



Geothermie

Das Innere der Erde ist heiß, wie Vulkane und heiße Quellen zeigen. Dieses natürliche Energievorkommen zur Wärme- und Stromversorgung zu nutzen, ist Ziel der Geothermie. Weltweit gesehen gehört sie zu den ergiebigsten erneuerbaren Energiequellen. Auch in Deutschland wächst die Zahl der geothermischen Anlagen und Projekte.

ÜBERBLICK

Bergleuten war es seit Jahrhunderten bekannt. Je tiefer man in das Innere der Erde vordringt, desto wärmer wird es. Vulkane und heiße Quellen 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.

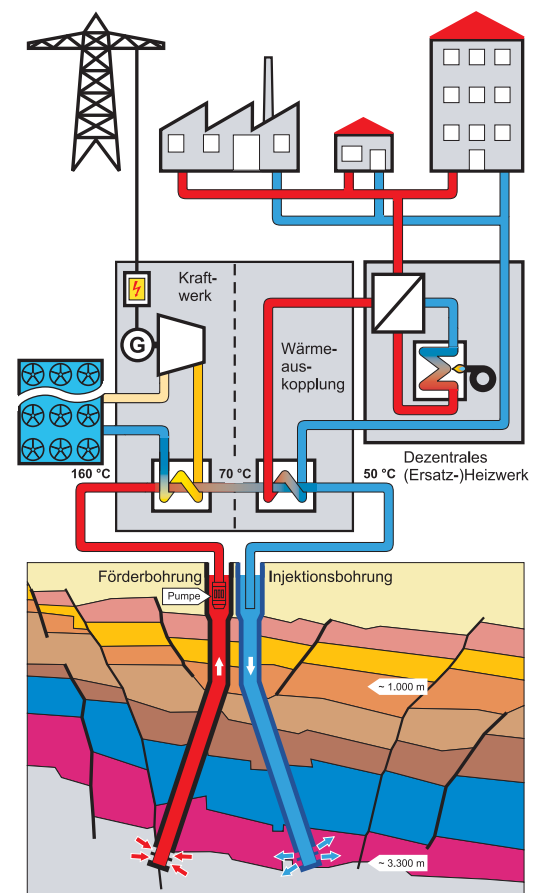
Die Nutzung der Erdwärme durch Menschen begann vor einigen Tausend Jahren mit dem Baden in warmen Quellen (Thermalquellen). Im Vordergrund standen Reinigung und Gesundheit sowie religiöse und spirituelle Zwecke. Derartige Badetraditionen sind u. a. von den Maoris aus Neuseeland sowie aus Japan und China, 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 Dampfager und heißes Gestein zur Wärme- und Stromgewinnung nutzen. Dieses ist wirtschaftlich besonders attraktiv, da die Wärme hier in geringer Tiefe auf einem vergleichsweise hohen Temperaturniveau vorliegt und Bohrkosten meist gering sind. Geothermische Energie steht unabhängig von Jahres- und Tageszeiten zur Verfügung und kann daher in der Grundversorgung eingesetzt werden.

In Deutschland sind die hydrothermalen Anlagen im Oberrheingraben, im Nordosten und im Süden zu finden. Überwiegend werden sie zur Fernwärmeversorgung genutzt, aber bei neueren Anlagen, wie z.

B. in Neustadt-Glewe, Landau und Unterhaching, sind sie bereits als geothermische Kraftwerke ausgeführt. Im elsässischen Soultz-sous-Forêts wurde als europäisches Projekt mit deutscher Beteiligung 2008 ein geothermisches Kraftwerk auf Basis des Hot-Dry-Rock-


Abb. 1

Die geothermische Anlage in Landau (Pfalz) mit Kraftwerk und Wärmenetz

Verfahrens in Betrieb genommen. Das Bundesumweltministerium fördert seit Jahren Forschung und Entwicklung zu beiden geothermischen Verfahren. Dabei sollen die großen Potenziale der Geothermie besser erschlossen und die Nutzung wirtschaftlich attraktiver werden.

