



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

# TIEFE GEOTHERMIE IN DEUTSCHLAND



### IMPRESSUM

**Herausgeber:** Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)  
Referat Öffentlichkeitsarbeit • 11055 Berlin  
E-Mail: [service@bmu.bund.de](mailto:service@bmu.bund.de) • Internet: [www.bmu.de](http://www.bmu.de) • [www.erneuerbare-energien.de](http://www.erneuerbare-energien.de)

**Fachliche  
Bearbeitung:** Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, [www.ie-leipzig.de](http://www.ie-leipzig.de)

**Gestaltung:** Selbach Design, [www.selbachdesign.de](http://www.selbachdesign.de)

**Abbildungen:** Titelseite: European Economic Interest Group (E.E.I.G.)  
[pixelio.de](http://pixelio.de) (S. 6, 7, 8 rechts oben, 8 rechts unten, 12, 14 oben und unten, 15 rechts, 17, 20, 25, 27 alle),  
GFZ Potsdam (S. 8 links oben, 15 links, 36/37), IE Leipzig (S. 11, 13, 21, 22, 28, 29), Bestec GmbH (S. 15 unten, 16 alle, 26),  
Erdwärme-Kraft GbR (S. 30/31), Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG (S. 32/33), geo x GmbH (S. 34/35),  
European Economic Interest Group (E.E.I.G.) (S. 38/39)

**Druck:** Bonifatius GmbH, Paderborn

**Stand:** September 2007

**1. Auflage:** 15 000 Stück

# Tiefe Geothermie in Deutschland



<b>Einleitung</b>	6
<b>Was ist Geothermie?</b>	7
<b>Geologische Grundlagen</b>	
Wie ist der Erdkörper aufgebaut?	8
Welche Energiemenge ist in der Erde gespeichert?	8
Welche geologischen Bedingungen begünstigen die Nutzung von Geothermie?	9
Wo bestehen in Deutschland aussichtsreiche geologische Bedingungen zur Erdwärmenutzung?	10
<b>Geothermische Potenziale in Deutschland</b>	
Welche Potenziale können unterschieden werden?	12
Wie hoch sind die Potenziale zur Nutzwärmeerzeugung?	12
Wie hoch sind die Potenziale zur Stromerzeugung?	14
<b>Technik</b>	
Wie werden die geothermischen Energieressourcen in der Tiefe erschlossen?	15
Auf welche Weise kann Erdwärme an die Oberfläche gebracht werden?	17
Mit welchen Technologien kann die verfügbare Erdwärme in elektrischen Strom umgewandelt werden?	19
<b>Ökonomische Analyse</b>	
Wofür fallen Kosten bei einem Geothermieprojekt an?	20
Welche Einnahmen können mit einer Geothermieanlage erzielt werden?	22
Wodurch wird die Wirtschaftlichkeit einer Geothermieanlage beeinflusst?	24
<b>Ökologische Analyse</b>	
Anlagenerrichtung	25
Normalbetrieb	26
Störfall	27
Rückbau	27
Umwelteffekte im Lebensweg	27
<b>Projekte</b>	
Neustadt-Glewe	30
Unterhaching	32
Landau	34
Groß-Schönebeck	36
Soultz	38
<b>Glossar</b>	40
<b>Link-Liste</b>	42
<b>Literatur und Informationsmaterialien</b>	42



## Einleitung

Seit Jahrzehnten steigen der weltweite Energieverbrauch und die damit verbundenen Umweltauswirkungen kontinuierlich an. Und obwohl heute – aus ökologischer Einsicht und aus ökonomischer Notwendigkeit – die westlichen Industrieländern versuchen einen weiteren Anstieg zu vermeiden, wird sich der Energieverbrauch im globalen Maßstab u. a. durch das enorme Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum in Indien, China und anderen Schwellenländern in den nächsten 30 Jahren voraussichtlich mehr als verdoppeln. Dieser steigenden Nachfrage steht eine Verknappung der fossilen Energieträger Erdöl, Erdgas und Kohle gegenüber. Vor diesem Hintergrund ist ein schonender Umgang mit den natürlichen Ressourcen das Gebot der Stunde. Eine Steigerung der Energieeffizienz wird dafür nicht ausreichen. Um eine nachhaltige Energieversorgung gewährleisten zu können ist auch eine intensivere Nutzung des regenerativen Energieangebots notwendig.



Von den regenerativen Energien werden in Deutschland derzeit vor allem Biomasse, die Windenergie, die Sonnenenergie und die Wasserkraft genutzt. Die Nutzung der geothermischen Energie führt noch ein Schattendasein – obwohl sie einige Vorteile hat: Sie ist weder von klimatischen Bedingungen noch von der Tages- oder Jahreszeit abhängig und damit im Gegensatz zu den meisten anderen regenerativen Energien zuverlässig dann verfügbar, wenn auch eine entsprechende Energienachfrage gegeben ist. Zudem haben geothermische Anlagen zur Wärme- und/oder Stromerzeugung einen geringen oberirdischen Platzbedarf, so dass sie sich gut in das Landschafts- oder Stadtbild einpassen lassen. Zusammen mit dem hohen Maß an Umweltfreundlichkeit und der Nutzung regionaler –

und damit unabhängig von politischen Risiken verfügbarer – Energien sind dies hervorragende Voraussetzungen für einen Ausbau der Nutzung.

Bis zur Jahrtausendwende hatten die genannten Vorteile in Deutschland kein nennenswertes Interesse an der Stromerzeugung aus tiefer Geothermie hervorgerufen. Erst mit der Aufnahme der Geothermie in das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) im Jahr 2000 und der Novellierung dieses Gesetzes 2004 ist die geothermische Stromerzeugung in den Fokus gerückt. Sichtbarer Beweis sind die mehr als 50 deutschen Standorte, an denen derzeit Anlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme aus großen Tiefen geplant werden oder bereits realisiert wurden.

Um diese Entwicklung weiter zu fördern, informiert diese Broschüre über die viel versprechende Option der geothermischen Wärme- und Stromerzeugung und zeigt potenziellen Projektentwicklern die Möglichkeiten und auch die Grenzen einer Nutzung der Energie aus dem Erdinneren auf. Dazu werden die geologischen Grundlagen, die Technik, die Ökonomie und ökologische Aspekte verschiedener Möglichkeiten zur Nutzung der Geothermie beleuchtet. Abschließend werden exemplarisch einige Geothermie-Projekte vorgestellt, die sich im Betrieb oder in der Realisierungsphase befinden.

## Was ist Geothermie?

Der Begriff „Geothermie“ stammt aus dem Griechischen und bedeutet Erdwärme. Diese Geothermie oder Erdwärme geht auf verschiedene Ursachen zurück. Sie wird zum einen ständig gespeist durch die Energie, die beim natürlichen Zerfall radioaktiver Isotope in der Erde frei wird. Zum anderen ist in der Erde noch immer Energie gespeichert, die bei der Erdentstehung freigesetzt wurde bzw. schon vor der Erdentstehung vorhanden war. Da die in der Erde gespeicherte Energie nur sehr langsam an der Erdoberfläche freigesetzt wird, wird diese Energiequelle noch sehr lange zur Verfügung stehen. Allerdings ist die Erde im Innern heißer als an der Oberfläche bzw. der äußeren Kruste, so dass die Nutzung der Energie in der Regel mit einem technischen Aufwand verbunden ist.



Die Temperaturzunahme von der Erdoberfläche zum Erdkern – der sog. geothermische Temperaturgradient (siehe rechts) – verläuft nicht an allen Orten der Erde gleich. So treten z. B. auf Island heiße Quellen an der Erdoberfläche zu Tage, während andernorts sehr tief gebohrt werden muss, um auf ein vergleichbares Temperaturniveau zu stoßen. Die Unterschiede liegen in den jeweiligen geologischen Bedingungen begründet: So kann die Wärme z. B. an den Grenzen der Kontinentalplatten leichter an die Oberfläche kommen, so dass an diesen Stellen schon in relativ geringen Tiefen relativ hohe Temperaturen herrschen können.

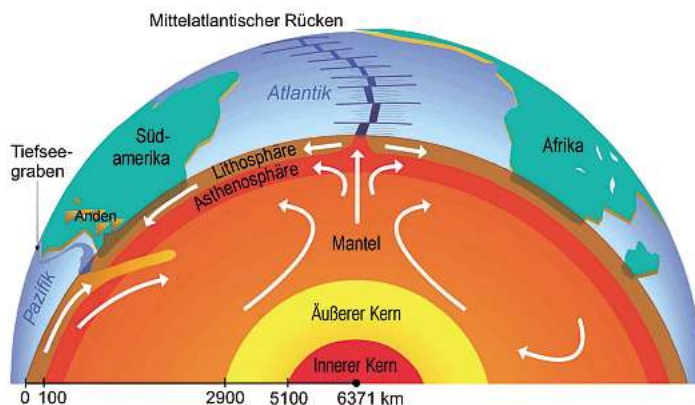
*Der geothermische Temperaturgradient gibt den Anstieg der Temperatur mit zunehmender Tiefe an. In Deutschland kann im Durchschnitt mit ca. 3 K je 100 Meter Tiefe gerechnet werden. Es können aber lokal erhebliche Abweichungen auftreten, die u. U. für Geothermieprojekte besonders günstig sind und im Sinne möglichst wirtschaftlicher Anlagen genutzt werden können.*

## Geologische Grundlagen

### Wie ist der Erdkörper aufgebaut?

Der grundsätzliche Aufbau des Erdkörpers kann anhand eines Schalenmodells verdeutlicht werden. Die Einteilung erfolgt in drei Hauptschichten. Im Kern, dessen Durchmesser fast 7000 km beträgt, herrschen nach heutigen Erkenntnissen Temperaturen von über 5000 °C. Er wird umhüllt vom Erdmantel, zu welchem die sog. Asthenosphäre gehört (griechisch asthenos für weich). Dies ist eine sich plastisch verhaltende Magmaschicht. Die Strö-

Die Erde im Schnitt



mungen dieses über 1000 °C heißen Magmas versetzen die darüber liegenden, zwischen 70 und 125 km mächtigen Platten der Lithosphäre (griechisch lithos für Stein) in Bewegung. Die Plattengrenzen gelten als die tektonisch und magmatisch/thermisch aktivsten Gebiete der Erde. Das wird unter anderem an Ereignissen wie Erdbeben und Vulkanausbrüchen deutlich. Die Lithosphäre setzt sich zusammen aus dem festen, starren Teil des Erdmantels und der Erdkruste, welche mit ca. 40 km Mächtigkeit die äußerste Schicht bildet.

### Welche Energiemenge ist in der Erde gespeichert?

Der gesamte Wärmehalt der Erde wird basierend auf vereinfachenden Annahmen auf rund 12 bis 24 x 10<sup>30</sup> Joule abgeschätzt. Für die äußere Erdkruste bis zu Tiefen von 10 km wird von einem Wert um ca. 10<sup>26</sup> Joule ausgegangen; allein dies entspricht in etwa dem 210000-fachen des weltweiten Verbrauchs an Primärenergie im Jahre 2004 /IEA 2006/.





## Welche geologischen Bedingungen begünstigen die Nutzung von Geothermie?

An einigen Stellen der Erde herrschen bereits in relativ geringen Tiefen hohe Temperaturen. So ist z. B. für die Plattengrenzen (Lithosphäre) ein hoher geothermischer Temperaturgradient charakteristisch. Er kann mehr als 100 Kelvin pro Kilometer Tiefe betragen. Zwar befinden sich große Teile dieser Plattengrenzen in der Tiefsee, doch auch auf dem Festland gibt es geothermisch interessante Gebiete.

Um die Erdwärme an die Oberfläche zu bringen, erweist sich Wasser als geeignetes „Transportmittel“. Das Wasser heizt sich in der Tiefe besonders gut auf, wenn eine möglichst große Berührungsfläche mit dem Untergrundgestein gegeben ist. Aus diesem Grund bieten klüftige und poröse Gesteins-Formationen im Untergrund ideale Voraussetzungen für diese Wärmeübertragung.

Wo beide Bedingungen – hoher geothermischer Gradient und Wasser führende Gesteinsschichten – zusammen kommen, herrschen die besten Voraussetzungen für die Nutzung der Geothermie!

Wasser führende Gesteine in größeren Tiefen werden **Aquifere** genannt. Aquifere sind geeignete Nutzhorizonte und finden sich in Deutschland in zwei verschiedenen Gesteinstypen. Bei den sog. **Porenspeichern**, die für eine geothermische Nutzung in Frage kommen, handelt es sich überwiegend um Sandsteinformationen. Sie sind durch eine große Wasserdurchlässigkeit gekennzeichnet. Die gewinnbare Wärmemenge ist dabei umso größer, je höher die Porosität und damit die Permeabilität des Gesteins ist.

An einigen Stellen ist das Gestein durch tektonische Spannungen gerissen. Sind die entstandenen Klüfte netzartig miteinander verbunden, so wird das Fließen von Tiefenwasser ermöglicht. Die Menge an Wasser, die durch diese sog. **Kluftspeicher** fließen kann, ist durch Weite, Länge und Dichte der Klüfte bestimmt.

