



Geothermie

Innere der Erde ist heiß, wie Vulkane und Geysire zeigen. Diese Wärme zu nutzen, ist Ziel der Geothermie. Weltweit gesehen gehört sie zu den ergiebigsten erneuerbaren Energiequellen. Auch in Deutschland gibt es aussichtsreiche Ideen und Projekte, zukünftig Erdwärme stärker zu nutzen.

EINLEITUNG

Bergleuten war es seit Jahrhunderten bekannt. Je tiefer man in das Innere der Erde vordringt, desto wärmer wird es. Vulkane und Geysire sind weitere Zeugen für den nach wissenschaftlichen Berechnungen 4.000 – 5.000°C heißen Kern der Erde. Die Distanz von der Erdoberfläche zum -mittelpunkt (Radius) beträgt ca. 6.400 km. Nur auf den ersten 10 km, der oberen Erdkruste, findet alle Energie- und Rohstoffgewinnung statt. Mit Tiefbohrprojekten hat man bislang eine maximale Tiefe von ca. 12 km erreicht. Alle Kenntnisse über die Verhältnisse in größeren Tiefen wurden indirekt, d. h. mit geophysikalischen Methoden, ermittelt.

Die Nutzung der Erdwärme durch Menschen begann vor einigen tausend Jahren mit dem Baden in warmen Quellen (Thermalquellen). Im Vordergrund standen Reinigung und Gesundheit sowie religiöse und spirituelle Zwecke. Derartige Badetraditionen sind u. a. von den Maoris aus Neuseeland, aus Japan und China, von den Römern, Türken, frühen Isländern und auch einigen Indianerstämmen Nordamerikas bekannt. Kurorte mit Thermalquellen waren in Europa oft Ausgangspunkt für den Übergang zur technischen Nutzung der Erdwärme.

Erdwärme kann aus unterschiedlichen Tiefen entnommen werden. Die oberflächennahe Wärme bis etwa einige 100 m

Tiefe nutzen erdgekoppelte Wärmepumpen und tiefe Erdsonden. In größeren Tiefen werden die mancherorts im Gestein vorhandenen Schichten warmen Wassers durch die hydrothermale Geothermie erschlossen. Um auch die Wärme des tiefen, kristallinen Gesteins gewinnen zu können, wurde das Hot-Dry-Rock-Verfahren entwickelt. In vulkanisch aktiven Gebieten lassen sich Dampfplager und heißes Gestein

zur Warmegewinnung nutzen. Dieses ist wirtschaftlich besonders attraktiv, da die Wärme hier in geringer Tiefe auf einem vergleichsweise hohen Temperaturniveau vorliegt und Bohrkosten meist gering sind.

Anlagen zur Nutzung der hydrothermalen Geothermie werden im Oberrheingraben sowie im Nordosten und im Süden Deutschlands betrieben und seit einigen Jahren für die Fernwärmeversorgung genutzt. Das Hot-Dry-Rock-Verfahren steckt noch stärker in der Forschung. Im elsässischen Soultz-sous-Forêts wird derzeit ein Versuchskraftwerk als gemeinsa-

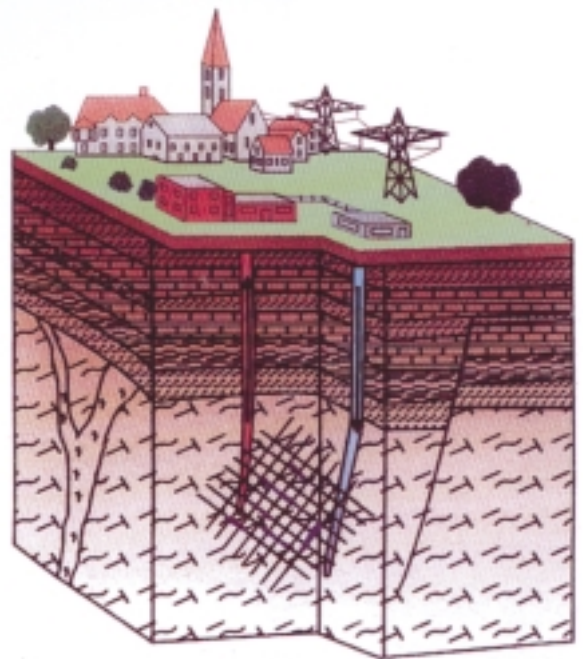


Abb. 1 Modell eines geothermischen Kraftwerks.

mes europäisches Projekt, mit deutscher Beteiligung, errichtet. Forschung und Entwicklung zu beiden geothermischen Verfahren wurden durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gefördert. Ziel ist, vorhandene Potenziale der Geothermie zu erschließen und die Nutzung wirtschaftlich attraktiver zu machen.