GEOLOGISCHE UND 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 Kartenwerke und Bohrungen ermittelt. In Deutschland ist der Untergrund durch systematische geologische Kartierungen und frühere Suchbohrungen nach Erdöl oder Erdgas gut erforscht. Für die geothermische Qualität eines Standorts sind Faktoren wie z. B. die

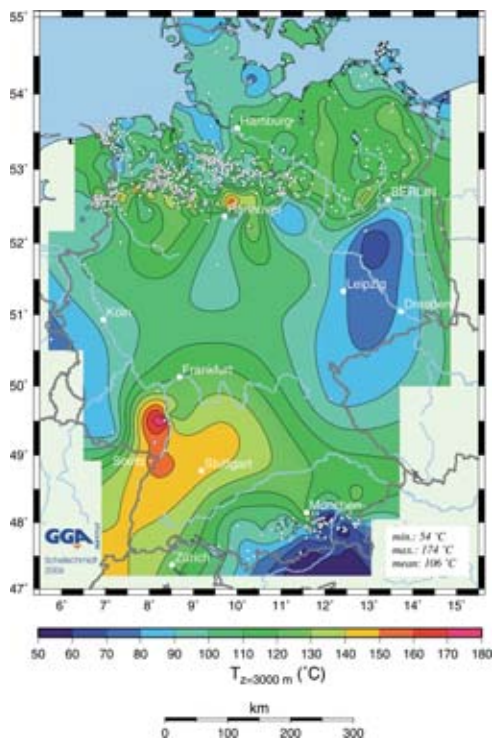


Abb. 2 Temperaturverteilung in Deutschland in 3.000 m Tiefe

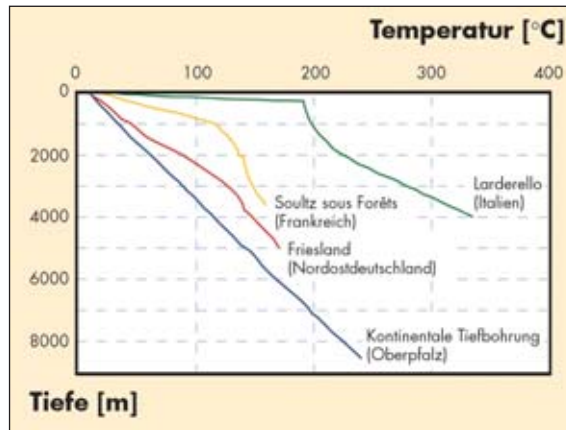


Abb. 3 Geothermischer Gradient für Standorte in der Oberpfalz, Oberrheingraben und der Toskana im Vergleich (Quelle: M. Kalschmitt)

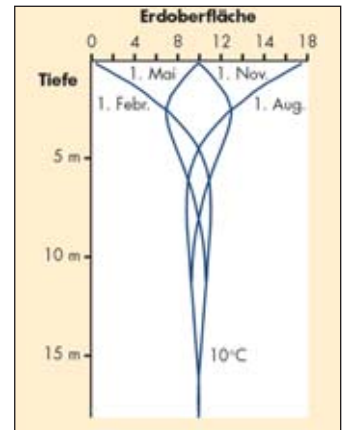


Abb. 4 Einfluss der Jahreszeiten auf die Temperatur der obersten Erdschichten

Größe der Risse und Poren im Gestein und/oder das Vorhandensein von wasserführenden Schichten bzw. einer Wasserzirkulation entscheidend, 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. Bevor Bohrungen in derart große Tiefen vorgedrungen waren, hatte man hier 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 Wärme-

anomalie 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, radioaktiver 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. Die Sonne beeinflusst 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
- > Wärmeentstehung

BOHRTECHNIK UND UMWELTSCHUTZ

Für den technischen und wirtschaftlichen 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. Der Erfolg einer Bohrung hängt von den lokalen Verhältnissen ab, besonders der Wasserführung. Bei jeder Bohrung besteht ein Risiko, z. B., in der berechneten Tiefe eine zu niedrige Temperatur oder zu geringe Wasservorkommen anzutreffen.