Darüber hinaus finden sich auch sog. **Karstspeicher**. Das sind unregelmäßig angeordnete Hohlräume in Kalk- und Dolomitengestein, das durch Wasser teilweise aufgelöst wurde. In diesen über weiträumige Gebiete auftretenden Verkarstungen herrscht eine hohe Wasserdurchlässigkeit.

Neben den genannten Aquiferen existieren in größeren Tiefen sog. **Störungszonen**. So werden Bereiche in sedimentären oder kristallinen Gesteinen bezeichnet, die von zahlreichen Bruchzonen durchzogen sind und dadurch ein gutes hydraulisches Leitvermögen aufweisen. Um die in **kristallinen Gesteinen** wie Graniten oder Gneisen in großen Tiefen gespeicherte geothermische Energie nutzbar zu machen, ist ein künstliches Aufbrechen zur Schaffung von Wärmeübertragungsflächen (siehe Abschnitt „Stimulation“) notwendig. Zwar sind diese Tiefengesteine nicht gänzlich trocken, wie lange angenommen wurde, doch ist für eine Nutzung das Einleiten von Wasser nötig.

Die energiereichen und wasserdurchlässigen Gesteine müssen in allen Fällen neben einem geeigneten Temperaturniveau eine ausreichende räumliche Ausdehnung aufweisen, um einen großen nutzbaren Wärmestrom über einen langen Zeitraum hinweg zu ermöglichen. Denn bei der Geothermienutzung kühlt sich zwar nicht unser Planet ab,

jedoch kommt es in den Bereichen um die geothermischen Entnahmestellen nach einigen Jahrzehnten zu einer gewissen Temperaturabsenkung, die einen relevanten Einfluss auf die Anlagenwirtschaftlichkeit haben kann /Kaltschmitt 1999/.

### **Wo bestehen in Deutschland aussichtsreiche geologische Bedingungen zur Erdwärmenutzung?**

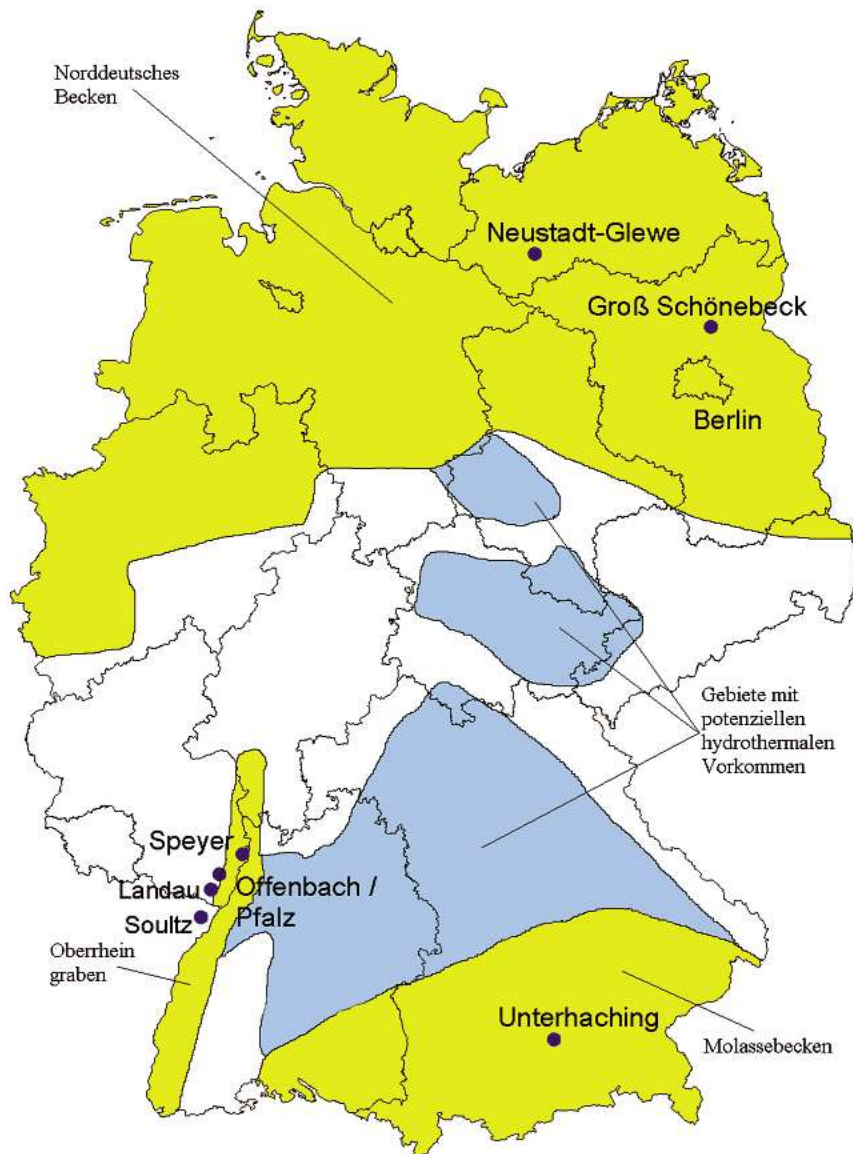
Ein Großteil der geothermischen Ressourcen Deutschlands ist in tiefem Kristallingestein und Störungszonen gespeichert. Diese können unter derzeitigen technisch-wirtschaftlichen Bedingungen jedoch noch nicht direkt kommerziell genutzt werden. Die geothermische Energiegewinnung ist somit bisher auf Sedimentformationen angewiesen, in denen sich Warm- oder Heißwasseraquifere mit ausreichend hohen Fließraten finden lassen.

Sehr gute Bedingungen existieren im **Oberrhein graben**. Diese geologisch junge, tektonisch aktive Senkungszone mit einer Ausbreitung von etwa 300 mal 40 Kilometern vom Südrand des Taunus bis in die Region des Schweizer Jura weist geothermische Temperaturgradienten von bis zu 60 Kelvin je Kilometer Tiefenzunahme auf. In Tiefen von 2 500 bis 4 000 m herrschen verhältnismäßig hohe Temperaturen bis über 150 °C. Die heißen Untergrundwässer zirkulieren hier schon in gut erreichbaren Bohrtiefen, zumeist in Muschelkalk- oder Buntsandsteinformationen /Kaltschmitt 1999/.

Das **Süddeutsche Molassebecken**, zwischen der Donau und den Alpen gelegen, bietet ebenfalls günstige geologische Voraussetzungen. Die geothermisch relevanten Horizonte liegen im Malmkarst. Die erzielbaren Fließraten des Thermalwassers betragen hier bis zum Dreifachen des bspw. im Norddeutschen Becken Üblichen. Eine weitere positive Besonderheit stellt der geringe Mineralgehalt des Thermalwassers dar. Dadurch unterliegen die für die Energienutzung notwendigen Anlagenteile nur einer geringen Korrosionsgefahr. Die besonders für die Stromerzeugung interessanten höheren Temperaturen (hier etwa 100 bis 130 °C) sind jedoch nur in wenigen Gebieten wie etwa im Bereich südlich von München und am Chiemsee in Tiefen von weniger als 4 000 m anzutreffen.

Im **Norddeutschen Becken** sind hochporöse Sandsteinformationen (Rotliegend) mit großer Flächenausdehnung vorzufinden. In Tiefen zwischen 4000 und 5000 m herrschen hier Temperaturen um 130 bis etwa 160 °C. Die Tiefenwässer weisen eine starke Mineralisation auf. Sie müssen daher mit Hilfe geeigneter Maßnahmen für die Erdwärmenutzung aufbereitet werden.

### Zur Nutzung geeignete geothermale Vorkommen in Deutschland



Darüber hinaus sind nur gebietsweise Speichergesteine vorzufinden, welche eine ausreichende Fließrate ermöglichen. In den Gebieten des Thüringer Beckens, der Süddeutschen und der Subherzynen Senke (östlich des Harzes) werden hydrothermale Energievorkommen vermutet. Da die dortigen geologischen Bedingungen jedoch nur für mäßige Speichereigenschaften sprechen, bleiben potenzielle Nutzungsmöglichkeiten auf vereinzelte Standorte beschränkt.

## Geothermische Potenziale in Deutschland

### Welche Potenziale können unterschieden werden?

In der Abschätzung des energetischen Potenzials der Geothermie wird wie folgt unterschieden:

Als **theoretisches Potenzial** wird das gesamte vorhandene Erdwärmevorkommen bezeichnet, das theoretisch innerhalb einer Region nutzbar wäre. Dabei ist nicht von Bedeutung, ob tatsächlich geeignete technische Methoden zur Nutzbarmachung vorliegen oder ob die nicht-technischen Voraussetzungen dazu gegeben sind. Das theoretische Potenzial ist damit weit größer als die real nutzbare geothermische Energiemenge.

Das **technische Potenzial** beschreibt den Anteil am theoretischen Potenzial, welcher mit dem heutigen Stand der Technik nutzbar gemacht werden könnte. Dabei werden auch strukturelle und ökologische Restriktionen sowie gesetzliche Vorgaben berücksichtigt, soweit sie ähnlich den technischen Einschränkungen „unüberwindbar“ sind. Eine weitere Unterscheidung kann nach Angebots- und Nachfrageseite getroffen werden. Das technische **Angebotspotenzial** bildet den Einfluss technischer und struktureller Restriktionen auf der Angebotsseite ab. Das technische **Nachfragepotenzial** berücksichtigt zusätzlich entsprechende nachfrageseitige Beschränkungen für den Fall, dass das Energieangebot die potenzielle Nachfrage übersteigt.

### Wie hoch sind die Potenziale zur Nutzwärmeerzeugung?

#### Hydrothermale Potenziale

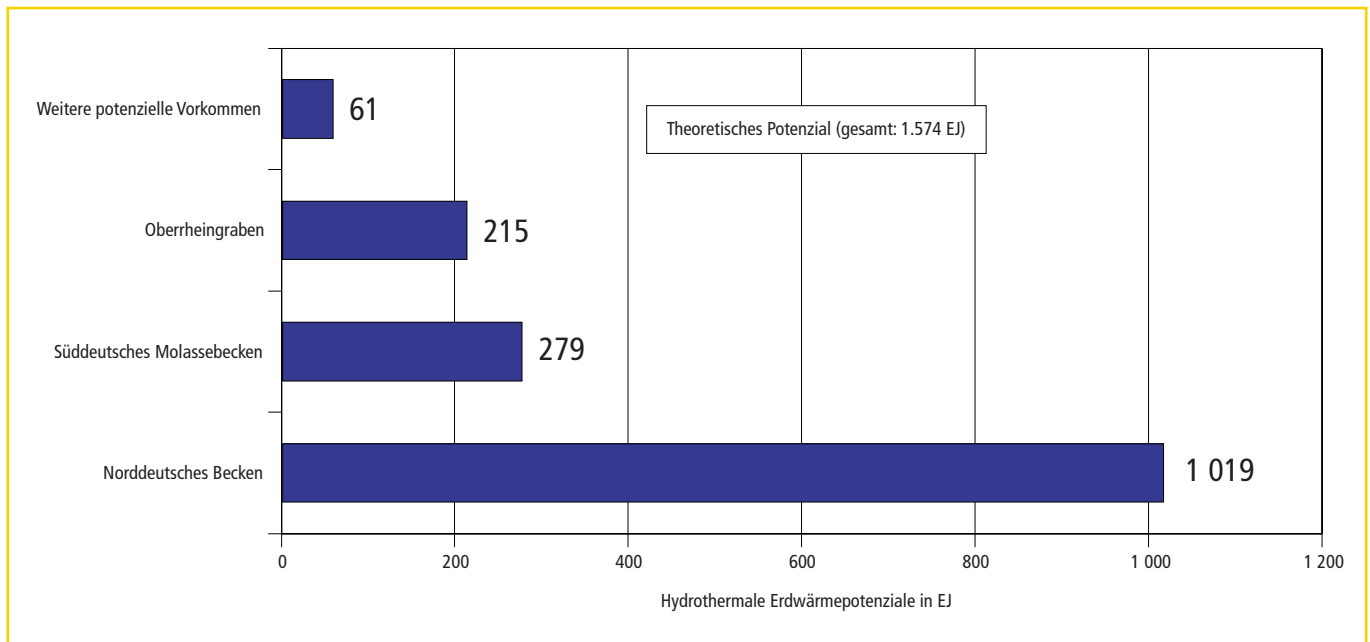
Ergiebige Warmwasser-Aquifere mit Temperaturen zwischen 30 und 100 °C können zur Bereitstellung von Nutzwärme verwendet werden. Bis zu einer Wassertemperatur von ca. 60 °C wird die Energie meist mittels einer Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gehoben und dadurch nutzbar gemacht. Ab einer Temperatur von etwa 60 °C kann die geothermische Wärme auch direkt genutzt werden.

