

Geothermie Systeme



Baden-Württemberg

Impressum

Herausgeber:

Dieter Bouse*

Diplom-Ingenieur

Werner-Messmer-Str. 6, 78315 Radolfzell am Bodensee

Tel.: 07732 / 8 23 62 30

E-Mail: dieter.bouse@gmx.de

Internet: www.dieter-bouse.de

„Infoportal Energie- und Klimawende Baden-Württemberg plus weltweit“

Kontaktempfehlung:

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM)

Kernerplatz 9; 70182 Stuttgart

Tel.: 0711/ 126 – 0; Fax: 0711/ 126 - 2881

Internet: www.um.baden-wuerttemberg.de;

E-Mail: poststelle@um.bwl.de

Besucheradresse:

Hauptstätter Str. 67 (Argon-Haus), 70178 Stuttgart

Abteilung 6: Energiewirtschaft

Leitung: Mdgt. Dominik Bernauer

Sekretariat: Telefon 0711 / 126-1201

Referat 62: Wärmewende

Leitung: MR Brunner

Tel.: 0711/126-1215

E-Mail:brunner@um.bwl.de

* Energiereferent a.D., Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg (WM)

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg (WM), Stand August 2021

WM-Neues Schloss



Hausanschrift

WM-Neues Schloss

Schlossplatz 4; 70173 Stuttgart
www.wm.baden-wuerttemberg.de
Tel.: 0711/123-0; Fax: 0711/123-2121
E-Mail: poststelle@wm.bwl.de
Amtsleitung, Abt. 1, Ref. 51-54,56,57

WM-Dienststelle

Theodor-Heuss-Str. 4/Kienestr. 27
70174 Stuttgart
Abt. 2, Abt. 4; Abt. 5, Ref. 55

WM-Haus der Wirtschaft

Willi-Bleicher-Straße 19
70174 Stuttgart
Abt. 3, Ref.16 (Haus der Wirtschaft)
Kongress-, Ausstellungs- und Dienstleistungszentrum

WM-Haus der Wirtschaft



WM-Dienststelle



Einleitung und Ausgangslage

Geothermische Grundlagen

Oberflächennahe Geothermie

- Energiequellen und Potenziale
- Technologien
- Nutzung zur Wärmeerzeugung
- Ausgewählte Praxisbeispiele

Tiefe Geothermie

- Energiequellen und Potenziale
- Technologien
- Nutzung zur Strom- und Wärmeerzeugung
- Ausgewählte Praxisbeispiele

Fazit und Ausblick

Anhang zum Foliensatz

Geothermie-Lexikon; ausgewählte Internetportale und Infomaterial sowie Übersicht Foliensätze

Folienübersicht (1)

- FO 1: Titelseite
- FO 2: Impressum
- FO 3: Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus
Baden-Württemberg (WM), Stand Mai 2021
- FO 4: Inhalt
- FO 5: Folienauswahl (1,2)

Einleitung und Ausgangslage

- FO 8: Einleitung und Ausgangslage
- FO 9: Entwicklung der Erdwärmenutzung

Geothermische Grundlagen

- FO 11: Geothermie – Energie aus der Erde
- FO 12: Geothermie, was ist das?
- FO 13: Wärmehaushalt der Erde
- FO 14: Struktur der Erde nach Temperaturen in Abhängigkeit
von der Erdtiefe
- FO 15: Vorteile Geothermischer Energienutzung
- FO 16: Übersicht Geothermienutzung in Deutschland und
weltweit
- FO 17: Nutzung geothermischer Energie nach GFZ Potsdam
- FO 18: Einteilung der Erdwärmenutzung (1,2)
- FO 20: Nutzungsarten in der Geothermie (1-3)
- FO 23: Technologien zur Nutzung der Erdwärme (1-3)

Oberflächennahe Geothermie

Wärmequellen und Technologien

- FO 28: Nutzungsverfahren für oberflächennahe Geothermie
- FO 29: Temperaturverlauf im oberflächennahen Erdboden
- FO 30: Übersicht Wärmequellen für Wärmepumpenanlagen
- FO 31: Welche Wärmequelle wird von Erdwärmesonden
genutzt Erdwärme (Geothermie) oder Umweltwärme
(Solarenergie)?

- FO 32: Erdwärmesonden - Teil des Heiz-(Kühl)systems
- FO 33: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Erdwärmesonden +
Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen im
Einfamilienhaus 2006 (EFH) (1,2)
- FO 35: Kältemittel für Wärmepumpen
- FO 36: Anforderungskriterien für das EHPA-Gütesiegel für
Heizwärmepumpen, Qualitätssicherung , Stand: 01.01.2011
- FO 37: Internationales Gütesiegel für Erdwärmesonden-
Bohrfirmen
- FO 38: Erstes bundesweites "Gütesiegel Erdwärmesonden"
im Jahr 2006 verliehen
- FO 39: Investitionen für die Wärmequellenerschließung
zum Betrieb von Heizungs-Elektrowärmepumpen
- FO 40: Investitions- und Wärmegestehungskosten von
erdgekoppelten Wärmepumpen in Abhängigkeit von
den Strombezugskosten - Stand 2006

Ausgewählte Praxisbeispiele

- FO 42: Beispiele aus der Praxis zur oberflächennahen
Geothermie
- FO 43: Praxisbeispiel: Sole/Wasser-Heizungswärmepumpe
mit Erdwärmesonden im Neubau eines
Einfamilienhauses in Biberach 2005 (1,2)
- FO 45: Praxisbeispiel: Sole/Wasser-Heizungswärmepumpe
mit Erdwärmesonden im sanierten
Zweifamilienhaus in Wangen 2005 (1,2)
- FO 47: Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Erdwärmesonden
2006; EnBW Referenzanlage Heizen mit
Erdwärme, Neubau in Wangen (1,2)
- FO 49: Heizen mit Erdwärme bzw. oberflächennaher
Geothermie in der Praxis (1-5)

Folienübersicht (2)

- FO 54: Beispiel der Beheizung und Kühlung eines Bürgersaals mittels Energiepfählen und reversibler Wärmepumpe
- FO 55: Praxisbeispiel: Heizen und Kühlen mit Erdwärme mittels Wärmepumpe und Fußbodenheizung im Einfamilienhaus
- FO 56: Beispiele oberflächennahe Geothermieranlagen (1-8)

Tiefe Geothermie

Energiequellen und Technologien

- FO 66: Tiefe Geothermie - Geologische Bedingungen (1,2)
- FO 68: Nutzungsverfahren für Tiefe Geothermie
- FO 69: Tiefe Geothermie - Geothermische Dublette
- FO 70: Grundprinzip der geothermischen Energiegewinnung aus dichtem Tiefengestein
- FO 71: Tiefe Geothermie - Erschließung des Untergrunds mittels geschlossener Systeme
- FO 72: Tiefe Geothermie - Erschließung des Untergrunds bzw. Speicher mittels offener Systeme
- FO 73: Orientierungswerte für Investitions- und Energiegestehungskosten geothermischer Heizwerke – Stand 2006
- FO 74: Tiefe Geothermie - Übersicht Stromerzeugungssysteme zur Geothermienutzung
- FO 75: Tiefe Geothermie - Übersicht Konversionstechnologien zur geothermischen Stromerzeugung
- FO 76: Einsatz von Stromerzeugungssystemen zur Geothermienutzung
- FO 77: Prinzip der Stromerzeugung durch die Hot Rock-Technik
- FO 78: Schema eines Hot-Dry-Rock Geothermiekraftwerk
- FO 79: Tiefe Geothermie - Konversionstechnologien zur geothermischen Stromerzeugung - ORC-Technik –

- FO 80: Tiefe Geothermie - Konversionstechnologien zur geothermischen Stromerzeugung - Kalina-Technik –
- FO 81: Energiewirtschaftliche Einordnung der Tiefengeothermie zur Stromerzeugung am Beispiel Deutschland (1-8)
- FO 89: Risikominimierung bei Geothermieprojekten