In Deutschland werden in den geothermischen Bohrungen häufig sehr salzhaltige Wässer (Ausnahme: Süddeutschland) gefunden, mit einem Salzgehalt, der das Zehnfache von Meerwasser erreichen kann. Daher zirkuliert das geförderte Thermalwasser in einem geschlossenen Kreislauf. Oberflächennahe Trinkwasservorkommen können so wirksam geschützt werden.

Damit das salzhaltige Wasser bei den verwendeten Rohren und anderen Bauteilen in den geothermischen Anlagen nicht zu Korrosion führt, sind diese innen speziell beschichtet. Dies garantiert einen sicheren Schutz gegen Lecks und Wasserverluste.

	Hydrothermale Geothermie	Hot Dry Rock
Ziel	Wärme und Strom	Strom (Wärme*)
Bohrtiefe	1.500 m – 3.300 m	3.000 m – 6.000 m
Temperaturbereich in der Bohrung	80 – 160 °C	160 – 200 °C
* = Nebenziel		

Abb. 5 Charakteristische Parameter geothermischer Verfahren

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Bohrkosten
- > Salzgehalt
- > Korrosionsschutz

HYDROTHERMALE GEOTHERMIE

In Deutschland kommen für eine hydrothermale Geothermienutzung, bei der heiße Tiefenwässer gefördert werden, drei Gebiete infrage: Nordostdeutschland, Südostdeutschland 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 Wärmenetz (K) an die

	NeustadtGlewe	Landau	Erding	Unterhaching
Standort	Norddeutschland	Oberheingraben	Süddeutschland	Süddeutschland
Inbetriebnahme	1994	2007	1998	2007/09
Wärmelieferung [kWh/a]				
- Insgesamt	23,7 Mio.		ca. 80 Mio.	47,9 Mio.
- Davon geothermisch	2,2 Mio.	9,2 Mio.	ca. 16 Mio.	42 Mio.
Versorgte Wohneinheiten und gewerbliche Nutzer	1.325 23 Gewerbebetriebe, Lederwerk	1.000	3.000 Gewerbe, Industrie, öff. Gebäude, Schwimmbad	3.000 4 Schulen, 1 Sporthalle, 1 Sportpark, 1 Freibad, weitere öffentl. Gebäude
Stromerzeugung [kWh/a]	1,4 – 1,6 Mio.	22 Mio.	ohne	Inbetriebnahme 2009
Temperatur des geförderten Wassers	97 °C	160 °C	65 °C	122 °C
Fördertiefe	2.250 m	3.300 m	2.350 m	3.300

Abb. 7 Kenndaten (Stand 2007/2008) ausgewählter geothermischer Kraftwerke und Heizzentralen

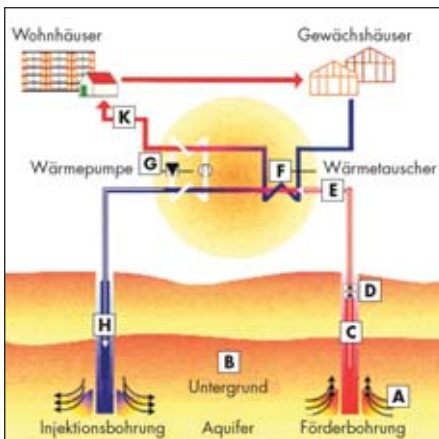


Abb. 6 Prinzip einer hydrothermalen Heizzentrale

Verbraucher geliefert. Eine Wärmepumpe (G) kann in das System integriert werden. Neue Anlagen arbeiten oft mit abgelenkten Bohrungen (Abb. 1), die an der Erdoberfläche eng benachbart sind und in der Tiefe (im Beispiel 25° und 33° Ablenkung) weiter auseinander liegen. Die gewonnene Wärme wird in ein Wärmenetz und/oder ein geothermisches Kraftwerk eingespeist, das spezielle Kraftwerksverfahren (z. B. ORC oder KALINA) nutzt. 2007 nahm in Landau das erste industrielle Geothermiekraftwerk den Betrieb auf. Hier werden 22 Mio. kWh Strom erzeugt, der für den Bedarf von 6.000 Haushalten ausreicht. Die dann noch vorhandene geothermische

