



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

# UMWELTPOLITIK



**Geothermie - Energie für die Zukunft**



DAS HAT ZUKUNFT.

# Geothermie

## Impressum

Herausgeber:	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Referat Öffentlichkeitsarbeit 11055 Berlin E-Mail: <a href="mailto:service@bmu.bund.de">service@bmu.bund.de</a> Internet: <a href="http://www.bmu.de">http://www.bmu.de</a>
Redaktion:	Ullrich Bruchmann, BMU, Z III 2
Autor:	Werner Bußmann, Geothermische Vereinigung e.V.
Satz und Gestaltung:	Selbach Design · Sankt Augustin
Bildrechte Titelseite:	Getty Images (M. Dunning); Enercon / Block Design; Visum (K. Sawabe); zefa; Getty Images (C. Coleman)
Bildrechte Innenteil:	<a href="http://www.fotos-direkt.de">www.fotos-direkt.de</a> , <a href="http://www.imagepoint.biz">www.imagepoint.biz</a> , Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, wvgw/BGW, GeoForschungsZentrum Potsdam, Bundesanstalt Geologie und Rohstoffe
Druck:	Bonifatius, Paderborn
Stand:	September 2004 (1. Auflage: 15 000 Stück)

# **Geothermie - Energie für die Zukunft**

Liebe Leserinnen, lieber Leser,

lange Zeit war mit der Geothermie, der Wärme aus dem Innern unseres Planeten, eine der vielversprechendsten Möglichkeiten unter den erneuerbaren Energieträgern weitgehend unbeachtet geblieben. Und das, obwohl sie einen entscheidenden Vorteil mit sich bringt: Geothermische Energie steht unabhängig von Klima und Wetter, Tag und Nacht, rund um die Uhr immer zur Verfügung. Die Erdwärme liefert uns Regelernergie und damit einen entscheidenden Beitrag für einen zukunftsfähigen Energiemix. Da es jedoch in Deutschland keine aktiven vulkanischen Regionen gibt, hatte sich der Gedanke festgesetzt, dass die Energie aus der Tiefe nur sehr eingeschränkt, z.B. nur dort, wo Thermalwasser gefunden wird, genutzt werden könne. Andererseits weiß man, dass es immer heißer wird, je tiefer man in die Erdkruste vordringt. Energie scheint also genug vorhanden zu sein. Im Untergrund schlummert in einigen Kilometern Tiefe weit aus mehr Energie, als wir jemals werden verbrauchen können. Mit anderen Worten: Unser Planet muss keine Energiekrise fürchten. Die Frage war und ist, wie man diesen Schatz am besten nutzen kann. Wie kommt man an das heiße Wasser im Erdinnern heran, um damit größere Siedlungen oder ganze Ortschaften und Stadtteile zu beheizen? Kann man das heiße Gestein beispielsweise direkt für die Stromerzeugung nutzen? Bereits in den 70er Jahren wurden hierzu erste Versuche unternommen. Besonders erfolgreich war das Europäische Hot-Dry-Rock-Projekt im elsässischen Soultz-sous-Forêts, mit dem Ende der 80er Jahre begonnen wurde und bei dem sich Deutschland seitdem mit Wissenschaftlern und Finanzmitteln führend engagiert.

In den vergangenen Jahren hat die Bundesregierung ihre Anstrengungen noch einmal erheblich verstärkt. Die Geothermie wurde im Jahr 2000 in das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) aufgenommen. Investoren erhalten seitdem erstmals eine gesetzlich garantierte Vergütung für den in ihren Anlagen erzeugten Strom aus der Tiefe. Diese Konditionen wurden in der Novelle des EEG von 2004 noch einmal entscheidend verbessert. Im November 2003 konnte in Neustadt-Glewe in Mecklenburg-Vorpommern das erste deutsche geothermische Kraftwerk in Betrieb genommen werden. Es hält übrigens eine Art technologischen Weltrekord: Nirgendwo auf unserem Planeten wird mit derart niedrigen Temperaturen von 98 °C elektrischer Strom aus Erdwärme erzeugt.

Auch die Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien tragen seit Beginn des Jahres 2004 mit neuen, verbesserten Förderrichtlinien vor allem zum Ausbau der Wärmenutzung aus tiefen geothermischen Anlagen bei.

Im Rahmen des Zukunfts-Investitions-Programms (ZIP) wurden 2002 erstmals Forschungsmittel in erheblichem Umfang bereitgestellt. Mit ihnen konnte die Entwicklung von Schlüsseltechnologien und -vorhaben energisch vorangetrieben werden. Erfolge haben Wissenschaftler und Techniker bereits in relativ kurzer Zeit liefern können. Deutschland ist es gelungen, innerhalb von wenigen Jahren

einen international viel beachteten Spitzenplatz zu besetzen. Zudem konnten viele der Forschungsergebnisse inzwischen unmittelbar in die Anwendung und wirtschaftliche Nutzung überführt werden. Die Branche profitiert davon und reagiert mit Investitionen und Neueinstellungen. Auch das war Ziel unserer Politik. Diese in Gang gekommene dynamische Entwicklung stärkt zudem beträchtlich unsere Exportchancen. Deutschland ist zum Motor für die Nutzung geothermischer Energie geworden.

Natürlich können auch Sie selbst die Vorteile der Erdwärme unmittelbar nutzen. Zehntausende von Menschen in unserem Lande machen das bereits. Es gibt eine ganze Reihe von Möglichkeiten, Wohn- und Geschäftshäuser preisbewusst und klimaschonend mit Erdwärme zu beheizen. In Gebäuden, in denen Klimakälte benötigt wird, lässt sich diese über ein einfaches technisches Verfahren in vielen Fällen konkurrenzlos günstig direkt aus dem Boden beziehen. Dass sich auch von anderen Quellen erzeugte Wärme mit geothermischen Methoden effizient speichern und wieder verwerten lässt, wird beispielsweise am Deutschen Bundestag deutlich. Das Parlamentsgebäude und die umliegenden Bürogebäude hängen an einem Wärmeverbund, zu dem auch je ein geothermischer Wärme- und Kältespeicher gehören. Viele der Menschen, die sich am Reichstag aufhalten, laufen darüber hinweg, ohne etwas davon zu bemerken.

Womit noch ein weiterer Vorteil der Erdwärme angesprochen wird: Wo man sie nutzt, ist kaum zu entdecken. Geothermische Anlagen beanspruchen wenig Platz, da der wichtigste Teil in der Erde liegt.

Diese Broschüre beschäftigt sich mit einem spannenden Kapitel unserer zukünftigen Energieversorgung, einer Energieversorgung ohne Klima- und Umweltprobleme, ohne die Verschmutzung der Meere, ohne Krieg um die letzten Ressourcen und ohne die unabsehbaren Gefahren der Radioaktivität. Es stellt sich lediglich die Frage, für welche Alternative wir uns entscheiden. Die Wahl liegt bei uns allen.

Ich wünsche Ihnen eine anregende und gewinnbringende Lektüre.



Jürgen Trittin  
Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit



# Geothermie

## Inhalt

<b>I. Die Erde steckt voller Energie</b>	<b>8</b>
Unser heißer Planet	8
Die Quellen des Wärmestroms	9
Basisenergie	10
Machen wir die Erde kalt?: Geothermie ist erneuerbare Energie	10
Das breite Nutzungsangebot der Geothermie	11
Reichlich Energie für Deutschland	11
Das Erneuerbare-Energien-Gesetz bringt die Geothermie voran	13
Potenziale und Ziele	14
Sichere Energieversorgung und Klimaschutz	16
<b>II. Technologien und Projekte</b>	<b>17</b>
Geothermischer Strom	17
Strom aus Thermalwasser	18
Die Wärmekraftmaschinen	20
■ ORC-Turbinen	20
■ Kalina-Maschinen	20
Strom aus heißem Gestein, mit oder ohne Wasser – Enhanced Geothermal Systems	21
Hot-Dry-Rock	23
■ Aufschlussverfahren im Sediment	24
Erdwärme direkt genutzt	26
Es geht auch ohne Wasser: Tiefe Erdwärmesonden	29
Die vielen Möglichkeiten der oberflächennahen Geothermie	30
Für kühle Rechner: preiswerte Klimakälte direkt aus der Erde	36
Energie speichern mit Geothermie	38
<b>III. Service</b>	<b>41</b>
Gesetze und Förderprogramme	41
■ Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)	41
■ Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien	41
■ KfW-CO <sub>2</sub> -Gebäudesanierungsprogramm	42
■ KfW-CO <sub>2</sub> -Minderungsprogramm	42
Weitere Informationen / aktuelle Konditionen	44
Erklärung wichtiger Fachbegriffe	45
Literatur und Materialien	47
Adressen	50

## I. Die Erde steckt voller Energie

Was ist geothermische Energie? Wie können wir sie nutzen?  
Ihre Chancen und Möglichkeiten für Deutschland

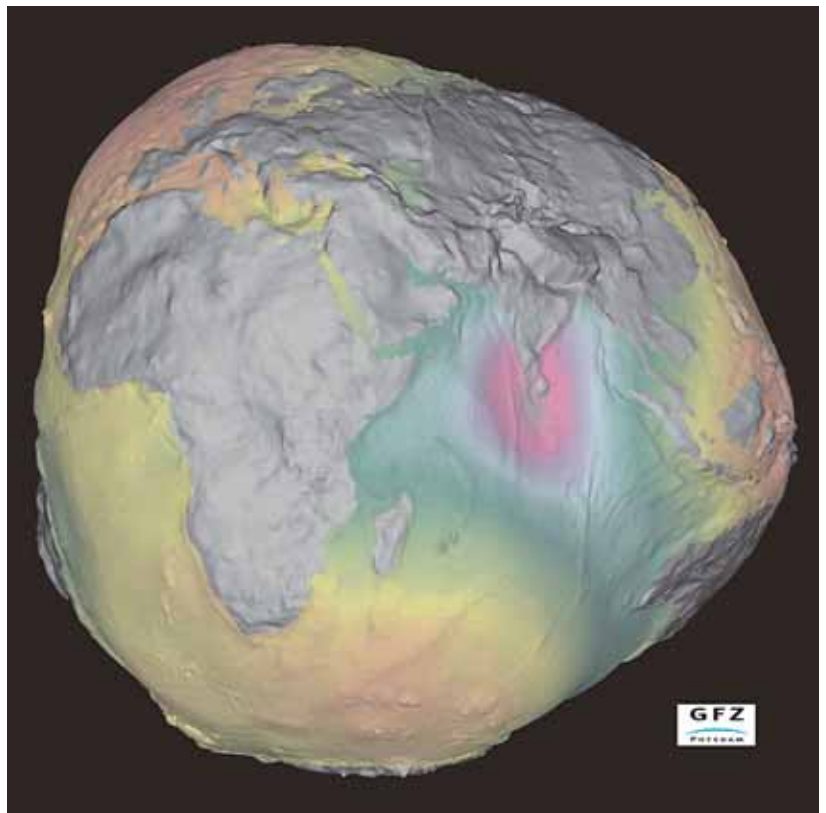
### Unser heißer Planet

Unser Leben spielt sich auf einer Eierschale ab, die verhindert, dass uns allen der Boden unter den Füßen zu heiß wird. Die feste Kruste unseres Planeten, die Lithosphäre, beträgt nicht einmal 100 km. Verglichen mit den 12 756 km Durchmesser der Erde stellt sie eine mehr als dünne Hülle dar, die zudem von vielen Rissen durchzogen wird und die in sechs große und viele kleine Platten zerbrochen ist. Auf ihr „treiben“ die Kontinente wie Eisberge auf dem Meer. Unter der Kruste schließt sich der Erdmantel an, 3 000 km dick und zähflüssig. Er umschließt die rund 6 000 km des Erdkerns, der, außen flüssig, innen fest, vor allem aus Eisen und Nickel besteht.

Je tiefer man von der Oberfläche in das Innere unseres Planeten vordringt, umso wärmer wird es. Bei uns in Mitteleuropa nimmt die Temperatur im oberen Bereich der Erdkruste pro Kilometer um rund 30 °C zu. Im Mittelpunkt herrschen Temperaturen von rund 6 000 °C. 99% unseres Planeten sind heißer als 1 000 °C, von dem verbleibenden „Rest“ sind 99% heißer als 100 °C. Eine nach menschlichen Maßstäben unerschöpfliche Menge an Energie, die genutzt werden kann.

Innen heiß, vergleichsweise kühl an der Oberfläche und nur durch die Atmosphäre von der tödlichen Kälte des Weltraums geschützt, so stellt sich demnach unsere Erde in Bezug auf die Temperatur dar. Der Raum, der dem Leben und damit auch uns Menschen bleibt, ist somit ziemlich schmal. Es empfiehlt sich also, sorgsam damit umzugehen. Ausweichmöglichkeiten gibt es keine.

Von oben her heizt uns die Sonne ein. Sie bestimmt den Rhythmus unseres Lebens. Ihre Energie erfahren wir in vielfältiger Form, die wir positiv oder negativ, nützlich oder bedrohlich empfinden. Die Energie aus dem Erdinnern nehmen wir hier in Mitteleuropa eher nur am Rande zu Kenntnis. Meistens in der Form von warmen Quellen in Thermalbädern, Freizeit- und Kureinrichtungen, von ihrer angenehmen Seite also. Näher rücken uns diese gewaltigen Kräfte



*Unsere Erde,  
Verformungen 15 000 fach  
überhöht dargestellt*

jedoch, wenn wir aus den Medien erfahren, dass irgendwo auf der Welt wieder einmal ein Vulkan ausgebrochen ist oder die Erde gebebt hat, mit all den katastrophalen Folgen.

Ohne es aber wirklich zu merken, leben auch wir nicht nur in und mit dem Energiestrom, der uns von der Sonne her erreicht. Auch aus dem Innern der Erde steigt ständig Wärme in Richtung Oberfläche und entweicht schließlich in den Weltraum. Obwohl uns dieser Vorgang nicht bewusst ist, wird hier eine beträchtliche Menge transportiert: laufend verschwindet mehr als das 2,5fache des menschlichen Energiebedarfs ungenutzt. Welche Verschwendung!

Zur gleichen Zeit wird die Erdkruste auf der Suche nach fossilen Energieträgern durchwühlt, um den wachsenden Energiehunger der Menschen zu stillen, wird unser schmaler Lebensraum durch Verschmutzung, selbst ausgelösten Klimawandel und den Einsatz lebensfeindlicher atomarer Technologien immer neuen und immer gefährlicheren Härte-tests unterzogen. Nur leider vergessen wir allzu gerne, dass wir nicht nur die Besteller und die Ausführenden dieser Tests sind, sondern auch die Versuchspersonen selbst.

Das menschliche Handeln droht untragbar für das Leben unseres Planeten zu werden – und damit in aller Konsequenz auch für uns selbst. Gegensteuern ist möglich und machbar. Eine entscheidende Strategie dabei ist die Ablösung der alten, fossilen und nuklearen durch die neuen Technologien der erneuerbaren Energieträger.

Dass man die Energie von Sonne, Wind, Wasser und Biomasse, ohne Gefährdung unserer Lebensgrundlagen, gleichzeitig aber für den Ausbau und Erhalt von Lebensqualität und Wohlstand und wirtschaftlichen Erfolg nutzen kann, wird täglich bewiesen.

Aber wie sieht es mit dem Wärmestrom aus dem Innern unseres Planeten aus? Bietet die geothermische Energie, die Erdwärme, ähnlich vorteilhafte Möglichkeiten und Chancen? Wenn ja, wie kommt man an sie heran, welche Technologien müssen eingesetzt werden? Geht das bei uns überhaupt?

## Die Quellen des Wärmestroms

Im Innern unseres Planeten ist es sehr heiß. Diese Feststellung sagt uns aber noch nichts darüber, aus welchen Quellen diese Wärme eigentlich stammt. Ein Teil reicht bis in die Entstehungszeit der Erde vor etwa 4,5 Milliarden Jahren zurück. Damals verdichteten sich Gas, Staub, Gestein und Eis durch ihre Anziehungskräfte untereinander (Gravitationsenergie) nach und nach zu jenem neuen Himmelskörper, auf dem wir heute leben. Rund 200 Millionen Jahre dauerte dieser Vorgang. Verglichen mit dem Gesamtalter der Erde hat er also nicht viel Zeit in Anspruch genommen. Der Zusammenprall der Massen machte aus der Gravitationsenergie Wärme, deren größter Teil gleich wieder in den Weltraum abgegeben wurde. Was übrig blieb, macht noch etwa ein Viertel des heutigen Wärmehalts unseres Planeten aus.





*Geothermielabor Groß Schönebeck, Januar 2001*

Zu den Stoffen, aus denen sich unsere Erde zusammensetzt, gehören auch große Mengen an natürlichen, langlebigen radioaktiven Isotopen. Sie finden sich vermutlich vor allem in den Tiefen der Kontinente und zerfallen nach und nach. Dabei entsteht Wärme. Das geschieht in solch großem Umfang, dass aus ihr die restlichen drei Viertel des irdischen Energiestroms gespeist werden können.

Aus der Tiefe steigen ständig rund 40 Terawatt Wärme zur Erdoberfläche auf und werden in den Weltraum abgestrahlt. Der komplette Energieinhalt der Erde wird auf rund 1 011 Terawattjahre geschätzt. Die Sonne bräuchte etliche Millionen Jahre, um uns die gleiche Menge Energie zu schicken.

# Geothermie

Die Erde steckt voller Energie



## Basisenergie

Die Sonne liefert uns umweltfreundliche, klimaschonende, also erneuerbare und zukunftsfähige Energie in Hülle und Fülle und in vielen Formen. Strom und Wärme direkt aus ihren Strahlen. Sie ist für die Luftbewegungen verantwortlich, die als Windenergie genutzt werden können. Sie sorgt für den Kreislauf des Wassers und lässt Pflanzen wachsen. Allerdings hat die Sonne als Energielieferant einen großen Nachteil: das aktuelle, nutzbare Angebot wird andauernd beeinflusst von Jahreszeiten, Tag und Nacht, Temperaturunterschieden, Wetter etc.