Ausgewählte Praxisbeispiele

- FO 91: Übersicht Wärmebereitstellung zur direkten Nutzung der Erdwärme
- FO 92: Beispiel Tiefe Geothermieranlage in Baden-Württemberg MIRAMAR Freizeitzentrum Weinheim/Bergstraße 2006
- FO 93: Überblick ausgewählte Geothermische Kraftwerke in Deutschland, Frankreich und Österreich, Stand 2005
- FO 94: Erdwärme-Kraftwerk in Neustadt-Glewe/Mecklenburg-Vorpommern (1,2)
- FO 96: Geothermieprojekten Landau/Pfalz 2004 –2007 (1,2)
- FO 98: Tiefe Geothermieprojekten zur Strom- und Wärmeproduktion aus heißem Tiefengestein durch Kalina-Technik in Unterhaching bei München (1,2)

Fazit und Ausblick

Anhang zum Foliensatz

- FO102: Glossar zur Geothermie von A bis Z (1,2)
- FO104: Ausgewählte Internetportale (1-4)
- FO108: Ausgewählte Informationsstellen (1-3)
- FO111: Ausgewähltes Infomaterial (1-4)
- FO115: Übersicht Foliensätze zum Themenbereich „Erneuerbare Energien“

Einleitung und Ausgangslage

Einleitung und Ausgangslage

Weltweit und in Deutschland gewinnen regenerative Energien – auch aus Klimaschutzgründen – immer mehr an Bedeutung; dies gilt auch und insbesondere für eine geothermische Energiebereitstellung.

Prinzipiell kann durch Geothermie Strom, Wärme und Kälte bereitgestellt werden.

Vorteile:

- Keine saisonalen und tageszeitlichen Schwankungen
- Nachfragegerechte Energiebereitstellung problemlos möglich
- Quasi – regenerativ
- Erzeugungspotenzial sehr hoch
- Grundsätzlich Standort-unabhängig

Nachteile:

- Technik von den lokalen (geologischen) Gegebenheiten abhängig
- Geringer (thermodynamisch bedingter) Stromwirkungsgrad
- Hohe Anfangsinvestitionen (die zudem bisher nicht versicherbaren Risiken unterliegen)
- Bisher keine Marktdurchdringung in Deutschland

Entwicklung der Erdwärmenutzung

Im Erdinneren herrschen enorme Temperaturen von bis zu 6.000 Grad Celsius. Vulkane, heiße Quellen und Geysire zeigen die Hitze. Die Wärme, die vom schmelzflüssigen Kern im Erdinneren an die Erdoberfläche dringt, bezeichnet man als Geothermie oder Erdwärme. Dabei werden sowohl die auf dem Weg nach oben liegenden Gesteins- und Erdschichten als auch unterirdische Wasserreservoirs erhitzt.

Die Erdwärme oder Geothermie gehört weltweit zu den ergiebigsten erneuerbaren Energiequellen. Sie kann zu vielfältigen Zwecken genutzt werden, z.B. zur Stromerzeugung, Wärmeversorgung, Kühlung oder Meerwasserentsalzung.

In Deutschland erfolgt die Nutzung der Erdwärme bislang überwiegend für die Wärmeversorgung. Neben der Gewinnung von warmem Wasser für Thermalbäder oder Nahwärmenetze wird die Erdwärme in Haushalten häufig über Heizungswärmepumpen genutzt.

Für die Stromerzeugung ist die Erdwärme besonders interessant, da sie rund um die Uhr und unabhängig von Jahreszeiten, Wetter oder Klimabedingungen zur Verfügung steht. 1913 wurde zum ersten Mal Strom in einem Erdwärmekraftwerk in Italien gewonnen. Heute erzeugen vorwiegend Länder wie Island, Neuseeland und die USA Strom aus Geothermie.

Die Stromerzeugung aus Erdwärme in Deutschland beschränkt sich bislang auf ein Kraftwerk in Neustadt-Glewe, das Ende 2003 in Betrieb genommen wurde. Weitere vielversprechende Projekte sind jedoch in der Planung oder bereits im Bau, wie z.B. das Heizkraftwerk in Unterhaching bei München.

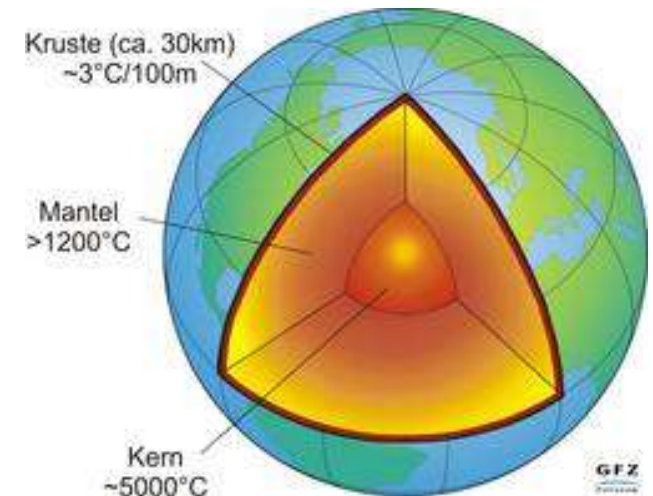


Bild: GFZ Potsdam

Geothermische Grundlagen

Begriff:

Geothermische Energie ist die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Oberfläche der festen Erde

Synonym: Erdwärme

Geothermie, was ist das?

Geothermische Energie ist die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Oberfläche der festen Erde. Pro Liter „Erdinnenraum“ sind im Mittel 2,6 kWh Energie gespeichert.

Der Wärmeinhalt der Erde würde unseren heutigen Weltenergiebedarf für 30 Millionen Jahre decken. Mit menschlichen Maßstäben gerechnet sind also die in der Erde gespeicherten Energievorräte genauso unerschöpflich wie die der Sonne.

In Mitteleuropa nimmt die Temperatur in den obersten Erdschichten durchschnittlich um 3°C pro 100m zu. Im obersten Erdmantel herrschen etwa 1.200 °C, im Erdkern sind es wahrscheinlich 6.000°C. Unmittelbar an der Erdoberfläche werden die Temperaturen fast ausschließlich durch die Sonne bestimmt.

Da der Boden die Wärme schlecht leitet, ist spätestens unterhalb von 15-20 m Tiefe kein Einfluss der Sonne mehr festzustellen

Im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern besitzt die Geothermie einen bedeutenden Vorteil:

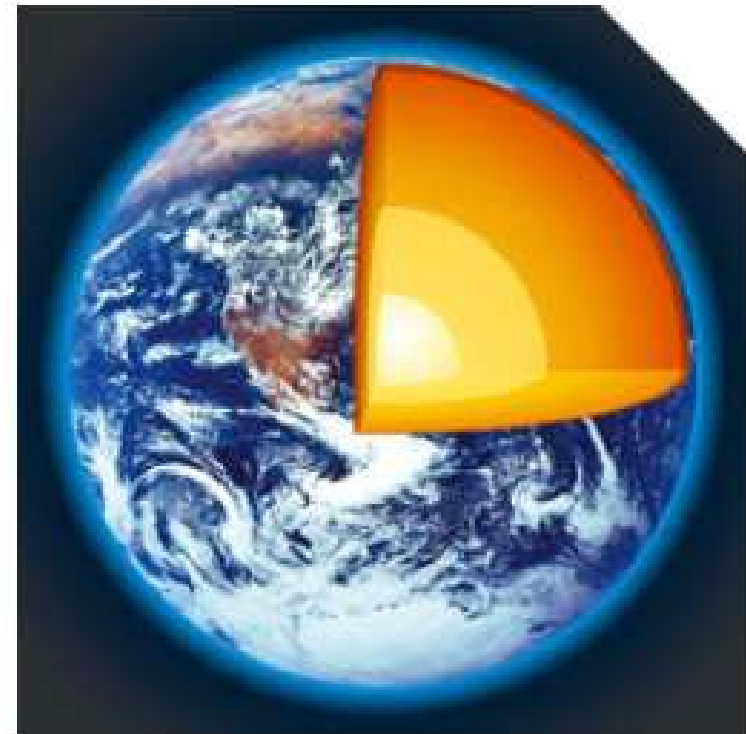
Sie steht unabhängig von Tages- und Jahreszeit oder den herrschenden Klimabedingungen immer zur Verfügung. Da sie direkt vor Ort zu finden ist, benötigt man keine aufwendigen Transportsysteme.