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Heißes Erdinnere
- > Erdgekoppelte Wärmepumpen
- > Hydrothermale Geothermie
- > Hot-Dry-Rock-Verfahren

GEOLOGISCHE & PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

Die Erdmasse ist etwa zu 99% heißer als 1000°C und nur zu 0,1% kälter als 100°C. Die technische Nutzbarkeit der Erdwärme hängt von den geologischen und hydrogeologischen Bedingungen am Standort ab. Der Aufbau der Gesteinsschichten (z. B. Sandstein oder Granit) wird durch Bohrungen und vorhandene Kartenwerke ermittelt. Für eine geothermische Nutzung sind z. B. die Größe der Risse bzw. der Poren in einem Gestein entscheidend. Besonders wichtig für einen geothermischen Standort sind die wasserführenden Schichten (Aquifere), da Wasser Wärme besser transportieren kann als Gestein (z. B. Konvektion). Auch in Tiefen bis 5 km sind Gesteinsschichten fast immer von kleinen Rissen und großen Rissystemen (Klüfte) durchzogen, in denen Wasser zirkuliert. Das war ein unerwartetes Ergebnis des kontinentalen

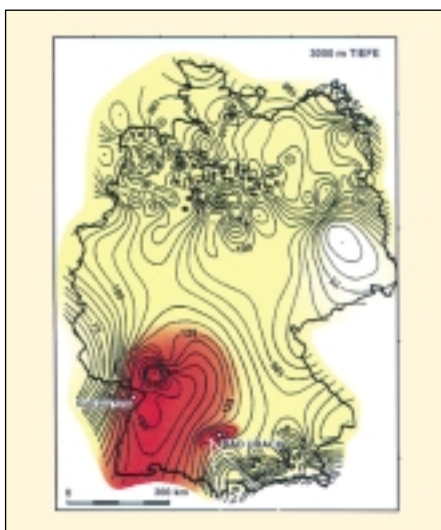


Abb. 2 Temperaturverteilung in Deutschland in 3.000 m Tiefe.

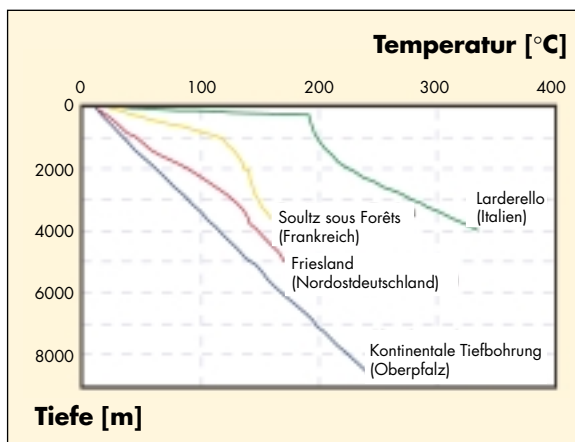


Abb. 3 Geothermischer Gradient für Standorte in der Oberpfalz, Oberrheingraben und der Toskana im Vergleich. (Quelle: M. Kaltschmitt, → Literatur S. 4)

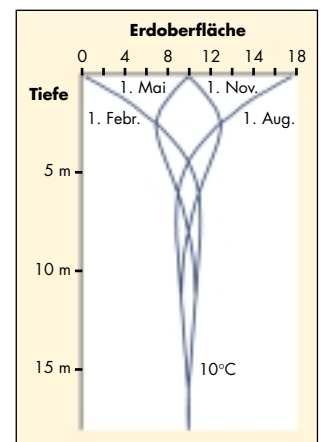


Abb. 4 Einfluss der Jahreszeiten auf die Temperatur der obersten Erdschichten.

Tiefbohrprogramms in der Oberpfalz; bislang hatte man in großer Tiefe nur heißes, trockenes Gestein erwartet.