Der Wärmestrom aus dem Erdinnern dagegen ist ständig da, unbeeindruckt von dem Geschehen an der Oberfläche. Geothermische Kraftwerke z.B. können rund um die Uhr eingesetzt werden. Unser geothermischer Wärmestrom bildet also die Basis in einem Energiemix, der auf erneuerbare Energien setzt. Die Erdwärme ist eine typische Grundlastenergie, in der Lage, die Nachteile der Sonne auszugleichen. Dadurch erhalten Solar- und Bioenergie, Wind- und Wasserkraft die Möglichkeit, ihre eigenen Vorteile voll ausspielen zu können.

Die eigentliche Produktionsstätte der Geothermie liegt im Innern der Erde. Bohrungen führen dorthin und bringen die Energie an die Oberfläche, punktgenau zur Wärmepumpe, ins Heizwerk oder an die Turbine. Das geht ganz unspektakulär vor sich. Die Wärmeversorgung für eine ganze Stadt kann in einem relativ bescheidenen Gebäude untergebracht werden. Geothermische Kraftwerke, wie sie in Deutschland gebaut werden, sind klein, kompakt und unauffällig.

## Machen wir die Erde kalt?: Geothermie ist erneuerbare Energie

Was passiert, wenn wir die Energie aus der Tiefe immer stärker nutzen? Kühlt die Erde auf Dauer aus?

Betrachtet man dazu einmal die Sonne. Wenn ihre Strahlen, ihr Energiestrom also, über einen Kollektor auf dem Dach das Duschwasser im Haus erhitzt, sinken deswegen nicht die Temperaturen in der Umgebung. Ein Teil des sowieso vorhandenen, auf die Erdoberfläche auftreffenden Energiestroms wird lediglich für einen von uns bestimmten Zweck zielgerecht genutzt. Der Sonne ist es egal, ob sie die Dachpfannen aufheizt oder den Kollektor. Und mehr oder weniger Energie schickt sie uns deswegen auch nicht.

So ähnlich verhält es sich auch mit dem Wärmestrom aus dem Innern unseres Planeten. Statt der Atmosphäre wird hier das Gestein erhitzt. So heftig, dass es in großen Tiefen harten Fels zum Schmelzen bringt. Entnimmt man um eine tiefe Bohrung herum diese Wärmeenergie, wird es in einem gewissen Bereich drum herum kühler. Irgendwann, nach 30 Jahren oder später, reicht die im Gestein gespeicherte Wärme nicht mehr aus, um die an der Oberfläche stehende Anlage wirtschaftlich betreiben zu können. Man könnte sich dann unweit der alten Bohrung einen Standort für eine neue suchen. In der alten ist in der Tiefe eine „Wärmesenke“ entstanden, die sich nach und nach wieder auffüllt, und zwar mit dem Teil des Wärmestroms, der sonst sowieso in den Weltraum entchwun-



den wäre. Auch die Erde liefert uns also nicht mehr oder weniger Energie, nur weil wir ihren Wärmestrom anzapfen. Und auch kälter wird sie deswegen nicht, genauso wenig wie die Sonne kälter wird, wenn wir mit ihrer Energie und unseren Möglichkeiten das häusliche Duschwasser erhitzen.

## Das breite Nutzungsangebot der Geothermie

Es gibt ein großes natürliches Angebot an Möglichkeiten, die geothermische Energie zu nutzen. Ebenso breit ist die Palette an Technologien, um dieses Angebot auch wahrnehmen zu können.

### *Petrophysikalische Systeme*

Nutzung der im Stein gespeicherten Energie, z.B.

- ! Magma-Körper
- ! Hot-Dry-Rock (HDR)

### *Hydrothermale Systeme mit hohem Temperaturangebot (mit hoher Enthalpie)*

- ! Hochdruckwasserzonen
- ! Dampfsysteme
- ! Heißwassersysteme

### *Hydrothermale Systeme mit niedrigem Temperaturangebot (niedriger Enthalpie)*

*Aquifere (wasserführende Schichten) mit*

- ! über 100 °C heißem
- ! 40 - 100 °C warmem
- ! oder mit Niedrigtemperaturwasser (20-40 °C)
- ! sowie Thermalquellen, mit Temperaturen von 20 °C und mehr

### *Oberflächennahe geothermische Systeme*

*(Temperaturbereich bis max. 25 °C, max. bis 400 m Tiefe)*

- ! Erdwärmekollektoren
- ! Erdwärmesonden
- ! Grundwasserbohrungen

### *Weitere Nutzungsarten*

- ! Tiefe Erdwärmesonden (ab 400 m Tiefe)
- ! Energiepfähle, erdberührte Betonbauteile
- ! Saisonale Speicherung (Aquiferspeicher, Erdwärmesondenspeicher)
- ! Aquiferspeicher
- ! Grubenwärme, Tunnelwärme

## Reichlich Energie für Deutschland

Noch bis Ende der 90er Jahre herrschte hierzulande der Eindruck vor, dass Deutschland, von einigen regional begrenzten Möglichkeiten einmal abgesehen, über keine nennenswerten geothermischen Potenziale verfügen würde. Vorstellungen über Kraftwerke, die die Energie aus der Tiefe nutzen, waren vor allem

# Geothermie

Die Erde steckt voller Energie

verbunden mit Ländern wie Island oder Regionen wie der Toskana. Hierzulande musste man sich erst einmal die simple Schulweisheit begreiflich machen: Je tiefer man in die Erde vordringt, um so heißer wird es. Der Weg nach unten bedeutete also in jedem Fall einen Vorstoß in eine unerschöpfliche Energiequelle.

Am einfachsten schien es noch, den oberflächennahen Untergrund in Verbindung mit Wärmepumpen zum Heizen und auch direkt zum Kühlen zu nutzen. Da diese Technologie mit gewissen Einschränkungen praktisch überall für Einzelgebäude und größere Gebäudekomplexe anwendbar ist, räumte man ihr die größten Chancen für eine breitere Nutzung auch bei uns ein. Studien aus den 90er Jahren gingen davon aus, dass erdgekoppelte Wärmepumpen etwa 10% des Endenergieverbrauchs Deutschlands decken könnten.

Thermalwasser im Untergrund bot die Chance, umweltfreundliche Nah- und Fernwärmenetze zu betreiben. Entsprechende Vorkommen finden sich vor allem im Norddeutschen Tiefland, im Gebiet zwischen Donau und Alpen (dem bei den

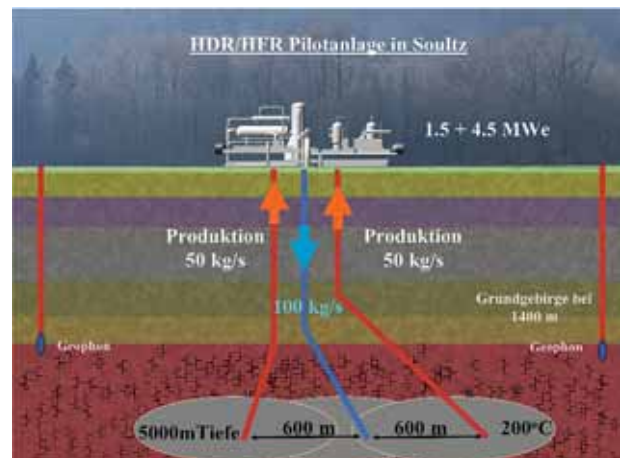
Geologen so genannten „Süddeutschen Molassebecken“) und im Oberrheintal. Wo warme Quellen an die Oberfläche traten, wurden sie, wie etwa in Wiesbaden oder Aachen, immer schon zu Heil- und Badezwecken genutzt. Auch über Tiefbohrungen wurden solche Vorkommen erschlossen, um die sich Kur- und Badeorte entwickelten. Dazu gehören z.B. Bad Griesbach, Bad Birnbach und Bad Füssing im bayerischen Rottal oder auch Bad Urach und Bad Waldsee in Baden-Württemberg. Etliche dieser Bäder nutzten die im Thermalwasser enthaltene Wärmeenergie neben dem eigentlichen Kurbetrieb auch für die Wärmeversorgung ihrer Anlagen. Anfang der 80er Jahre ging man in der DDR daran, die stark salzhaltigen Tiefenwässer der Norddeutschen Tiefebene für den Aufbau von Fernwärmenetzen zu erschließen. Bereits 1984 nahm in Waren an der Müritz das erste geothermische Heizwerk seinen Betrieb auf, an das ein Gebiet mit 800 Wohnungen angeschlossen wurde. Waren selbst sollte damals der Startschuss für ein Programm werden, mit dem die DDR in größerem Umfang den Einsatz von Rohbraunkohle durch geothermische Wärme ablösen wollte.



Obwohl diese hydrothermalen (Warmwasser) Vorkommen nur in einigen Regionen zu finden sind, stellen sie ein beträchtliches Potenzial für eine umweltfreundliche Wärmeversorgung dar. Bis zu 29% unseres Wärmebedarfs könnten daraus gedeckt werden. Im Jahr 2004 betrug die installierte Leistung solcher hydrothermalen Geothermie-Heizwerke in Deutschland bereits fast 60 MW, vor allem in Nordostdeutschland und im Alpenvorland.

Wo kein Thermalwasser gefunden wird, kann man tiefe Erdwärmesonden einsetzen. Dabei handelt es sich um 2 500 bis 3 500 m tiefe Bohrungen, in die man ein Wärmetauschröhr eingehängt hat, durch das man im Kreislauf Wasser pumpt. Dieses erhitzt sich dann in der Tiefe. Solche Systeme liefern einige hundert Kilowatt nutzbarer Wärme an die Oberfläche.

Für den Einsatz geothermischer Kraftwerke schien Deutschland jedoch wenig geeignet. Es fehlten hierzu-lande die Heißwasser- und Dampfagerstätten mit Temperaturen von oberhalb 150 °C. Als einziger Hoffnungsträger galt lange Zeit die Entwicklung des Hot-Dry-Rock-Verfahrens. Hot Dry Rock (HDR) steht für heißes trockenes Tiefengestein. Es setzt darauf, die im Festgestein der Erdkruste überall vorhandenen Risse und Klüfte durch hydraulischen Druck wassergängig zu machen. Von der Oberfläche her eingebrachtes kaltes Wasser erhitzt sich in der Tiefe, wird zurückgeholt und treibt Turbinen an. Doch das war bis Mitte der 90er Jahre noch Zukunftsmusik.



Die ohnehin regional beschränkten deutschen Thermalwasservorkommen schienen dagegen für eine Verstromung vollkommen ungeeignet. Nur an wenigen Standorten wurden überhaupt Temperaturen von mehr als 100 °C erreicht. Für das HDR-Verfahren galten z.B. als untere nutzbare Grenze ca. 175 °C. In den Neunzigern geriet jedoch die Entwicklung neuer Niedertemperaturturbinen in das Blickfeld der Geothermiker. So genannte ORC-Maschinen setzten Mittel ein, die bereits bei Temperaturen weit unter 100 °C verdampfen und damit Strom erzeugen können. Ein erstes kleines geothermisches Kraftwerk in Altheim in Oberösterreich, unweit der deutschen Grenze, machte eine Tiefbohrung mit 106 °C heißem Wasser zu einer Quelle für elektrischen Strom. Ähnliche geologische Voraussetzungen gab es auch auf der anderen Seite der Alpen in Bayern.

## Das Erneuerbare-Energien-Gesetz bringt die Geothermie voran

Etwa ab dem Jahr 2000 änderte sich die Situation rapide. Als erster wichtiger Schritt wurde die Geothermie in das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) aufgenommen. Damit bestand erstmals die Möglichkeit, auch für die Einspeisung geothermischen Stroms einen fairen Preis zu erzielen. Eine weitere Verbesserung ergab sich mit der Novelle des Gesetzes von 2004.

### Gegenwärtig beträgt die Vergütung für Strom aus Geothermie pro Kilowattstunde

bis einschließlich einer Leistung von	5 MW mindestens	15 Cent
bis einschließlich einer Leistung von	10 MW mindestens	14 Cent
bis einschließlich einer Leistung von	20 MW mindestens	8.95 Cent
bei einer Leistung von über	20 MW mindestens	7.16 Cent

Ab 2002 wurden aus dem Zukunfts-Investitions-Programm (ZIP) des Bundes erstmals beträchtliche Mittel für eine breite Erforschung von verschiedenen Technologien zur geothermischen Stromerzeugung bereitgestellt. Die damit eingeleitete Entwicklung ist nicht nur für Deutschland interessant. Dampf- und Heißwasserlagerstätten sind weltweit auf vulkanische Regionen beschränkt. Der weitaus größere Teil der Oberfläche der festen Erde könnte für eine friedliche, umwelt-

freundliche und klimaschonende Energieversorgung durch Technologien erschlossen werden, wie sie derzeit bei uns vorangetrieben werden. 2003 veröffentlichte das Büro für Technikfolgenabschätzung (TAB) des Deutschen Bundestags eine Studie, die im Ergebnis deutlich macht, dass die „geothermische Energie grundsätzlich eine ernstzunehmende Option für die zukünftige Energieversorgung darstellt“. Auf Basis dieser Daten beauftragte das Parlament 2004 die Bundesregierung, mit einem eigenen Programm die Weichen für einen verstärkten Einsatz geothermischer Energie zu stellen sowie Forschung und Nutzung weiter voranzutreiben.

Geothermische Energie heißt in diesem Fall Strom und Wärme. Denn internationale Klimaschutz-Verpflichtungen der Bundesrepublik und der EU sind nicht zu erreichen, wenn nicht auch in der Wärmeversorgung ähnlich energische Schritte eingeleitet werden, wie sie im Bereich Strom bereits angegangen wurden. Auch dabei kann die Energie aus der Tiefe bedeutende Beiträge leisten. Deutschland verfügt längst über umfangreiche Erfahrungen bei der nachhaltigen Nutzung von Thermalwasser für die Fern- und Nahwärmeversorgung, über effektive und wirtschaftliche Systeme für den Einsatz im oberflächennahen Untergrund. Dieses Kapital an Wissen und Technologie gilt es konsequent einzusetzen und weiterzuentwickeln.

### Potenziale und Ziele

Die Energie aus der Tiefe könnte einen bedeutenden Anteil an der deutschen Energieversorgung übernehmen. Praktisch stehen dem jedoch eine Reihe von Hemmnissen gegenüber: Wärme kann z.B. nicht über größere Entfernungen transportiert werden. Die Verbraucher müssen sich immer in der Nähe befinden. Geothermische Heizwerke brauchen zur Verteilung der Energie geeignete Fernwärmenetze. Strom kann zwar ins Netz eingespeist werden. Vorteilhafter ist es aber, die Abwärme zu nutzen. Und natürlich kann nicht die Oberfläche mit Geothermieanlagen zugebaut werden, um das gesamte in der Tiefe vorhandene Potenzial zu nutzen.

### Potenziale der oberflächennahen Erdwärmenutzung

Theoretisches Potenzial <sup>a)</sup>	[EJ/a]	130
Technisches Angebotspotenzial (Erdwärme) <sup>b)</sup>	[PJ/a]	940
Technisches Nachfragepotenzial (Nutzwärme) <sup>c)</sup>	[PJ/a]	1316

- a) Bei einem maximal gewinnbaren Energieaufkommen von 360 MJ/(m<sup>2</sup> a) auf der gesamten Oberfläche Deutschlands
- b) Bei einem maximal gewinnbaren Energieaufkommen von 360 MJ/(m<sup>2</sup> a) auf zur oberflächennahen Erdwärmenutzung geeigneten Flächen
- c) Wärmenachfrage im Niedertemperaturbereich von Haushalten, Kleingewerbe und Industrie bei einer durchschnittlichen Wärmepumpenarbeitszahl von 3,5

## Potenziale der hydrothermalen Geothermienutzung

	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Theor. Potenzial [EJ]	Technisches Potenzial [PJ]	Bei einer Wärme- nutzung innerhalb 100 Jahre [PJ/a]	Technisches Nachfrage Potenzial Haushalte, Kleinverbraucher u. Industrie (Niedertemperaturnachfrage) [PJ/a]
Süddeutsches Molassebecken	20 000	6 700	88 000	880	112
Norddeutsches Becken	100 000	33 600	50 000	500	868
Oberrhingraben	5 000	1 700	60 000	600	97
Deutschland Gesamt	125 000	42 000	198 000	1 980	1 077

## Geothermische Strom- und KWK-Potenziale in Deutschland

	Elektrische Energie	KWK oW Wärme [EJ]	KWK mW Wärme
Kristalline Gesteine HDR	1 100	1 600	2 800
Störungszonen	45	65	120
Heißwasser-Aquifere	9	23	50
Gesamtenergie	1 200	1 700	3 000
Gesamtenergie [Gwa]	37 000	53 000	95 000

## Geothermische Stromerzeugungspotenziale

	Stromerzeugungspotenzial [TWh/a]
Erzeugungspotenzial bei 1 000 Jahre Nutzung	321
Nachfragepotenzial stromgeführt, 60%ige Grundlastabdeckung	288
Nachfragepotenzial wärmegeführt, Abdeckung der derzeitigen Wärmenachfrage (5250 PJ/a)	140
Nachfragepotenzial wärmegeführt, Wärmebedarf in für Wärmeverteilnetze geeigneten Bereichen (2529 PJ/a)	66
Nachfragepotenzial wärmegeführt, Fernwärme wird ersetzt (334 PJ/a)	10

Eine Zielvorstellung ist es, in den kommenden zehn bis fünfzehn Jahren rund 1 000 MW in geothermischem Strom und weitere 1 000 MW im Bereich Wärme und Klimakälte zu installieren. Im Bereich Strom würden die Investitionen von rund neun bis zehn Milliarden Euro auslösen, mit denen rund 10 000 Primärarbeitsplätze geschaffen werden könnten. Vergleichbare Zahlen dürften sich auch für den Wärmesektor ergeben. Hinzu kämen die Investitionen und Arbeitsplätze, die sich aus dem Export geothermischer Know-hows und geothermischer Technologien bzw. Investitionsgüter ergeben.