Durch Vermeidung eines konventionellen Verbrennungsprozesses wird direkt (außer evtl. für den Einsatz einer Wärmepumpe) keine CO₂-Emission erzeugt.

Inzwischen verfügen wir über Technologien, die es uns ermöglichen, die vorhandenen Ressourcen auch praktisch überall zu nutzen

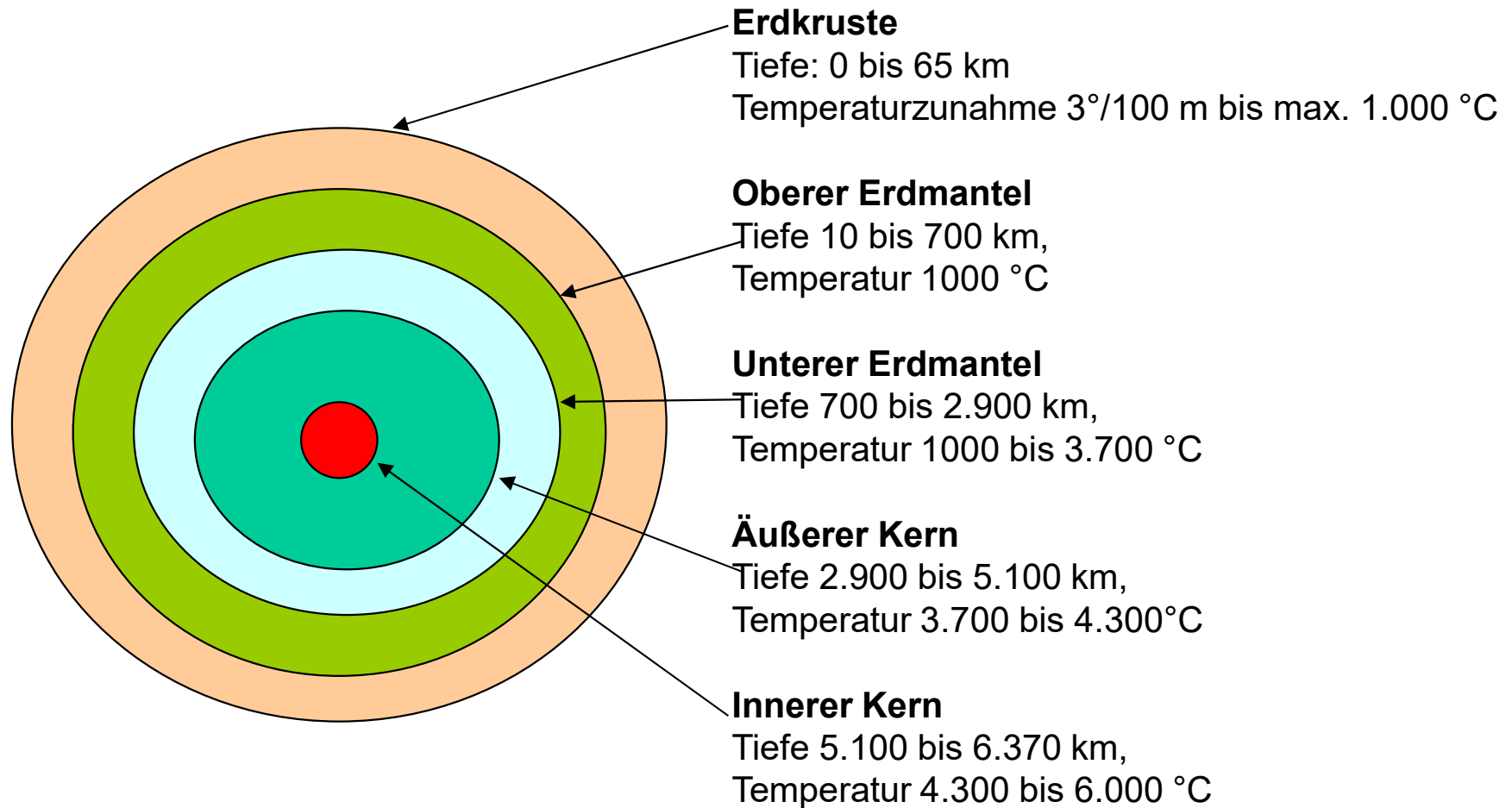
Wärmehaushalt der Erde

- Gesamtwärmeinhalt der Erde:
12 bis 24^{30} Joule
 - Äußerste Erdkruste
(bis 10.000 m Tiefe): 10^{26} Joule
- *Täglich steigt aus dem Erdinneren die 2,5fache Energiemenge auf, die wir weltweit brauchen.*



Energieeinheit: 1 kWh = 3.600 kJ; 3,6 PJ = 1 Mrd. kWh

Struktur der Erde nach Temperaturen in Abhängigkeit von der Erdtiefe



Vorteile Geothermischer Energienutzung

- Saubere und sichere Energie
- Geringer Flächenverbrauch
- Erneuerbar und nachhaltig
- Erzeugt Grundlastenergie
- Vermeidet Einfuhr von Energierohstoffen
- Bringt Vorteile für die regionale Entwicklung

Übersicht Geothermienutzung in Deutschland und weltweit

Ressource:

Erdwärme:*

- **oberflächennah** (bis 400 m) 7- 25°C
- **hydrothermal** (ab 400 m) 25-120°C
- **Hot-Dry-Rock-Systeme** (ab 400 m) sind teufenabhängig

Standorte:

- **oberflächennah**: weltweit
- **hydrothermal**: weltweit, in Deutschland:
Norddeutsches Tiefland, Oberrheintal, Region zwischen Donau und Alpenland, Schwäbische Alb, Oberfranken
- **Hot-Dry-Rock-Systeme**: Oberrheingraben, zukünftig fast weltweit

Einsatzgebiete:

- **Heizung und Kühlung**,
- **saisonale Kälte- und Wärmespeicherung, Eisfreihaltung**,
- **Prozesswärme**
- **Stromerzeugung**

Leistungsbereiche:

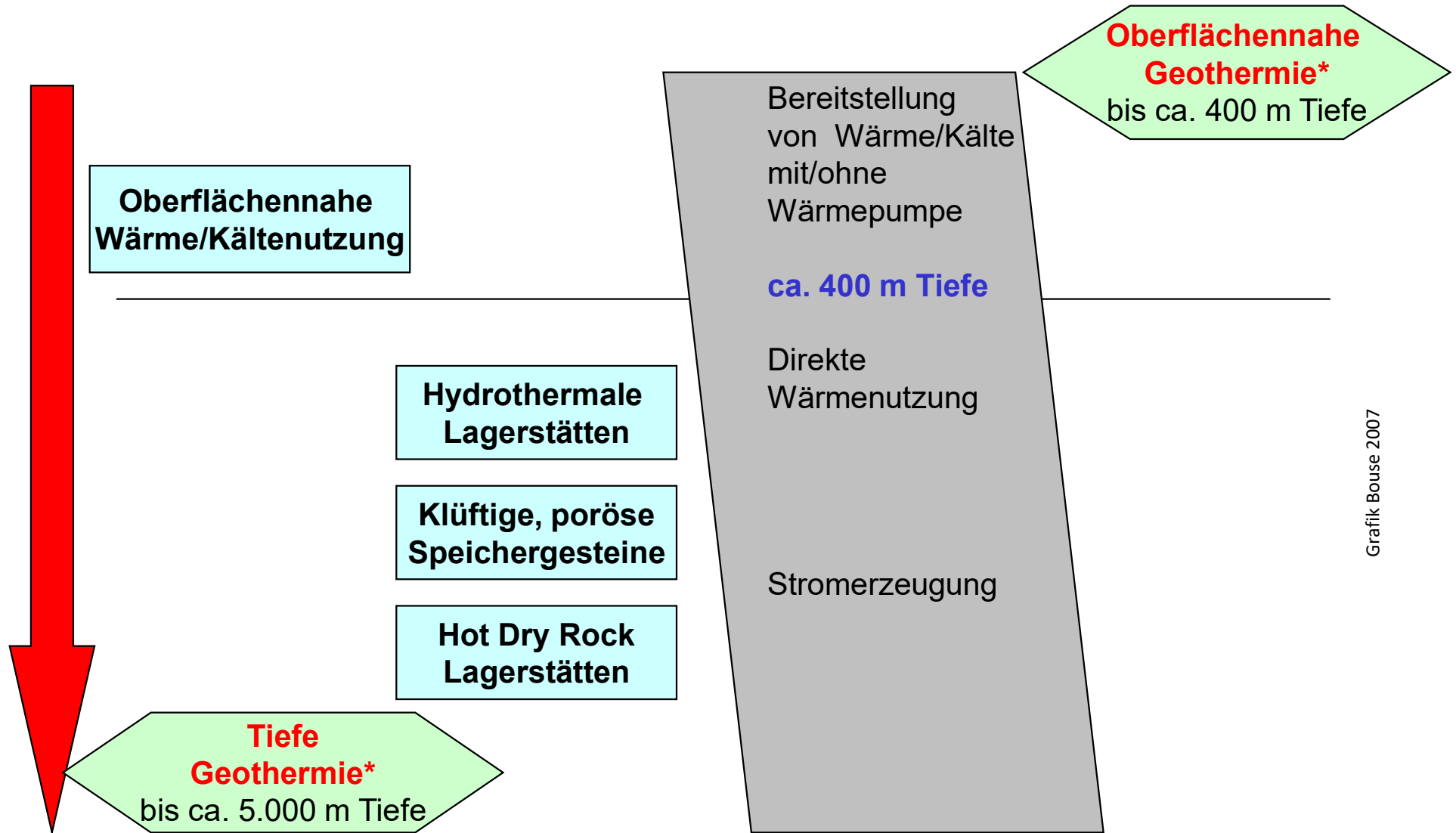
- **oberflächennah**: Erdwärmesonde 6 - 8 kW
- **hydrothermal**: 1 - 30 MW thermisch
- **Hot-Dry-Rock**: 1 - 50 MW elektrisch