Das **theoretische hydrothermale Potenzial**, also der Wärmehalt der Aquifere ist näherungsweise berechenbar. Mit 1 574 Exajoule entspricht es ungefähr dem 300-fachen der jährlichen Gesamtwärmenachfrage in Deutschland. Das Norddeutsche Becken weist etwa zwei Drittel des Gesamtpotenzials auf /Kaltschmitt 2003/.

Das **technische Angebotspotenzial** ist ebenfalls zu zwei Dritteln im Norddeutschen Becken vorzufinden. Insgesamt ist es etwa 100-mal so groß wie die derzeitige deutsche Jahreswärmenachfrage. Diese beeindruckende Größenordnung reduziert sich durch die Betrachtung des **technischen Nachfragepotenzials**. Da die erzeugte Wärme nicht über größere Strecken transportierbar ist, wird das Nachfragepotenzial vor allem durch die Wärmenachfrage in dicht besiedelten Gebieten bestimmt. Unter Umständen steht dort sogar ein bereits vorhandenes Wärmenetz zur Verfügung. Das technische Nachfragepotenzial entspricht etwa einem Viertel der Jahresnachfrage nach Wärme.







### Potenziale petrothermaler Systeme

Können keine Thermalwasservorkommen erschlossen werden, besteht die Möglichkeit der Wärmegewinnung mit Hilfe tiefer Sonden oder mit Systemen, die das Gestein direkt durchströmen. Dabei wird die im Gestein gespeicherte Wärmeenergie gewonnen. Das heiße Gestein wird dabei als Wärmetauscher genutzt. In der Potenzialermittlung wird berücksichtigt, dass das betreffende Tiefengestein nicht hinreichend von Untergrundwässern durchflossen ist. Dadurch dauert es wesentlich länger, bis die Formation nach einer Wärmenutzung wieder „aufgeladen“ wird, d. h. seine ursprüngliche Temperatur wieder erreicht. Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit wird deshalb davon ausgegangen, dass etwa ein Tausendstel des Gesamtpotenzials jährlich genutzt würde. Bei einer Tiefe bis zu 10 000 m und einer durchschnittlichen Temperaturzunahme von 30 Kelvin je Tiefenkilometer ergibt sich damit ein immenses **theoretisches Potenzial** von rund 1 200 Exajoule pro Jahr.

Das **technische Angebotspotenzial** ist geringer. Denn die Grenze für die geothermische Erschließung zur Nutzwärmeerzeugung liegt aus ökonomischen Gründen bei einer Tiefe von etwa 3 000 m. Für eine Energiegewinnung kommen nur Gebiete in Frage, in welchen einerseits eine lokale Wärmenachfrage vorhanden ist und andererseits ausreichende unbebaute Flächen für die Bohrlocherstellung und Anlagen verfügbar sind. Darüber hinaus sind Flächen mit vorhandenen Infrastrukturelementen wie Versorgungsleitungen für Gas, Wasser, Strom etc. und anderen Hemmnissen nicht für das Bohrgerät zugänglich. Damit reduziert sich die mögliche geothermische Flächenbeanspruchung auf ca. 1,4 % der Gesamtfläche Deutschlands. Das technische Angebotspotenzial beträgt daher nur rund 3 Exajoule pro Jahr.

Das **technische Nachfragepotenzial** in Höhe von 2 Exajoule entspricht der Wärmenachfrage mit einem Temperaturniveau unter 100 °C. Höher temperierte Wärme, wie sie bspw. in einigen Industrieanlagen benötigt wird, kann nicht mit der Technik der tiefen Sonde bereitgestellt werden /TAB 2003/.

## Wie hoch sind die Potenziale zur Stromerzeugung?



Das Potenzial zur Stromerzeugung ist geringer als das Wärme-Potenzial, da eine effiziente Stromerzeugung erst bei relativ hohen Temperaturen möglich ist. So werden zur geothermischen Stromerzeugung international üblicherweise Heißwasser- oder Dampfvorkommen mit Temperaturen über 150 °C genutzt. In Deutschland sind derartige Vorkommen allerdings noch nicht erschlossen. Daraus ergeben sich zwei wesentliche Herausforderungen: Es müssen vorhandene Aquifere mit Temperaturen ab 100 °C nutzbar gemacht werden (die entsprechende Technik zur Stromerzeugung auf diesem Temperaturniveau existiert) und es sind Konzepte zu entwickeln, die eine kostengünstige Erschließung von Gesteinswärme aus großen Tiefen ermöglichen.

Die geothermische Energie ist mit der verfügbaren Technik nur zu etwa 10 % in elektrischen Strom umwandelbar. Grund für diesen relativ geringen Wirkungsgrad sind thermodynamische Restriktionen in Verbindung mit dem im Vergleich zu anderen konventionellen Kraftwerksprozessen niedrigen Temperaturniveau.

Das **theoretische Potenzial** in bis zu 10 000 m Tiefe beträgt 118 Exajoule bzw. rund 33 000 Mrd. kWh/a. Dieser Wert basiert auf der Annahme, dass bei einer nachhaltigen Nutzung jährlich ein Tausendstel der verfügbaren Wärmemenge entnommen werden kann. Demgegenüber steht ein Stromverbrauch von 540 Mrd. kWh im Jahr 2006, das ist etwa ein Sechzigstel des Potenzials.

Das **technische Angebotspotenzial** ist maßgeblich durch kristallines Tiefengestein gegeben. Es beträgt 321 Mrd. kWh im Jahr und entspricht damit etwa 65 % der Stromnachfrage.

Bei den **technischen Nachfragepotenzialen** ist zu unterscheiden in die ausschließliche Stromerzeugung und die gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung.

Für die ausschließliche Stromerzeugung wird angenommen, dass die obere Grenze des Nachfragepotenzials in etwa dem sog. Grundlaststromanteil entspricht. Dabei handelt es sich um diejenige Strommenge, die permanent, also unabhängig von Tages- oder Jahreszeit, benötigt wird. Das sind rund 60 % der gesamten Jahresstromnachfrage. Damit liegt das Nachfragepotenzial bei derzeit ca. 324 Mrd. kWh im Jahr.



Für eine gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme (auch: Kraft-Wärme-Kopplung, KWK) ist die Wärmemenge maßgeblich, die an ortsnahe Verbraucher abgegeben werden kann. Denn ein tatsächlicher KWK-Betrieb liegt nur dann vor, wenn die Restwärme aus dem Stromerzeugungsprozess für weitere Anwendungen wie Beheizung oder Warmwasserbereitung genutzt wird. Da ein wirtschaftlicher Betrieb eine entsprechende Anlagengröße voraussetzt, kommen für geothermische KWK-Anlagen nur bestimmte Siedlungsgebiete mit entsprechend hohem Wärmebedarf in Betracht. Die erzeugbaren Strommengen belaufen sich damit auf 66 Mrd. kWh im Jahr, etwa 12 % des Strombedarfs. Darüber hinaus wäre es notwendig, entsprechende Wärmeverteilnetze zu installieren oder die Wärme in bestehende Netze einzuspeisen /TAB 2003/, /Kaltschmitt 2003/.

## Technik

### Wie werden die geothermischen Energieressourcen in der Tiefe erschlossen?

Nachfolgend wird aufgezeigt, welche Maßnahmen zur Erschließung der geothermischen Ressourcen nötig sind.

#### Vorerkundung

Ein geologisch geeigneter Standort für eine Geothermieanlage muss sorgfältig ausgewählt werden. Das Risiko, im Untergrund nicht die notwendigen Bedingungen vorzufinden, kann zwar nicht gänzlich ausgeräumt werden, doch lässt es sich mit verschiedenen Maßnahmen einschränken. Dazu wird eine geologische Machbarkeitsstudie erstellt.

Als Vorteil erweist es sich, wenn bereits Bohrungen im näheren Umfeld vorhanden sind. Wichtige Informationen zum Untergrund sind in sog. **Bohrakten** verzeichnet und können einen ersten Eindruck von den Tiefenbedingungen vermitteln. Darüber hinaus werden hauptsächlich **seismische Untersuchungen** durchgeführt. Dabei wird die Ausbreitung und Reflexion oder Brechung von künstlich erzeugten Schwingungen beobachtet, die Rückschlüsse auf die geologischen Gegebenheiten zulassen. Durch sog. **magneto-tellurische Untersuchungen**, d. h. die Ermittlung der elektromagnetischen Spezifika des Untergrundes, kann auf unterirdische Wasservorkommen geschlossen werden.



*Spezialfahrzeuge zur Erzeugung seismischer Schwingungen für geologische Untersuchungszwecke*

Bei diesen Methoden bleibt jedoch eine gewisse Unsicherheit über die tatsächliche Temperatur und Fließfähigkeit in der Tiefe bestehen. Weitere Klarheit schafft eine **Erkundungsbohrung**, die allerdings einen beträchtlichen finanziellen Aufwand bedeutet. Meist wird sie deshalb so ausgeführt, dass sie für die geplante Geothermieanlage weiter genutzt werden kann.



#### Bohrung

Für die Herstellung eines Zugangs zu den geothermischen Ressourcen wird auch auf Know-how aus der Erdöl- und Erdgasindustrie zur Erschließung des Untergrundes zurückgegriffen. Der hohe technische Aufwand für die Tiefenbohrung verursacht dabei einen Großteil der Kosten eines Geothermieprojekts.

Beim zumeist angewandten Rotary-Bohrverfahren wird ein Drehbohrer eingesetzt. Dabei wird mit einem übertägigen Antrieb ein Bohrgestänge über einen sog. Drehtisch in Rotation versetzt. Am unteren Ende des Bohrgestänges ist



*Dreikegel-Rollen-Meißel*



Einsatzbereites und abgenutztes Bohrgestänge

der Bohrkopf angebracht. Je nach Härte des Gesteins kann das z. B. ein Dreikegel-Rollen-Meißel, ein Diamant- oder ein Kernbohrer sein. Um tiefer in den Untergrund vorzudringen, wird das Bohrgestänge teleskopartig durch das Aufsetzen weiterer Stangenelemente, sog. Rohrtouren, verlängert. Ein Bohrmast von bis zu 40 m Höhe hält die eingesetzten Rohrtouren in Position. Im Inneren des Bohrgestänges wird während des Bohrvorgangs (Abteufen) beständig eine Spülung mit hohem Druck zum Bohrkopf gepresst. So wird die notwendige Kühlung der Werkzeuge sichergestellt. Im Außenraum zwischen Bohrgestänge und Bohrloch wird mit der Spülung das zerkleinerte Bohrmaterial an die Oberfläche gefördert. Hier wird das Bohrklein aus der im Kreislauf gepumpten Spülung entfernt und umweltgerecht entsorgt. Eine Sicherheitseinrichtung, der sog. Blow Out Preventer, verhindert das unkontrollierte Austreten von Lagerstätteninhalten, die unter hohem Druck stehen können [TAB 2003], [Kaltschmitt 1999].

Mit der **Richtbohrtechnik** können von einem einzigen oberirdischen Bohrplatz aus mehrere Bohrungen abgeteuft werden, deren Endpunkte für eine nachhaltige geothermische Nutzung weit genug auseinander liegen. Ein zeit- und kostenaufwändiges Versetzen der oberirdischen Bohrtechnik wird damit umgangen. Bei der Richtbohrtechnik ist der Druck, mit welchem die Bohrspülung in das Bohrgestänge verpresst wird, so hoch, dass damit der Bohrkopf hydraulisch direkt untertage angetrieben wird. Je nach Anzahl der Bohrungen werden die erstellten Bohrsysteme Dubletten (2) oder Tripletten (3) genannt.

**Komplettierung**

Die niedergebrachte Bohrung muss gegen das Gebirge abgesichert werden. Dazu wird sie „verrohrt“; d. h. zur Stützung der Bohrlochwände werden Stahlrohre in die Bohrung eingebracht, sog. Casing (siehe Bild links). Der verbleibende Ringraum zwischen den Stahlrohren und der Bohrlochwand wird mit einer Zementsuspension gefüllt. In eine derart verrohrte Bohrung wird anschließend ein Förderrohrstrang, sog. Tubing, eingeführt, der z. T. gegen Wärmeverluste isoliert wird. Der Anschluss an den Speicher im tiefen Untergrund erfolgt entweder über eine „open hole Komplettierung“ (d. h. der Trägerhorizont wird nicht verrohrt und bleibt offen; dies ist nur bei einem sehr standfesten Untergrund möglich) oder eine „cased hole Komplettierung“ (hier wird auch der Trägerhorizont komplettiert und anschließend durch eine Perforierung der Rohre der Anschluss an den Speicher sichergestellt).