### **Sichere Energieversorgung und Klimaschutz**

Eine nachhaltige, zuverlässige und ständig verfügbare Energiequelle wie die Geothermie verringert die Abhängigkeit der Bundesrepublik vom Import von Energierohstoffen. Die Energieversorgung wird sicherer. Geld, das für die Einfuhr von Gas und Öl ausgegeben werden müsste, bleibt im Land und stärkt hier die Konjunktur. Klimaschädliche CO<sub>2</sub>-Emissionen können in beträchtlichem Umfang vermieden werden. Geothermie kann sich zu einem beachtlichen Faktor für Deutschland entwickeln, seine internationalen Klimaschutzverpflichtungen einzuhalten. Geothermische Anlagen sind unauffällig, beanspruchen wenig Platz und lassen sich daher nahezu überall unterbringen oder installieren. Viele gute Gründe also, die die Bundesregierung veranlassen haben, die Forschung und die Nutzung der Energie aus der Tiefe weiter voranzutreiben.

Bei Technologien, die oberflächennahe Ressourcen zum Heizen und vor allem zum Kühlen nutzen, ist die Geothermie bereits heute gegenüber anderen Energieträgern vielfach konkurrenzfähig. In den Bereichen der Wärmeerzeugung aus der Tiefe sind die Kosten der Geothermie mit denen anderer erneuerbarer Energieträger vergleichbar. Die geothermische Stromproduktion steht in Deutschland mit ihren Pilotanlagen am Anfang der Entwicklung. Hier können noch bedeutende Möglichkeiten, Kosten zu senken, erschlossen werden.



## II. Technologien und Projekte

Welche Technologien muss man einsetzen, um geothermische Energie in Deutschland zu nutzen?

### Geothermischer Strom

2004: Vom Jahr 100 des geothermischen Stroms zum Jahrhundert der Geothermie

Die Wiege der Menschheit steht in Ostafrika. Sie ist umgeben von heißen Quellen. Durch die Geschichte hindurch lässt sich verfolgen, wie sich unsere Vorfahren an vielen Orten des Planeten die Energie aus der Tiefe nutzbar gemacht haben.

Die heißen, schwefelhaltigen Quellen der Toskana z.B. standen schon in der Antike wegen ihrer Heilkräfte hoch im Kurs. Im ausgehenden 18. und zu Beginn des 19. Jahrhunderts erhielten sie im Tal von Larderello als Zentrum einer sich entwickelnden italienischen Chemieindustrie eine völlig neue Bedeutung. Gefragt waren seinerzeit die im Wasser enthaltenen Rohstoffe wie Schwefel oder Bor. Sehr bald erkannte man aber auch die Möglichkeiten des mit ans Tageslicht beförderten Rohstoffs „Energie“, der erfolgreich für die industriellen Prozesse genutzt wurde. Von dort war es dann eigentlich nur ein konsequenter Schritt, bis 1904 erstmals geothermischer Strom einige Glühbirnen zum Leuchten brachte. Aus den wenigen Kilowatt vom Anfang des 20. sind allein in Italien mehr als 800 Megawatt installierter Leistung zu Beginn des 21. Jahrhunderts geworden.

Weltweit speisen derzeit rund 300 Kraftwerke mit einer Leistung von 8 400 MW geothermischen Strom in die Netze ein. Zu den wichtigsten Anwendern gehören die USA, die Philippinen, Indonesien und Mexiko. Die Kapazitäten werden weltweit ausgebaut. Das geschieht vor allem auf den Philippinen, auf Island und in Indonesien. Für die Länder Ostafrikas, in denen eine ähnlich Entwicklung in Gang gesetzt werden soll, haben die Bundesregierung und das Umweltprogramm der Vereinten Nationen, UNEP, während der Bonner Weltkonferenz für Erneuerbare Energien 2004 eine Vereinbarung zum Auf- und Ausbau geothermischer Kraftwerke in sechs Staaten der Region beschlossen.

Seit 2003 ist Deutschland mit dem Kraftwerk in Neustadt-Glewe (Mecklenburg-Vorpommern) nun auch in die geothermische Stromliga aufgestiegen. Dabei soll es natürlich nicht bleiben. Es gibt ein ehrgeiziges Ziel: In absehbarer Zeit, vielleicht in den nächsten zehn Jahren, sollen 1 000 MW Leistung in geothermischen Kraftwerken installiert werden.



Auf Kamchatka, der großen Halbinsel im äußersten Fernen Osten Russlands, ragen viele Vulkane in den Himmel. Gleichzeitig leiden Bevölkerung und Industrie unter Energiemangel. Energierohstoffe haben einen langen Weg hinter sich, bevor sie die entlegene Region endlich erreichen. Das treibt die Verbraucher-



*Geothermisches Kraftwerk Mutnovsk, Kamchatka:  
russisch-deutsche Gemeinschaft*

preise in die Höhe. Der vulkanische Untergrund bietet jedoch der Region an vielen Stellen die Möglichkeit für eine Lösung dieser Probleme. 70 km südwestlich der Industriestadt Petropavlovsk-Kamschatskii liegt das geothermische Feld von Mutnovsk. Dort wurden rund 90 Bohrungen abgeteuft und 240 °C heißer Dampf erschlossen. Das gesamte Feld verfügt über eine Kapazität von rund 300 MW. In Kooperation mit einem deutschen Anlagenbauer entstand dort eines der weltweit modernsten geothermischen Kraftwerke mit einer Leistung von 50 MW. Die Turbinen stammen aus russischer Fertigung, Leit- und Netztechnik wurden von einem deutschen Unternehmen geliefert. Diese erfolgreiche Zusammenarbeit soll auch für andere Projekte fortgesetzt werden. Am Standort in Mutnovsk denkt man bereits an die Errichtung der nächsten 60 MW.

## Strom aus Thermalwasser

Schaut man sich die Deutschlandkarte mit den Standorten an, an denen an der Forschung und Entwicklung der ersten deutschen geothermischen Kraftwerke gearbeitet wird, fallen zwei Regionen besonders auf. Die eine ist das Tal des



*Ein erster Schritt in Neustadt-Glewe:  
Das „kalte“ Kraftwerk*

Oberrhains, die andere das Voralpenland. Das hat seinen guten Grund oder besser gesagt „Unter“grund: Hier finden sich bedeutende Thermalwasservorkommen. Deren Temperaturen erreichen an vielen Standorten 100 °C und mehr. Auch in Mecklenburg-Vorpommern gibt es einige Bereiche mit ähnlich einladenden Bedingungen. Einladend deswegen, weil hier besonders günstige Voraussetzungen zu finden sind, die neuen Technologien zu erproben und die notwendigen Erfahrungen mit dem Betrieb von Kraftwerken zu gewinnen.

Das erste deutsche geothermische Kraftwerk ging im November 2003 in Betrieb. Es steht in Neustadt-Glewe in Mecklenburg-Vorpommern. Die Mehrheit der 7 000 Einwohner

wird bereits seit neun Jahren durch ein geothermisch gespeistes Fernwärmenetz mit Heizenergie versorgt. Das Heizwerk mit seiner installierten Kapazität von rund elf MW beliefert Industriebetriebe, Gewerbekunden und knapp 2 000 private Haushalte. Aus einer Tiefe von rund 2 400 m wird ca. 98 °C warmes Wasser gefördert. Heizwärme ist im Sommer wenig gefragt. Die Idee war daher, dieses System durch ein kleines Kraftwerk zu ergänzen, um eine bessere wirtschaftliche Auslastung zu erzielen. Es zu installieren war relativ einfach, da die Energiequelle selbst ja bereits über die beiden zum Heizwerk gehörenden Tiefbohrungen erschlossen war. Es musste „nur“ eine Turbine dazwischen geschaltet werden.

Die dafür notwendige Technologie stand zur Verfügung. Zuschüsse des Bundes und die Stromeinspeisevergütung sorgten für die notwendige wirtschaftliche Basis. Installiert wurde eine ORC-Turbine mit einer Kapazität von rund 250 kW. Sie deckt zunächst den Eigenbedarf des Heizwerks ab. Der Rest reicht aus, weitere 500 Haushalte zu versorgen. Die Turbine befindet sich in einem 12-m-Container neben der Förderbohrung. Außerdem gehören zur Anlage zwei sechs Meter hohe Kühltürme und eine Transformatorstation. In gewisser Weise stellt dieses Kraftwerk einen Weltrekord auf. Es ist z. Z. das geothermische System, das weltweit mit den geringsten Temperaturen Strom erzeugt.

Weitere Kraftwerke dieser Art sind in Planung.

Was Neustadt-Glewe schon seit vielen Jahren besitzt, baut die Gemeinde Unterhaching bei München gerade auf: Derzeit wird in Unterhaching eine Förderbohrung niedergebracht. Es soll ein umfangreiches Fernwärmenetz aufgebaut werden, in das eine thermische Leistung von rund 16 MW aus der Geothermie zur Beheizung kommunaler Gebäude, Wohnungen und Gewerbeeinrichtungen eingespeist wird. Das Thermalwasser mit der nötigen Energie wird aus einer Tiefe von rund 3 400 m geholt. Erwartet werden Temperaturen zwischen 100°C bis zu 120 °C. Ausgekühlt wird es über eine zweite, ca. 2,5 km entfernte Bohrung wieder in den Untergrund zurückgeschickt. Dieses Temperaturniveau bedeutet aber auch: Hier kann Strom erzeugt werden. Bis zu 3,7 MW im Maximum sind möglich.

Zum Einsatz kommen soll eine Niedertemperaturturbine nach dem Kalina-Verfahren. Während ORC-Maschinen schon länger auf dem Markt sind, arbeitet das erste kommerzielle System dieses neuen Typs erst seit einigen Jahren in Husavík, an der Nordküste Islands. Nun werden solche Anlagen auch in Deutschland hergestellt und in kleinen Kraftwerken aufgebaut. Wegen ihrer höheren Effizienz bei niedrigen Temperaturen stellen sie eine interessante Alternative zu den herkömmlichen ORC-Turbinen dar.



*Bohrplatz  
in Unterhaching*

### Wärme­kraft­ma­schinen

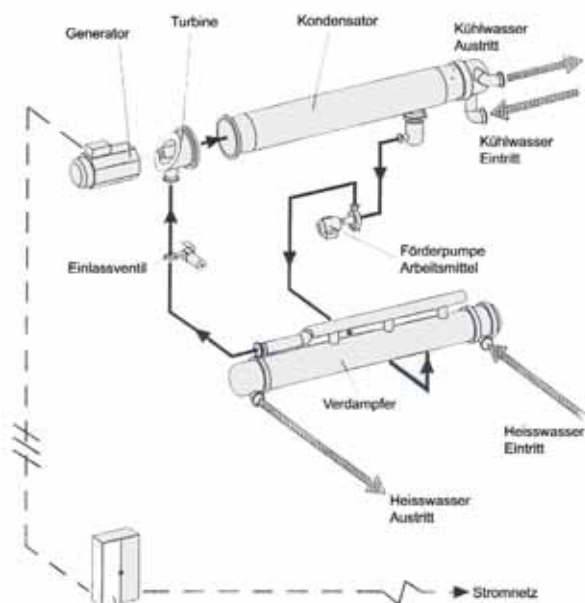
#### ORC-Turbinen

Die Abkürzung ORC steht für „Organic Rankine Cycle“. Darunter versteht man den Prozess, der in einem „normalen“ Dampfturbinen-Kraftwerk abläuft, bei dem Wasser erhitzt, verdampft und über eine Turbine beispielsweise einen Generator antreibt, um Strom zu erzeugen, sich dabei entspannt, abgekühlt, kondensiert und erneut erhitzt wird und wieder verdampft, immer im Kreislauf. Um Wasser wirtschaftlich verdampfen zu lassen, braucht man Temperaturen



oberhalb von 175 °C. Namensgeber des Rankine-Prozesses ist der schottische Ingenieur William Rankine, der dieses Verfahren vor über 150 Jahren entwickelte. Um mit niedrigeren Temperaturen den gleichen Zweck zu erreichen, muss man tricksen. Einen dieser Tricks beherrschen die ORC-Turbinen. Sie nutzen anstelle von Wasser organische Stoffe, die bereits bei weit unter 100 °C vom flüssigen Zustand in Dampf übergehen, wie etwa Pentan bei 30 °C. Auf der einen Seite wird durch den Wärmetauscher z. B. Thermalwasser mit einer Temperatur von 100 °C hindurch geleitet und auf der anderen Seite Pentan. Dieses nimmt die Wärmeenergie aus dem Wasser auf und verdampft dadurch. Der Dampf treibt die Turbine an, wird danach wieder abgekühlt und kondensiert, d.h. wieder verflüssigt, in den Wärmetauscher zurückgeschickt, verdampft etc. Ein ständiger Kreislauf also, ähnlich wie in den Dampfturbinen-Kraftwerken, nur mit einem anderen Mittel. ORC-Turbinen wurden bei den erneuerbaren Energien zuerst in der Geothermie eingesetzt, mittlerweile aber auch bei der Biomasse und der Solarthermie. In Deutschland gibt es inzwischen drei Hersteller, die sich mit dem Bau und der Entwicklung dieser Systeme befassen.

#### Organic Rankine Cycle - Konzept



#### Kalina-Maschinen

Der russische Ingenieur Dr. Alexander Kalina brachte die Idee zu dieser Technologie mit, als er 1968 die damalige Sowjetunion verließ, um in die Vereinigten Staaten zu emigrieren. Auch hier geht es darum, mit niedrigen Temperaturen möglichst viel Strom zu erzeugen. Kalina-Maschinen werden mit einem Gemisch aus Wasser und Ammoniak betrieben. Ammoniak verdampft bereits bei weit unter 100 °C. Beim Verdampfen und Kondensieren ändert sich vor allem das Verhältnis der beiden Stoffe in der Flüssigkeit und im Dampf. Dadurch ergibt sich gegenüber einer ORC-Turbine ein höherer Wirkungsgrad – vor allem bei niedrigen Temperaturen. Obwohl diese Anlagen komplexer aufgebaut und damit in der Anschaffung teurer sind

als die ORC-Turbinen, können mit ihrem Einsatz geothermische Kraftwerke ggf. wirtschaftlicher betrieben werden, da sie aus der teuren Investition Bohrung einen höheren Ertrag erzielen können. Die Hauptinvestitionen in einem Erdwärmekraftwerk müssen für die Bohrungen aufgebracht werden, nicht für die Turbinen. Kalina-Maschinen werden auch von einem deutschen Anlagenbauer hergestellt.

## Strom aus heißem Gestein, mit oder ohne Wasser - Enhanced Geothermal Systems

Ob trocken oder nass, nur heiß muss sein

Sie werden die Zukunft der geothermischen Strom- und Wärmegewinnungssysteme bestimmen: die Enhanced Geothermal Systems, kurz EGS. EGS haben Eines gemeinsam: Sie sind mit der Nachhilfe des Menschen entstanden. Es handelt sich um mit technischem Einsatz erzeugte, wasergängige Kluftsysteme. Ob dabei heißes Wasser im Untergrund gefunden wurde, das aber erst in genügender Menge an die Bohrungen herangeholt werden muss, ob man Wasser von oben „nachfüllt“, weil es unten zu wenig davon gibt, oder ob das Gestein völlig trocken ist: Ziel wird es sein, für jeden Untergrund das passende Verfahren zur Verfügung zu haben, um die Energie aus der Tiefe zu holen.



*Seismische Untersuchung mit mobiler Technik*

Bevor ein Kraftwerk entsteht, müssen die geologischen Verhältnisse im Untergrund möglichst genau analysiert werden. Gibt es in der Region bereits Tiefbohrungen, kann man aus ihnen Anhaltspunkte und Daten ermitteln, die für das Vorhaben wichtig und nützlich sind. Sie werden in ein geologisches Gutachten für den Kraftwerksstandort eingearbeitet. Solche Daten wurden und werden z.B. bei den Geologischen Ämtern der Bundesländer und vor allem beim Geo-Zentrum in Hannover gesammelt. Wo diese Daten fehlen oder nicht in genügendem Maße vorhanden sind, gibt es einige Methoden, sie zu sammeln, bevor man mit den Bohrarbeiten beginnt.

### *Offenbach/Pfalz*

Eine Methode der Datenerfassung ist die Reflexionsseismik: Anfang Dezember 2002 wurden in der Pfalz die Messwagen eingesetzt, um Daten aus dem Untergrund zu sammeln, die für ein neues Geothermiekraftwerk benötigt werden. Mit schweren Lastplatten wurden Erschütterungen erzeugt, die als Vibrationen einer bestimmten Frequenz, („Sweep“) in den Untergrund eindringen. Von den verschiedenen Gesteinsschichten unterschiedlich reflektiert, wurden sie sozusagen als „Echo“ an die Oberfläche zurückgeworfen. Mithilfe von Messinstrumenten wurden sie aufgezeichnet und anschließend geologisch ausgewertet. Jede Schicht erzeugt ihr eigenes typisches „Echobild“. Auf diese Weise erhält man ein Abbild über den Aufbau des Untergrunds am vorgesehenen Kraftwerksstandort.

Die Geologen der HotRock Erdwärmekraftwerk Offenbach/Pfalz interessierten sich vor allem für Informationen über Lage und Ausdehnung des für die spätere Stromproduktion interessanten Nutzhorizonts Muschelkalk.

Einen genauen Überblick kann man sich allerdings nur genau vor Ort im Untergrund verschaffen. Findet man das erwartete Wasser, wird gepumpt. Mit solchen Pumptests will man feststellen, wie ergiebig die Thermalwasserschicht ist, die man angebohrt hat, und ob sie den Erwartungen und Prognosen entspricht.

### *Speyer*

Vier Monate lang und 2 871 m tief arbeiteten sich 2003 die Bohrmeißel in den Speyerer Untergrund. Ziel war es, wichtige Daten für ein 5,4 MW Geothermiekraftwerk zu sammeln, das einmal 15 % des Strombedarfs der Pfälzer Domstadt decken soll. Nach positiver Bilanz wird die Projektgesellschaft FGT auf dem Gelände des Heizkraftwerks der Stadtwerke ein neues Erdwärmekraftwerk errichten. Ab 2006 soll der erste Strom eingespeist, schon ab 2005 könnte Fernwärme an das Netz der Stadtwerke geliefert werden.