Gestehungskosten:

- **Wärme**: 2 – 6 Ct/kWh
- **Strom**: 7 - 15 Ct/kWh

* Temperaturanstieg rund 3°C / 100 m ;

Nutzung geothermischer Energie nach GFZ Potsdam



Grafik Bouse 2007

* Erdtemperaturen in Europa bei folgenden Tiefen:

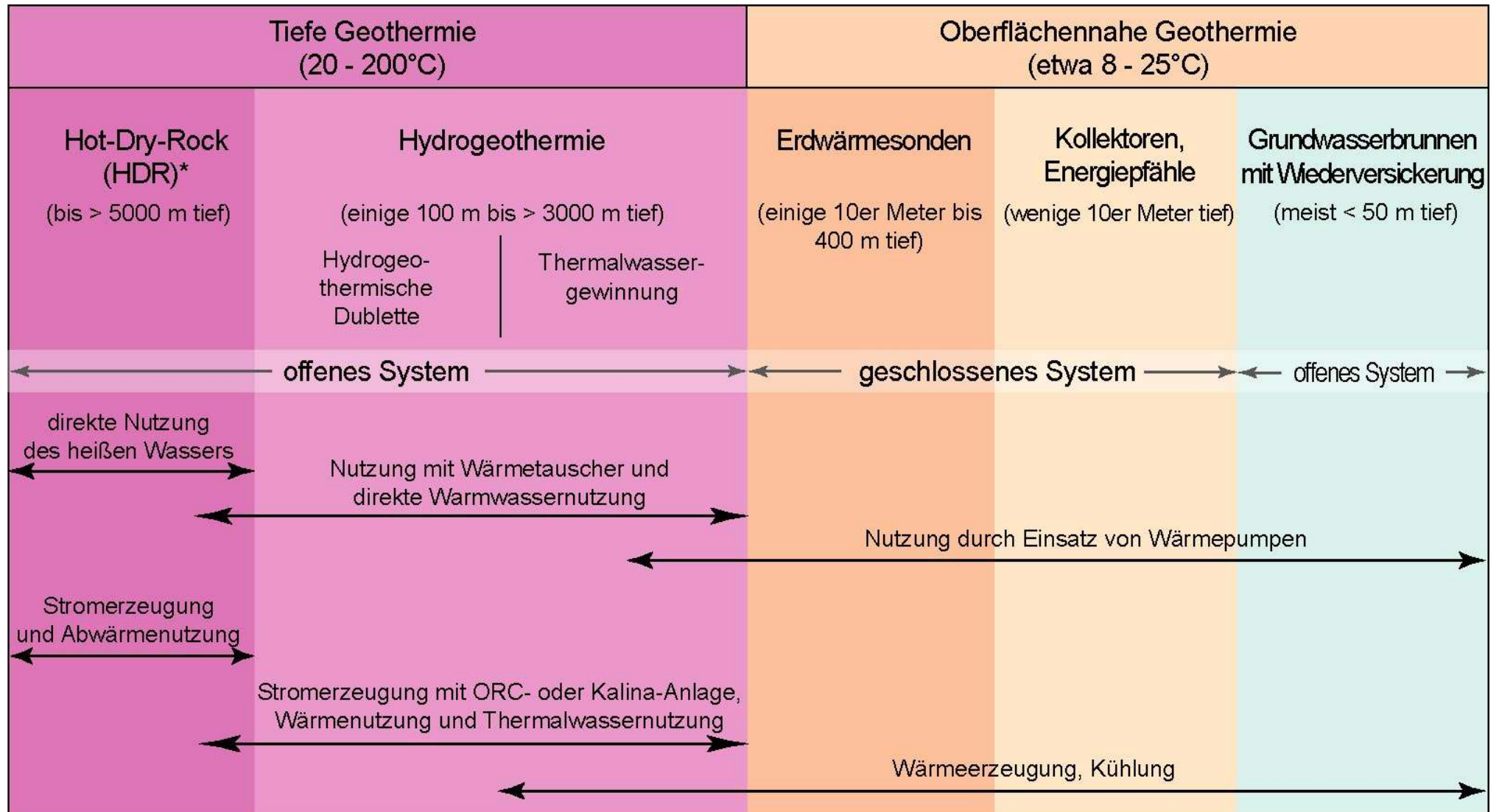
20 m = ca. 10°C; 400 m = ca. 25°C; 3.000 m = bis 180°C; 5.000 m ca. 200 °C

Einteilung der Erdwärmenutzung (1)

Geothermische Energie wird auf unterschiedliche Art und Weise sowie aus verschiedenen Tiefen gewonnen:

- **Niedertemperierte Nutzungen bis etwa 20°C (Tiefen bis etwa 150 m)**
nur in Verbindung mit Wärmepumpen für Heizzwecke (ca. 5 kW).
Nutzungs-Systeme: Erdwärmesonden, Energiepfähle, Kollektoren, Grundwasserbrunnen.
- **Nutzungen bis etwa 100 - 140°C (Tiefen bis ca. 2500 m):**
direkt zur Gewinnung von Wärmeenergie (ca. 5 MW), Stromproduktion gering (ca. 0,25 MW). Häufigste Nutzung durch hydrogeothermische Anlagen.
Hier findet oft eine Mehrfachnutzung statt z. B. Förderwasser direkt für balneologische Zwecke, Entwärmung des Förderwassers: Nutzung der entnommenen Energie als Heizwärme + das abgekühlte Wasser als Trinkwasser. Nutzungs-Systeme: hydrogeothermische Nutzung, Dubletten, Tiefe Erdwärmesonden.
- **Hochtemperatur-Nutzungen mit über 150 - 200°C (Tiefen ca. 5000 m):**
zur Stromerzeugung (ca. 5 MW) und Wärmeproduktion (ca. 10 MW).
Nutzungs-Systeme: Hot-Dry-Rock (HDR), Deep-Heat-Mining (DHM)

Einteilung der Erdwärmenutzung (2)



* auch Deep-Heat-Mining (DHM) oder Hot-Fractured-Rock (HFR)

Nutzungsarten in der Geothermie (1)

Einleitung

Um die Wärme aus dem Untergrund gewinnen zu können, braucht man gewöhnlich ein Transportmittel, das Fluid – Dampf, Wasser, Sole ...