Casing-Rohre

**Stimulation**

Die Leistungsfähigkeit der angebohrten Schichten ist nicht zuletzt von der Durchlässigkeit des Gesteins und möglichen Fließwegen für Wasser bestimmt. Durch Maßnahmen wie **Hydraulic-Fracturing** und **Wasserfrac** kann diese Leistungsfähigkeit in einem gewissen Maße gesteigert werden. Ziel ist es, ein möglichst weiträumiges Rissystem auszubilden, um große Flächen für die Wärmeübertragung vom Gestein an das Wasser zu ermöglichen. Dazu wird Wasser mit hoher Fließrate und unter hohem Druck über das fertig gestellte Bohrloch in das umstehende Gestein verpresst. Infolge dessen erweitern sich Risse und Spalten oder werden neu geschaffen. Die variierenden Eigenschaften des Untergrundes machen die entstehende Rissbildung jedoch nur ansatzweise vorausberechenbar. Eine Vermessung während des Vorgangs mit bspw. seismo-akustischen Ver-



fahren ist deshalb unerlässlich. So kann auch die genaue Position für ein weiteres Bohrloch bestimmt werden, falls dies für das gewählte Nutzungsverfahren nötig ist.

Als **chemische Stimulation** wird das Einleiten von Säure bezeichnet. Dabei werden vorwiegend Fließwiderstände in Bohrlochnähe beseitigt, die z. B. während der Bohrung oder Komplettierung entstanden sind. In klüftigen Karbonatgesteinen lassen sich darüber hinaus bereits vorhandene Fließwege in einiger Entfernung vom Bohrloch erweitern.

Durch **hydraulische Tests** (Fließtests bzw. Zirkulationstests) kann überprüft werden, ob die angestrebten Fließraten tatsächlich erreicht werden oder weitere Stimulationsmaßnahmen erforderlich sind.

### **Auf welche Weise kann Erdwärme an die Oberfläche gebracht werden?**

#### **Nutzung hydrothermaler Vorkommen**

Aus geeigneten Aquiferen wird das Thermalwasser häufig mit Hilfe elektrischer Unterwasserpumpen durch die komplettierte Bohrung an die Oberfläche gefördert (Förderbohrung). Es werden unter bestimmten Bedingungen auch andere Pumpen, wie zum Beispiel Gestängepumpen, eingesetzt. Da diese Tiefenwässer insbesondere im Norddeutschen Becken mitunter stark mineralisiert sind, ist eine direkte Nutzung oftmals nicht möglich. Deshalb wird die Wärme, die sich in den geförderten Thermalwässern befindet, diesen durch sog. Wärmeübertrager entzogen und auf einen zweiten Wasserkreislauf übertragen. Je nach Temperaturniveau kann nun mit konventioneller Technik Strom erzeugt werden, oder die Wärme wird über ein Nah- oder Fernwärmenetz an die angeschlossenen Verbraucher weitergeleitet. In Abhängigkeit von den Thermalwassereigenschaften ist auch eine gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung (KWK) möglich. Reicht die Temperatur des Thermalwassers für Heizungszwecke nicht aus, kann sie mit Hilfe von Wärmepumpen auf ein höheres Niveau angehoben werden.



Das abgekühlte Tiefenwasser wird durch eine zweite Bohrung (Injektionsbohrung) wieder in den Untergrund verpresst. Dazu müssen potenziell vorhandene Feststoffe in einem Filter aus dem Thermalwasserkreislauf ausgeschieden werden. So wird ein „Verstopfen“ des Trägergesteins im Untergrund verhindert. Die Förder- und die Injektionsbohrung müssen in der Tiefe einen ausreichenden Abstand (etwa 1 000 m) aufweisen, damit ein Temperatureinfluss auf das zu fördernde Thermalwasser vermieden wird.

#### **Tiefe Erdwärmesonde**

Kann die ursprüngliche Zielsetzung einer Tiefbohrung nicht realisiert werden, da z. B. kein ausreichend großes Thermalwasservorkommen erschlossen werden kann, besteht die Möglichkeit, die Bohrung zu einer tiefen Erdwärmesonde auszubauen und damit Niedertemperaturwärme bereitzustellen. Bei dieser Technik wird in den Ringraum zwischen Casing- und Tubingrohr aus einer oberirdischen Anlage Wasser gepumpt, das sich in zunehmender Tiefe durch das umgebende Gestein erwärmt. Am Bohrlochsockel strömt dieses Warmwasser in das innere wärmeisolierte Tubingrohr und wird so zurück an die Oberfläche gefördert.

Da tiefe Sonden geschlossene Systeme sind, können sie nur den jeweiligen Erdwärmestrom nutzen. Deshalb kann mit der tiefen Sonde nur soviel thermische Energie entzogen werden, wie aus dem umliegenden Gestein nachfließen kann. Dadurch liegen die erreichbaren Wassertemperaturen am Bohrlochausgang kaum über 40 °C. Die thermische Leistung einer derartigen Sonde ist mithin deutlich geringer als bei der hydrothermalen Nutzung.

#### **Nutzung des heißen Tiefengesteins**

Für die geothermische Stromproduktion in Deutschland sind petrothermale Systeme, die die im Gestein gespeicherte Wärmeenergie mit Temperaturen über 150 °C schon in Tiefen ab 3 000 m nutzen, besonders interessant. Das heiße Gestein wird dabei als Wärmetauscher genutzt. Die Energiegewinnung erfolgt aus dem Gestein selbst, sie ist nicht an im Untergrund natürlich vorhandenes Tiefenwasser gebunden. Diese Systeme werden auch mit den Begriffen Hot-Dry-Rock-Systeme (HDR) oder Enhanced Geothermal Systems (EGS) bezeichnet. Die Nutzung petrothermaler Systeme stellt eine wichtige Option der Energiegewinnung dar.

Auch bei diesem Verfahren wird die Erdwärme mit Hilfe von Wasser an die Oberfläche gefördert. Damit sich das Wasser erhitzen kann, müssen großflächige Rissysteme im tiefen Untergrund durch eine Stimulation erzeugt bzw. aufgeweitet werden. Dabei sind für einen späteren, langjährigen Anlagenbetrieb Rissflächen von mehreren Quadratkilometern Ausdehnung und Abstände von mindestens 1 000 m zwischen Injektions- und Förderbohrungen an den Ausläufern des erzeugten Systems notwendig.

Trotz der erheblichen Fortschritte, die bei der Erzeugung von Rissystemen in den vergangenen Jahren erzielt wurden, ist eine ausreichende Stimulation des kristallinen Untergrundes bisher noch mit Unsicherheiten verbunden. Gelingt es, mit den laufenden umfangreichen Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet diese Unsicherheiten auszuräumen, können standortunabhängig größere Potenziale zur geothermischen Stromerzeugung erschlossen werden.

## Mit welchen Technologien kann die verfügbare Erdwärme in elektrischen Strom umgewandelt werden?

Für die Erzeugung von elektrischem Strom wird üblicherweise Wasser verdampft und einer Turbine mit angeschlossenem Generator zugeführt. Dafür gelten Temperaturen ab 175 °C als wirtschaftlich. In der Geothermie stehen diese Temperaturen, zumindest in Deutschland, noch nicht zur Verfügung. Um dennoch Strom geothermisch produzieren zu können, kann auf zwei Verfahren zurückgegriffen werden. Die wesentlichsten Merkmale dieser sog. Kreisprozesse werden nachfolgend beschrieben.

### ORC – Organic Rankine Cycle

Beim ORC-Prozess, benannt nach dem schottischen Ingenieur William Rankine, kommt an Stelle des Wassers ein organisches Arbeitsmittel zum Einsatz, das bereits ab Temperaturen von ca. 30 °C verdampft werden kann. Durch die Wahl seiner Zusammensetzung kann das organische Arbeitsmittel speziell auf die jeweiligen Prozessbedingungen abgestimmt werden.

In einem Wärmeübertrager gibt das heiße Thermalwasser Wärme an das Arbeitsmittel ab, welches dadurch verdampft wird. Anschließend wird das Arbeitsmittel einer Dampfturbine zugeführt. Hier wird die thermische Energie in Rotationsenergie umgesetzt. In einem angeschlossenen Generator kann diese Rotationsenergie in elektrischen Strom umgewandelt werden. Das Arbeitsmittel wird daraufhin in einem sog. Kondensator wieder verflüssigt und zum Wärmeübertrager gepumpt. Dort beginnt der Kreislauf erneut. Dieser Prozess kann mit vergleichsweise geringem Anlagenaufwand realisiert werden und ist gut steuerbar.

### Kalina-Prozess

Eine weitere Möglichkeit der geothermischen Stromerzeugung unter Nutzung der gegebenen Thermalwassertemperaturen besteht mit dem Kalina-Prozess, einer Erfindung des russischen Ingenieurs Alexander Kalina.

Das Verfahren beruht auf den vorteilhaften Eigenschaften von Stoffgemischen. Durch Konzentrationsänderungen können Temperaturänderungen bewirkt werden. Als Arbeitsmittel wird eine kostengünstige Mischung aus Ammoniak und Wasser eingesetzt. Die Zusammensetzung kann an die Prozessbedingungen angepasst werden.

Im Wärmeübertrager gibt das Thermalwasser thermische Energie an das Arbeitsmittel ab. Durch die unterschiedlichen Siedepunkte der beinhaltenen Stoffe entstehen so ein Ammoniak-reicher Dampf und eine Ammoniak-arme Flüssigkeit. Der Dampf wird von der Flüssigkeit getrennt und einer Turbine zugeführt. Ein angeschlossener Generator dient der Stromerzeugung. Nach dem Turbinenaustritt werden die getrennten Stoffströme wieder zusammengeführt und vollständig kondensiert. Eine Pumpe befördert das Gemisch nun wieder an den Ausgangspunkt des Prozesses, zum Wärmeübertrager. Durch die Gemischeigenschaften sind vergleichsweise geringe Temperaturdifferenzen zwischen Wärme abgebendem und Wärme aufnehmendem Stoff ausreichend. Somit kann ein höherer Wirkungsgrad im Vergleich bspw. zum ORC-Prozess erreicht werden. Dem steht eine komplexe und teilweise kostenintensivere Anlagentechnik gegenüber.

## Ökonomische Analyse

Obwohl die Erdwärme – unter mehr oder weniger günstigen Bedingungen – überall frei zur Verfügung steht, ist die Wirtschaftlichkeit von Geothermie-Anlagen zur Strom-/Wärmeerzeugung die große Herausforderung, wenn der Beitrag der Erdwärme innerhalb des deutschen Energiesystems in den kommenden Jahren ausgeweitet werden soll. Welche Kostenfaktoren dabei welchen Erlösquellen gegenüber stehen, wird im Folgenden aufgezeigt.

### Wofür fallen Kosten bei einem Geothermieprojekt an?



Die Gesamtkosten der geothermischen Wärme- und Strombereitstellung sind durch einen relativ hohen Investitionskostenanteil charakterisiert. Die geothermische Energiebereitstellung unterscheidet sich damit grundsätzlich von der Strom-/Wärmeerzeugung aus fossilen Energieträgern. Denn die Brennstoffkosten für Kohle oder Erdgas haben einen vergleichsweise starken Einfluss auf die Kostenzusammensetzung.

#### Investitionskosten

Die Investitionskosten lassen sich unterteilen in die Kosten der Vorerkundung, Bohr- und Komplettierungskosten und die Kosten für die übertägigen Anlagen. Die Kosten für die Bohrlöcherherstellung bilden dabei den größten Kostenblock. Die Projektbetreiber investieren daher zunächst in Maßnahmen zur Vorerkundung der geologischen Bedingungen, um die Wahrscheinlichkeit eines

möglichst geringen Bohraufwands sowie optimaler Voraussetzungen für den geplanten Anlagenbetrieb zu erhöhen.

Die **Kosten der Vorerkundung** umfassen z. B. die Sichtung bereits vorhandener Gutachten und seismische Untersuchungen des Untergrunds. Wie hoch diese Kosten letztlich sind, hängt entscheidend davon ab, mit welchem Aufwand die nötigen Erkenntnisse gewonnen werden können. Sind die Untersuchungsergebnisse Erfolg versprechend, wird eine Erkundungsbohrung so ausgeführt, dass sie später als (Basis für eine) Injektions- oder Förderbohrung genutzt werden kann.

Die **Bohrkosten** hängen stark von den Standortbedingungen ab. Die wesentlichen Einflussfaktoren sind dabei die Beschaffenheit des Untergrundgesteins und der geothermische Temperaturgradient. Je höher der Gradient ist, desto weniger tief muss gebohrt werden, um die für die jeweils geplante Anwendung notwendige Temperatur erschließen zu können.

Abhängig von den Eigenschaften des Untergrunds liegen die spezifischen Bohrkosten in einer Größenordnung von 1 000 bis 2 000 Euro je Bohrlochtieftmeter inklusive der Kosten für das Errichten des Bohrplatzes, die Anlagenmiete, Vermessungen, Ausbau, Personal und Energie.