Bei geophysikalischen Messungen und Untersuchungen werden immer zahlreiche Daten gesammelt. Ob in Speyer oder an anderen Standorten, zwei Kriterien sind entscheidend für den Erfolg des Vorhabens:

1. Wie heiß ist es im Untergrund?
2. Wie viel Wasser kann ich fördern?



*Bohrplatz Speyer*

In Speyer lagen die Temperaturen mit maximal 158 °C etwas höher als erwartet.

Die erwartete Fördermenge wurde durch aufwändige Pump- und Auffülltests ermittelt. Dafür wurden große Becken angelegt, um die enormen Wassermengen, die bei den mehrstufigen Pumptests nötig sind, zwischenzulagern. Die Testarbeiten selbst zeigten eine sehr gute „Fündigkeit“ – es konnte genügend Wasser gefördert werden. Sollte bei solchen Testarbeiten allerdings nicht genügend Wasser gefördert werden können, muss auf technischem Wege Nachhilfe geleistet werden. Oft ist in der Umgebung zwar genügend Wasser vorhanden,

aber es gelangt nicht in das Bohrloch. Dann werden die Risse und Klüfte am Grund des Bohrlochs von oben her mit Wasserdruck aufgeweitet. Dieses Verfahren nennt man Frac (hydraulic fracturing ist der englische Fachbegriff). Ziel ist es, die wasserführende Schicht zu stimulieren, d.h. durch Vermehrung und Aufweitung der Klüfte dazu zu bringen, den Zufluss in das Bohrloch zu erhöhen.

## Hot-Dry-Rock

Eine andere Technik kommt zum Einsatz, wenn man von vornherein davon ausgehen kann, kein oder nicht ausreichend Wasser im Untergrund zu finden.

In einer Tiefe von 4 000 bis 5 000 m – dort wo es bei uns in Mitteleuropa heiß genug ist – kann das Gestein ohne Wasserwegsamkeit und im Extremfall trocken sein, es ist von Rissen und Klüften durchzogen. Das Prinzip, sich diese Situation nutzbar zu machen, um eine unerschöpfliche Energiequelle zu erschließen, klingt zunächst recht einfach. Es wird gebohrt, es wird gefract, d.h. die Risse und Klüfte werden mit Wasserdruck geöffnet, sodass dauerhaft Wasser hindurchfließen kann. Durch den Druck entsteht ein ganzes Netz von Fließmöglichkeiten, ein unterirdischer Wärmetauscher, in dem sich bereits vorhandenes oder von der Oberfläche her eingebrachtes Wasser auf die für den Turbinenkreislauf notwendigen Temperaturen erhitzen kann. An dieses Netz schließt man eine oder mehrere weitere Bohrungen an, über die das Wasser wieder nach oben zurückgeholt werden kann.

Im Detail ist natürlich alles viel komplizierter: Bei der Schaffung des Wärmetauschers im tiefen Gestein muss z.B. darauf geachtet werden, dass ein Kluftsystem entsteht, in dem das Wasser auch zielgerichtet fließen kann. Der Frac muss daher sehr kontrolliert durchgeführt werden. Eingesetzt werden dazu Geophone, Messgeräte, die die leisen Knack- und Bruchgeräusche orten, die beim Aufweiten des Gesteins entstehen. Die Daten werden an einen Computer weitergegeben, der eine dreidimensionale Grafik aufbaut, in der sich all die Ortungen wiederfinden. So entsteht nach und nach ein Bild, wohin sich im Gestein der Wasserdruck ausweitet, d.h. in welche Richtung sich die Risse und Klüfte am leichtesten öffnen lassen. Anschließend weiß man, wo man die nächsten Bohrungen ansetzen muss.

### *Soultz-sous-Forêts*

Seit Ende der 80er Jahre wird in Soultz-sous-Forêts im Elsass an der Realisierung des HDR-Verfahrens gearbeitet. Dafür haben sich mehrere europäische Länder, darunter Frankreich und Deutschland sowie die EU, zu einem gemeinsamen Forschungsprojekt zusammengeschlossen. Mitte der 90er Jahre gelang der technologische Durchbruch, als nach Aufbau eines Wärmetauschers in rund 3,5 km Tiefe erstmals Wasser im Kreislauf zwischen zwei Bohrungen gepumpt und damit der Nachweis erbracht werden konnte, dass ein solches Kluftnetzsystem dauerhaft betrieben werden kann. Über vier Monate wurde Wasser mit einer Fließrate von 25 kg/s durch den unterirdischen Wärmetauscher gepresst, das die Oberfläche dann mit 140 °C erreichte, was einer thermischen Dauerleistung von 10-11 MW



*Technik für seismische Untersuchungen*



*Messsonde*

entsprach. Mit diesem ersten geothermisch erzeugten Dampf Mitteleuropas wusste die Fachwelt, dass es möglich ist, auf diese Weise Strom zu erzeugen.

Inzwischen ist man viel weiter, oder besser gesagt, tiefer. Ziel der Arbeiten der letzten Jahre war es dann nämlich, erfolgreich in solche Tiefen vorzudringen, die sich besonders gut für einen wirtschaftlichen Kraftwerksbetrieb eignen. In Mitteleuropa geht es dabei um Bereiche von rund 5 000 Metern, in denen Temperaturen von ca. 200 °C herrschen. Bereits im Jahr 2000 war eine erste Bohrung vorangetrieben und danach der erste Teil des Wärmetauschers geschaffen worden. 2002 wurde ein zweites, ebenfalls 5 000 Meter tiefes Loch fertiggestellt, das anschließend erfolgreich an das unterirdische Kluftnetzsystem angeschlossen werden konnte. Damit war das weltweit tiefste künstliche Zirkulationssystem geschaffen.

Als reines wissenschaftliches Forschungsvorhaben hatte man begonnen, aber bereits früh das Interesse der Industrie geweckt. Die derzeitigen Arbeiten werden daher von der Europäischen Wirtschaftlichen Interessenvereinigung „Wärmebergbau“ durchgeführt, zu der sich eine Reihe von europäischen Unternehmen zusammengeschlossen haben, die in der HDR-Technologie eine Chance und Option für die Zukunft sehen.

Anfang 2004 wurde das System durch eine dritte Tiefbohrung vervollständigt. In 2004 wird eine Stimulation und dann eine Testzirkulation zwischen allen drei Bohrungen erfolgen. Das Kraftwerk wird in zwei Stufen errichtet werden. 2005 soll eine kleine Anlage mit 1 – 1,5 MW entstehen. 2006 soll diese Anlage dann auf 6 MW ausgebaut werden.

### *Bad Urach*

In Bad Urach, am Rande der Schwäbischen Alb, wird getestet, inwieweit sich dieses Verfahren auch auf weitere geologische Verhältnisse übertragen lässt. In einer vorhandenen Forschungsbohrung wurde erfolgreich der erste Teil des unterirdischen Wärmetauschers installiert und getestet. Die Arbeiten an einer zweiten Bohrung, die den Anschluss daran herstellen soll, sind aus Kostengründen im Frühjahr 2004 unterbrochen worden. Ende des Jahres 2004 soll das Vorhaben fortgesetzt werden. Der Bau eines Kraftwerkes ist vorgesehen.

Auch für klassische Geothermieregionen, also für solche mit Heißwasser- und Dampfagerstätten, ist dieses Verfahren interessant. In vielen geothermischen Feldern gibt es Bohrungen, die trocken gefallen sind. Diese kann man reaktivieren. Die Wärme ist ja noch im Untergrund vorhanden. Nur der Stoff, sie nach oben zu bringen, fehlt.

### **Aufschlussverfahren im Sediment**

Risse und Klüfte aufzuweiten, Wasser hindurchzuschicken, es erhitzen zu lassen: Im festen Gestein der Erdkruste, dem so genannten Grundgebirge, lässt sich HDR gut an. Ganz anders sieht es im Norddeutschen Tiefland aus. Dort decken bis zu sechs Kilometer mächtige Schichten aus Ablagerungen (Sedimentgesteinen), vor



*Bohranlage Bad Urach*



allem Sandstein, das Grundgebirge zu. Man müsste demnach sehr tief bohren, um bis dorthin vorzustoßen. Viel tiefer als eigentlich notwendig, denn heiß genug ist es auch schon weiter oben.

Sandstein aber ist porös und auch klüftig. Er ist häufig ein ausgezeichneter Wasserspeicher, deswegen findet man im Untergrund des Norddeutschen Tieflands auch so viele Standorte, an denen Thermalwasser erschlossen werden kann. Nur ist dieses in den meisten Fällen nicht heiß genug für eine Turbine, denn nur an wenigen Stellen erreicht es Temperaturen von 100 °C und mehr. Weiter unten findet man zwar die passende Hitze, aber dort fehlt dann die Wasserwegsamkeit. Wer im Sandstein das Frac-Verfahren anwendet, muss sich also mit anderen geologischen Bedingungen auseinandersetzen. Die Methoden, die z.B. für die Erschließung von Erdölfeldern in den gleichen Schichten angewendet werden, um die Produktivität von Bohrungen zu erhöhen, lassen sich nicht einfach 1:1 auf die Erdwärmenutzung übertragen. Bis vor wenigen Jahren gab es dazu in der Geothermie keinerlei Erfahrungen. Gelingt es, ausreichend produktive Kluftnetzsysteme zu erzeugen und dauerhaft offen, d. h. wassergängig zu halten, ist ein weiterer wesentlicher Schritt getan. Geologische Verhältnisse wie in Norddeutschland sind weltweit an vielen Stellen anzutreffen.

An zwei Standorten wird nun mit Mitteln des Bundes – erfolgreich – geforscht.

#### *Groß Schönebeck*

Der Ort liegt in der Schorfheide, nordöstlich von Berlin. Dort, am Rand des Biosphärenreservats, befindet sich um eine alte, 4 300 m tiefe Erdgasbohrung herum, seit Ende 2000 das In situ Geothermielabor des GeoForschungsZentrums (GFZ) Potsdam. Im Untergrund, am Ende des Bohrlochs, herrschen Temperaturen von 150 °C. 2002 und 2003 wurden erfolgreiche Stimulationsexperimente durchgeführt. Bei den Arbeiten im Oktober 2003 z.B., einem Programm mit Stimulation und Fördertest, wurden insgesamt 15 000 m<sup>3</sup> Wasser verpresst. Nun muss eine zweite Bohrung abgeteuft werden, um nachzuweisen, dass in dem erzeugten Rissystem dauerhaft Wasser zirkulieren kann, das dann die Wärme aus der Tiefe an die Oberfläche holt. Das Kraftwerk, das einmal dort entstehen kann, wird jedenfalls in Frieden mit den „Nachbarn“ im Biosphärenreservat leben können.

#### *GeneSys*

Zum GEOZENTRUM Hannover gehören die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), das GGA-Institut der Leibniz-Gesellschaft und das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung (NLFb). Der große Gebäudekomplex soll energetisch saniert werden, d. h. er erhält ein neues Heizsystem. Da lag es nahe, über den Einsatz der Erdwärme nachzudenken. Sandstein im Untergrund, mit zwar nicht genügend und vor allen nicht genügend heißem Wasser, aber geballte Fachkompetenz vor Ort, das war die Ausgangslage. Herausgekommen ist das GeneSys-Projekt. GeneSys steht für Generierte



# Geothermie

## Technologien und Projekte



Hydraulische Versuche

Geothermische Energiesysteme. Um die notwendigen Experimente durchführen zu können, wurde südlich von Uelzen die alte Erdgaserkundungsbohrung Horstberg übernommen. Seit Herbst 2003 wird in über 4 100 m Tiefe und bei Temperaturen von 158 °C mit Wasserdruck gefract. Auch hier zeigten die Ergebnisse, dass die bewährte Wasserfract-Technik auch in Sedimentgesteinen eine Schlüsselrolle spielen kann.

## Erdwärme direkt genutzt

Natürlich kann man die im Untergrund vorhandene Energie nicht nur „indirekt“ über Turbinen verstromen, sondern auch gleich direkt zur Gewinnung von Wärme und Klimakälte einsetzen. Man kann Fernwärmenetze und Freizeitbäder betreiben, Zuchtfischen angenehme Temperaturen verschaffen, in Gewächshausbetrieben auf Öl und Gas verzichten, Trocknungsprozesse geothermisch versorgen, Verkehrsflächen eisfrei halten und sogar, und das besonders preisgünstig, Klimakälte bereitstellen.

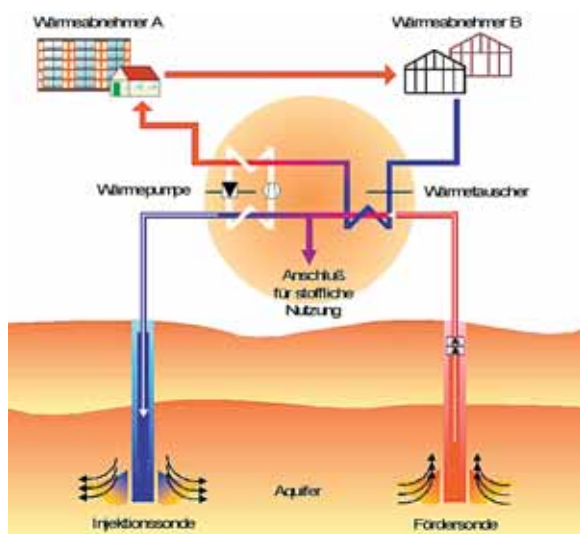
Im Vorteil sind natürlich solche Regionen, in denen ausreichend Thermalwasser vorkommt: wie das Norddeutsche Tiefland, das Oberrheintal und das so genannte Süddeutsche Molassebecken zwischen Donau und Alpen.

Warmwassergeothermie oder hydrothermale Geothermie wird meist in so genannten Dublettensystemen betrieben, d.h. eine Förderbohrung schafft das warme Wasser an die Oberfläche. Dort wird die Wärme über Wärmetauscher entnommen, das ausgekühlte Wasser wird über eine weitere Bohrung, die Verpress- oder Injektionsbohrung, in den Untergrund zurückbefördert. Die Wärme selbst wird an das Fernwärmenetz abgegeben. Eine Dublette wird deswegen installiert, um zu verhindern, dass die wasserführende Schicht, der

Aquifer, nach und nach leergespumpt wird, bzw. damit das hydraulische Gleichgewicht in der Tiefe erhalten bleibt. Oft ist das Wasser auch stark mineralisiert, z.B. salzhaltig, sodass es schon deswegen wieder in den Untergrund zurück befördert werden muss.

Geothermische Wärme aus hydrothermalen Vorkommen wird u.a. an folgenden Standorten genutzt.

Erdwärmeheizwerke von Neustadt Glewe (Mecklenburg-Vorpommern), Unterhaching bei München und Speyer.



*Waren (Müritz)*

Das erste geothermische Heizwerk Deutschlands ging 1984 in Waren (Müritz) in Mecklenburg-Vorpommern in Betrieb. Mit einer kurzen Unterbrechung wegen Sanierungs- und Umbauarbeiten im Jahr 1993 besorgt es seitdem die Grundlast für rund 1 000 Wohneinheiten. Aus einer Tiefe von rund 1 500 m wird 62 °C heißes Wasser gefördert, dessen Energie rund 40 % des Bedarfs des Fernwärmenetzes der Stadtwerke abdeckt. Das Erdwärmeheizwerk war ein bedeutender Schritt auf dem Weg zur Anerkennung der Stadt als Luftkurort.

*Straubing*

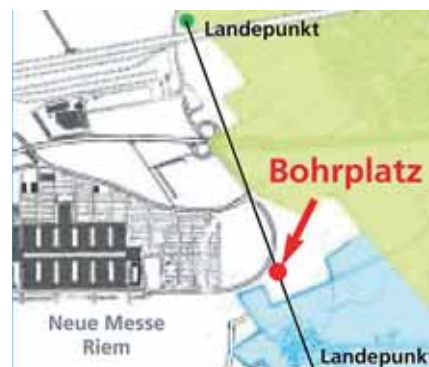
Seit 1999 wird auch ein Teil der niederbayerischen Stadt Straubing geothermisch beheizt. Zwei getrennte Fernwärmenetze versorgen zahlreiche öffentliche und private Großabnehmer, die Stadthalle etwa, Behörden, Museen, soziale Einrichtungen, Wohnanlagen, Geschäftshäuser und ein Freizeitbad. Das Thermalwasser kommt mit 36 °C aus einer Tiefe von 825 m. Wärmepumpen bringen es auf die im Fernwärmenetz benötigten Temperaturen. Die installierte Leistung des Erdwärmeheizwerks beträgt rund 6 MW.

*Unterschleißheim*

Aus einer knapp 2 000 m tiefen Bohrung fördert das kommunale Geothermieunternehmen 81 °C heißes Wasser. Die Anlage in der Gemeinde am Münchener Stadtrand ging 2003 in Betrieb. Das Fernwärmenetz umfasst in der Endausbaustufe 31,2 MW. 70% des Wärmebedarfs deckt die Erdwärme ab.

*München-Riem*

Auf dem Gelände des ehemaligen Flughafens München-Riem wächst seit einigen Jahren ein neuer Stadtteil für 16 000 Bewohner heran, die Messestadt Riem. Neben Wohn- und Gewerbegebieten entsteht ein Landschaftspark, in dem 2005 die Bundesgartenschau stattfinden wird. Erschlossen wird er durch ein Fernwärmenetz der Stadtwerke. Mitte 2003 wurde eine knapp 3 300 m tiefe Bohrung abgeteuft, die rund 90 °C heißes Wasser mit 50 Litern pro Sekunde zu Tage förderte. Wenn das Heizwerk zur Heizperiode 2004/2005 seinen Betrieb aufgenommen haben wird, wird mit es bis zu 8 MW Erdwärmeanteil die Grundlast des Wärmebedarfs der Messestadt abdecken.

*Weinheim*

Das „miramar“ in Weinheim, mit jährlich rund 500 000 Besuchern eines der fünf größten Erlebnisbäder in Deutschland, deckt den Energiebedarf des Bades statt mit Erdgas künftig umweltfreundlich mit einer Geothermie-Anlage. Mit den Arbeiten für die beiden gut 1 000 m tiefen Bohrungen der Dublette wurde 2004 begonnen. Mit dem 65 °C warmen Wasser wird eine Wärmeleistung von rund 2,3 MW erzielt.