Wärme geht in ein Wärmenetz ein. Wegen des Salzgehalts oder zum Erhalt des Grundwassers werden die geförderten Thermalwässer meistens anschließend in einem zweiten Bohrloch wieder in ihr ursprüngliches Aquifer gepumpt. Nur in Südostdeutschland kann man heißes Süßwasser fördern, das hinterher auch für Trinkwasserzwecke oder Schwimmbäder genutzt werden kann.

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Aquifer
- > Fernwärme

HOT-DRY-ROCK (HDR)

Das Hot-Dry-Rock Verfahren nutzt die im kristallinen Gestein in Regionen mit geothermischen Anomalien enthaltene Wärme. 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 Überdruck in den Untergrund gepresst. Dadurch weiten sich die im Gestein vorhandenen Risse trotz des Gebirgsdruckes und neue bilden sich. Sie bleiben bei einer mittleren Weite von weniger als 1 Millimeter dauerhaft offen. Das so geschaffene System aus natürlichen und künstlichen Rissen bildet einen unterirdi-

schen, 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 andernorts war dies eines der größten Hindernisse. Diese Weiterentwicklung des HDR-Konzepts ist ein Ergebnis des europäischen HDR-Projekts in Soultz-sous-Forêts (Elsaß). Hier ging 2008 ein geothermisches Kraftwerk mit 1,5 MW_{el} in Betrieb. Der geologische Wärmetauscher mit ca. 200 °C heißem Wasser befindet sich in 4.000 – 5.000 m Tiefe.

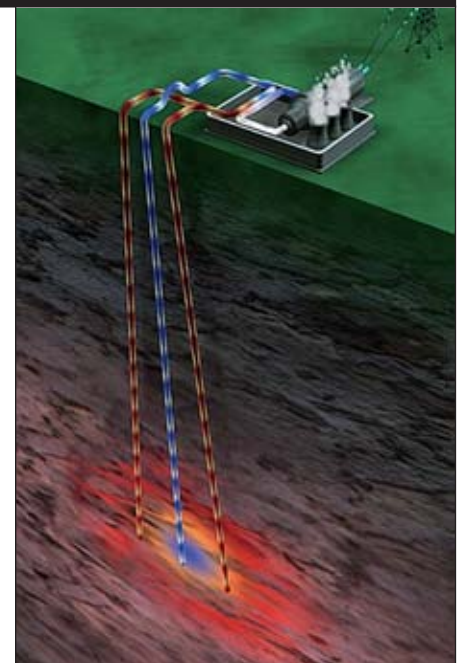


Abb. 8 Schema der HDR-Anlage Soultz. Zu Beginn verfügt das Kraftwerk über 1,5 MW_{el} und soll in den nächsten Jahren erweitert werden.

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Kristallines Gestein
- > Geothermischer Wärmetauscher

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
Hijiori	1974	Japan	2.200	270	130	25	7
Camborne	1977	Groß- britannien	2.000	80	160–270	25	3
Soultz	1987	Frankreich	5.000	202	600	0	13

Abb. 9 Kenndaten verschiedener internationaler HDR-Projekte (+) Auskühlung auf 40 °C

In über 70 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 15% zur nationalen Stromerzeugung bei. Weltweit sind derzeit etwa 28.000 MW in Anlagen zur Wärmege-
winnung sowie geothermische Kraftwerke mit einer elektrischen Leistung von ca. 9.000 MW installiert.