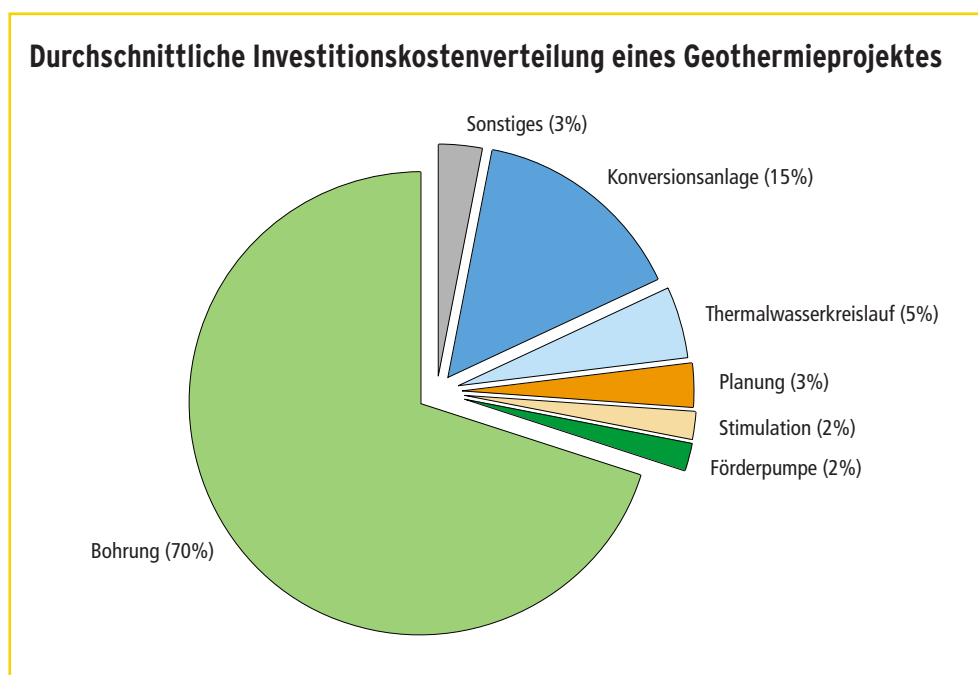
Auf Grund der hohen Kosten der Bohrung ist der Abschluss einer Versicherung für das Fündigkeitsrisiko empfehlenswert. Sie wird von den meisten Betreibern auch angestrebt, ist allerdings noch nicht standardisiert marktverfügbar, da den Versicherern auf Grund der geringen Zahl realisierter Projekte bisher keine hinreichende Datenbasis für eine statistische Berechnung des Risikos zur Verfügung steht.

Die **Kosten der übertägigen Anlagen** beinhalten in jedem Fall Aufwendungen für eine Förderpumpe und den Thermalwasserkreislauf. Die weiteren Kostenbestandteile hängen von der geplanten Nutzung ab:

- Für die geothermische Stromerzeugung sind die Anlagenkosten höher als für konventionelle Erzeugungsanlagen, weil das vergleichsweise niedrige verfügbare Temperaturniveau den Einsatz von ORC- oder Kalina-Anlagen (siehe Kapitel „Technik“) notwendig macht.
- Eine Wärmeauskopplung verursacht Kosten für ein Wärmeverteilungsnetz. Diese lassen sich minimieren, falls auf ein bestehendes Netz zurückgegriffen werden kann.

Die **Kosten der übertägigen Anlagen** beinhalten u. a. Aufwendungen für die Förderpumpe und den Thermalwasserkreislauf sowie alle damit zusammenhängenden Zusatzkomponenten. Für eine ausschließliche Wärmenutzung addieren sich noch die Kosten einer Wärmeverteilung hinzu, falls nicht auf ein vorhandenes Nahwärmenetz zurückgegriffen werden kann. Soll außer Wärme auch Strom erzeugt werden, fallen außerdem Kosten für die Kraftwerkstechnik an, die sich aus den Aufwendungen für das eigentliche Kraftwerk (z. B. ORC-Anlage) und den zusätzlich benötigten Nebenaggregaten (z. B. Kühlturm) zusammensetzen.

Eine wirtschaftlich oft sinnvolle Kopplung der Strom- und Wärmeerzeugung (KWK) erfordert entsprechend beide genannten Kostenblöcke.



**Betriebskosten**

Der Betrieb einer geothermischen Anlage verursacht vergleichsweise geringe Kosten. Denn anders als in mit fossilen Brennstoffen befeuerten Kraftwerken fallen keine Brennstoffkosten an. Für den Betrieb der eingesetzten Pumpen des Wasser-/Arbeitsmittelkreislaufes sowie der Kondensationsanlage ist jedoch ein gewisser Eigenstrombedarf nötig. Je nach Anlagengröße variiert der Kostenanteil zwischen 20 und 40 % der gesamten Betriebskosten. Wie bei anderen Kraftwerksanlagen auch kommen die Kosten für regelmäßige Inspektionen und Wartungsarbeiten sowie für Verwaltung und Versicherungen hinzu. Durch den hohen Automatisierungsgrad in Geothermieanlagen fallen Personalkosten vorrangig für Überwachungs- und Steuerungsaufgaben an.

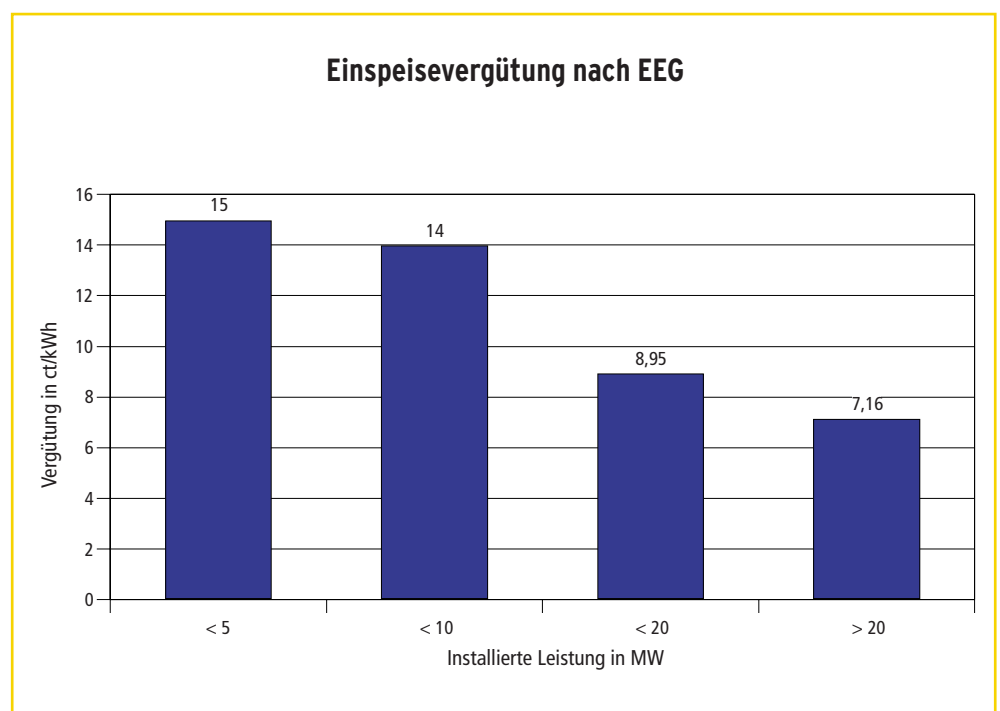
**Welche Einnahmen können mit einer Geothermieanlage erzielt werden?**

Die Einnahmen einer Geothermieanlage setzen sich aus der Einspeisevergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und aus dem Erlös für den Wärmeabsatz zusammen.

**Umfang und Preis der absetzbaren Wärme** ergeben sich aus den lokalen Marktgegebenheiten. Dabei stellt sich die Situation für Betreiber geothermischer Anlagen mit Wärmeauskopplung umso besser dar, je höher die Preise für fossile Energieträger – und damit die daraus resultierenden Wärmepreise – sind.

Die **Erlöse für den in das Netz der öffentlichen Versorgung eingespeisten Strom** ergeben sich aus den im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) festgelegten Sätzen der Einspeisevergütung. Die Einspeisevergütung ist differenziert nach der elektrischen Leistung der geothermischen Anlagen (siehe Diagramm).

*Vergütung für Strom aus Erdwärme nach dem Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich vom 21. Juli 2004 (Vergütungszeitraum: 20 Jahre, Degression: jährlich 1 % ab 2010). Auf der Grundlage eines Erfahrungsberichtes wird in 2008 das EEG an aktuelle Bedingungen angepasst.*



Darüber hinaus wird die Geothermie noch über verschiedene **Förderprogramme des Bundes und der Länder** unterstützt. Die wichtigsten aktuell zur Verfügung stehenden Programme (Stand: Sommer 2007) werden im Folgenden kurz erläutert.

#### **KfW-Programm Erneuerbare Energien (Nr. 128)**

Investitionskosten für die Errichtung oder Erweiterung von Anlagen zur ausschließlich thermischen Nutzung der Tiefengeothermie werden mit 103 Euro je kW installierte Nennwärmeleistung gefördert. Die maximale Fördersumme je Anlage beträgt 1 Mio. Euro.

Tilgungszuschüsse werden ebenfalls für zu errichtende oder zu erweiternde Wärmenetze im Rahmen geförderter Anlagenprojekte gewährt. Dabei sind mindestens 50 % der Wärmeeinspeisung auf Basis regenerativer Energien zu erzeugen. Beträgt der Wärmeabsatz mindestens 3 MWh pro Jahr und Meter Trassenlänge, kann ein Zuschuss von 100 Euro je Meter Trassenlänge mit einer Summe von maximal 150 000 Euro gewährt werden. Bei nur 1,5 MWh pro Jahr und Meter Trassenlänge halbiert sich der Zuschuss. Steht die Investition in Verbindung mit der Errichtung einer Geothermie-Anlage beträgt die maximale Fördersumme 550 000 Euro.

Der Finanzierungsanteil kann bis zu 100 % der förderfähigen Nettoinvestition betragen. In der Regel liegt der Kredithöchstbetrag bei 5 Mio. Euro.

Informationen:

<http://www.kfw-foerderbank.de>

#### **BMU-Programm zur Förderung von Demonstrationsvorhaben (Nr. 230)**

Dieses Programm sieht eine Mitfinanzierung von Demonstrationsvorhaben vor. Das sind Projekte, in denen die geplante Technik bzw. Technologie erstmalig eingesetzt wird oder bereits bekannte Techniken in neuer verfahrenstechnischer Anordnung zum Einsatz kommen. Die Förderung erfolgt in bestimmten Bereichen für bauliche, maschinelle oder sonstige Investitionen in Deutschland einschließlich der Kosten für die Inbetriebnahme sowie ggf. für mit den Investitionen in Zusammenhang stehende Gutachten und Messungen. Förderfähige Geothermie-Projekte mit Demonstrationscharakter können dabei möglicherweise in den Bereichen Energieeinsparung, rationelle Energieanwendung, Nutzung erneuerbarer Energien oder umweltfreundliche Versorgung und Verteilung angesiedelt sein.

Informationen:

<http://www.kfw-foerderbank.de>

### Wodurch wird die Wirtschaftlichkeit einer Geothermieranlage beeinflusst?

Die Gestehungskosten für Wärme oder Strom aus der Nutzung der Geothermie resultieren aus den genannten Kosten bezogen auf die nutzbare Wärme- bzw. Strommenge. Die Geothermieranlagen sind gut geeignet im Grundlastbereich zu arbeiten. Auf Grund des hohen Fixkostenanteils ist der Grundlastbetrieb auch aus ökonomischer Sicht sinnvoll. Dadurch kann die jährliche Volllaststundenzahl, d. h. die Ausnutzung des Erzeugungspotenzials der Anlage, maximiert werden. Somit verringert sich der spezifische Anteil von fixen Kosten an den Gestehungskosten.

Ob eine wirtschaftliche Betriebsführung erreicht werden kann, d. h. ob die Einnahmen die Kosten übersteigen, hängt im Wesentlichen ab von

- der eingespeisten Strommenge,
- dem Umfang der Wärmenutzung und dem dabei erzielbaren Erlös und
- den geologischen Standortbedingungen: Je höher die erzielbaren Förderraten und -temperaturen sind, desto niedriger fallen die spezifischen Kosten für die Erzeugung der Nutzenergie aus.

Wie bei jeder anderen Technologie zur Energiebereitstellung sind mit zunehmender Marktdurchdringung und weiteren Entwicklungs- und Forschungstätigkeiten tendenziell sinkende Gestehungskosten zu erwarten. Parallel dazu ist es wahrscheinlich, dass das fossile Energiepreisniveau in den kommenden Jahren nicht signifikant zurückgehen wird; tendenziell dürfte eher von steigenden Kosten auszugehen sein. Damit sind die Chancen, zukünftig Geothermie-Anlagen wirtschaftlich zu betreiben, aus gegenwärtiger Sicht durchaus gegeben.

