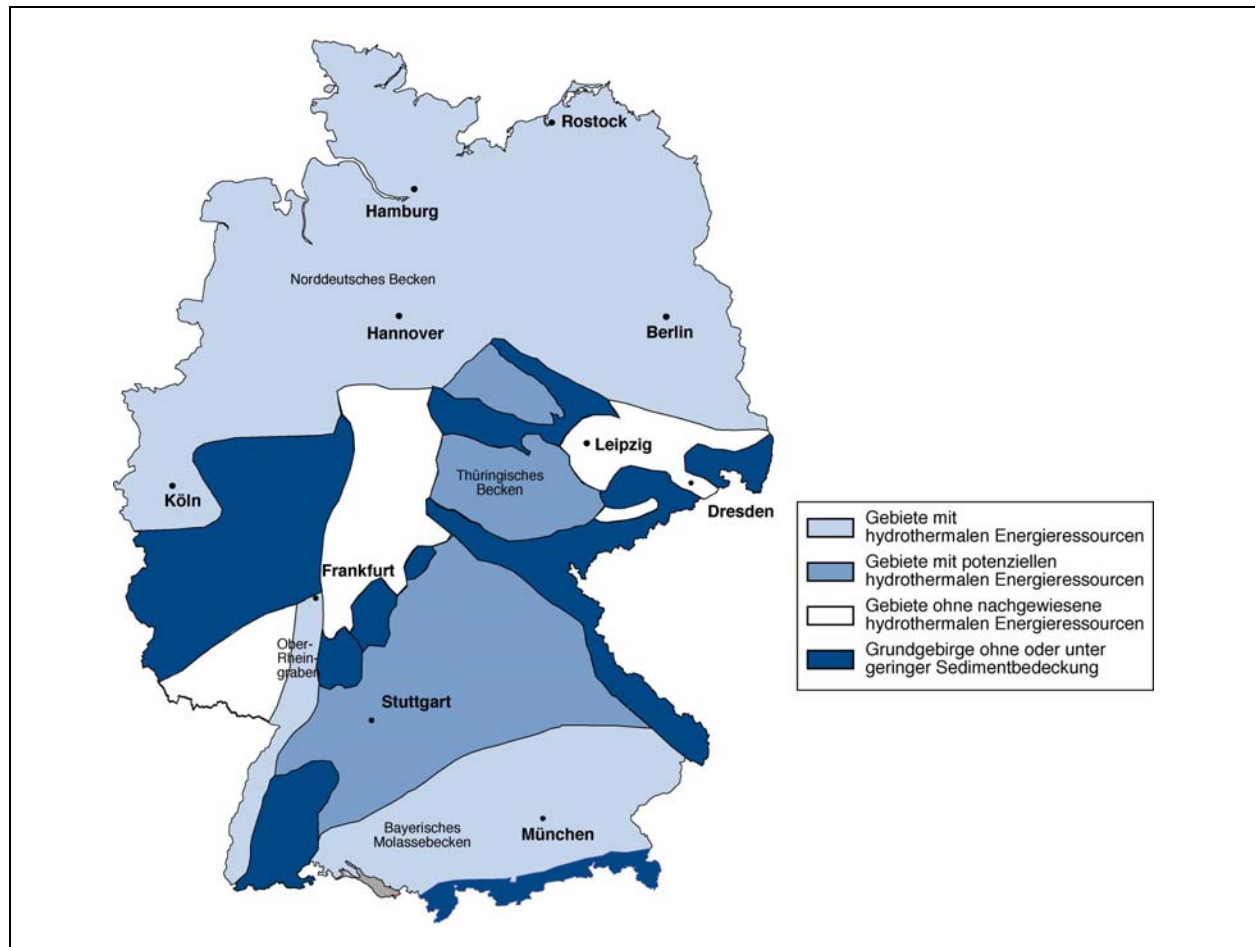


Abb. 9: Übersichtskarte hydrothermale Geothermie in Deutschland. Quelle: Huenges 2000, verändert