# Geothermie

## Technologien und Projekte



Freizeitbad in Erding

### Erding

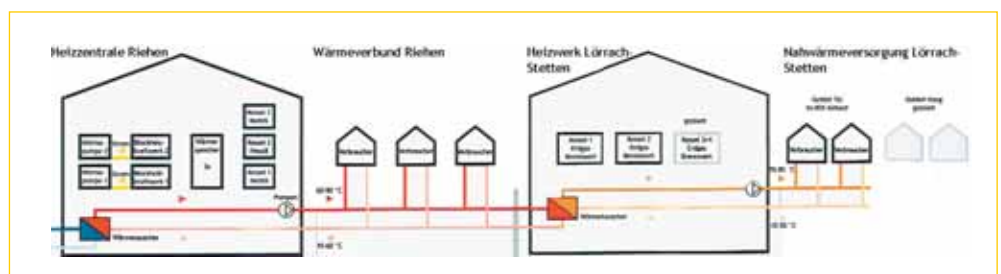
In der Kleinstadt Erding, nördlich von München, ging 1998 ein Geowärmeheizwerk in Betrieb, das bislang das einzige geblieben ist, das ohne eine Dublette auskommen kann. Basis ist eine ehemalige Erdölerkundungsbohrung aus den 80er Jahren. Sie führte zwar nicht zu dem erhofften Erdölfund, aber das bei den Arbeiten erschlossene Thermalwasser mit einer Temperatur von rund 65 °C liefert heute die Wärmeenergie für mehr als 2 000 Wohneinheiten. Ein Teil des Wassers wird zudem für ein Freizeitbad genutzt. Auf eine zweite Bohrung konnte bislang verzichtet werden, da aus der Tiefe weniger Wasser entnommen wird, als gleichzeitig von anderer Stelle oder von oben her in den Untergrund zufließt.

Für die Verbraucher bedeuten diese Anlagen, abgesehen von den Vorteilen für die Atemluft, Gesundheit und Umwelt, langfristig relativ stabile Heizkosten, da die Energie aus der Tiefe nicht von den sich stetig nach oben entwickelnden Preisen für fossile Energieträger wie Gas und Öl abhängt.

Die Geologie hält sich nicht an von Menschen gezogene, staatliche Grenzen. Auch bei der Nutzung der Geothermie kann es darum international hergehen:

### Riehen und Lörrach

In der Schweizer Gemeinde Riehen bei Basel begann das geothermische Zeitalter 1994. 62 °C heißes Wasser aus über 1 500 m Tiefe versorgt Wohnsiedlungen, Gewerbebauten, öffentlichen Gebäude, Privathäuser, karitative Einrichtungen, Gemeindehaus und Spital. Knapp 200 Kunden mit mehr als 1 000 Wohneinheiten sind am Netz. Unweit der Bohrung liegt, auf deutscher Seite, das zur Stadt Lörrach gehörende Wohngebiet Stetten-Süd. Über eine 600 m lange Leitung ist das Stettener Heizwerk mit dem Riehener Netz verbunden. In der Schweiz gefördert, versorgt die Energie aus der Tiefe bei den deutschen Nachbarn rund 500 Wohnungen und eine Schule mit einem großen Teil des jährlichen Wärmebedarfs.



### Simbach und Braunau

Simbach, 10 000 Einwohner, Bayern und Braunau, 18 000 Einwohner, Oberösterreich, durch den Inn und eine Staatsgrenze getrennt, wurden 2002 geothermisch miteinander verbunden. Die beiden Bohrungen stehen auf dem Betriebsgelände des Heizwerks auf der deutschen Seite. Die Förderbohrung, insgesamt 3 203 m lang, wurde in der Tiefe abgelenkt, führt unter den Inn hindurch bis nach Braunau. Sie liefert, 2 100 m unter der Stadt, 80,5 °C heißes Wasser. In Österreich gefördert, kommt es in Bayern an die Oberfläche. In die Fernwärmenetze der beiden Kommunen mit ihren rund 500 Abnehmern werden insgesamt 5,4 MW geothermische Energie eingespeist.

### Es geht auch ohne Wasser: Tiefe Erdwärmesonden

#### Prenzlau, Aachen und Arnsberg

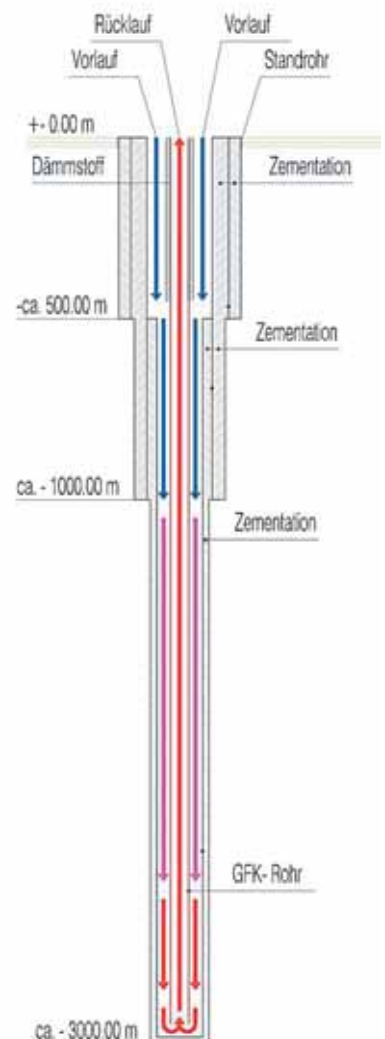
Was tun in solchen Gebieten, in denen kein Thermalwasser vorhanden ist? Eine Möglichkeit bietet sich zukünftig unter dem Stichwort EGS. Wenn einige hundert Kilowatt Wärme allerdings ausreichen, um z. B. einen Gebäudekomplex zu versorgen, gibt es einfachere Lösungen.

Heiß genug ist es 3 km unter unseren Füßen allemal. Man bohrt ein tiefes Loch, schickt kaltes Wasser nach unten, das sich in der Tiefe erhitzt, holt es über dieselbe Bohrung wieder an die Oberfläche, entnimmt die Wärme, schickt diese in das Gebäude, das Wasser zurück in die Tiefe. Eine solche Anlage nennt man eine Tiefe Erdwärmesonde. In der Schweiz gibt es einige, in Deutschland ist seit Mitte der 90er Jahre im brandenburgischen Prenzlau ein solches System in Betrieb.

In Prenzlau wurde eine vorhandene Bohrung auf knapp 2 800 m vertieft. Dort herrschen Temperaturen von 108 °C. Zur tiefen Erdwärmesonde ausgebaut, werden seit 1994 rund 300 kW Wärmeenergie gewonnen, die in das städtische Fernwärmenetz eingespeist werden.

Die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) in Aachen befasst sich seit langem mit erneuerbaren Energien und steht nun vor ihrem bisher größten „Selbstversuch“, jedenfalls was die Geothermie betrifft. Zur Energieversorgung des direkt im Stadtzentrum geplanten Studentischen Servicecenters „Super C“ sollen die natürlichen Erdwärmevorkommen im Untergrund genutzt werden. Rund 80 % des Wärme- und Kältebedarfs des Gebäudes sollen aus einer 2 500 m tiefen Bohrung gedeckt werden.

In Arnsberg im Sauerland geht es um das neue Freizeitbad „Nass“. Hier soll eine rund 3 km tiefe Sonde etwa 75% des Wärmebedarfs des Bades und einer benachbarten Sporthalle liefern. Das bedeutet, dass jährlich rund 2,1 Millionen kWh nicht konventionell über Gas erzeugt werden müssen.



### Geothermische Heizwerke, Wärmeversorgungen mit hydrothermaler Geothermie, Tiefe Erdwärmesonden: Übersicht

	Installierte Leistung MW <sub>geo</sub>	Nutzung	Temperatur in °C	Besonderheiten
Baden-Baden BW	0,44	H,S	70	
Bad Urach BW	1	H,S	58	
Bad Waldsee BW	0,44	H,S	30	
Biberach BW	1,17	S	49	
Buchau BW	1,13	H,S	48	
Konstanz BW	0,62	H,S	29	
Birnbach BY	1,4	H,S	70	
Erding BY	9	H	65	2 350 m, keine Dublette
Füssing BY	0,41	H,S	56	
Simbach-Braunau BY	5,4		80,5	Teufe 1 900 m, Dublette, 1 Bohrung abgelenkt
Staffelstein BY	1,7	H,S	54	
Straubing BY	6	H	36	Dublette, 825 m
Unterschleißheim BY	12	H	81	1 700 m, Dublette
Weiden BY	0,2	H,S	26	WP im Parallelbetrieb
Prenzlau BB	0,5	H		2800 m Tiefe Erdwärmesonde
Wiesbaden HE	1,76	H,S	69	
Neubrandenburg MV	10	H	54	2 Dubletten, Umbau zur Wärmeeinspeicherung aus GuD-Kraftwerk
Neustadt-Glewe MV	10,7	H, E	95	Dublette, 2 400 m Stromerzeugung seit Nov. 2003
Waren (Müritz) MV	5,2	H	65	Dublette, 1 500 m
Aachen NRW	0,82	H,S	68	
<b>Im Bau befinden sich:</b>				
Neuruppin BB		H,S	60	1 700 m, Dublette
Weinheim BW	2,3	H	65	ca. 1 000 m, Dublette
Unterhaching BY	16	H, E	bis 120 °C	
München-Riem BY	6-8	H	90	Dublette, 3 300 m
Arnsberg NRW	250 - 350 KW	H		Tiefe Erdwärmesonde ca. 2 900 m
Aachen NRW		H		Tiefe Erdwärmesonde, ca. 2 500 m
Speyer RP	5.4 (elektrisch)	H, E	bis 158 °C	ca. 2 900 m

H – Heizung, S – Sole/Badewasser, E Kraftwerk, BB – Brandenburg, BW – Baden-Württemberg, BY – Bayern, HE – Hessen, MV – Mecklenburg-Vorpommern, NRW – Nordrhein-Westfalen, RP – Rheinland-Pfalz

### Die vielen Möglichkeiten der oberflächennahen Geothermie

Nahe der Erdoberfläche sind die Temperaturen relativ niedrig. In Deutschland betragen sie auf den ersten 100 m durchschnittlich kühle 9 - 12 °C. Hier noch von Erdwärme zu sprechen, scheint auf den ersten Blick vielleicht ein wenig übertrieben. Trotzdem: Auch mit solchen Temperaturen lässt sich viel anfangen, zum Heizen, zur Warmwasserbereitung, für die Raumklimatisierung. In Zehn-

tausenden von Gebäuden, in Ein- oder Mehrfamilienhäusern, in Wohnblocks, öffentlichen Einrichtungen, Verwaltungen, Krankenhäusern und Schulen oder in Gewerbebetrieben finden sich überall in Deutschland Systeme, die auf intelligente Art und Weise den Wärmestrom aus der Erde nutzen, ohne aus großer Tiefe hohe Temperaturen an die Oberfläche zu fördern. Es geht auch in kleineren Dimensionen, aber nicht weniger effektiv.

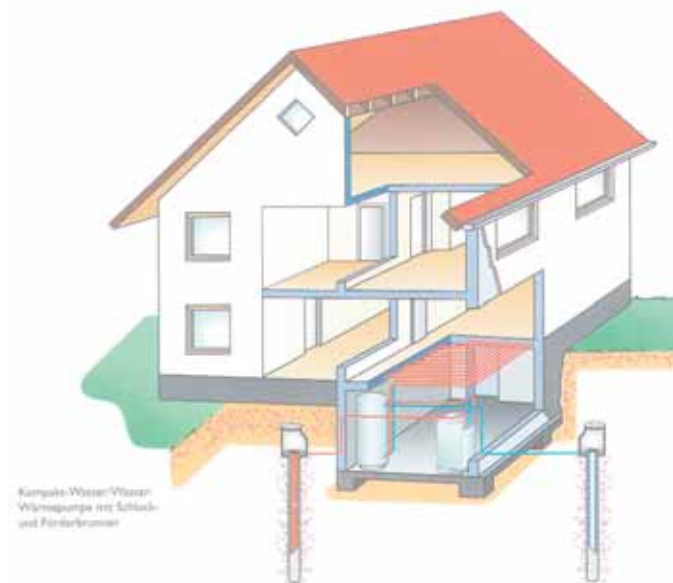
Im Gegensatz zur Nutzung von warmem oder heißem Wasser aus der Tiefe wird Wärme aus dem oberflächennahen Untergrund gewöhnlich mithilfe von Wärmepumpen genutzt. Diese ermöglichen es, Wärme von einem tieferen Temperaturniveau auf ein höheres zu heben. Dafür steht eine breite Palette an Wärmequellen bzw. Techniken zu Verfügung.

**Grundwasserwärmepumpen:** Abhängig vom Standort lässt sich Grundwasser über Brunnen entnehmen und direkt zur Wärmepumpe bringen. Es muss jedoch wieder in den Untergrund eingeleitet werden, sodass neben Förderbrunnen auch Schluckbrunnen einzurichten sind. Diese Systeme erfordern eine gewisse Pflege und häufig Filtereinrichtungen, die verhindern sollen, dass Fremdstoffe im Wasser die Schluckbrunnen verstopfen.

Grundwasserwärmepumpen lassen sich daher erst ab einer gewissen Mindestgröße sinnvoll errichten, dann jedoch sind sie durch die relativ hohen Wärmeleistungen pro Brunnenbohrung sehr günstig. Bei größeren Gebäuden sind Grundwasserwärmepumpen daher eine interessante wirtschaftliche Alternative.

**Erdwärmekollektoren:** Erdwärmekollektoren werden horizontal, also flach, normalerweise in 80 - 160 cm Tiefe verlegt. Wenn genügend Fläche zur Verfügung steht, kann man sich so Bohrungen sparen. Erdwärmekollektoren haben allerdings den Nachteil, dass immer dann, wenn die Außentemperaturen sinken, auch der Boden schell auskühlt. Eine Wärmepumpe erhält daher bei Kopplung an einen Erdwärmekollektor gerade dann am wenigsten Energie aus der Erde, wenn das Haus am meisten davon benötigt.

Daher haben sich in Mittel- und Nordeuropa **Erdwärmesonden** als häufigste Anlagentypen durchgesetzt. Ihr Flächenbedarf ist gering und sie nutzen ein konstantes Temperaturniveau. Es handelt sich bei Erdwärmesonden zumeist um senkrechte Bohrungen, in die Rohre installiert werden. Dabei handelt es sich gewöhnlich um Doppel-U-Rohre aus Kunststoff (meist PE). Diese sind mit einer Wärmeträgerflüssigkeit, normalerweise Wasser mit einem Frostschutzmittel, gefüllt, die die Wärme aus dem Erdreich aufnehmen und an die Oberfläche zur Wärmepumpe transportieren. In Deutschland werden Erdwärmesonden normalerweise in Tiefen zwischen 50 - 150 m abgeteuft. Eingesetzt werden sie in Anlagen unterschiedlicher Größe, angefangen bei ein oder zwei Sonden zur Beheizung kleiner Wohngebäude bis hin zu Systemen zur Versorgung von Büro- und Gewerbebauten, ganzen Wohnanlagen usw. Dass auch komplette Wohngebiete



auf diese Weise versorgt werden können, zeigen Siedlungen in Dortmund-Ritershof mit über 90 Häusern und Werne Fürstenhof mit 134 Gebäuden.

### *Frechen: 10-Familienhaus mit Erdwärmesondenheizung*



*Bohrarbeiten für die Erdwärmesonden*

In der Toni-Ooms-Straße in Frechen bei Köln wurde 2002 ein 10-Familien-Haus mit Eigentumswohnungen fertiggestellt. Die beheizbare Fläche des Gebäudes beträgt 810 m<sup>2</sup>, der jährliche Heizwärmebedarf liegt bei 45 200 kWh/a. Das Gebäude wird mit über sieben Erdwärmesonden mit einer Tiefe von je 80 m, die mit einer Wärmepumpe verbunden sind, mit Heizwärme und Brauchwarmwasser versorgt. Im Haus sind Fußbodenheizungen verlegt. Während der Sommermonate kann das System auch zur Klimatisierung der Wohnungen eingesetzt werden. Auf dem Dach wurden übrigens Fotovoltaik-Felder installiert.

### *Todtmoos: Erdwärme für Ferienhotel*

Das neue Ferienhotel „Fünffjahreszeiten“ im Schwarzwälder Urlaubsort Todtmoos heizt mit Geothermie. Es wurden zehn Erdwärmesonden (EWS) mit einer Tiefe von jeweils 250 m abgeteuft. Etwa 2,5 bis 3 Tage Arbeitszeit wurden pro Bohrung benötigt. Angeschlossen wurden die Sonden an zwei Wärmepumpen mit einer Heizleistung von jeweils 90 kW.

### *Bönnigheim: Im Jugendstil*

Eines der bekanntesten Gebäude in Bönnigheim, Kreis Ludwigsburg, ist die mehr als 100 Jahre alte Villa Amann. Sie wurde 2001 vollständig renoviert. Dabei entzog sich eines der spannendsten Baustellen-Themen dem Einblick der Passanten. Innerhalb von zehn Tagen wurden vier Erdwärmesonden bis in eine Tiefe von 250 m in den Untergrund eingebracht. Dieses System ist an eine Wärmepumpenanlage mit einer Leistung von 70 kW gekoppelt.

### *Wermelskirchen Hofschaf Kolffhausen: Geothermie im Denkmalschutz*



*Geothermie im denkmalgeschützten Haus*

Das große Fachwerkhaus der Hofschaf Kolffhausen in Wermelskirchen im Bergischen Land steht unter Denkmalschutz. 1487 erstmals urkundlich erwähnt, reicht seine erhaltene Bausubstanz bis in das späte 17. Jahrhundert zurück. Trotzdem mochten die neuen Besitzer natürlich nicht auf den Wohnkomfort des 21. Jahrhunderts verzichten. Verzichtet werden sollte aber auf eine konventionelle Wärmeversorgungstechnik. Das große Gebäude wurde in Zusammenarbeit mit den örtlichen Denkmalschutzbehörden saniert und modernisiert. Der Charakter des Hauses blieb außen und innen erhalten. Sensibel musste auch mit der Wärmeversorgung umgegangen werden. Der Bauherr entschied sich für die Installierung einer

Erdwärmesondenanlage. Dafür wurden sechs Bohrungen mit einer Tiefe von je ca. 90 m niedergebracht. Die gesamte Heizleistung beträgt 36 kW. Zum Gesamtensemble gehören noch drei neu errichtete Einfamilienhäuser. Auch diese werden über fünf weitere Bohrungen mit geothermischer Wärme versorgt.