Man kann die Nutzungsarten danach unterscheiden, ob das Fluid bereits im Untergrund vorhanden ist oder erst künstlich eingebracht werden muss.

Hier also eine Auswahl möglicher Nutzungssysteme.

Die Übergänge sind fließend.

Nutzungssysteme

Tiefengeothermie

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 (mit niedriger Enthalpie)

- Aquifere mit
 - heißem ($>100^{\circ}\text{C}$)
 - warmen ($40\text{-}100^{\circ}\text{C}$) oder
 - Niedrigtemperaturwasser ($25\text{-}40^{\circ}\text{C}$)
- Thermalquellen ($> 20^{\circ}\text{C}$)

*Aquifere sind wasserführende Schichten im Untergrund

Oberflächennahe Geothermie

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

- Erdkollektoren
- Erdwärmesonden
- Grundwasserbohrungen

Weitere Nutzungsarten

- Tiefe Erdwärmesonden
- Energiepfähle, erdberührte Betonbauteile
- Saisonale Speicherung (z.B. Aquiferspeicher)
- Grubenwärme; Tunnelwärme

Nutzungsarten in der Geothermie (2)

Tiefe Geothermie

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 (mit niedriger Enthalpie)

- Aquifere * mit
 - heißem ($>100^{\circ}\text{C}$)
 - warmen ($40\text{-}100^{\circ}\text{C}$) oder
 - Niedrigtemperaturwasser ($25\text{-}40^{\circ}\text{C}$)
- Thermalquellen ($>20^{\circ}\text{C}$)

Oberflächennahe Geothermie

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

- Erdkollektoren
- Erdwärmesonden
- Grundwasserbohrungen

Weitere Nutzungsarten

- Tiefe Erdwärmesonden (ab 400 m)
- Energiepfähle, erdberührte Betonbauteile
- Saisonale Speicherung (z.B. Aquiferspeicher)
- Grubenwärme; Tunnelwärme

* Aquifere sind wasserführende Schichten im Untergrund

Petrophysikalische Systeme

- Nutzung der im Stein gespeicherten Energie, z.B.
- Hot-Dry-Rock (HDR)

Hydrothermale Systeme mit hohem Temperaturangebot (mit hoher Enthalpie)

- Aquifere mit heißem ($> 100\text{ °C}$), warmem ($40 - 100\text{ °C}$), oder
- Niedrigtemperaturwasser ($25-40\text{ °C}$)
- Thermalquellen ($> 20\text{ °C}$)

Oberflächennahe geothermische Systeme

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

- Erdkollektoren, Erdwärmesonden, Grundwasserbohrungen,
- Energiepfähle

Weitere Nutzungsarten

- Tiefe Erdwärmesonden
- Grubenwärme, Tunnelwärme
- Saisonale Speichersysteme

Technologien zur Nutzung der Erdwärme (1)

Um die Erdwärme nutzbar machen zu können, bedarf es eines Mediums, mittels dessen man sie an die Oberfläche befördern kann. Hierbei gibt es zwei grundsätzliche Möglichkeiten:

1. Das Medium ist im Untergrund bereits als Dampf oder heißes Wasser vorhanden. Über eine Bohrung wird dieses an die Oberfläche befördert, durch Nutzung abgekühlt und schließlich wieder zurückgeleitet.
2. Im Untergrund ist heißes Gestein vorhanden; um diese Wärme gewinnen zu können, wird Wasser in die Tiefe gepumpt und erhitzt wieder nach oben gefördert.

Die eingesetzten Verfahren zur Erschließung und Nutzung des geothermischen Potenzials sind sehr vielfältig:

Oberflächennahe Erdwärme

Unter oberflächennaher Geothermie versteht man die Nutzung der Energie, die in den obersten Erdschichten oder dem Grundwasser gespeichert ist. Auch die hier herrschenden geringen Temperaturen von 8-12°C lassen sich auf verschiedene Arten nutzen und können sowohl zur Bereitstellung von Wärme als auch Klimakälte dienen.

Um die vorhandene Energie im flachen Untergrund nutzen zu können, werden Wärmepumpen, Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden, Energiepfähle oder auch erdberührte Betonbauteile eingesetzt.

Tiefe Erdwärme im Untergrund

Petrophysikalische Systeme wie das Hot-Dry-Rock-Verfahren nutzen die in kristallinen Gesteinen gespeicherte Hitze. Sie werden sowohl zur Wärme- als auch zur Stromversorgung eingesetzt.

Hydrothermale Geothermie

Für die hydrothermale Geothermie werden in großen Tiefen natürlich vorkommende Thermalwasservorräte, sogenannte Heißwasser-Aquifere (Wasser führende Schichten) angezapft. Die hydrothermale Energiegewinnung ist je nach Temperatur als Wärme oder Strom möglich.

Technologien zur Nutzung der Erdwärme (2)

Hot-Dry-Rock-Verfahren

Die in trockenen, heißen Gesteinsschichten (Hot Dry Rock) gespeicherte Energie kann zur **Strom- und Wärmeerzeugung** genutzt werden. Um die Wärme dieser Gesteine nutzen zu können, müssen sie von einem Wärmeträger durchflossen und anschließend an die Oberfläche gebracht werden.

Das durch die heißen Gesteinsschichten erhitze Wasser kann zur Bereitstellung von Industriedampf und zur Speisung von Nah- und Fernwärmenetzen genutzt werden. Besonders interessant ist die Erzeugung von Strom aus dem heißen Dampf. Hierfür wird das im Untergrund erhitze Wasser dazu genutzt, eine Turbine anzutreiben. Der geschlossene Kreislauf im Zirkulationssystem steht so unter Druck, dass ein Sieden des eingepressten Wassers verhindert wird und der Dampf erst an der Turbine entsteht.

Das in der Tiefe vorhandene heiße Gestein wird über Bohrungen erschlossen. Hierbei gibt es mindestens eine Förder- und eine Verpressbohrung, welche durch einen geschlossenen Wasserkreislauf verbunden sind.

Zu Beginn wird Wasser mit enorm hohem Druck in das Gestein gepresst (hydraulische Stimulation); hierdurch werden Fließwege aufgebrochen oder vorhandene aufgeweitet und damit die Durchlässigkeit des Gesteins erhöht. Dieses Vorgehen ist notwendig, da sonst die Wärmeaustauschfläche und die Durchgängigkeit zu gering wären.

Das so geschaffene System aus natürlichen und künstlichen Rissen bildet einen unterirdischen, geothermischen Wärmetauscher. Durch die Injektions-/ Verpressbohrung wird Wasser in das Kluftsystem eingepresst, wo dieses zirkuliert und sich erhitzt. Anschließend wird es durch die zweite Bohrung, die Produktions-/Förderbohrung, wieder an die Oberfläche gefördert.

Zur **Stromerzeugung** werden u.a. **ORC-Turbinen (Organic Rankine Cycle)** eingesetzt, die im Wesentlichen wie Dampfturbinen arbeiten. Als Arbeitsmedium wird allerdings nicht Wasser, sondern eine organische Flüssigkeit mit niedrigerem Siedepunkt verwendet, so zum Beispiel Ammoniak.

Technologien zur Nutzung der Erdwärme (3)

Nur so ist es möglich, das vergleichsweise geringe Temperaturniveau geothermischer Quellen von rund 100°C für die elektrische Energieerzeugung zu nutzen.

Hydrothermale Wärmeversorgung

Für die Wärmenutzung eignen sich niedrigthermale Tiefengewässer mit Temperaturen zwischen 40 und 100°C, wie sie vor allem im süddeutschen Molassebecken, im Oberrheingraben und in Teilen der norddeutschen Tiefebene vorkommen. Das Thermalwasser wird gewöhnlich aus 1.000 bis 2.500 Metern Tiefe über eine Förderbohrung an die Oberfläche gebracht, gibt den wesentlichen Teil seiner Wärmeenergie per Wärmetauscher an einen zweiten, den "sekundären" Heiznetzkreislauf ab. Ausgekühlt wird es über eine zweite Bohrung wieder in den Untergrund verpresst, und zwar in die Schicht, aus der es entnommen wurde.