Als Standorte für Geothermieanlagen eignen sich insbesondere Wässer aus den Malmkarbonaten. Einige der größten deutschen Geothermieanlagen befinden sich daher in Bayern. Diese und weitere Aquifere werden thermisch bzw. energetisch und zudem als Thermalbäder genutzt. Beispiele hierfür sind:

- hauptsächlich energetische Nutzung des warmen Tiefenwassers in: Erding, Straubing, Simbach/Braunau, Unterschleißheim, Pullach, Unterhaching (in Bau).
- überwiegende Nutzung als Thermalbäder in: Bad Abbach, Bad Aibling, Bad Birnbach, Bad Endorf, Bad Füssing, Bad Gögging, Bad Griesbach, Bad Kissingen, Bad Rodach, Bad Staffelstein, Bad Wiessee, Bad Windsheim, Bad Wörishofen, Bayreuth, Breitenbrunn, Fürth, Hersbruck, Ingolstadt, Neu-Ulm, Obersees, Regensburg, Stein b. Nürnberg, Treuchtlingen und Weiden.

4 Umweltverträglichkeit des Energieträgers Erdwärme

Im Vergleich zur Nutzung fossiler Energieträger können geothermische Anlagen einen Beitrag zur Reduzierung klimarelevanter Gase leisten (s. Publikationen [Klimaänderungen](#) und [Treibhausgase](#)). Dennoch sind auch bei dieser Energieform Umweltaspekte zu beachten, die bei geplanten Anlagen sorgfältig zu prüfen und gegeneinander abzuwägen sind, da bei ungünstigen Bedingungen der gesamtökologische Nutzen z. T. in Frage gestellt ist:

- **Schadstoffe:** Heißwasser und Dampf aus geothermischen Quellen können hohe Konzentrationen an Schadstoffen enthalten, z. B. Schwefelwasserstoff, Borsäure, Ammoniak, Arsen und Quecksilber. Durch diese häufig aggressiven Substanzen sind die technischen Anlagen und Materialien hohem Verschleiß ausgesetzt. In Reinigungsanlagen zurückgehaltene Schadstoffe müssen zudem aufwändig entsorgt werden. Da die Mineralisation der in Bayern genutzten Wässer relativ gering ist, gibt es hier kaum derartige Probleme.
- **Grundwasser:** Bei geothermischen Verstromungsanlagen wird häufig oberflächennahes Grundwasser zu Kühlzwecken genutzt, wenn kein geeignetes Oberflächenwasser zur Verfügung steht. Dabei kommt es zu beachtlichen Grundwasserentnahmen, da 40 – 50 % des Kühlwassers verdunsten. Beispielsweise schätzt man den Kühlwasserverbrauch für eine derzeit geplante Anlage im Molassebecken auf rund 30 l/s, von denen 12 – 15 l/s verdampfen. Infolgedessen ist das Restwasser wärmer und enthält mehr Mineralstoffe. Bei der Rückführung dieses Restwassers ins Grundwasser wird auch das Grundwasser salzhaltiger und wärmer.
- **Stromverbrauch:** Die Wärmepumpe zur Nutzung von Geothermie verbraucht Strom, bei dessen Erzeugung hohe Emissionen an CO₂ und Luftschadstoffen entstehen können. Daher fällt die Energiebilanz je nach Energiemix und Arbeitszahl der Wärmepumpe sehr unterschiedlich aus. I. d. R. ist sie jedoch auch bei ungünstiger Stromerzeugung noch positiv. Insgesamt liegt z. B. der elektrische Wirkungsgrad einer geothermischen Verstromungsanlagen nur bei 8 – 13 %.
- **Langfristiger Abbau von Wärmelagerstätten:** Insbesondere bei der Nutzung der hydrothermalen Geothermie wird nicht der schwache, ständig aus dem Erdinneren nachfließende terrestrische Wärmestrom genutzt, sondern das sehr viel höhere, aber erschöpfbare Potenzial der gespeicherten Erdwärme. Damit wird streng genommen eine Wärmelagerstätte abgebaut. Numerische Simulationen haben ergeben, dass die Wiedererwärmung des abgekühlten Bereichs mehrere hundert bis tausend Jahre dauern kann.