Auch in großen Gebäuden werden Erdwärmesonden eingesetzt, dann aber meist in Verbindung mit Heizung und Gebäudekühlung.

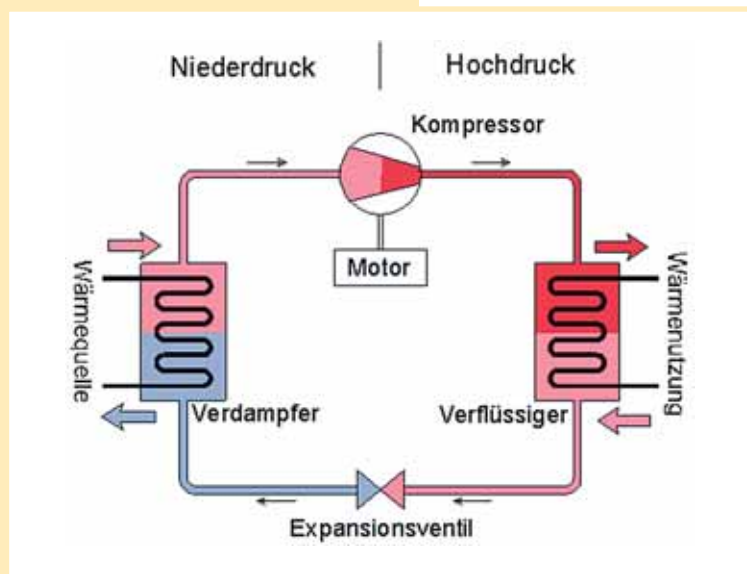
## Wärmepumpen

Die Effizienz erdgekoppelter Wärmepumpen ergibt sich aus ihrer Jahresarbeitszahl. Diese gibt die Einheiten Nutzenergie an, die im Verlauf eines Jahres aus einer Einheit Antriebsenergie, z.B. Strom, erzeugt werden. Heute werden mit erdgekoppelten Systemen Jahresarbeitszahlen von über 3,5 sicher erreicht. Das heißt, eine Kilowattstunde Antriebsstrom reicht aus, um mindestens 3,5 Kilowattstunden Wärme für die Beheizung des Gebäudes bereitzustellen. Manche Anlagen erreichen bereits Jahresarbeitszahl-Werte um 4. Die Entwicklungen vor allem im Bereich der Wärmepumpentechnik lassen weitere Verbesserungen erwarten.

**Erdberührte Betonbauteile, Energiepfähle:** Betonbauteile lassen sich nicht nur als tragendes oder architektonisches Element einsetzen. Alles, was an Beton in den Boden eingebaut werden muss, lässt sich auch zu einem funktionsfähigen und wirtschaftlichen Heiz- und Kühlsystem herrichten. Dafür werden bei der Errichtung des Gebäudes Wärmetauschrohre in den Beton eingebracht. Als Schlagwort für diese Technologie hat sich der Begriff „Energiepfahl“ durchgesetzt. Er rührt aus der Nutzung von Gründungspfählen zu Heizzwecken her. Eine Nachrüstung bereits vorhandener Betonflächen ist allerdings nicht möglich.

Der wirtschaftliche Vorteil ergibt sich vor allem daraus, dass nur solche Bauteile herangezogen werden, die aus statischen Gründen ohnehin errichtet werden müssen. Der Mehraufwand dafür ist relativ gering. Zusätzliche Bohrarbeiten wie bei Erdwärmesonden fallen nicht an.

Bei einer Vielzahl von Projekten wurde diese Technologie bereits erfolgreich angewendet. Insbesondere bei Hoch- und Industriebauten kommen solche geothermischen Heiz- und Kühlsysteme zum Einsatz.



### Hannover: Norddeutsche Landesbank

Die Norddeutsche Landesbank errichtete in Hannover ein neues Verwaltungsgebäude mit einer überbauten Grundfläche von 14 000 m<sup>2</sup> und einem Bauvolumen von 298 000 m<sup>3</sup>. 122 Bohrpfähle mit einem Durchmesser von 90 cm und einer Länge von je 20 m versorgen diesen Bau mit Heiz- und Kühlenergie. 37 000 m Rohre in den Pfählen und 77 000 m Rohre in den Betondecken ermög-

lichen eine kostengünstige und umweltschonende Energiebewirtschaftung. Zur Nutzung der Kälte/Wärmeenergie wurden insgesamt 505 wasserführende Rohregister in die acht Geschossdecken eingebaut. Diese Rohre geben die gewonnene geothermische Energie an die Räume ab.



Rostock: DIAG Businesscenter

Auf der Silohalbinsel des Stadthafens der Hansestadt Rostock entstand durch Neubau bzw. Modernisierung der ehemaligen Silogebäude Silo 4 und 5 das architektonisch sowie energietechnisch innovative Businesscenter der Deutschen Immobilien 1. Verwaltungsgesellschaft mbH & Co. KG (DIAG, Rostock). Der Komplex wurde Ende 2003 fertiggestellt. Die Planer hatten schon in den ersten Entwürfen eine Bauteilaktivierung des Businesscenters vorgesehen und damit die Voraussetzung für eine wirtschaftliche thermische Nutzung des Untergrunds geschaffen. Ein Großteil des Wärmebedarfs und der gesamte Kühlbedarf wird durch ein innovatives Heiz- bzw. Kühlsystem in das Gebäude gebracht. Die schwierigen Baugrund-

verhältnisse am Standort erforderten u. a. den Einbau von Gründungspfählen. Durch die geothermische Nutzung von ohnehin aus statischen Gründen erforderlichen 300, jeweils 19 m langen Pfählen, konnten erhebliche Kosten eingespart werden. Ergänzend dazu wird auch Oberflächenwasser aus dem Hafenbecken mittels einer Wärmepumpe thermisch genutzt. Durch diese Maßnahmen wird das Businesscenter effizient, wirtschaftlich und umweltschonend mit Wärme oder Kälte versorgt

## Tipps für den Bau einer Erdwärmesondenanlage

Bei einer Erdwärmesondenanlage müssen die einzelnen Teile sinnvoll zusammenarbeiten. Energiequelle und Wärmepumpe müssen zueinander passen. Die Wärmepumpe selbst muss wiederum den Anforderungen angepasst sein, die das Haus stellt und die man im Hinblick auf Wohnqualität und persönlichem Komfort erwartet.

Die Auslegung und Ausführung einer Erdwärmesondenanlage muss gemäß der Richtlinie VDI 4640 (Thermische Nutzung des Untergrundes) durchgeführt werden. Jedes Unternehmen, das sich mit dem Bau von Erdwärmesondenanlagen befasst, kennt diese Richtlinie. Jedes ordentlich arbeitende Unternehmen wird seine Anlagen auf der Basis dieser Richtlinie erstellen.

Erdwärme ist ein so genannter bergfreier Bodenschatz, dessen Nutzung vom Staat konzessioniert wird. Nach § 4 BBergG (Bundesberggesetz) entfällt dies jedoch, wenn Erdwärme unter einem Grundstück für die Nutzung auf dem

gleichem Grundstück (hier also für die Heizung) gewonnen wird. Nur ab einer Bohrtiefe von über 100 m müssen nach §127 BBergG die Bergbehörden wegen einer Genehmigung der tiefen Bohrung eingeschaltet werden. Bergrechtliche Verfahren sind ansonsten nur erforderlich, wenn z. B. bei größeren Anlagen die Nutzung die Grundstücksgrenzen überschreitet.

Grundsätzlich muss bei der Unteren Wasserbehörde des Kreises eine wasserrechtliche Erlaubnis beantragt werden. Es gibt Ausnahmen: Einige Wasserämter verlangen nur eine Bohrungsanzeige und in einigen Bundesländern (Baden-Württemberg, Hessen) sind für kleine Anlagen vereinfachte Verfahren möglich.

Der Grundstückseigner haftet für eventuelle, auch durch den Brunnenbauer, verursachte Schäden im Untergrund.

Verantwortlich für die Erlaubnis ist grundsätzlich der Grundstückseigner. Die Anträge sollten vom Bohrunternehmer bzw. von dem mit dem Bau der Anlage beauftragten Planer in Zusammenarbeit mit dem Grundstückseigner gestellt werden.

Der Bereich bis zu einer Tiefe von ca. 15 m wird maßgeblich von der im Winter nicht stetigen Sonneneinstrahlung beeinflusst. Ab 15 m ist der jahreszeitlich unabhängige, stetige geothermische Wärmefluss entscheidend. Aus diesem Grund ist es in den meisten Fällen sinnvoll, statt vieler kleiner Bohrungen eine oder zwei tiefe Bohrungen auszuführen.



## Folgende Anforderungen sind wichtig:

### *Anforderungen an die Erdwärmesonde:*

Entsprechend VDI 4640 (Blatt 2, Punkt 5.2.2) ist die Verbindung zwischen Sondenfuß (Umlenkung) und den Sondenrohren im Herstellerwerk der Sonden selbst anzufertigen. Der Sondenfuß einschließlich seiner Verbindungen muss einer Druckprobe mit dem 1,5fachen des Materialnenndruckes unterzogen werden. Beispiel: Material PE 100, PN 16 bedeutet Druckprobe ca. 23-24 bar. Die Prüfergebnisse sind in einem Zeugnis zu dokumentieren. Das ist wichtig für die Gewährleistung! Die Erdwärmesonden werden komplett gleich auf der Rolle auf die Baustelle geliefert und können sofort in die Bohrung eingebaut werden. Komplettsonden sind Qualitätsware. Es gibt Billigeres aber nichts Preiswerteres. Werden Sie misstrauisch, wenn Ihnen ein Unternehmen von Komplettsonden abrät.

### *Anforderungen an die Verfüllung*

Der Bohrlochringraum, d.h. der Raum zwischen der Bohrlochwand und der Sonde, muss sorgfältig verfüllt werden. Über diese Verfüllung wird die Wärme vom Gestein bzw. vom umgebenden Boden zur Sonde transportiert. Als Verfüllmaterial sollte eine Bentonit-Zement-Suspension, möglichst mit wärmeleitenden Zusätzen, eingesetzt werden. Entsprechende Markenprodukte sind erhältlich.

Manchmal wird auch Kies oder Sand empfohlen. Dies ist nur dann sinnvoll, wenn der Grundwasserspiegel bereits wenige Meter unter der Oberfläche ansteht, und nur erlaubt, wenn die Wasserbehörden dem zustimmen. Nach VDI 4640 darf Kies oder Sand sowieso nur bis in eine Tiefe von 50 m eingebracht werden.

### *Anbindeleitungen und Verteiler*

Auch für die Verbindungsleitungen von den Erdwärmesonden zur Wärmepumpe ist die nötige Sorgfalt bei Verbindungen (Schweißen) und Verlegung gefordert.

Es ist zwar nur extrem selten der Fall, aber es kann vorkommen, dass z.B. durch Einwirkung von außen, das System undicht wird. Ist ein Verteiler eingebaut, kann dieser Fehler sehr schnell und genau lokalisiert werden. Dieser betroffene Kreis wird dann abgesperrt und repariert, während die Gesamtanlage in Betrieb bleiben kann. Sollte eine Anlage ohne Verteiler gebaut werden, kann eine Undichtigkeit nur sehr schwer lokalisiert werden. Damit fiel dann die komplette Anlage aus. Jedes ehrlich und korrekt arbeitende Fachunternehmen erstellt Erdwärmesonden, die problemlos über Jahrzehnte betrieben werden können.

## **Für kühle Rechner: Preiswerte Klimakälte direkt aus der Erde**

Warum soll man für die Klimatisierung in einem Gebäude mehr Geld ausgeben als nötig? Mit den 9 – 12 °C in unserem Boden kann man nicht nur heizen, sondern sie sind auch perfekt für die Klimatisierung der Räume geeignet. Eine Wärmepumpe ist dafür gar nicht nötig.

Klimakälte kann man über Erdwärmesonden, Energiepfähle, Grundwasserbrunnen usw. direkt aus dem Boden in das Gebäude leiten. Dabei wird nur die in der Anlage kreisende Wärmeträgerflüssigkeit genutzt bzw. mit Pumpen im Gebäude umgewälzt. Der Energieaufwand beschränkt sich auf den Stromverbrauch eben dieser Pumpen. Herkömmliche Aggregate zur Erzeugung von Klimakälte entfallen. Mit 1 kWh elektrischer Energie können bis zu 100 kWh thermischer Energie bereitgestellt werden.

Bei höheren Leistungsanforderungen an die Kühlanlage kann aber auch die Wärmepumpe als Kühlaggregat arbeiten und die anfallende Verflüssiger-Abwärme an die Erde abgeben. Hierbei wird zwar deutlich mehr Antriebsenergie benötigt als für die vorgenannte direkte Kühlung, die Anlagen sind aber immer noch deutlich effektiver als konventionelle Klimaanlage.

Da der teure unterirdische Teil für zwei Aufgaben herangezogen werden kann, wird die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems enorm verbessert. So können u. U. bereits die Investitionskosten für eine Erdwärmeanlage zum Heizen und Kühlen günstiger sein als der Einbau einer konventionellen Heizung und einer getrennten Anlage zur Erzeugung von Klimakälte. Das trifft insbesondere dann zu, wenn keine eigenen Bohrungen abgeteuft werden müssen, sondern statisch bedingte Bauteile, also Energiepfähle usw., einbezogen werden können.

Heizöl- oder Erdgasheizungen müssen ständig mit fossiler Energie gefüttert werden. Wer Erdwärme nutzt, investiert zwar anfangs mehr in die Heizanlage, holt diese Mehrkosten bei richtiger Planung aber wieder herein. Besonders bei größeren Objekten und vor allem dort, wo auch noch Kühlbedarf abgedeckt werden soll, sind Erdwärmeanlagen den konventionellen Systemen wirtschaftlich überlegen. Meist sind es neben den ökologischen auch wirtschaftliche Gründe, die Investoren dazu bringen, sich für den Einsatz der Geothermie zu entscheiden. So auch bei folgenden Beispielen:

#### *Aachen: Passivhaus-Verwaltungsgebäude*

Passivhäuser haben nur noch einen sehr geringen Energiebedarf. Was bleibt, kann sehr gut über den Untergrund abgedeckt werden: Ein Beispiel ist das Passivhaus-Büro- und -Verwaltungsgebäude der VIKA Ingenieurgesellschaft in der Solarsiedlung Schurzelter Straße in Aachen. Die Nutzfläche des Komplexes beträgt 2 100 m<sup>2</sup>. Die Wärme- und Klimakälteversorgung erfolgt über eine Erdwärmesondenanlage, die Wärmeverteilung über Betonkerntemperierung. Der Heizbedarfs wird über eine erdgekoppelte Wärmepumpe bereitgestellt. Diese arbeitet mit einer Jahresarbeitszahl von 4,5. Die Klimatisierung erfolgt direkt über das Erdreich. Wegen des Wegfalls der elektrischen Kälteerzeugung kann das Kühlsystem mit einer Jahresarbeitszahl von 20 betrieben werden, d. h. mit 1 kW des eingesetzten Stroms werden 20 kW Kühlbedarf erzeugt. Für das Gebäude mussten insgesamt 28 Bohrungen mit einer Tiefe von jeweils 43 m abgeteuft werden. Über dem Sondenfeld befindet sich heute der Parkplatz des Gebäudes. Nach dem Bohren der ersten Erdwärmesonde wurde an dieser ein Geothermal Response Test durchgeführt.



Geothermal Response Tests liefern Daten aus dem Umfeld der Bohrung, z. B. über die Wärmeleitfähigkeit des Bodens, also darüber, wie viel Wärme der Untergrund am Standort in einer bestimmten Zeit an die Bohrung heranbringen kann. Wichtig sind diese Tests für die Planung von Erdwärmesondenfeldern, um zu verhindern, dass sich die einzelnen Sondenbohrungen in ihrer Leistung beeinträchtigen können. Der gesamte Komplex verbraucht nicht mehr Energie als ein normales Einfamilienhaus. Zum Zeitpunkt seiner Fertigstellung Mitte 2002 gehörte der Bau zu den 25 umweltfreundlichsten Bürogebäuden Deutschlands.

#### *Langen: Niedrigenergie-Bürogebäude der Deutschen Flugsicherung*

Die Deutsche Flugsicherung errichtete in Langen ein Bürogebäude für 1 200 Mitarbeiter. Der Komplex verfügt über insgesamt 57 800 m<sup>2</sup> Geschossflächen, von denen rund drei Viertel beheizt und klimatisiert werden müssen. Die Kälte- und Wärmeenergiege-



winnung erfolgt mittels 154 Erdwärmesonden von je 70 m Tiefe.

Im Sommer wird das aus der Erdwärmesondenanlage kommende kalte Wasser direkt zum Kühlen dieser Betondecken genutzt. Es erwärmt sich dabei und wird anschließend wieder durch die Erdwärmesonden gepumpt, wo es die Wärme an das Erdreich abgeben kann. Durch diese Zirkulation erwärmt sich der Unter-

grund langsam. Diese Wärme wird im Winter wieder entzogen und über Wärmepumpen zu Heizzwecken eingesetzt. Das System ist so ausgelegt, dass die Energiebilanz im Untergrund langfristig ausgeglichen bleibt.

*Donaueschingen: Sparkassenzentrale*



2003 nahm die Sparkasse Donaueschingen ihre neue Zentrale in Betrieb. Klimatisiert wird das in der Innenstadt gelegene Gebäude über 56 zwischen 90 und 100 m tiefe Erdwärmesonden. Sie kühlen im Sommer das komplette Gebäude, mit rund 3 500 m<sup>2</sup> großen thermoaktiven Kühldecken, im Winter unterstützt das Erdwärmesondenfeld die Beheizung des Gebäudes über eine Wärmepumpen-Anlage.