Hydrothermale Stromerzeugung

Bei der hydrothermalen Stromerzeugung sind Wassertemperaturen von mindestens 100°C notwendig. Hydrothermale Heiß- und Trockendampfvorkommen mit Temperaturen über 150°C können direkt zum Antreiben einer Turbine genutzt werden. In Deutschland liegen allerdings die üblichen Temperaturen geologischer Warmwasservorkommen niedriger. Lange Zeit wurde Thermalwasser daher ausschließlich zur Wärmeversorgung im Gebäudebereich genutzt. Neu entwickelte ORC- Anlagen (Organic Rankine Cycle) ermöglichen allerdings eine sinnvolle Nutzung von Temperaturen ab 80°C zur Stromerzeugung. Diese arbeiten mit einem organischen Medium, das bei relativ geringen Temperaturen verdampft. Dieser Dampf treibt über eine Turbine den Stromgenerator an.

Eine Alternative zum **ORC-Verfahren ist das KALINA-Verfahren**. Hier werden Zweistoffgemische, so zum Beispiel aus Ammoniak und Wasser als Arbeitsmittel verwendet. Das KALINA- Verfahren steht derzeit noch am Beginn der Entwicklung, verspricht aber einen höheren Wirkungsgrad und niedrigere Stromgestehungskosten.

Oberflächennahe Geothermie

Wärmequellen und Technologien

Nutzungsverfahren für oberflächennahe Geothermie

Auch die ersten hundert Meter lassen bereits sich geothermisch nutzen, obwohl dort nur Temperaturen von 8 bis 10°C herrschen. Aus diesem Grund benötigt man zusätzlich eine **Wärmepumpe**, um die für die Wärmeversorgung notwendigen höheren Temperaturen zu erzeugen. Zur Wärmeherzeugung in der oberflächennahen Geothermie stehen folgende Nutzungsverfahren zur Verfügung:

Grundwasser:

An geeigneten Standorten lässt sich Grundwasser entnehmen und direkt zur **Wärmepumpe** bringen. Es muss jedoch wieder in den Untergrund eingeleitet werden, so dass neben Förderbrunnen auch sogenannte Schluckbrunnen einzurichten sind.

Erdwärmesonden:

Die Sonden sind senkrechte oder schräge bis 250 m tiefe Bohrungen, in die gewöhnlich Kunststoffrohre installiert werden. Sie bilden in Mittel- und Nordeuropa die häufigsten Anlagentypen. Die mit einer Wärmeträgerflüssigkeit gefüllten Sonden heizen oder klimatisieren in Verbindung mit einer **Wärmepumpe** einzelne Wohngebäude, Büro- und Gewerbebauten oder sogar Wohnanlagen. In der Regel nicht einsetzbar in Wasserschutzgebieten.

Erdwärmekörbe:

In einer Tiefe von etwa 1 m werden mehrere Erdwärmekörbe aus Kunststoff senkrecht im Boden verlegt. Jeder Standardkorb ist 1,30 m hoch und hat einen oberen/unteren Durchmesser von 1,80/ 0,90 m. Die Wärmeentzugsleistung beträgt je nach Bodenbeschaffenheit 0,7-1 kW. Alternativ zu Erdwärmesonden, z.B. in Wasserschutzgebieten einsetzbar.

Erdwärmekollektoren:

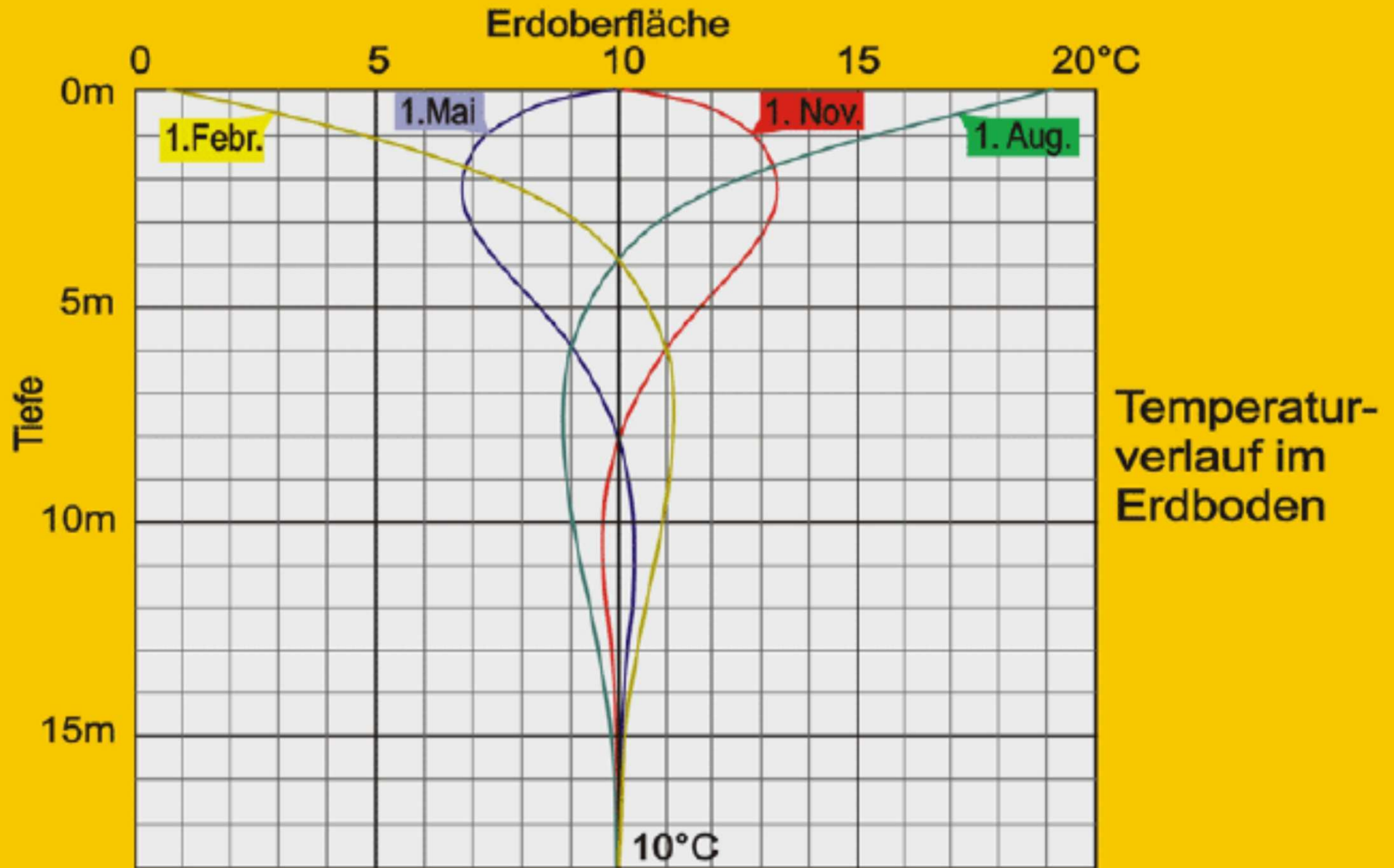
In einer Tiefe von etwa 80 bis 160 cm werden Wärmetauschrohre aus Kunststoff horizontal im Boden verlegt. Über eine zirkulierende Wärmeträgerflüssigkeit wird dem Boden die Wärme entzogen und mittels **Wärmepumpe** auf das benötigte Temperaturniveau angehoben.

Erdberührte Betonbauteile,

Energiepfähle:

Dabei handelt es sich um statisch notwendige Bauteile und /oder Gründungspfähle, Schlitzwände. Bei Neubauten kann man diese mit Wärmetauschrohren ausrüsten und sie in Verbindung mit einer **Wärmepumpe** wirtschaftlich zum Heizen und Kühlen des Gebäudes einsetzen.