In vulkanisch aktiven Regionen gelangt flüssiges, heißes Gestein aus dem Erdinneren in die Nähe oder bis ganz zur Oberfläche. Dieses ist u. a. eine Folge der Bewegung der großen Erdplatten (Plattentektonik) und den daraus resultierenden Spannungszonen. In vulkanisch nicht aktiven Regionen nimmt normalerweise die Temperatur um 3°C pro 100 m Tiefe zu. Fällt der Temperaturanstieg stärker aus, liegt eine geothermische Wärmeanomalie (Abb. 3) vor. Beispielsweise liegt Soultz-sous-Forêts (elsässischer Oberrheingraben) im Zentrum der größten Wärmeanomalie Mitteleuropas (Abb. 2). Hier herrschen in 1.000 m Tiefe bereits 100°C. Ursache hierfür sind aufsteigende, heiße Tiefenwässer.

Die Wärme des Erdinneren entstammt zu etwa 2/3 aus dem Zerfall natürlicher, radio-

aktiver Isotope (z. B. Uran, Thorium, Kalium) und etwa 1/3 aus der Wärmezufuhr des Erdkerns. Die hier gespeicherte Wärme ist eine Folge der bei der Entstehung der Erde wirkenden Gravitationskräfte. Aus dem Erdinneren fließt beständig ein Wärmestrom im globalen Mittel von 0,063 W/m² an die Oberfläche. In vulkanisch aktiven Gebieten kann er auch bis zu 0,8 W/m² betragen. Zum Vergleich: Die Sonneneinstrahlung in Deutschland beträgt im Jahresmittel etwa 115 W/m². Allerdings beeinflusst die Sonne die Temperatur des Erdreichs nur auf den äußeren ca. 15-20 m, tiefer sind jahreszeitliche Schwankungen nicht mehr nachweisbar (Abb. 4).

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Wasserführende Schichten
- > Rissysteme
- > Wärmequellen

BOHRTECHNIK UND UMWELTPROBLEME

Für den Erfolg eines Geothermieprojekts sind die mindestens zwei Tiefbohrungen je Anlage (Abb. 6 und 8) entscheidend. Abhängig von der Art des geothermischen Verfahrens verursachen sie mehr als 40 % aller Kosten. In Deutschland ist der Untergrund bis 2.000 m allgemein detailliert erforscht und gut kartiert. Dieses ist u. a. ein Ergebnis systematischer, geologischer Kartierungen und von Suchbohrungen nach Erdöl oder Erdgas in früheren Jahrzehnten. Allerdings ausschlaggebend für den Erfolg einer konkreten Bohrung sind die lokalen Verhältnisse, besonders die Wasserführung. Bei jeder Bohrung besteht ein Risiko, z. B. in der berechneten Tiefe eine zu niedrige Temperatur anzutreffen. In Deutschland werden in den geothermischen Bohrungen häufig sehr salzhaltige Wässer (Ausnahme: Süddeutschland) gefunden, mit

	Hydrothermale Geothermie	Hot Dry Rock
Ziel	Wärme und Strom*	Strom (Wärme*)
Bohrtiefe	1.500 m – 3.000 m	3.000 m – 6.000 m
günstiger Temperaturbereich in der Bohrung	80 – 100°C	> 200°C

Abb. 5 Vergleich geothermischer Verfahren

einem Salzgehalt, der das Zehnfache von Meerwasser erreichen kann. Daher zirkulieren die geförderten Wässer in einem geschlossenen Kreislauf. Die in höheren Gesteinsschichten vorhandenen Trinkwasservorkommen können so wirksam geschützt werden.

Das salzhaltige Wasser führte anfänglich auch bei den verwendeten Rohren und anderen Bauteilen in den geothermischen Anlagen zu Korrosion. Daher werden seit

einigen Jahren erfolgreich Rohre eingesetzt, die innen mit Glasfaser beschichtet sind und so einen sicheren Schutz gegen Lecks und Wasserverluste garantieren.