Derzeit ist eine öffentliche Förderung der für Deutschland neuen Technologie der geothermischen Stromerzeugung noch notwendig. Ein nachhaltiges Konzept für den Energiemix der kommenden Jahrzehnte ist auf Diversifizierung und Umweltverträglichkeit angewiesen. Die Geothermie ist unter diesem Aspekt aufgrund ihrer besonderen Stellung unter den erneuerbaren Energien besonders interessant. Neben der ganzjährigen Verfügbarkeit ist die Grundlastfähigkeit ein weiteres entscheidendes Argument für den Ausbau der Aktivitäten im Bereich der Geothermie.



## Ökologische Analyse

Die Frage wie umweltfreundlich die vorhandenen geothermischen Ressourcen nutzbar gemacht werden können, ist für die Akzeptanz derartiger Anlagen vor Ort von besonderer Bedeutung. Denn einerseits spielen Fragen des Umwelt- und Klimaschutzes in Deutschland und Europa eine immer wichtigere Rolle. Und andererseits lässt sich eine öffentliche Förderung von Geothermie-Projekten nur rechtfertigen, wenn nachgewiesen werden kann, dass diese Projekte einen erheblichen ökologischen Nutzen mit sich bringen.

Die wesentlichen regionalen und lokalen ökologischen Vorteile und eventuelle Risiken der Nutzung der Geothermie werden im Folgenden aufgezeigt. Dabei wird zwischen der Errichtung einer Geothermie-Anlage, dem Betrieb (normal und Störfall) und dem Rückbau nach dem Ende der Nutzungszeit unterschieden. Abschließend wird noch auf ausgewählte Umwelteffekte im Lebensweg eingegangen.



### Anlagenerrichtung

Die Umweltauswirkungen der Bohrlocherstellung sind vergleichbar mit denen der Bohrungen zur Erdöl- und Erdgasexploration und -exploitation:

- Bohrspülung und Bohrklein sind aufzubereiten und zu deponieren.
- Es kommt zu einem Landverbrauch, der jedoch nach Abteufen der Bohrung mit Ausnahme der eigentlichen Bohrung wieder reversibel ist.
- Das Niederbringen der Bohrung kann zu Lärmemissionen führen, die aber durch technische Maßnahmen auf das gesetzlich erlaubte Maß reduziert werden können.
- Die Stimulation der Reservoirs kann – in Abhängigkeit von den geologischen Bedingungen – zu seismischen Erscheinungen (d. h. leichten Beben) führen.
- Für die Bohrmaßnahmen wird auf fossile Energie zurückgegriffen, wodurch entsprechende Stoffe (u. a. Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>)) freigesetzt werden.

Die **Errichtung der obertägigen Anlagenteile** unterscheidet sich unter ökologischen Aspekten nicht signifikant von der Errichtung anderer konventioneller Kraftwerks- oder Industrieanlagen. Wesentliche Umweltauswirkungen sind – werden die gültigen gesetzlichen Auflagen beachtet – i. Allg. nicht zu erwarten.

## Normalbetrieb

Im Normalbetrieb kommt es durch den geothermischen Anlagenteil nicht zu direkten Stofffreisetzungen. Im Thermalwasser gelöste Mineralien werden durch die Kreislauf-führung wieder in den Untergrund zurückgeführt. Und die in den eingebauten Filtern abgeschiedenen festen Ausfällungen werden ordnungsgemäß entsorgt. Damit bewegen sich mögliche Umweltauswirkungen in den gesetzlich vorgegebenen Grenzen und die verbrauchsinduzierten Umweltauswirkungen von Anlagen zur Nutzung der Geothermie sind deutlich geringer als bei Systemen auf der Basis fossiler Energieträger.

Potenzielle Umweltauswirkungen durch die z. T. erheblichen Abwärmemengen bei einer ausschließlichen Stromerzeugung sind gering und lokal begrenzt, wenn die geltenden Umweltschutzbestimmungen eingehalten werden.



Eine potenzielle leichte Abkühlung des Untergrundes kann zu einer Veränderung der Chemie im Reservoir führen. Umwelteffekte auf Flora und Fauna sind jedoch nicht zu erwarten, da i. Allg. keine Verbindung des tiefen Untergrundes zur Biosphäre besteht.

Die Auskühlung des Gesteins sowie Druckänderungen im Reservoir können in seismisch labilen Zonen theoretisch Mikroseismizität hervorrufen, die kleinere Erdbeben auslösen könnte. Ein praktisches Gefahrenpotenzial besteht jedoch kaum. Denn durch die Untersuchungen vor und während der Anlagenerstellung können diese labilen Zonen erkannt und ggf. entsprechende Gegenmaßnahmen getroffen werden.

Die Abkühlung des Untergrundes könnte zudem theoretisch über einen sehr langen Zeitraum in geringem Umfang zu einer Absenkung der Erdoberfläche führen. Derartige Auswirkungen sind jedoch vernachlässigbar gering verglichen mit den Absenkungen, wie sie aus dem Bergbau oder der Erdöl-/Erdgasförderung bekannt sind. Eine Schädigung von vorhandener Gebäudeinfrastruktur ist damit sehr unwahrscheinlich.

Der Landverbrauch bzw. die Flächeninanspruchnahme der übertägigen Anlagenteile ist vergleichbar mit konventionellen Kraftwerksanlagen gleicher Leistung.

## Störfall

Beim Störfall könnte es in einer Geothermieanlage zur Freisetzung des Thermalwassers kommen. Die gelösten Salze und Mineralstoffe könnten je nach Konzentration zu lokalen Umwelteffekten führen, wenn sie in die Biosphäre austreten würden. Durch entsprechende Planungen und Maßnahmen, wie u. a. Lecküberwachungssysteme und Auffangbehälter (sog. „Slopsysteme“), kann dies praktisch ausgeschlossen werden.

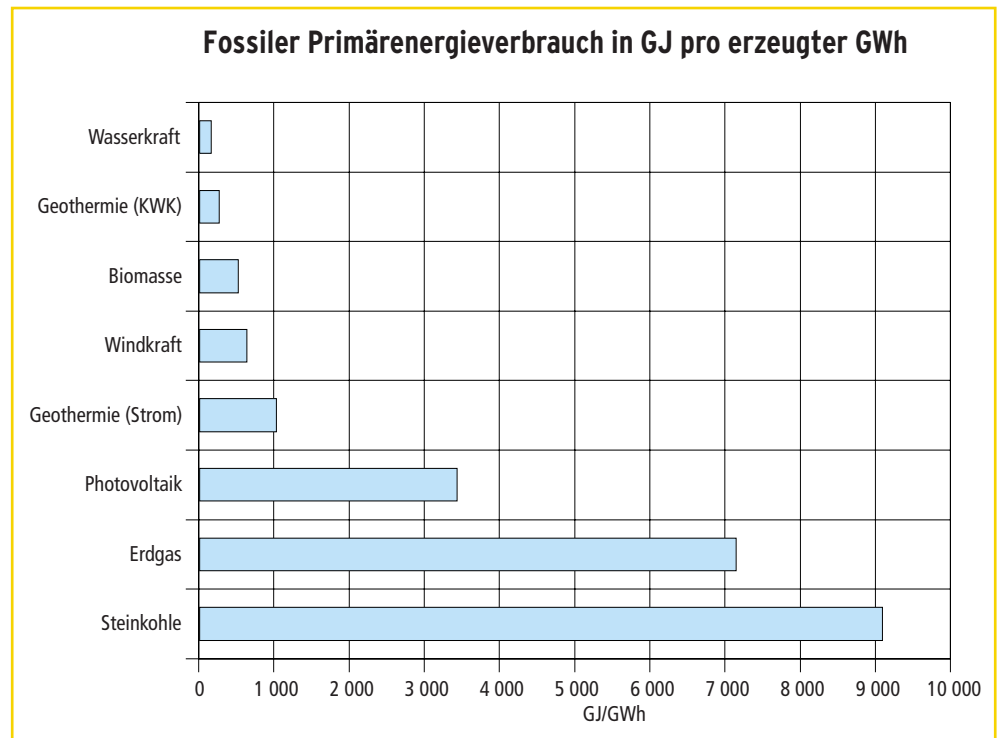
## Rückbau

Beim Rückbau einer Geothermieanlage zum Betriebsende werden die Bohrlöcher sorgfältig abgedichtet. So wird ein Schadstoffeintrag von der Oberfläche vermieden und ein hydraulischer Kurzschluss unterschiedlicher Schichten im Untergrund ausgeschlossen. Bei ordnungsgemäßer Ausführung sind damit keine weitergehenden Auswirkungen auf die Umwelt zu erwarten. Das für den Bau der obertägigen Anlagenkomponenten eingesetzte Material (z. B. Stahl, Beton) ist bei einer Entsorgung einer Verwertung zuzuführen. Der Standort wird abschließend nahezu vollständig rekultiviert.

## Umwelteffekte im Lebensweg

Die ökologische Chance, welche die Nutzung der geothermischen Ressourcen bietet, wird deutlich bei der vergleichenden Betrachtung verschiedener Strom- und Wärmeerzeugungstechnologien hinsichtlich des Verbrauchs von erschöpflichen Energieträgern/Primärenergie und der Emissionen. Dabei werden die auftretenden Stofffreisetzungen im Verlauf des gesamten Lebensweges der untersuchten Anlagen aufsummiert und auf die jeweils netto erzeugte gesamte Strom- und/oder Wärmemenge bezogen. Somit ergeben sich vergleichbare spezifische Werte.





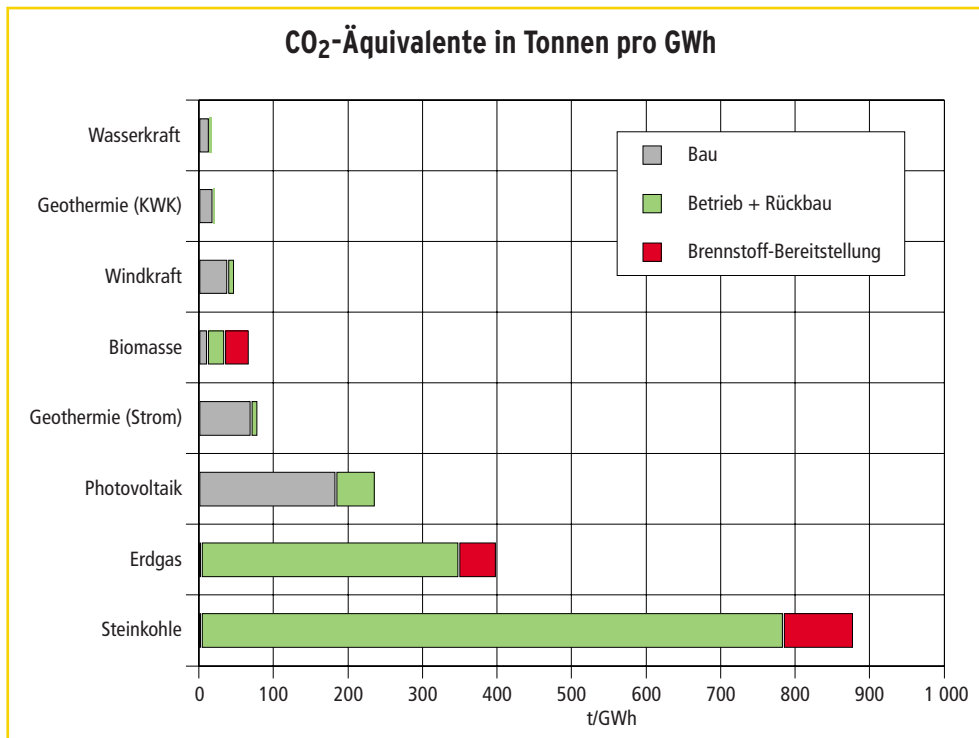
Unter Primärenergieträgern werden Stoffe verstanden, die noch keiner technischen Umwandlung unterworfen wurden und aus denen direkt oder indirekt durch eine oder mehrere Umwandlungen Energie bereitgestellt werden kann. Beispiele für Primärenergieträger sind u. a. Rohbiomasse, Stein- oder Braunkohle, Erdöl, Erdgas und Uran.

Unter ökologischen Gesichtspunkten ist in erster Linie der Verbrauch fossiler Energieträger (d. h. Energieträger, die in erdgeschichtlichen Zeiten entstanden sind wie z. B. Erdöl, Erdgas oder Kohle) relevant, u. a. da diese endlich sind und ihr Verbrauch deshalb die kommenden Generationen zur Verfügung stehende Ressourcenbasis reduziert. Zudem tragen sie durch die Freisetzung von Kohlenstoffdioxid zum anthropogenen Treibhauseffekt bei.