## Energie speichern mit Geothermie

Im Sommer liefert unser Klima ein Überangebot an Wärme, im Winter besteht bekanntlich ein Defizit. Sommerwärme im Winter, Winterkälte gegen die Sommerhitze: Geothermie macht 's möglich.

Es stehen verschiedene Speichertechnologien bzw. -alternativen zur Verfügung:

- Wärme- oder Kältespeicherung
- mit oder ohne Wärmepumpen
- Aquiferspeicher
- Erdwärmesondenspeicher

Gespeichert werden kann Abwärme, Umgebungswärme, Sonnenenergie.

**Aquiferspeicher** nutzen wasserführende Schichten im Untergrund, in denen das darin enthaltene Wasser nicht oder kaum fließt, die Wärme also nicht abtransportiert werden kann. Sie werden durch Brunnen erschlossen. Von der Oberfläche her eingeleitete Wärme heizt das Wasser dann auf. Da Gestein Wärme schlecht leitet, wirkt es wie eine Isolation. Damit die Wärmeverluste eines solchen Speichers im Rahmen bleiben, muss das Volumen möglichst groß bei kleiner Umgrenzungsfläche sein.

**Erdwärmesondenspeicher** sind Bohrungen, in denen die Wärme direkt an das umgebende Erdreich abgeführt wird. Egal ob Boden oder Aquifer, Sinn ist es, über die eingespeicherte Wärme dann wieder verfügen zu können, wenn man sie wirklich braucht.

*Rostock-Brinckmannshöhe: Wohnanlage „Helios“*

Der 1999/2000 in Rostock-Brinckmannshöhe in Niedrigenergiebauweise errichtete Gebäudekomplex beherbergt 108 Wohnungen mit einer Gesamtfläche von ca. 7 000 m<sup>2</sup>. Nach Vorgabe des Bauträgers WIRO waren deutlich mehr als 50 % des Gesamt-Wärmebedarfs aus Solarenergie zu beziehen. Das konnte nur unter Einbeziehung eines saisonalen Wärmespeichers verwirklicht werden. Auf den elf Einzeldächern sind Solarkollektoren mit einer Absorberfläche von 1 000 m<sup>2</sup> installiert.



Unter dem Grundstück befindet sich in ca. 15 bis 25 m Tiefe ein Grundwasserleiter. Dieser Aquifer wurde durch zwei Bohrungen mit einem Abstand von ca. 55 m erschlossen. Das aus dem kalten Brunnen mit einer Temperatur von 10 °C entnommene Wasser wird im Sommer durch Solarenergie erwärmt und in den warmen Brunnen injiziert. Im Winter wird die Strömungsrichtung umgekehrt. Anfangs beträgt die Fördertemperatur 45 °C. Im Verlauf der Heizperiode sinkt sie auf die natürliche Grundwassertemperatur ab. In das System ist eine Wärmepumpe mit 100 kW Heizleistung integriert, die die Grundwassertemperatur auf die in den Wohnungen benötigten Temperaturen bringt. Etwa 63 % der im Boden eingelagerten Solarwärme kann so bis in den Winter gerettet werden.

*Golm: Max-Planck-Campus*

In Golm bei Potsdam wurde 1999 von der Max-Planck-Gesellschaft ein neu errichteter Wissenschaftscampus, auf dem drei Institute angesiedelt sind, eröffnet. Für die Energieversorgung wurde eine Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) mit einem Erdwärmesondenfeld installiert. Zwei mit Erdgas betriebene Blockheizkraftwerke (BHKW) erzeugen Strom. Die Abwärme des Motors wird zum Heizen und für die Warmwasserbereitung genutzt. Im Sommer dient die anfallende Wärme als Antriebsenergie für eine Kältemaschine. Des Weiteren stehen u.a. ein Gaskessel sowie eine Kältemaschinen-Wärmepumpenkombination (Kälteleistung 563 kW, Heizleistung 361 kW) zur Verfügung. Das Erdwärmesondenfeld übernimmt die Aufgabe eines saisonalen Speichers.

Das Erdsondenfeld dient als saisonaler Speicher, der je nach Jahreszeit be- oder entladen wird und Kälte oder Wärme bereitstellt. Es besteht aus 160 Bohrungen von 105 m Tiefe. Es umfasst eine Fläche von 65 m x 50 m und ein Erdvolumen von ca. 400 000 m<sup>3</sup>. Für das gesamte Feld wird ein Speichervermögen von 2,24 MWh und eine Leistung von 538 kW angegeben.

*Neubrandenburg: Wärmespeicher für GuD-Kraftwerk*

Seit 1997 erzeugt in Neubrandenburg ein Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk (GuD-Kraftwerk) Strom und liefert Wärme für ein Fernwärmenetz. Der Energieinhalt des eingesetzten Erdgases wird so mit einem Wirkungsgrad von nahezu 90 % ausgenutzt. Letzteres klappt aber nur dann, wenn Strom und Wärme zum gleichen Zeitpunkt, an dem sie erzeugt werden, auch genutzt werden können – im Winter kein Problem. Im

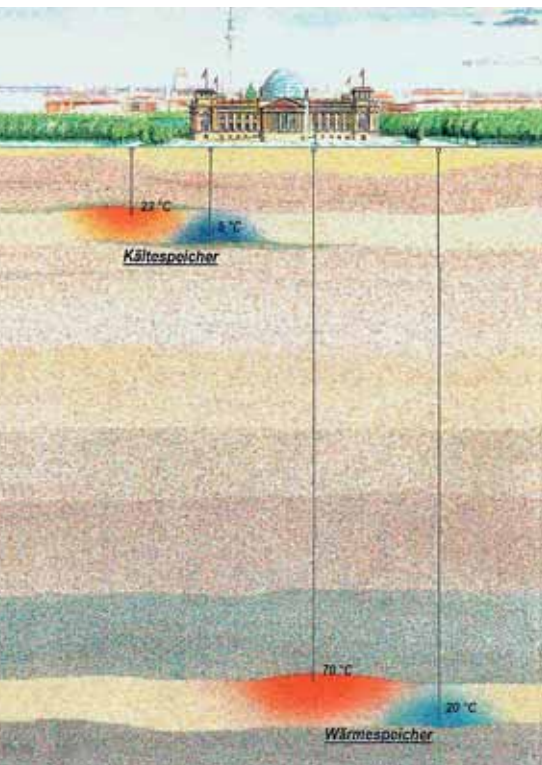


Sommer allerdings wird die Wärme nur zu einem geringen Teil benötigt. Es stellte sich die Frage, wie die im Sommer über die Kühltürme abgeführte Überschusswärme in den Winter verschoben werden könnte, um sie dann sinnvoll nutzen zu können.

In Neubrandenburg gibt es ein geothermisches Heizwerk, das von 1987 bis 1998 ein Wohngebiet und eine Körperbehindertenschule mit Heizwärme aus bis ca. 55 °C warmem Thermalwasser versorgte. Insgesamt vier Bohrungen, je zwei zum Fördern und Verpressen des Wassers mit Tiefen zwischen 1 200 m und 1 300 m, standen zur Verfügung. Das Thermalwasser ist sehr salzhaltig. Der Bohrstrang musste dringend saniert werden. Zusätzlich ergab sich auch hier das Problem mit dem sommerlichen Wärmeabsatz. Wegen der relativ niedrigen Thermalwassertemperaturen musste mit Gaskessel und Wärmepumpe nachgeheizt werden.

Die Idee war dann so einfach wie genial: Die Überschusswärme des Kraftwerks wird in die tiefen Erdschichten des geothermischen Heizwerks eingespeist, das im Sommer nicht ausgelastet ist. So wird die Temperatur in der Tiefe um 30 °C angehoben. Auf das Nachheizen kann verzichtet werden. Nun profitieren beide Energieerzeuger, insbesondere aber die Neubrandenburger Stadtwerke, denen die Anlagen gehören – und deren Kunden.

### *Berlin: Reichstag und Parlamentsbauten im Energieverbund*



Das Reichstagsgebäude und die umliegenden Büros und Dienstleistungseinrichtungen des Parlaments werden durch die gekoppelte Produktion von Strom, Wärme und Kälte mit Energie versorgt. Dazu gehören auch zwei Aquifer-Speicher.

Der erste, eine Salzwasser führende Sandsteinschicht in einer Tiefe von ca. 285 – 315 m, nimmt im Sommer die überschüssige Abwärme der mit Pflanzenöl betriebenen Blockheizkraftwerke auf und dient im Winter der Versorgung der in und zwischen den Gebäuden installierten Niedertemperaturheiznetzen. Das Wasser in dieser Tiefe hat eine natürliche Temperatur von 19 °C. Mit Einleitung der sommerlichen Abwärme wird sie auf 70 °C gesteigert. Im Winter sind davon noch etwa 65 °C erhalten, die dann genutzt werden können.

Der zweite Aquifer-Speicher, in einer Tiefe von ca. 60 m, dient der Versorgung des Parlaments mit Klimakälte. Er wird ebenfalls durch zwei Brunnengruppen erschlossen, die hier aus jeweils fünf Brunnen bestehen. Das im Speicher enthaltene Grundwasser wird im Winter bei niedrigen Außentemperaturen mit Trockenkühltürmen durch die Umgebungskälte bis auf 5 °C abgekühlt. Mit anderen Worten, die kalten Außentemperaturen werden in den Untergrund gebracht und kühlen dort das Wasser herunter. Im Sommer wird die Kälte wieder herausgeholt und über Kältenetze in den Gebäuden verteilt. Zusätzlich wird Klimakälte durch Absorptionskältemaschinen erzeugt, die durch die Abwärme der BHKW angetrieben werden. Der Rückkühlungsbedarf dieser Maschinen wiederum wird ebenfalls aus dem Speicher bedient, der sich nach und nach auf 30 °C erwärmt. Im folgenden Winter können diese Temperaturen dann als Wärmequelle für Absorptionswärmepumpen dienen.



## III. Service

### Gesetze und Förderprogramme

#### Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Die Neufassung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), gültig vom 1. August 2004, weist für die Einspeisung von Strom aus Geothermischen Kraftwerken folgende Vergütungssätze und Regelungen aus:

##### *§ 9: Vergütung für Strom aus Geothermie*

(1) Für Strom aus Geothermieranlagen beträgt die Vergütung

1. bis einschließlich einer Leistung von 5 Megawatt mindestens 15 Cent pro Kilowattstunde,
2. bis einschließlich einer Leistung von 10 Megawatt mindestens 14 Cent pro Kilowattstunde,
3. bis einschließlich einer Leistung von 20 Megawatt mindestens 8,95 Cent pro Kilowattstunde und
4. ab einer Leistung von 20 Megawatt mindestens 7,16 Cent pro Kilowattstunde.

(2) Die Mindestvergütungen nach Absatz 1 werden beginnend mit dem 1. Januar 2010 jährlich jeweils für ab diesem Zeitpunkt neu in Betrieb genommene Anlagen um jeweils ein Prozent des Vorjahreswertes gesenkt und auf zwei Stellen hinter dem Komma gerundet.

#### Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien

Auszug aus der Förderrichtlinie:

„Im Zusammenhang mit der ökologischen Steuerreform legte die Bundesregierung mit Wirkung vom 1. September 1999 ein Förderprogramm für „Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ auf, das mit Wirkung zum 1. Januar 2004 fortgeschrieben wurde. Die Fördersätze sollen ab 2005 degressiv gestellt werden. Die Förderung ist bis zum 31. Dezember 2006 befristet. Anträge können bis zum 15. Oktober 2006 an das BAFA bzw. die KfW gestellt werden. Antragsberechtigt sind Privatpersonen, freiberuflich Tätige sowie kleine und mittlere private gewerbliche Unternehmen sowie Kommunen und z.B. Körperschaften des öffentlichen Rechts.“

Gefördert wird die Errichtung von Anlagen zur Nutzung der Tiefengeothermie ohne Übernahme des Bohrrisikos und ggf. mit Förderung der Wärmeverteilung durch Nahwärmenetze. Die Konditionen sind den „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ vom 26. November 2003, veröffentlicht im Bundesanzeiger Nr. 234 vom 13. Dezember 2003, S. 25513, zu entnehmen bzw. unter [www.bafa.de/ener/bekanntm.htm](http://www.bafa.de/ener/bekanntm.htm) abzurufen (evtl. Aktualisierungen sind dort aufgeführt). Die Förderung erfolgt über die Kreditanstalt für Wiederaufbau als Darlehensfinanzierung und Teilschuldenerlass.“

*Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), Internet: [www.kfw.de](http://www.kfw.de)*

*Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), Internet: [www.bafa.de](http://www.bafa.de)*

## KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm

Das Gebäudesanierungsprogramm ist Bestandteil des Nationalen Klimaschutzprogramms vom 18. Oktober 2000 und dient der zinsgünstigen langfristigen Finanzierung von Investitionen zur CO<sub>2</sub>-Minderung und zur Energieeinsparung in Wohngebäuden des Altbaubestandes mit einem Energieeinspareffekt von mindestens 40 kg CO<sub>2</sub> pro m<sup>2</sup> Wohnfläche und Jahr. Bis 2005 wird dafür gut eine Milliarde Euro bereitgestellt. Die Mittel stehen über das KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm zur Verfügung. Gefördert werden Investitionsmaßnahmen an selbstgenutzten und vermieteten Wohngebäuden, die vor 1979 errichtet wurden. Anträge können von Privatpersonen, Wohnungsunternehmen oder -genossenschaften, Gemeinden, Kreisen, Gemeindeverbänden sowie sonstigen Körperschaften und Anstalten des öffentlichen Rechts gestellt werden.

Anlagen der oberflächennahen Geothermie sind förderfähig, wenn durch sie pro m<sup>2</sup> Wohnfläche und Jahr mindestens 40 Kilogramm CO<sub>2</sub> eingespart werden – was von einem Sachverständigen bestätigt werden muss. Details dazu enthalten die Förderrichtlinien.

Gefördert werden bis zu 100 % der Investitionskosten einschließlich Nebenkosten (Architekt, Energieeinsparberatung, etc.), maximal jedoch 250 Euro pro m<sup>2</sup> Wohnfläche.

Eine Kombination und kumulative Gewährung der KfW-Darlehen mit anderen Fördermitteln (z.B. Kredite oder Zulagen / Zuschüsse) und der Investitionszulage (gültig in den neuen Ländern, Investitionszulagengesetz 1999) ist möglich, sofern die Summe aus Krediten, Zulagen und Zuschüssen die Summe der Aufwendungen nicht übersteigt. Einzelne Teile der Maßnahmenpakete können auch über andere Programme der KfW gefördert werden (z.B. KfW-Programm zur CO<sub>2</sub>-Minderung, Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien).

*Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), Internet: [www.kfw.de](http://www.kfw.de)  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU),  
Internet: [www.bmu.de](http://www.bmu.de)  
Förderdatenbank des Bundes, BMWA, Internet: [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)*

## KfW-CO<sub>2</sub>-Minderungsprogramm

Das KfW-CO<sub>2</sub>-Minderungsprogramm bietet zinsgünstige, langfristige Darlehen an für Investitionen in Wohngebäuden, die einen Beitrag zur Energieeinsparung und CO<sub>2</sub>-Minderung leisten, sowie zur Errichtung von so genannten KfW-Energiesparhäusern. Finanziert werden bis zu 100 % des Investitionsbetrags bis zu einer Höchstgrenze von fünf Millionen Euro. Gefördert werden aus diesem Programm auch Investitionen an bestehenden und neuen Wohngebäuden mit erdgekoppelten Wärmepumpen.

*Gefördert werden unter anderem:*

- Investitionen an bestehenden und neuen Wohngebäuden in erneuerbare Energien, z.B. Wärmepumpen, solarthermische Anlagen, Fotovoltaik-Anlagen oder Biomasse-

und Biogas-Anlagen einschließlich der unmittelbar durch die Nutzung der Anlage veranlassten Maßnahmen und

- der Neubau von so genannten KfW-Energiesparhäusern (60 und 40). Dabei muss gewährleistet sein, dass der Jahres-Primärenergiebedarf beim KfW-Energiesparhaus 60 nicht mehr als 60 kWh je m<sup>2</sup> Gebäudenutzfläche ( $A_N$ ) sowie beim KfW-Energiesparhaus 40 nicht mehr als 40 kWh je m<sup>2</sup> Gebäudenutzfläche ( $A_N$ ) beträgt.

*Gefördert werden nur an bestehenden Wohngebäuden außerdem:*

- Wärmeschutzmaßnahmen an Dach, Fenstern, Kellern und Fassaden,
- die Installation von Brennwertkesseln,
- der Einbau von Niedrigtemperaturkesseln bei Beachtung der Anforderungen der Energieeinsparverordnung vom 16. November 2001 (BGBl. S. 3085),
- die Installation von Wärmeübergabestationen für Fern- und Nahwärmeversorgung,
  
- die Installation von solar unterstützten Nahwärmeversorgungen,
- die Installation von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen und
- die unmittelbar durch die Nutzung der jeweiligen Anlagen veranlassten Maßnahmen.

Anträge zur Förderung aus diesem Programm können alle Träger der Investitionsmaßnahmen an selbstgenutzten oder vermieteten Wohngebäuden stellen, Privatpersonen und Wohnungsunternehmen bei ihren Kreditinstituten, Gemeinden, Kreise, Gemeindeverbände sowie sonstige Körperschaften und Anstalten des öffentlichen Rechts direkt bei der KfW. Mit dem zu finanzierenden Vorhaben darf vor Antragstellung nicht begonnen werden.