5 Genehmigungsverfahren

In der Regel sind wasserrechtliche Belange, in vielen Fällen auch bergrechtliche Belange betroffen:

Zur Erschließung und Nutzung von **oberflächennaher Erdwärme** ist die zuständige Kreisverwaltungsbehörde erster Ansprechpartner, die das Wasserwirtschaftsamt und ggf. die Bergbehörde beteiligt. Je nach örtlichen Umständen des Einzelfalls und je nach Art des Vorhabens ist eine Anzeige oder eine Genehmigung erforderlich. Informationen über das maßgebliche Verfahren und die notwendigen Unterlagen sollten vorab beim Landratsamt oder der kreisfreien Stadt (untere Wasserrechtsbehörde) angefragt werden. Antragsformulare für Erdwärmesonden finden Sie unter <http://www.stmugv.bayern.de/de/aktuell/download/leitfwas/erwaermesonden.pdf>.

Die Erkundung, Erschließung und Nutzung von Thermalwasser für energetische und balneologische Zwecke kann ein bergrechtliches Verfahren erforderlich machen. Informationen hierzu unter http://www.stmwivt.bayern.de/pdf/energie/geothermie/Bayerischer_Geothermieatlas.pdf, S. 101.

6 Perspektiven

Die Wärme in den oberen drei Kilometern der Erdkruste würde rein rechnerisch reichen, um den Energiebedarf der Weltbevölkerung für die nächsten 100.000 Jahre abzudecken. Allerdings liegen die nutzbaren Potenziale weit darunter.

An Standorten mit ergiebigen Erdwärmevorkommen, die in unmittelbarer Nähe zu geeigneten Abnehmern liegen, kann die hydrothermale Geothermie heute schon mit konventionellen Energieträgern konkurrieren. Auch die oberflächennahe Geothermie wird beim derzeitigen Preisniveau der fossilen Energieträger zunehmend konkurrenzfähig. Andere Nutzungsformen sind aufgrund der hohen Kosten bislang kaum wirtschaftlich einsetzbar. Dies kann sich jedoch bei weiter steigenden Preisen für die fossilen Energieträger rasch ändern.

Weitere Informationen:

- **Generelle Informationen:** Kreisverwaltungsbehörden <http://www.baykomm.de/> und Wasserwirtschaftsämter <http://www.stmugv.bayern.de/de/wir/behoerden/wasserwi.htm>
- **Leitfaden Erdwärmesonden in Bayern:** Antragsformulare, Ablauf des Genehmigungsverfahrens, Bundesverband WärmePumpe e.V.:
<http://www.stmugv.bayern.de/de/aktuell/download/leitfwas/erwaermesonden.pdf>
- **Energieberatung:**
[Erneuerbare Energien - Linkliste](#), Publikation des Infozentrums UmweltWissen am LfU
Energieberater: <http://www.bafa.de/1/de/aufgaben/energie/energiesparberatung.php>
- **Gutachter:** z. B. Private Sachverständige in der Wasserwirtschaft:
http://www.bayern.de/lfw/service/psw/private_sach.htm
- **Geologische Untergrundverhältnisse:** Bayerisches Landesamt für Umwelt, allgemeine Informationen zur Geologie: geothermie@lfu.bayern.de, Daten für Planungsbüros: datenstelle@lfu.bayern.de
- **Hydrogeologische Verhältnisse (zulässige Bohrtiefe):** Wasserwirtschaftsämter
<http://www.stmugv.bayern.de/de/wir/behoerden/wasserwi.htm>
- **Genehmigung:** Untere Wasserbehörde der Landratsämter und kreisfreien Städte,
http://www.bybn.de/welcome_kom.html
- **Fachbetriebe:** z. B. <http://www.waermepumpe-bwp.de/index.php?entryid=70> und <http://www.geothermie.de/fub4/fub4.htm>
- **Angebots-Check:** <http://www.geothermie.de/angebotscheck.htm>
- **Fördermaßnahmen:**
[Erneuerbare Energien - Linkliste](#), Publikation des Infozentrums UmweltWissen am LfU
Weitere Informationen bei den örtlich zuständigen Bezirksregierungen