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Bohrkosten
- > Salzgehalt
- > Korrosionsschutz

HYDROTHERMALE GEOTHERMIE

Bei der hydrothermalen Geothermie werden heiße Tiefenwässer gefördert, über einen Wärmetauscher geleitet und die gewonnene Wärme in ein Fernwärmenetz eingespeist. Salzhaltige Thermalwässer werden anschließend in einem zweiten Bohrloch wieder in ihr ursprüngliches Aquifer gepumpt (Abb. 6). Nur in Süddeutschland kann man heißes Süßwasser fördern. Hier kann das Wasser nach der Wärmeentnahme weiter für Trinkwasserzwecke genutzt werden. In Deutschland kommen für eine hydrothermale Geothermienutzung drei Gebiete in Frage: Nordostdeutschland (Mecklenburg-Vor-

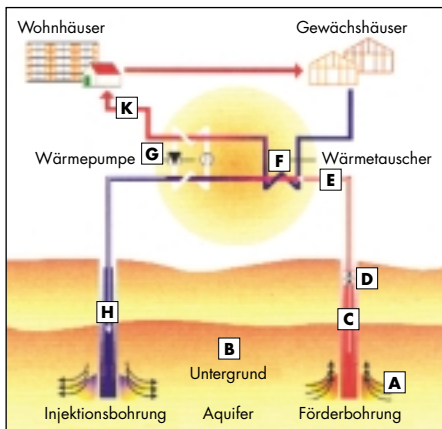


Abb. 6 Schema einer hydrothermalen Heizzentrale.

	Neustadt-Glewe	Waren	Erding	Straubing
Standort	Norddeutschland	Norddeutschland	Süddeutschland	Süddeutschland
Inbetriebnahme	1995	1984	1998	1999
Wärmelieferung				
- Insgesamt	23.700 MWh/a	10.150 MWh/a	49.000 MWh/a	19,2 MWh/a
- Davon geothermisch	22.200 MWh/a	4.100 MWh/a	15.000 MWh/a	7 MWh/a
Versorgte Wohneinheiten	1.760 WE, 21 Gewerbebetriebe, Lederwerk	1.705 WE	2.000 WE Öff. Gebäude	Öff. Gebäude Thermalbad
Mit Wärmepumpe	nein	ja	ja	ja
Temperatur des geförderten Wassers	95 - 98°C	62°C	65°C	38°C
Fördertiefe	2.250 m	1.565 m	2.350 m	825 m

Abb. 7 Kenndaten ausgewählter geothermischer Heizzentralen. (* Zum Vergleich: Ein modernes Niedrigenergiehaus mit 100 m² Fläche verbraucht pro Jahr etwa 5,5 – 7 MWh/a.)

pommern), Süddeutschland zwischen Donau und Alpen (Molassebecken) und der Oberrheingraben.

In die wasserführende Schicht (Abb. 6, B) werden zwei Bohrungen niedergebracht: eine Förderbohrung (C) und in einiger Entfernung (ca. 1 km) eine Injektionsbohrung (H). Eine Tauchpumpe (D) pumpt das heiße Wasser aus der Förderbohrung (A) in die oberirdische Thermalwasserleitung (E). In einem Wärmetauscher (F) wird die Wärme entzogen und über ein Fernwärmenetz (K) an die Verbraucher geliefert. Eine Wärmepumpe (G) kann in das System integriert werden. Seit 2003 wird erstmals an einer Anlage, in Neu-

stadt-Glewe, auch Strom aus hydrothermalen Geothermie gewonnen. Das abgekühlte Thermalwasser wird gefiltert und in das ursprüngliche Aquifer verpresst. Für den Wärmebedarf des Fernwärmenetzes an besonders kalten Tagen steht ein Öl- oder Gaskessel bereit. Man geht heute bei geothermischen Heizzentralen von einer mindestens 30-jährigen Nutzungsdauer aus.

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Aquifer
- > Fernwärme

HOT-DRY-ROCK (HDR)

Das Hot-Dry-Rock Verfahren nutzt die im kristallinen Gestein enthaltene Wärme. In der derzeitigen Entwicklungsphase konzentrieren sich die Arbeiten auf Regionen mit geothermischen Anomalien. Das „dry“ im Namen ist heute nur noch historisch, da man auch in größeren Tiefen immer wieder auf Wasser gestoßen ist. Bei einer HDR-Anlage gibt es mindestens je eine Förder- und eine Verpressbohrung sowie einen geschlossenen Wasserkreislauf (Abb. 8). Durch beide Bohrungen wird zu Beginn Wasser mit Drücken bis zu 150 bar in den Untergrund gepresst. Dadurch weiten sich die im Gestein vorhandenen Risse und neue bilden sich. Sie bleiben bei einer mittleren Weite von weniger als 1 Millimeter dauerhaft offen. Das so geschaffene System aus natür-

lichen und künstlichen Rissen bildet einen unterirdischen, geothermischen Wärmetauscher, durch den ein Gemisch aus natürlichen Tiefenwässern und eingepresstem Wasser zirkuliert. Die natürlichen thermischen Auftriebskräfte heißen Wassers erleichtern die Förderung.