Temperaturverlauf im oberflächennahen Erdboden



Übersicht Wärmequellen für Wärmepumpenanlagen

Erdwärmesonden * (sinnvoll, wenn Grundwassernutzung nicht möglich, vertikale Sonden bis 300 m Tiefe, Abstand > 5 m, ganzjährig > 10 °C, hohe Effizienz, aber: hohe Investitionen, wasserrechtliche Unbedenklichkeit zwingend, Zugang, Bohrrisiko)

Erdwärmekörbe* (neu) alternativ zu Erdwärmesonden, z.B. in Wasserschutzgebieten

Erdreichkollektoren * (sinnvoll wenn ohnehin Erdbewegungen notwendig, Kunststoff-Rohrschlangen in 1 bis 1,5 m Tiefe, Abstand > 50 cm, $+ 2$ °C während Heizzeit, nicht genehmigungspflichtig, leichte Temperaturdämpfung und -verschiebung, aber: flächenintensiv, geringere JAZ)

Grundwasser * (sofern in geringer Tiefe vorhanden, Förder- und Schluckbrunnen im Abstand von > 10 m, ganzjährig $+ 7$ bis $+ 12$ °C, hohe JAZ, aber: genehmigungspflichtig, Wasserchemie ggf. problematisch)

Luft (überall verfügbar, einfache Erschließung, $+ 5$ °C während Heizzeit, kostengünstig, aber: ungünstiger Temperaturverlauf, schlechter Wärmeübergang, geringere JAZ, nicht sinnvoll unter $- 12$ °C, ggf. Schallprobleme)

Fließgewässer (guter Wärmeübergang, $+ 2$ bis $+ 15$ °C, hohe JAZ, aber: genehmigungspflichtig, kostenintensiv durch wasserbauliche Maßnahmen, Verschmutzungsgefahr bei Hochwasser)

Abwasser / sonstige Abwärmequellen (je nach Temperatur hohe JAZ, aber: Eigentumsverhältnisse, evtl. Korrosionsprobleme)

*** Wärmequellen zählen zur oberflächennahen Geothermie**

Welche Wärmequelle wird von Erdwärmesonden genutzt Erdwärme (Geothermie) oder Umweltwärme (Solarenergie)?

- Beide Wärmequellen leisten einen Beitrag zum Wärmeangebot.
- Das Verhältnis ist unter anderem abhängig von der Sondenlänge.
- Entscheidend ist neben der Größe des Wärmestroms das Temperaturniveau der Wärme. Dieses wird im Wesentlichen durch die Umwelt (jahresmittlere Temperatur der Außenluft $\approx 10\text{ °C}$) bestimmt.
- Die Diskussion über die Frage ist eine akademische, da beide Wärmequellen als erneuerbar anzusehen sind.

Erdwärmesonden - Teil des Heiz-(Kühl)systems



Potenzial:

- Die Wärmepumpe als ein möglicher, regenerativ gespeister Wärmeerzeuger
- Das Erdreich als eine mögliche Wärmequelle
- Erdwärmesonden als eine mögliche Technik

Aber auch:

- Erdwärmesonden als potenzielle „Engstelle“ im System
Gebäude <-> Heizsystem <->
Wärmepumpe <-> Erdwärmesonden
(bis hin zur Gefahr der Vereisung)

> **Ausreichende Dimensionierung!**

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Erdwärmesonden + Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen im Einfamilienhaus 2006 (EFH) (1)

- Eine Erdwärmesondenanlage besteht **grob investiv wertmäßig zur Hälfte** aus **Erdwärmesonden und der Wärmepumpe** mit Umwälzpumpen und Installation.
- Erdwärmesonden sind bei richtiger Hinterfüllung und Auslegung nur Temperaturen von ca. 0°C bis 14°C ausgesetzt und können mit einer **Lebensdauer von über 50 Jahren** bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen angesetzt werden.
- Eine moderne **Wärmepumpe mit Scroll-Kompressor** hat in Kombination mit einer Erdwärmesonde eine **Jahresarbeitsziffer von größer 3,4**, d.h. nur noch weniger als 30% der Heizleistung müssen durch den Antriebsstrom der Wärmepumpe und Umwälzpumpen erzeugt werden.
- Dort wo es möglich ist, lässt sich die Wärmepumpe mit einer simplen Zeitschaltuhr vorwiegend bei **50% bis 80% der Stromkosten im Niedertarif** betreiben.
- Eine Wärmepumpe für ein EFH mit einem hermetisch isolierten Kompressor ist entweder dicht oder kaputt. Ein Service erübrigt sich.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Erdwärmesonden + Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen im Einfamilienhaus (EFH) 2006 (2)

- Eine Heizung mit Erdwärmesonden ist die einzige Anlage, mit der sich im Sommer ein Haus fast zum Nulltarif kühlen lässt!
- Eine Erdwärmesondenheizung braucht sehr wenig Platz und praktisch keinen Service. Mit einer guten Steuerung kann man die jährliche Umschaltung Sommer-Winterbetrieb auch noch lassen.
- Rechnet man nur die **Energiekosten** bei einem Jahresheizkostenvergleich Öl / WP + EWS, ist die WP mit EWS **ab 24 Cents für den Liter Heizöl günstiger** beim Neubau.
- Rechnet man alle **Gestehungskosten** bei einem Jahresheizkostenvergleich Öl / WP + EWS dazu, ist die WP mit EWS **ab 34 Cents für den Liter Heizöl günstiger** beim Neubau.
- Rechnet man die Erdwärmesondenheizung richtig, gehen die Gesamtjahreskosten auf ca. 2/3 runter und sind deutlich niedriger als Heizsysteme mit Öl oder Gas.

Kältemittel für Wärmepumpen

Früher standen die technischen Eigenschaften bei der Wahl eines Kältemittels im Vordergrund, dies hat sich jedoch mit der Zeit geändert als das ozonabbauende Potential dieser Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und ihr Einfluss auf die Erwärmung der Atmosphäre (Treibhauseffekt) erkannt wurde. Dadurch hat sich der Einsatz von verschiedenen Kältemitteln gewandelt.

Bewertung von Kältemitteln:

- ODP-Wert (Ozone Depletion Potential)

Bewertung der ozonschädigenden Wirkung eines Kältemittels (Referenz : R11 mit ODP-Wert von 1).

- GWP-Wert (Global Warming Potential)

Treibhauspotential bezogen auf CO₂ in einem Zeitraum von 100 Jahren.

Frühere Kältemittel				Heutige Kältemittel			
Bezeichnung	ODP	GWP	Bemerkung	Bezeichnung	ODP	GWP	Bemerkung
R11	1	4000	Verbot in Neuanlagen	R134a	0	1300	Ersatz für R22 und R12
R12	1	8500	Verbot in Neuanlagen	R407C	0	1526	Ersatz für R22 und R502
R502	0,33	5591	Verbot in Neuanlagen	R290 (Propan)	0	3	Ersatz für R22 und R502
R22	0,055	1700	Verbot in Neuanlagen	R717 (Ammoniak)	0	0	Umweltneutral, toxisch, korrosiv
				R744 (Kohlendioxid)	0	1	Umweltverträglich, hoher Druck erforderlich

Überwiegend werden **heute die Kältemittel R290 und R407c** eingesetzt, mit steigender Tendenz beim R407c.

Wird Propan als Kältemittel verwendet, muss der Aufstellraum der Wärmepumpe ab einer Kältemittelmenge von 1 kg belüftet werden (üblicherweise mit Zusatzlüfter).

Anforderungskriterien für das EHPA-Gütesiegel ¹⁾ für Heizwärmepumpen, Qualitätssicherung , Stand: 01.01.2011

- Seriengerät gemäß Anforderungen des Prüfsentrums
- Gemessene Leistungen nach DIN EN 14511
- Mindestwirkungsgrade COPs (Leistungszahl) für*:
 - Luft-Wasser : 3,1
bei A2 / W35
 - Sole-Wasser: 4,3
bei B0 / W35
 - Wasser-Wasser: 5,1
bei W10 / W35
 - Direktverdampfung-Wasser 4,3
bei E4 /W35
- Elektrische Sicherheitsprüfung gemäß EG-Konformitätserklärung (CE-Zeichen)
- Gemessene Schallemissionen
- Einhaltung der EVU-Anschlussbedingungen
- Mindestanforderungen bei Planungsunterlagen
- Vollständige Einbau- und Bedienungsanleitung
- Flächendeckendes Kundendienstnetz
- 2 jährige Vollgarantie / 10-jährige Ersatzteilverhaltung,
bei Bedarf innerhalb von 24 Stunden vor Ort

* A2 = Air (Luft) „Eintrittstemperatur Außenluft in den Verdampfer “ bei 2° C; B0 = Brine (Sole) bei 0° C; W10 = Water (Wasser) „Grundwasser“ bei 10° C;

W35 = Water (Austrittstemperatur Heizwasser am Verflüssiger) bei 35°C.