Der fossile **Primärenergieverbrauch** als ein ökologisches Kriterium beschreibt die eingesetzte Menge an fossiler und damit erschöpflicher Energie. Er ist in der obigen Abbildung für unterschiedliche Konversionsanlagen dargestellt. Demnach unterscheiden sich die untersuchten Kraftwerkstypen deutlich voneinander. Dabei ist auch die Nutzung der tiefen Geothermie – insbesondere aufgrund der bei der Anlagenerrichtung benötigten fossilen Energie – mit einem Verbrauch fossiler Primärenergie verbunden. Da jedoch während des Betriebs der Anlage keine fossilen Energieträger eingesetzt werden, ist der spezifische fossile Primärenergieverbrauch im gesamten Verlauf der technischen Lebensdauer sehr gering. Dies gilt insbesondere beim Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung. Etwas ungünstiger wird die Bilanz, wenn die geothermische Energie zur ausschließlichen Stromerzeugung genutzt wird und die anfallende Wärme ungenutzt bleibt. Diese Option ist im mittleren Bereich der sonstigen Erzeugungskonzepte aus regenerativen Energien einzuordnen. Deutlich ungünstiger aus Sicht des fossilen Primärenergieverbrauchs ist demgegenüber eine Stromerzeugung aus Erdgas und Kohle.

Ein weiteres ökologisches Vergleichskriterium stellen die sog. **CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen** dar. Darunter werden Stofffreisetzungen zusammengefasst, welche zum anthropogenen Treibhauseffekt beitragen; das sind z. B. Kohlenstoffdioxid aus fossilen Energieträgern, Methan und Distickstoffoxid. Die Abbildung oben rechts zeigt die Ergebnisse entsprechender Bilanzen im Verlauf des gesamten Lebensweges. Deutlich wird u. a., dass beim Einsatz fossiler Brennstoffe in konventionellen Kraftwerken verglichen mit der Nutzung erneuerbarer Energieträger größere Mengen der CO<sub>2</sub>-Äquivalente freigesetzt





werden. Bei den Geothermieanlagen werden derartige Stoffe vor allem bei der Erstellung der Bohrungen freigesetzt, da hierfür viel fossile Energie aufgewendet werden muss. Aber auch die Herstellung von Stahlrohren und von Zement für die Bohrungskompletierung haben einen merklichen Einfluss. Hinzu kommen die Freisetzungen bei der Fertigung der obertägigen Anlagenteile in industriellen Prozessen. Betrieb und Rückbau einer Anlage sind demgegenüber nur mit geringen Emissionen verbunden. Insgesamt belaufen sich die spezifischen Mengen an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten auf einen Bruchteil dessen, was Erdgas- oder Steinkohlekraftwerke verursachen. Die geothermische Strom- und Wärmeerzeugung ordnet sich damit im Mittelfeld der regenerativen Energieträger ein. Kann die Geothermieanlage im KWK-Betrieb arbeiten, sind die spezifischen Klimagasemissionen deutlich geringer als bei einer ausschließlichen Stromerzeugung und mit denen von Wasserkraftwerken vergleichbar.

## Neustadt-Glewe

In Neustadt-Glewe befindet sich das erste und bis Herbst 2007 auch einzige deutsche geothermische ORC-Kraftwerk. Nachdem Bohrungen aus den Jahren 1988 und 1989 in bis zu 2 455 Meter Tiefe auf salzhaltiges heißes Wasser stießen, wurden diese Bohrungen 1993 komplettiert und die obertägigen Anlagenteile zur Wärmeerzeugung und Einspeisung in ein ebenfalls neu errichtetes Fernwärmenetz erstellt. Damit kann nun die Heizwärmenachfrage von rund 2 500 der 7 000 Einwohner des Ortes gedeckt werden.

### Eckdaten:

Tiefe der Förderbohrung:	2250 m
Tiefe der Injektionsbohrung:	2335 m
Abstand der Bohrungen:	1780 m
Fördertemperatur der Sole:	97 °C am Sondenkopf
Fördermenge:	40 - 110 m <sup>3</sup> /h
Lagerstätte:	Aquifer

Aufgrund der geringen Wärmenachfrage in den Sommermonaten blieb ein beträchtlicher Teil der verfügbaren Wärmemengen ungenutzt. Die Notwendigkeit, den Thermalwasserkreislauf mit einer bestimmten Pumpenleistung aufrecht zu erhalten, führte dazu, dass ein erweitertes Konzept entwickelt wurde, das vorsieht, im Sommer mit voller Leistung Strom zu produzieren und bei niedrigen Außentemperaturen die Stromerzeugung zugunsten der Wärmeversorgung zu drosseln bzw. gänzlich einzustellen. Die geförderte Erdwärme wird dann vollständig für die Wärmeversorgung genutzt. Eine derartige zusätzliche Stromproduktion war mit der EEG-Einspeisevergütung wirtschaftlich darstellbar. So konnte 2003 der Betrieb

einer ORC-Anlage aufgenommen werden, die mit der in der geothermischen Stromerzeugung weltweit niedrigsten Soletemperatur von 98 °C arbeitet.

Hauptaufgabe der Anlage in Neustadt-Glewe ist aber die Wärmeversorgung. Insgesamt 1 325 Haushalte, 15 kleinere Gewerbekunden und ein Produktionsunternehmen werden hier umweltfreundlich und klimaverträglich mit Wärme versorgt. Die Wärmemengen werden zu 85 bis 98 % geothermisch erzeugt, an besonders kalten Tagen stellt eine





mit Erdgas befeuerte Spitzenlastanlage die nicht mit Geothermie abdeckbare Wärmefachfrage bereit. Mit dem Heizwerk und der ORC-Anlage werden im Mittel jährlich etwa 16 000 MWh Wärme und geplant rund 750 MWh Strom erzeugt. Die Anlage ist inkl. eines größeren angeschlossenen Niedertemperaturabnehmers (Gartenbaubetrieb) ausgelegt auf eine thermische Leistung von 6,5 MW (geothermisch) bzw. 6 MW (Spitzenlastanlage). Die Nennleistung der Stromerzeugung wird mit 230 kW angegeben.



**Betreiber:**

*Erdwärme-Kraft GbR  
Köpenicker Str. 59-71  
10179 Berlin*

*Internet:  
[www.erdwaerme-kraft.de](http://www.erdwaerme-kraft.de)*



## Unterhaching

Die Gemeinde Unterhaching realisiert erstmals in Deutschland eine Geothermieranlage mit Kalina-Technik zur Stromerzeugung.

### Eckdaten:

<i>Bohrtiefe:</i>	<i>3580 m</i>
<i>Abstand der Bohrungen:</i>	<i>ca. 3,5 km</i>
<i>Wassertemperatur:</i>	<i>130° C</i>
<i>Angestrebte Förderrate:</i>	<i>150 l/s</i>
<i>Geplante inst. Leistung:</i>	<i>3,36 MW<sub>el</sub> bzw. 40 MW<sub>th</sub></i>
<i>Lagerstätte:</i>	<i>Aquifer</i>

In den Jahren 2004 und 2006 wurde dazu ein Dublettensystem erstellt. Die längere Bohrung dringt bei einer Bohrstrecke von 3 864 Metern bis in eine Tiefe von 3 580 Meter vor. Die Distanz zwischen beiden Bohrungen beträgt 3,5 km. Als Novum ist zu vermerken, dass die erste Bohrung durch eine erstmals zustande gekommene privatwirtschaftliche Fündigkeitsversicherung abgesichert werden konnte. Zudem mussten beide Bohrungen im Malmkarst zum Erreichen der angestrebten hohen Schüttungsraten mit verdünnter Salzsäure stimuliert werden. Die sorgfältige Auswertung von Seismikprofilen zur Evaluierung der Bohrauftreffpunkte im Malm stellte sich als erfolgreiche Maßnahme zur Erreichung hoher Produktionsraten heraus.





Im Tiefenreservoir wurden Wassertemperaturen von über 130 °C nachgewiesen. In vorläufigen Untersuchungen zu der erzielbaren Förderrate werden Werte von bis zu 150 Litern pro Sekunde bzw. 540 m<sup>3</sup> pro Stunde genannt. Der letztlich im Dauerbetrieb realisierbare Wert ist erst nach vollständigem Abschluss der Bauarbeiten ermittelbar.



Neben der Stromerzeugung mit einer Leistung von 3,36 MW ist eine Fernwärmeauskopplung von bis zu 40 MW<sub>th</sub> vorgesehen. Zur Sicherstellung der Wärmeversorgung wird eine mit Heizöl befeuerte Spitzenlastanlage installiert. Die mögliche CO<sub>2</sub>-Vermeidung mit der Geothermieanlage in Unterhaching wird auf etwa 300 000 t/a geschätzt. Die reguläre Betrieb ist für Ende 2007 bzw. Anfang 2008 zu erwarten.



**Betreiber:**  
 Geothermie Unterhaching  
 GmbH & Co KG  
 Rathausplatz 7  
 82008 Unterhaching  
  
 Internet:  
[www.geothermie-unterhaching.de](http://www.geothermie-unterhaching.de)

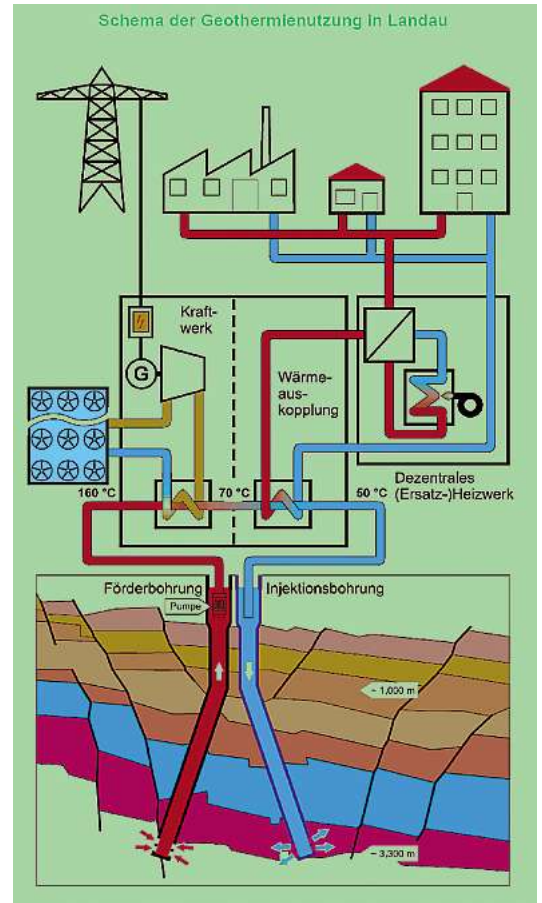
## Landau

Auch am Standort Landau in der Pfalz soll hydrothermales Tiefenwasser zur Stromerzeugung und Fernwärmeversorgung über eine Dublette genutzt werden. Beide Bohrungen sind bereits bis auf 3 000 m Tiefe abgeteuft und getestet worden. Hier konnte eine Temperatur von 155 °C und eine Fördermenge von 50 bis 70 Litern pro Sekunde (180 bis 250 m<sup>3</sup> pro Stunde) nachgewiesen werden.

### Eckdaten:

Bohrtiefe:	ca. 3000 m
Fördertemperatur:	155 °C
Fördermenge:	180 - 250 m <sup>3</sup> /h
Gepl. El. Leistung:	3 MW
Lagerstätte:	Aquifer

Geplant ist der Betrieb einer ORC-Anlage mit einer elektrischen Leistung von durchschnittlich 3 MW. Die zusätzlich verfügbare Niedertemperaturwärme soll der Fernwärmeversorgung mit einer thermischen Leistung von 3 bis 6 MW dienen. Die Anlagenkennwerte lassen eine CO<sub>2</sub>-Vermeidung in Höhe von ca. 5 800 Tonnen pro Jahr erwarten.



Der Anlagenbetrieb wird Ende 2007 aufgenommen.







**Betreiber:**

*geo x GmbH  
Industriestraße 18  
76829 Landau in der Pfalz*

*Internet:  
<http://www.geo-x-gmbh.de>*

## Groß Schönebeck

### Eckdaten:

<i>Bohrtiefe:</i>	
<i>Altbohrung</i>	4 309 m
<i>Neubohrung (abgelenkt)</i>	4 400,44 m Bohrstrecke 4 264,50 m vertikale Tiefe
<i>Abstand der Bohrungen im Untergrund:</i>	Neubohrung 475 m in west-südwestlicher Richtung von Altbohrung entfernt
<i>Fördertemperatur:</i>	150° C
<i>Lagerstätte:</i>	Aquifer

Groß Schönebeck, 50 km nordöstlich von Berlin gelegen, ist der Standort des In situ-Geothermie-Labors des GeoForschungsZentrums Potsdam (GFZ). In dem Technologieentwicklungsprojekt werden Verfahren zur nachhaltigen und wirtschaftlichen Energiegewinnung aus Heißwasserlagerstätten entwickelt und getestet. Der Standort bietet typische geologische Bedingungen für weite Teile Europas, so dass gewonnene Erkenntnisse auch auf diese Regionen übertragen werden können.