Da dieses System natürlich vorkommende Tiefenwässer einbezieht, sind keine Wasserverluste zu verzeichnen. In früheren HDR-Projekten war dies eines der größten Hindernisse. Diese Weiterentwicklung des HDR-Konzepts ist ein Ergebnis des europäischen HDR-Projekts in Soultz-sous-Forêts (Elsaß). Hier wurde ein mindestens 3 km² großer Wärmetauscher geschaffen und 1997 in einem viermonatigen Test 142°C heißes Wasser gefördert. Mittlerweile wurden die Bohrungen auf über

5.000 m vertieft und eine Gesteinsschicht mit einem Temperaturniveau von 200°C erreicht. Ein erstes Pilotkraftwerk mit 5 MW elektrischer Leistung bei einer Produktionstemperatur von 180 – 190°C ist derzeit im Bau.

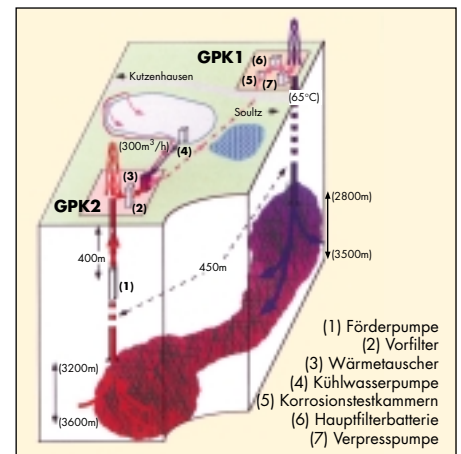


Abb. 8 Schema der HDR-Anlage Soultz während des Zirkulationsversuchs 1997.

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Kristallines Gestein
- > Geothermischer Wärmetauscher
- > Kraftwerk

Projekt	Jahr des Beginns	Land	Tiefe [m]	max. Temperatur [°C]	Abstand der Bohrungen [m]	Wasser-verluste [%]	Therm. Leistung (+) [MW]
Los Alamos	1970	USA	3.500	232	150-300	< 10	5
Hijiiri	1974	Japan	2.200	270	130	25	7
Camborne	1977	GB	2.200	80	180-270	25	4
Soultz	1987	Frankreich	5.000	202	450	0	50
Ziel			5.000	200	> 500	0	> 50

(+) Auskühlung auf 40 °C

Abb. 9 Kenndaten verschiedener internationaler HDR-Projekte.

In über 60 Ländern existieren Anlagen zur Nutzung der Erdwärme. Auf den Philippinen sowie in El Salvador, Nicaragua, Island, Costa Rica, Kenia und Neuseeland trägt Geothermie bereits zwischen 5% und 20% zur nationalen Stromerzeugung bei. Weltweit sind derzeit etwa 17.000 MW in Anlagen zur Wärmegewinnung sowie geothermische Kraftwerke mit einer elektrischen Leistung von ca. 8.000 MW installiert. Zum Vergleich: Die installierte Leistung der 33 Braunkohlenkraftwerke zwischen Köln und Aachen beträgt ca. 10.000 MW.



Abb. 10 Geothermisch beheiztes Schwimmbad in Straubing.

In Deutschland werden 25 größere, hydrothermale Anlagen mit einer thermischen Leistung von 66 MW betrieben. Die technischen Grundlagen für einen höheren Beitrag zur Energieversorgung in Deutschland liegen vor.

In Neustadt-Glewe wurde 2003 mit der geothermischen Stromerzeugung in Deutschland begonnen. Meistens erfolgt eine Nutzung hydrothermalen Geothermie über Fernwärmenetze. Diese erfordern aus wirtschaftlichen Gründen eine hohe, flächenspezifische Wärmenachfrage, wie sie z. B. in Städten gegeben ist. Die ökonomisch günstigsten Voraussetzungen liegen da vor, wo das Thermalwasser für Heilbäder oder Trinkwasser weiterverwendet werden kann und Wärme während des ganzen Jahres benötigt wird.