## Weitere Informationen / aktuelle Konditionen

### *KfW Bankengruppe*

Palmengartenstraße 5-9  
60325 Frankfurt am Main  
Telefon: 069 7431-0  
Fax: 069 7431-2944

### *Beratungszentrum*

Bockenheimer Landstr. 104  
60325 Frankfurt am Main  
Telefon: 069 7431-3030  
Fax: 069 7431-1706

### *Infocenter*

Telefon: 0180 1 335577 (Ortstarif)  
Fax: 069 7431-64355  
E-Mail: [infocenter@kfw.de](mailto:infocenter@kfw.de)

### *Geothermische Vereinigung e.V.*

Gartenstraße 36  
49744 Geeste  
Telefon: 05907 545,  
Fax: 05907 7379  
Email: [info@geothermie.de](mailto:info@geothermie.de)

## Erklärung wichtiger Fachbegriffe

<i>abteufen:</i>	Erstellen einer Bohrung, eines Brunnens usw.
<i>Aquifer:</i>	wasserführende Schicht im Untergrund
<i>Aquiferspeicher:</i>	Wärme- oder Kältespeicher in einer wasserführenden Schicht, wird durch Förder- und Schluckbrunnen erschlossen
<i>Dublette (geothermische):</i>	System mit mindestens einer Förderbohrung und einer Verpressbohrung
<i>Energiepfahl:</i>	s. erdberührte Betonbauteile
<i>Enhanced Geothermal Systems (EGS):</i>	Mit technischem Einsatz erzeugte, wassergängige Kluftsysteme zur Gewinnung von Strom oder Wärme aus dem tiefen Untergrund.
<i>erdberührte Betonbauteile:</i>	in der Geothermie solche in den Untergrund errichteten statisch notwendigen Betonbauteile, die für die Gewinnung von Wärme oder Klimakälte genutzt werden. Werden Gründungspfähle so genutzt, so werden sie auch Energiepfähle genannt.
<i>Erdwärme:</i>	s. Geothermie
<i>Erdwärmekollektor:</i>	flache, normalerweise in 80 - 160 cm Tiefe verlegte Wärmetauschrohre, die an eine Wärmepumpe angeschlossen sind.
<i>Erdwärmesonde:</i>	senkrechte Bohrung, in die Rohre installiert werden. Es handelt sich gewöhnlich um Doppel-U-Rohre aus Kunststoff (meist PE). Diese sind mit einer Wärmeträgerflüssigkeit, normalerweise Wasser mit einem Frostschutzmittel, gefüllt, die die Wärme aus dem Erdreich aufnehmen und an die Oberfläche zur Wärmepumpe transportieren.
<i>Erdwärmesondenspeicher:</i>	zur Speicherung von Wärme oder Kälte genutztes Feld von Erdwärmesonden
<i>Frac:</i>	Schaffung künstlicher Wasserwegsamkeiten im Untergrund mittels hydraulischem Druck
<i>Geothermie:</i>	Geothermische Energie ist die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Oberfläche der festen Erde (Syn.: Erdwärme).
<i>Grundgebirge:</i>	Unter dem Sediment (oder Deckgebirge) befindlicher Teil der Erdkruste, besitzt ein höheres geologisches Alter
<i>Grundwasserleiter:</i>	s. Aquifer
<i>Grundwasserwärmepumpe:</i>	System aus Förder- und Schluckbrunnen, das Wärmeenergie aus dem oberflächennahen Grundwasser entnimmt und an eine Wärmepumpe weitergibt.

# Geothermie

## Service

<i>HDR:</i>	s. Hot-Dry-Rock
<i>Hot-Dry-Rock (HDR):</i>	System zur Gewinnung von Strom oder Wärme aus dem tiefen Untergrund. Dabei werden mit der Frac-Technologie zwischen mindestens zwei Bohrungen künstliche Wasserwegsamkeiten geschaffen.
<i>Hydrothermale Geothermie:</i>	Nutzung geothermischer Ressourcen in warmen oder heißen Tiefwasserschichten
<i>Injektionsbohrung:</i>	s. Verpressbohrung
<i>Kalina-Kreislauf:</i>	Niedertemperaturturbine, die anstelle von Wasserdampf mit einem Gemisch aus Wasser und Ammoniak angetrieben wird.
<i>Oberflächennahe Geothermie:</i>	Nutzung geothermischer Ressourcen bis ca. 400 m Tiefe.
<i>Organic-Rankine-Cycle (ORC-Turbine):</i>	Niedertemperaturturbine, die statt mit Wasserdampf mit einem organischen Arbeitsmittel betrieben wird, das bereits weit unter der Grenze von 100 °C verdampft.
<i>Schluckbrunnen:</i>	Bohrung, in die Wasser eingebracht wird.
<i>Sediment:</i>	Gesteinsschichten, die sich im Laufe der Erdgeschichte auf dem Grundgebirge abgelagert haben (auch Deckgebirge genannt).
<i>Teufe:</i>	Länge bzw. Tiefe einer Bohrung, eines Schachtes usw.
<i>Tiefe Erdwärmesonde:</i>	Tiefbohrung mit eingehängtem Wärmetausrohr, in dem eine Wärmeträgerflüssigkeit (z.B. Wasser) zirkuliert. Das Wasser erhitzt sich an den Außenwänden der Bohrung und wird über ein wärmeisoliertes Innenrohr wieder an die Oberfläche befördert.
<i>Verpressbohrung:</i>	gezieltes Einbringen von meist flüssigen Substanzen in den Gesteinsuntergrund unter Zuhilfenahme von Druck.
<i>Wärmepumpe:</i>	Gerät, das unter Einsatz von Antriebsenergie Wärme von einem niedrigeren Temperaturniveau auf ein höheres Temperaturniveau heben kann; gebräuchlich sind Kompressionswärmepumpen (meist elektrisch angetrieben), in denen ein Arbeitsmittel verdichtet und damit erwärmt wird, und Absorptionswärmepumpen, bei denen ein Stoff aus einer Lösung ausgetrieben wird (meist durch Gasbrenner) und sich später unter Wärmeabgabe wieder löst.

## Literatur und Materialien

*Adam, Christoph, Gläbler Walter & Hölting, Bernward:* Hydrogeologisches Wörterbuch, Enke bei Georg Thieme Verlag, 311 Seiten, Stuttgart/New York 2000, ISBN 3-13-118271-7

*Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen & Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie (Hrsg.):* Oberflächennahe Geothermie. Heizen und Kühlen mit Energie aus dem Untergrund. Ein Überblick für Bauherren, Planer und Fachhandwerker in Bayern, München 2003  
Bezug: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen – Referat Öffentlichkeitsarbeit, 80525 München, T: 089 2162 2303, F: 089 2162 2760, E: info@stmwvt.bayern.de

*Benner, M. & Hahne, E.W.P. (eds.):* TERRASTOCK 2000. 8th International Conference on Thermal Energy Storage. Proceedings. Volume 1 & 2, University of Stuttgart, Germany, ISBN 3-9805274-1-7, Stuttgart 2000

*BINE Informationsdienst:*

- BINE Projekt Info 06/99, Europäisches Geothermieprojekt Soultz-sous-Forêts
- BINE Projekt Info 02/00, Raumluftkonditionierung mit Erdwärmetauschern
- BINE Projekt Info 08/00, Solarunterstützte Nahwärme
- BINE Projekt Info 14/01, Neue Wärmepumpen-Konzepte für energieeffiziente Gebäude
- BINE Projekt Info 09/03, Geothermische Stromerzeugung in Neustadt-Glewe
- BINE Projekt Info 13/03, Aquiferspeicher für das Reichstagsgebäude
- basisEnergie 8: Geothermie
- basisEnergie 10: Wärmepumpen

*je 4 S., ISSN 0937 – 8367, Einzelexemplare kostenlos bei:* Fachinformationszentrum Karlsruhe, Büro Bonn, Merchenstraße 57, 53129 Bonn, T: 0228 923 79 0, 0228 923 79 29, Email: bine@fiz-karlsruhe.de  
elektronische Version unter <http://www.bine.info>

*Brandenburgische Technische Universität Cottbus & Projektträger BEO/Forschungszentrum Jülich GmbH (Hrsg.):* Erdgekoppelte Wärmepumpen zum Heizen und Klimatisieren von Gebäuden - Tagungsband OPET-Seminar 18.-19.5.99 Cottbus, 110 Seiten, ISBN 3-932570-19-7, Geeste 1999

*Bundesministerium für Naturschutz und Umwelt, (Hrsg.):* Fachtagung „Geothermische Stromerzeugung - eine Investition in die Zukunft“ 20./21.06.2002, Landau/Pfalz. Tagungsband, Berlin 2002

*W. J. Eugster & L. Laloui (eds.):* Geothermische Response Tests, im Verlag der Geothermischen Vereinigung, Geeste 2002, 130 Seiten, ISBN 3-932570-43-X

*FIZ Karlsruhe (Hrsg.):* CD ROM-Datenbank Geothermie. Eggenstein-Leopoldshafen, März 2004, 68,- € Bezug: FIZ Karlsruhe, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, infodienste@fiz-karlsruhe.de

*Forum für Zukunftsenergien e.V. & Geothermische Vereinigung e.V., Hrsg:* Geothermische Fachtagung 1992 - Technologie, Ökologie, Ökonomie, Bonn/Neubrandenburg/Geeste 1993, ISBN 3-932570-00-6 (Restauflage)

*Geologischer Dienst NRW:* Geothermie. Digitale Karten. Daten zum oberflächennahen geothermischen Potenzial für die Planung von Erdwärmesondenanlagen, CD, Neuauflage, Krefeld, Juni 2004

*Geothermie Neubrandenburg GmbH:* Bewertung der geologischen und verfahrenstechnischen Möglichkeiten einer praktischen Nutzung geothermischer Energie im Bundesland Bremen, CD, Bremer Energie-Konsens, Bremen Februar 2004.

*Geothermische Vereinigung e.V. (Hrsg.): Firmen- und Beraterverzeichnis, Neubrandenburg/Geeste, 2004*  
Print-Version, ISBN 3-932570-44-8 · CD-Version, ISBN 3-932570-45-6

*Geothermische Vereinigung (Hrsg.): Erdwärme zum Heizen und Kühlen. Potentiale, Möglichkeiten und Techniken der Oberflächennahe Geothermie. Kleines Handbuch der Geothermie. Band 1. Red.: Sanner, B. & Bußmann, W., 113 S., Geeste, 4. Auflage April 2004, ISBN 3-932750-21-9*

*Geothermische Vereinigung, (Hrsg.): Start in eine neue Energiezukunft, 1. Fachkongress Geothermischer Strom, Tagungsband Neustadt-Glewe, ISBN 3-932570-49-9, 217 Seiten*  
CD-Version: ISBN 3-932570-50-2,

*Geothermische Vereinigung, (Hrsg.): 20 Jahre Tiefe Geothermie in Deutschland. Tagungsband zur 7. Geothermischen Fachtagung, Waren (Müritz), im Verlag der Geothermischen Vereinigung, Geeste, November 2002, CD-Version, ISBN 3-932570-47-2*

*Geothermische Vereinigung. Hrsg.: Erdwärme zum Heizen und Kühlen. Zukunft für saubere Energie Erdwärmesonden, Wärmepumpen und Energiepfähle. Video, 13:20 Minuten, 1999*  
ISBN 3-932570-18-9

*Geothermische Vereinigung (Hrsg.): Geothermie als Teil kommunaler Energiekonzepte. Tagungsband des Geothermie-Symposiums Rheinsberg, Geeste 1997, 70 S., ISBN 3-9325070-06-5*

*Geothermische Vereinigung & Stadtwerke Straubing (Hrsg.): Geothermie: Forschung Entwicklung Markt, ISBN 3-932570-14-6, Tagungsband der 5. Geothermischen Fachtagung*

*Kaltschmitt, M. & Wiese, A. (Hrsg.): Erneuerbare Energien.*  
3. Aufl., Springer Verlag Berlin/Heidelberg/New York. 2003

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

*Knoblich, K., Sanner, B., Klugescheid, M.: Energetische, hydrologische und geologische Untersuchungen zum Entzug von Wärme aus dem Erdreich. Giessener Geologische Schriften 49, 192 S., Gießen, 1993*

*Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.): Geothermie, eine Perspektive für Schleswig-Holstein, Flintbeck Oktober 2001, 55 Seiten, ISBN 3-923339-67-4. Bezug: Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein, Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbeck, 04347 704 230, Fax: 04347 704 702*

*Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (Hrsg.): Geothermie – Geologische Karte von Mecklenburg-Vorpommern 1:500 000, bearbeitet von Gerhard Katzung & Herbert Schneider, ISBN 3-9804117-7-X, Güstrow 2000*

*Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Hrsg.: Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden, Stuttgart, September 1998, 3. Auflage 2001*

*Sanner, B., Klugescheid, M., Knoblich, K., Gonka, T.: Saisonale Kältespeicherung im Erdreich. - Giessener Geologische Schriften 59, 181 S., Gießen, 1996*

*Sanner, B.: Erdgekoppelte Wärmepumpen, Geschichte, Systeme, Auslegung, Installation. Ber. IZW 2/92, 328 S., ISSN 0940-3442, FIZ Karlsruhe, 1992*



## Fachzeitschriften

### Geothermische Energie

überwiegend Deutsch, 4 Ausgaben pro Jahr. Bezug über Geothermische  
Vereinigung e. V., Online-Version: [www.geothermie.de](http://www.geothermie.de)

### Geothermics

Englisch, 6 Ausgaben pro Jahr, Pergamon, Elsevier Ltd., ISSN: 0375-6505

### Adressen

#### *Fachverbände*

Geothermische Vereinigung e.V. (GtV)  
Geschäftsstelle  
Gartenstr. 36  
49744 Geeste  
Deutschland  
Teledon: +49 (0) 5907 – 545  
Fax: +49 (0) 5907 – 7379  
Email: [geothermische-vereinigung@t-online.de](mailto:geothermische-vereinigung@t-online.de)  
Internet: <http://www.geothermie.de>  
Vorsitzender: Dr. Burkhard Sanner,  
<http://www.sanner-geo.de>

European Geothermal Energy Council (EGEC)  
19 Avenue des Arts-  
1210 Brüssel, Belgien  
Telefon: +32 2 223 6374  
Fax: +32 2 223 4866  
Email c/o: [geothermische-vereinigung@t-online.de](mailto:geothermische-vereinigung@t-online.de)

International Geothermal Association (IGA)  
c/o EnelGreenPower  
Via A. Pisano 120  
56122 Pisa, Italien  
Tel: +39 050 618 5891  
Fax: +39 050 618 5893  
Email: [igasec@enel.it](mailto:igasec@enel.it)  
Achtung: Ab Ende 2004 neue Adresse in Island,  
genaueres wird zu finden sein unter:  
<http://iga.igg.cnr.it/>

Schweizerische Vereinigung für Geothermie (SVG)  
c/o Bureau Inter-Prax  
Dufourstrasse 87  
2502 Biel, Schweiz  
Tel./Fax: +41 32 341 45 65  
E-Mail: [svg-ssg@geothermal-energy.ch](mailto:svg-ssg@geothermal-energy.ch)

#### *Anschriften von Fachunternehmen*

Firmen- und Beraterverzeichnis der Geothermischen  
Vereinigung e. V (GtV) im Internet: <http://www.geothermie.de>

#### *Forschungseinrichtungen*

Bundesanstalt für Geowissenschaften und  
Rohstoffe (BGR)  
Stilleweg 2  
D-30655 Hannover  
Tel: 0511 643 0  
Fax: 0511 643 2304  
Email: [poststelle@bgr.de](mailto:poststelle@bgr.de)

GeoForschungsZentrum Potsdam  
Stiftung des Öffentlichen Rechts  
Telegrafenberg  
D-14473 Potsdam  
Tel.: 0331 288 0  
Email: [presse@gfz-potsdam.de](mailto:presse@gfz-potsdam.de)

GGA-Institut  
Stilleweg 2  
D-30655 Hannover  
Tel: 0511-643-3496  
Fax: 0511-643-3665  
Email: [poststelle@gga-hannover.de](mailto:poststelle@gga-hannover.de)

Institut für Energetik und Umwelt gGmbH  
Torgauer Str. 116  
D-04347 Leipzig  
Tel: 0341 2434 112  
Fax: 0341 2434 133  
Email: [info@ie-leipzig.de](mailto:info@ie-leipzig.de)

Ruhr-Universität Bochum  
Lehrstuhl für Energiesysteme und  
Energiewirtschaft  
und AG Gesteinsphysik  
Universitätsstrasse 150  
D-44801 Bochum  
Tel: 0234 32-26367  
Fax: 0234 32-14158  
Email: [kattenstein@lee.ruhr-uni-bochum.de](mailto:kattenstein@lee.ruhr-uni-bochum.de)

RWTH Aachen  
Projektgruppe Super C Geotherm  
Lehrstuhl und Institut für Markscheidewesen  
Wüllnerstr. 2  
D-52062 Aachen  
Tel.: +49-(0)241-809-5690  
Fax.: +49-(0)241-809-2150  
Email: [info@superc.rwth-aachen.de](mailto:info@superc.rwth-aachen.de)

TU Bergakademie Freiberg  
Institut für Bohrtechnik und  
Fluidbergbau  
Agricolastraße 22  
D-09596 Freiberg  
Tel.: 03731 392494  
Fax.:03731 392502  
Email: [beyer@bohr1.tbt.tu-freiberg.de](mailto:beyer@bohr1.tbt.tu-freiberg.de)

## Internet

Geothermische Vereinigung e.V. (GtV):  
<http://www.geothermie.de>

International Geothermal Association (IGA):  
<http://iga.igg.cnr.it>

Schweizerische Vereinigung für Geothermie (SVG):  
<http://www.geothermal-energy.ch/>

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe  
(BGR): <http://www.bgr.de>

GGA-Institut: <http://www.gga-hannover.de>

GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ):  
<http://www.gfz-potsdam.de>

Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Leipzig:  
<http://www.ie-leipzig.de/>

EEIG Heat Mining: [www.soultz.net](http://www.soultz.net)

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule,  
Aachen (RWTH): [www.superc.rwth-aachen.de](http://www.superc.rwth-aachen.de)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und  
Reaktorsicherheit (BMU):  
<http://www.erneuerbare-energien.de/>

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

Grundgesetz, Artikel 20 A

**Kontakt:**  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
Referat Öffentlichkeitsarbeit  
D - 11055 Berlin  
Fax: (01888) 3 05 - 20 44  
Internet: [www.bmu.de](http://www.bmu.de)  
E-Mail: [service@bmu.bund.de](mailto:service@bmu.bund.de)

Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit der Bundesregierung.  
Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt.  
Der Druck erfolgt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.