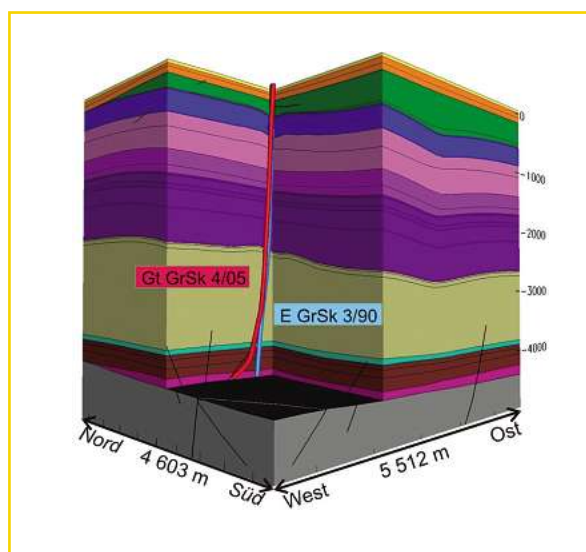
Am Standort Groß Schönebeck wurde im Jahr 2000 eine 1990 abgeteufte Erdgasexplorationsbohrung wieder geöffnet, um Experimente unter natürlichen Bedingungen durchzuführen. 2006 wurde die Bohrung mit einer zweiten 4,4 km tiefen Bohrung zu







einem Dubletzensystem ausgebaut. Zur Stimulation des wasserführenden Tiefengesteins wurde das hydraulische Wasserfrac-Verfahren auf geothermische Anwendungen angepasst, weiterentwickelt und 2003 in der Altbohrung, 2007 in der neuen Bohrung erfolgreich zur Produktivitätserhöhung eingesetzt. Ein Langzeitzirkulationsexperiment zwischen den Bohrungen soll nun die Nachhaltigkeit der Lagerstätte nachweisen. Im Erfolgsfall ist ab 2008 die Errichtung einer ORC-Kraftwerksanlage geplant. Vorgesehen ist, die Anlage neben Demonstrationszwecken vorrangig für verfahrenstechnische und energiewirtschaftliche Untersuchungen zur Optimierung des Betriebsprozesses zu nutzen.



**Betreiber:**

GeoForschungsZentrum  
Potsdam (GFZ)  
Telegrafenberg  
D-14473 Potsdam

Internet:  
<http://www.gfz-potsdam.de>

## Soultz

### Der Stand der wissenschaftlichen Hot-Dry-Rock-Pilotanlage in Soultz-sous-Forêts

Das europäische geothermische Hot-Dry-Rock-Projekt zur Gewinnung von Energie aus dem heißen Untergrund wurde 1987 in Soultz-sous-Forêts ins Leben gerufen. Die Lokation liegt in Frankreich am westlichen Rand des Rheingrabens, 50 Kilometer nördlich von Straßburg in der Nähe der deutschen Grenze. Das kristalline Grundgebirge, Granit,

liegt in Soultz unter 1400 Metern Sedimentgestein. Das Kluft- und Rissystem im Granit wurde mittlerweile bis in eine Tiefe von 5 000 Metern erschlossen, wobei Temperaturen von über 200 °C gemessen wurden.

Unter der Führung der Europäischen Wirtschaftlichen Interessenvereinigung „Wärmebergbau“, in der zurzeit sechs Unternehmen, Electricité de France, Electricité de Strasbourg S.A. (beide französisch), Pfalzwerke, EnBW, STEAG and BESTEC GmbH (alle deutsch) zusammengefasst sind, wird seit Mitte 2001 in Soultz eine erste wissenschaftliche HDR-Pilotanlage errichtet.

#### Eckdaten:

Tiefe der Förderbohrungen:	5 000 m
Tiefe der Injektionsbohrung:	5 000 m
Abstand der Bohrungen:	ca. 600 m
Fördertemperatur:	180° C
Geplante inst. Leistung:	4,5 MW <sub>el</sub>
Lagerstätte:	Hot-Dry-Rock

Die wissenschaftliche Pilotanlage besteht aus drei 5 000 Meter tiefen Bohrungen, einer Injektions- und zwei Produktionsbohrungen. Alle drei Bohrungen wurden von der gleichen Plattform aus gebohrt, wobei die Bohransatzpunkte nur jeweils 6 Meter voneinander entfernt liegen. Zwei von drei Bohrungen wurden als Richtbohrungen abgeteuft, so



Testzirkulation 2005 in Soultz  
(Foto EWIV „Wärmebergbau“);  
Produktion ohne Pumpen, nur  
durch thermischen Auftrieb



dass zwischen 4 500 und 5 000 Metern Tiefe die offenen (nicht verrohrten) Bereiche der Bohrungen jeweils ca. 600 Meter voneinander entfernt sind. In den offenen Bohrlochbereich wird unter Druck Wasser in die vorhandenen Klüfte verpresst. Auf diesen Klüften kommt es dabei zu Verschiebungen, so dass die Rissoberflächen nicht mehr ideal aufeinander passen und der Fließwiderstand bleibend reduziert werden kann. Über diesen „stimulierten“ unterirdischen Wärmeübertrager in 5 Kilometer Tiefe werden die drei Bohrungen miteinander verbunden, so dass über Jahrzehnte kaltes Wasser in der zentralen Injektionsbohrung verpresst und bis zu 180 °C heiß aus den beiden Produktionsbohrungen wieder gefördert werden kann. Zur Verbesserung der Einbindung der Bohrungen in das Rissystem wurden zudem mehrere Säuerungen durchgeführt.

Es ist vorgesehen, dass Anfang 2008 eine erste wissenschaftliche Pilotanlage zur Stromerzeugung in Betrieb genommen werden kann. Ein Modul mit einer Nennleistung von 1,5 MW (elektrisch) wurde bereits im Dezember 2006 bestellt. Weitere Anlagenkomponenten sind ebenfalls bestellt bzw. bereits geliefert worden. Es wird davon ausgegangen, dass die Anlage in Soultz in Stufen bis auf ca. 4,5 MW (elektrisch) ausgebaut werden wird.



**Betreiber:**

*European Economic  
Interest Group (E.E.I.G.)  
„EEIG Heat-Mining“  
Route de Soultz  
BP38  
F-67250 Kutzenhausen  
France*

*Internet:  
[www.soultz.net](http://www.soultz.net)*

## Glossar

Aquifer	Unterirdische Gesteinsschicht, in deren Poren sich Wasser befindet
Asthenosphäre	Weiche Schicht des Erdmantels
Dublette	System aus zwei Bohrungen, von denen in der Regel eine genutzt wird, um (kaltes) Wasser in den Untergrund zu verpressen, und die andere, um das (unter Tage erhitzte) Wasser an die Oberfläche zu fördern
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
fossile Energievorräte	Fossile Energievorräte wurden in geologisch vergangenen Zeiten durch biologische und/oder geologische bzw. geophysikalische Prozesse gebildet. Dabei wird unterschieden zwischen fossil biogenen und fossil mineralischen Energievorräten; erstere Energievorräte sind biologischen und letztere mineralischen Ursprungs. Zu den ersteren zählen u. a. die Kohle-, Erdgas- und Erdöllagerstätten und zu den letzteren u. a. die Energieinhalte der Uranlagerstätten und die Vorräte an Kernfusionsausgangsstoffen.
Frac-Verfahren	Verfahren zur Erzeugung von Rissystemen im tiefen Untergrund
Grundlast	Anteil der Nachfrage nach elektrischer Energie, der permanent vorhanden ist
HDR	Abkürzung für Hot-Dry-Rock: Heiße, nicht (genügend) Wasser führende Gesteinsschicht. Um die in derartigen Gesteinsschichten gespeicherte Wärme nutzbar zu machen, muss ein unterirdischer Wärmeübertrager (d. h. ein weit zerklüftetes Rissystem) erzeugt werden, in den dann Wasser injiziert, dort erwärmt und wieder an die Oberfläche transportiert wird.
hydraulischer Kurzschluss	Verbindung von ursprünglich getrennten, Wasser führenden Gesteinsschichten
hydrothermal	in Wasser gespeicherte Wärmemengen betreffend
in situ	„in situ“ = „am Ort“ – ein in-situ-Geothermielabor ist eine Forschungseinrichtung, die sich nicht im Labor, sondern direkt an einer aktuellen Bohrung befindet
Isotope	Varianten eines chemischen Elementes
Joule	Maßeinheit für Energiegehalt
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau, Bank des Bundes und der Länder
Konversionsanlage	Technische Anlage zur Energieumwandlung

KWK	Abkürzung für Kraft-Wärme-Kopplung, d. h. gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme
Lithosphäre	Harte Schicht des Erdmantels
Reservoir	aus dem Französischen für „Speicher“
Seismik	Lehre von den (natürlichen wie auch künstlichen) Bodenerschütterungen
Spitzenlastanlage	Konversionsanlage zur Deckung von Bedarfsspitzen; derartige Anlagen werden parallel oft auch als back-up für Betriebsstörungen oder zur Überbrückung von Unterbrechungen beispielsweise infolge einer technischen Wartung an der Hauptanlage eingesetzt
Tektonik	Lehre vom Aufbau der Erdkruste in ihrer Struktur und großräumigen Bewegung
Temperaturgradient	Maß für die Veränderung der Temperatur in Abhängigkeit von der Tiefe
Teufe	Bergmannssprachlich für senkrechte Tiefe einer Bohrung oder eines Schachtes
thermodynamisch	die Wärmelehre betreffend
Triplette	Bohrlochsystem bestehend aus drei einzelnen Bohrungen
Volllaststunden	Betriebszeit einer Anlage bezogen auf volle Stunden als Maß für deren Auslastung. Das jährliche Maximum liegt bei 8760 Stunden.
Wärmepumpe	Technische Anlage, mit der das Temperaturniveau von verfügbarer Wärmeenergie erhöht werden kann, so dass eine technische Nutzung möglich wird



## Link-Liste

### Verbände und Vereine

Geothermische Vereinigung  
Bundesverband Erneuerbare Energien e. V.  
International Geothermal Association  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

[www.geothermie.de](http://www.geothermie.de)  
[www.bee-ev.de](http://www.bee-ev.de)  
<http://iga.igg.cnr.it>  
[www.bgr.bund.de](http://www.bgr.bund.de)

### Informationsdienste

Elektronisches Antrags- und Angebots-System für Fördermittel der Bundesministerien und -behörden  
Fachinformationszentrum Karlsruhe GmbH (FIZ)  
BOXER-Infodienst Regenerative Energien  
Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien  
Fesa e. V.

[www.kp.dlr.de/profi/easy](http://www.kp.dlr.de/profi/easy)  
[www.bine.info](http://www.bine.info)  
[www.boxer99.de](http://www.boxer99.de)  
[www.iwr.de](http://www.iwr.de)  
[www.geothermie-oberrhein.de](http://www.geothermie-oberrhein.de)

### Forschungseinrichtungen

Forschungszentrum Jülich  
GeoForschungsZentrum Potsdam  
Geokompetenzzentrum Freiberg e.V.  
Institut für Energetik und Umwelt  
Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben

[www.fz-juelich.de](http://www.fz-juelich.de)  
[www.gfz-potsdam.de](http://www.gfz-potsdam.de)  
[www.geokompetenzzentrum.de](http://www.geokompetenzzentrum.de)  
[www.ie-leipzig.de](http://www.ie-leipzig.de)  
[www.gga-hannover.de](http://www.gga-hannover.de)

### Forschungsvorhaben

Enhanced Geothermal Innovative Network for Europe  
European Deep Geothermal Energy Programme

<http://engine.brgm.fr>  
[www.soultz.net](http://www.soultz.net)

### Hochschulen

FH Bochum, Geothermiezentrum  
RWTH Aachen, Abteilung Geophysik  
Universität Freiburg  
Technische Universität Hamburg-Harburg

[www.fh-bochum.de/geothermie.html](http://www.fh-bochum.de/geothermie.html)  
[www.geophysik.rwth-aachen.de](http://www.geophysik.rwth-aachen.de)  
<http://www.tiefengeothermie.uni-freiburg.de>  
<http://www.wka.tu-harburg.de>

## Literatur und Informationsmaterialien

Kaltschmitt, M., Huenges, E., Wolff, H. (Hrsg.): Energie aus Erdwärme, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart, 1999

Paschen, H., Oertel, D., Grünwald, R.: Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland, Sachstandsbericht, TAB, 2003

FESA (Hrsg.): Geothermie am Oberrhein, Informationsbroschüre, Freiburg 2005

Kaltschmitt, M., Wiese, A., Streicher, W. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte, 4. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006

Kaltschmitt, M., Wiese, A., Streicher, W. (Hrsg.): Renewable Energy, Technology, Economics, Environment, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007

Bayrisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie:  
Bayrischer Geothermieatlas, Hydrothermale Energiegewinnung, München 2004



„Der Staat schützt auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen ...“

Grundgesetz, Artikel 20 a

**BESTELLUNG VON PUBLIKATIONEN:**

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)  
Postfach 30 03 61  
53183 Bonn  
Tel.: 0228 99 305 - 33 55  
Fax: 0228 99 305 - 33 56  
E-Mail: [bmu@broschuerenversand.de](mailto:bmu@broschuerenversand.de)  
Internet: [www.bmu.de](http://www.bmu.de)

Diese Publikation ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.