Etwas weiter von der Anwendung entfernt ist das HDR-Verfahren. Soultz hat hier das Konzept entscheidend weiterentwickelt. Strom lässt sich einfacher als Wärme über Distanzen zu Verbraucherzentren transportieren und steht bei HDR im Mittelpunkt. Eine Studie hat für den geothermischen Strom einen Preis von etwa 5 – 10 Cent/kWh ermittelt. Die Abwärme eines HDR-Kraftwerks könnte, wenn Nachfrage besteht, auch für Fernwärme weiterverwendet werden. In Deutschland liegen außerdem noch für den Standort Bad Urach (Schwäbische Alb) detaillierte Kenntnisse für eine HDR-Anlage vor.

Geothermie ist eine Technik zur Nutzung der erneuerbaren Energien, die nicht von der Sonneneinstrahlung abhängt. Eine geothermische Anlage liefert unabhängig von Tages- und Jahreszeiten über lange Jahre Wärme oder Strom. Für eine stärkere Nutzung in Zukunft ist das ein wichtiger Vorteil. Die weitere Senkung der derzeit noch hohen Investitionskosten bleibt wichtigste Aufgabe für die Zukunft.

LITERATUR

Ein ausführliches Literaturverzeichnis steht im BINE-Internetangebot als Download in der Rubrik Service/InfoPlus bereit oder kann kostenlos angefordert werden.

1. Kaltschmitt, M.; Huenges, E.; Wolff, H.: Energie aus Erdwärme, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart 1999, ISBN 3-342-00685-4
2. Zum Thema Geothermie sind als BINE-Info erschienen: „Geothermische Stromerzeugung in Neustadt-Glewe“ (9/03), „Hydrothermale Geothermie in Nordostdeutschland“ (7/1997) und „Europäisches Geothermieprojekt Soultz-sous-Forets“ (6/1999). Alle sind kostenlos bei BINE erhältlich.
3. Detaillierte Informationen zum gesamten Spektrum der Geothermie werden von der Geothermischen Vereinigung unter www.geothermie.de angeboten.

Bildung & Energie im Web

www.bine.info

Unsere Informationen für Schule, Beruf und Erwachsenenbildung finden SIE unter:

www.bine.info

Dort sind in der Rubrik "Service/InfoPlus" ein Literaturverzeichnis und eine aktuelle Linkliste zum Thema eingestellt.

Ergänzende Informationen

Info-Mappen / Download

Zu den behandelten Themen ist jeweils eine kostenlose Mappe mit vertiefenden Informationen bei BINE erhältlich.

Alle Abbildungen stehen für Bildungszwecke unter www.bine.info in der Rubrik "Service/InfoPlus" kostenlos zum Download zur Verfügung oder können gegen eine Bearbeitungsgebühr von 15,-€ (V-Scheck) bei BINE angefordert werden.

▼ Herausgeber



**FACHINFORMATIONSZENTRUM
KARLSRUHE**

Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH

76344 Eggenstein-Leopoldshafen

▼ Redaktion

Uwe Milles

▼ Fachliche Beratung

Burkhard Sanner/Werner Bußmann
Geothermische Vereinigung e.V.

Gartenstr. 36,
49744 Geeste

▼ ISSN

1438-3802

▼ Nachdruck

Nachdruck des Textes zulässig bei vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares - Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten.

▼ Stand

Mai 2004

BINE – INFORMATIONEN UND IDEEN ZU ENERGIE & UMWELT

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit geförderter Informationsdienst des Fachinformationszentrums Karlsruhe.

BINE informiert über neue Energietechniken und deren Anwendung in Wohnungsbau, Industrie, Gewerbe und Kommunen.

BINE bietet Ihnen folgende kostenfreie Informationsreihen

- Projekt-Infos
- Themen-Infos
- basisEnergie

Nehmen Sie mit uns Kontakt auf,

wenn Sie vertiefende Informationen, spezielle Auskünfte, Adressen etc. benötigen, oder wenn Sie allgemeine Informationen über neue Energietechniken wünschen.



BINE

Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe

Büro Bonn

Mechenstr. 57

53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0

Fax: 0228 / 9 23 79-29

E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de

Internet: www.bine.info