7 Literatur

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz und Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (2005): Oberflächennahe Geothermie. Heizen und Kühlen mit Energie aus dem Untergrund. Ein Überblick für Bauherren, Planer und Fachhandwerker in Bayern. <http://www.stmwivt.bayern.de/pdf/energie/energieportal/Geothermie.pdf>

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (2005): Bayerischer Geothermieatlas - Hydrothermale Energiegewinnung. <http://www.stmwivt.bayern.de/energie/rohstoffe.html#geothermieatlas>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

- **(2002):** Fachtagung „Geothermische Stromerzeugung – eine Investition in die Zukunft“ am 20./21. Juni 2002 in Landau/Pfalz. Tagungsband http://www.bmu.de/fb_abf/main.php?fb=2732
- **(2004):** Umweltpolitik. Geothermie – Energie für die Zukunft. Berlin

BWP - Bundesverband WärmePumpe e.V. (2003): Leitfaden Erdwärmesonden in Bayern. <http://www.waermepumpe-bwp.de/content/ERDS.pdf>

Erbas K. et al. (1999): Evaluierung geowissenschaftlicher und wirtschaftlicher Bedingungen für die Nutzung hydrogeothermaler Ressourcen. Geothermie Report 99-2, GeoForschungszentrum Potsdam, Scientific Technical Report STR99/09.

Fachinformationsdienst Karlsruhe:

- **(2001):** Wärmepumpen. BasisEnergie 10 <http://www.bine.info/pdf/publikation/BILD1001.pdf>
- **(2004):** Geothermie. BasisEnergie 8 <http://www.bine.info/pdf/publikation/ba08internetx.pdf>

Forum für Zukunftsenergien e.V. (1994): Geothermische Energie – Ein Leitfaden für Städte und Gemeinden. – Bonn

Geothermische Vereinigung e.V. (2005): Erdwärmesonden – Tipps für Hauslebauer, GtV Service GmbH, Geeste <http://www.geothermie.de>

Huenges E. (2000): Nutzung der Erdwärme des tiefen Untergrundes. – InfoForum Geothermie am 25.01.2000. Tagungsmanuskript

Kaltschmitt M. et al. (Hrsg., 1999): Energie aus Erdwärme. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart

Ministerium für Wirtschaft und Verkehr Baden-Württemberg (Hrsg., 2005): Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden. Stuttgart http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/17495/Leitfaden_-_Nutzung_von_Erdwaerme.pdf?command=downloadContent&filename=Leitfaden_-_Nutzung_von_Erdwaerme.pdf

Paschen, H., Oertel, D., Grünwald, R. (2003): Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland. Büro für Technikfolgenabschätzung, TAB-Arbeitsbericht Nr. 84 <http://www.tab.fzk.de/de/projekt/zusammenfassung/ab84.htm>

VDI Richtlinie 4640: Thermische Nutzung des Untergrundes (Bl. 1 bis 4)

Internet

- Bayerisches Landesamt für Umwelt: <http://www.geologie.bayern.de/geothermie.html>
- Bayerisches Energieforum: <http://www.bayerisches-energie-forum.de>
- Bundesverband WärmePumpe e.V.: <http://www.waermepumpe-bwp.de>
- Geothermische Vereinigung e.V.: <http://www.geothermie.de>
- Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik e.V.: <http://www.izw-online.de>

Weiterführende Publikationen des Infozentrums UmweltWissen am LfU

- [Cleverer Umweltschutz - Energiesparen](#)
- [Erneuerbare Energien - Linkliste](#)
- [FCKW und FCKW-Ersatzstoffe](#)
- [Klimaänderungen](#)
- [Klimaschutzpolitik](#)
- [Ozonschicht und Ozonloch](#)
- [Sonnenenergie](#)
- [Treibhausgase](#)

Überarbeitung 2006: Dr. Katharina Stroh (LfU), Susanne Weichwald (LfU)

Ansprechpartner:

Infozentrum UmweltWissen am Bayerischen Landesamt für Umwelt

Tel. 0821 / 9071 – 5671

mailto: umweltwissen@lfu.bayern.de

<http://www.lfu.bayern.de/umwberat/index.html>

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Bürgermeister-Ulrich-Straße 160, 86179 Augsburg