2008 sind in Deutschland 26 größere, hydrothermale Anlagen mit einer thermischen Leistung von 128 MW in Betrieb und etwa 150 weitere Projekte in Bearbeitung. Die technologischen Grundlagen für einen höheren Beitrag zur Energieversorgung in Deutschland liegen vor. In Landau ging 2007 das erste hydrother-



Abb. 10 Geothermisch beheiztes Schwimmbad in Straubing

male Kraftwerk in Betrieb; die Anlage Unterhaching wird folgen. Eine Schlüsselkomponente für eine verstärkte Nutzung der Geothermie sind Wärmenetze, auch in Kombination mit anderen erneuerbaren Energietechniken. Diese Netze erfordern aus wirtschaftlichen Gründen eine hohe flächenspezifische Wärmenachfrage, wie sie z. B. in Städten oder gewerblichen Anwendungen gegeben ist. Die ökonomisch günstigsten Voraussetzungen liegen da vor, wo Wärme während des ganzen Jahres benötigt wird.

Etwas weiter von der Anwendung entfernt ist das HDR-Verfahren. Soultz hat hier das Konzept entscheidend weiterentwickelt. Im Mittelpunkt steht die Erzeugung von Strom, der sich einfacher als Wärme über Distanzen zu Verbraucherzentren transportieren lässt. Auch die Abwärme eines HDR-Kraftwerks lässt sich noch in einem lokalen Wärmenetz nutzen.

Die Energieforschung verfolgt aktuell als Ziele, die Kosten beim Erkunden und Erbohren der Reservoirs zu senken, das Fündigkeitsrisiko zu mindern und ein nachhaltiges Reservoir-Management sowie die effektive Umwandlung und Einbindung der Geowärme in lokale und regionale Wärmenetze zu garantieren. Geothermie ist eine Technik zur Nutzung der erneuerbaren Energiequellen, die nicht von der Sonneneinstrahlung abhängt. Eine geothermische Anlage liefert unabhängig von Tages- und Jahreszeiten über lange Jahre Wärme und Strom. Für eine stärkere Nutzung in Zukunft ist das ein wichtiger Vorteil.

ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

1. Beim BINE Informationsdienst sind zum Thema Geothermie erschienen:
 - BINE-Projektinfo 4/2009 „Geothermische Stromerzeugung in Soultz-sous-Forêts“
 - BINE-Projektinfo 14/2007 „Geothermische Stromerzeugung in Landau“
 - BINE-Projektinfo 9/2003 „Geothermische Stromerzeugung in Neustadt-Glewe“
2. Das Bundesumweltministerium (BMU) bietet über das Portal www.erneuerbare-energien.de viele aktuelle Informationen. Über diese Seite sind u. a. auch Unterrichtsmaterialien über erneuerbare Energien (Stichwort: Bildungsmaterialien) eingestellt. Das BMU fördert zum Thema Energie weiterhin auch die Portale www.unendliche-energie.de und www.powerado.de für Kinder.
3. Einen aktuellen Überblick über die laufenden Forschungsprojekte zur Geothermie und allen anderen erneuerbaren Energietechniken bietet das Portal www.forschungsjahrbuch.de
4. Umfassende Informationen rund um die Geothermie bietet auch das Portal www.geothermie.de der „Geothermischen Vereinigung – Bundesverband Geothermie“.

▼ **Herausgeber**
FIZ Karlsruhe GmbH
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

▼ **Autor**
Uwe Milles

▼ **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**
Dezember 2008

BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienztechnologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter www.bine.info und per Newsletter zeigt BINE, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderter Informationsdienst von FIZ Karlsruhe.

Kontakt
Fragen zu diesem **basisEnergieinfo?**
Wir helfen Ihnen weiter:
Tel.: 0228 92379-44

 **BINE**
Informationsdienst

FIZ Karlsruhe GmbH, Büro Bonn
Kaiserstraße 185 – 197
53113 Bonn

Tel.: 0228 92379-0
Fax: 0228 92379-29

E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de
Internet: www.bine.info