1) ehpa = European Quality Label for Heat Pumps

Internationales Gütesiegel für Erdwärmesonden-Bohrfirmen

Mit dem Gütesiegel für Erdwärmesonden-Bohrfirmen soll ein hohes Qualitätsniveau bei der Erstellung und Nutzung von Erdwärmesondenanlagen erreicht und auch für die Zukunft gewährleistet werden.

Bohrfirmen, welche Träger des Gütesiegels sind, garantieren:

- einen hohen Kundennutzen und optimale Beratung der Bauherrschaft
- eine umweltschonende Erstellung der Anlage
- dass die Bohrungen nach dem neuesten Stand der Technik abgeteuft werden
- den Einsatz von technisch hochwertigem Sondenmaterial
- eine größtmögliche Sicherheit auf der Baustelle

Erstes bundesweites "Gütesiegel Erdwärmesonden" im Jahr 2006 verliehen

Seit mehreren Jahren sind der Bundesverband Wärmepumpen (BWP) und die Geothermische Vereinigung (GtV) im Gespräch, um ein besonderes Qualitätszeichen für Erdwärmesonden einzuführen.

Dieses "Gütesiegel Erdwärmesonden" soll ausführenden Bohrfirmen verliehen werden können, die sich zur Einhaltung hoher Qualitätsstandards verpflichten. Die Entwicklung wurde zuletzt besonders vom BWP vorangetrieben, als weitere Träger sind der Zentralverband Deutsches Baugewerbe (ZDB), die Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches (DVGW), die Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach (FIGAWA), und nun auch die GtV mit im Boot.

Mit dem Gütesiegel wird erwartet, dass sich qualitätsbewusste Unternehmen auf dem Markt entsprechend darstellen können, und dass die Verbraucher neben dem Preis noch ein weiteres Kriterium für ihre Entscheidung nutzen können. In einem stark wachsenden Markt bedarf es solcher Merkmale, um qualitativ hochwertige und sorgfältige Arbeit zu fördern.

Anlässlich der Sitzung der Vorbereitungskommission der beteiligten Verbände zum Gütesiegel am 26.1.06 in den [Räumen der EnBW in Karlsruhe](#) wurde nunmehr das erste Gütesiegel an das **Bohrunternehmen Terrasond GmbH & Co KG aus Günzburg** verliehen.

Investitionen für die Wärmequellenerschließung zum Betrieb von Heizungs-Elektrowärmepumpen

Luft/Wasser Wärmepumpen

ca. 250 bis 500 € inkl. MwSt, unabhängig von der Heizleistung

Sole/wasser Wärmepumpe

- Erdwärmesonden ca. 650 bis 950 € inkl. MwSt je kW Heizleistung
- Erdwärmekollektoren ca. 250 bis 350 € inkl. MwSt je kW Heizleistung

Wasser/wasser Wärmepumpen

Brunnenanlage mit 2 Brunnen je 15 m ca. 5.500 bis 6.000 € inkl. MwSt

Hinweise:

Die vorgenannten Angaben beruhen auf Erfahrungswerten und dienen als Richtwerte.
Abweichungen sind möglich, z.B. aufgrund von örtlichen geologischen Bedingungen.

Investitions- und Wärmegestehungskosten von erdgekoppelten Wärmepumpen in Abhängigkeit von den Strombezugskosten - Stand 2006

Orientierungswerte ohne Wärmequellenerschließung (z.B. Erdwärmesonden)					
Benennung	Einheit	Durchschnitts-Strombezugskosten (Ct/kWh)			
		8	9	13	
Nutzwärmeleistung	kWth	10			
Jahresarbeitszahl 1)	-	4			
elektrische Leistung	kW	3			
elektrischer Energiebedarf	kWh/a	3.750			
jährliche Wärmeherzeugung 2)	kWh/a	15.000			
Netto-Investitionen	€	11.000			
Nutzungsdauer	a	15			
Zins p.a.	%	6			
Kapitalkosten	€/a	1.133			
Strombezugskosten	€/a	300	338	488	
Wärmegestehungskosten	ct/kWh	9,55	9,80	10,80	

1) Verhältnis der bereitgestellten Nutzwärme zur eingesetzten Strommenge.
2) z.B. 4 Personenhaushalt mit einer Wohnfläche von 150 m² und einem spez. Raumwärmebedarf von 80 kWh/m²

Quelle: Bundesverband Wärmepumpe 2006 aus Frithjof Staiß, Jahrbuch Erneuerbare Energien 2007- Teil 2 CD-ROM

Ausgewählte Praxisbeispiele

Im Gegensatz zur Nutzung von warmen oder heißen Wässern aus dem tiefen Untergrund wird Wärme aus dem flacheren Untergrund gewöhnlich nur mit Hilfe von Wärmepumpen genutzt.

Für den Einsatz von Wärmepumpen steht eine breite Palette an Wärmequellen bzw. Techniken zu Verfügung, um die im Untergrund vorhandene Energie nutzen zu können.

Die wichtigsten sind:

- Grundwasserwärmepumpen
- Erdwärmekollektoren
- Erdwärmekörbe (neu)
- Erdwärmesonden
- Erdberührte Betonbauteile, Energiepfähle

Praxisbeispiel: Sole/Wasser-Heizungswärmepumpe mit Erdwärme-sonden im Neubau eines Einfamilienhauses in Biberach 2005 (1)

Heizen mit Erdwärme mit dem Stromtarif „EnBW Wärmeplus“

Hier stellen wir Ihnen ein Praxisbeispiel vor, wie Sie mit einer Sole/Wasser-Wärmepumpe über Erdwärmesonden und unserem speziellen Tarif für Wärmepumpen effizient, kostengünstig und umweltfreundlich heizen können.



Anlagenstandort

88400 Biberach

Angaben zum Objekt

Neubau, Einfamilienhaus, beheizte Fläche: 200 m², Baujahr 2002, Wärmedämmung: nach Wärmeschutzverordnung 1995, Wärmebedarf: 10,4 kW, Anzahl der Personen: 4

Praxisbeispiel: Sole/Wasser-Heizungswärmepumpe mit Erdwärme-sonden im Neubau eines Einfamilienhauses in Biberach 2005 (2)

Heizsystem	Die Heizungsanlage im Neubau Sole/Wasser-Wärmepumpe Alpha-InnoTec, Typ: SW 140 I Erdwärmesonde: 2 Bohrungen mit 98 m und 94 m Tiefe Heizleistung: B0/W35: 14,4 kW Pufferspeicher: 200 l Wärmeverteilung: Fußbodenheizung Warmwasserbereitung über Wärmepumpe mit 400 l Warmwasserspeicher
------------	---

Angaben zur Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Erdwärmesonden

Betriebsweise	Monovalent (Wärmepumpe deckt komplett Heizungs- und Warmwasserbedarf)
Anschaffungskosten	Wärmepumpe + Zubehör (Materialkosten): 8.579 € (inkl. MwSt.), ohne Montagekosten, Erdwärmesonde: 6.100 €
Stromverbrauch	Stromverbrauch pro Jahr: 4.360 kWh (Heizperiode 2003/2004)
Verbrauchskosten*	In diesem Referenzobjekt führt der Einsatz einer Wärmepumpe zu dem jährlichen Heizkostenbetrag von ca. 585 € (inkl. Grundpreis)
Sperrzeiten	2 x 1,5 h
Installateur	P. Riedesser Spenglerei Sanitär Heizungstechnik, 88410 Bad Wurzach

* auf der Basis des derzeit aktuellen Stromtarifes „EnBW WärmePlus“ ermittelt. (Stand August 2005)

Praxisbeispiel: Sole/Wasser-Heizungswärmepumpe mit Erdwärmesonden im sanierten Zweifamilienhaus in Wangen 2005 (1)

Heizen mit Erdwärme mit dem Stromtarif „EnBW Wärmeplus“

Hier stellen wir Ihnen ein Praxisbeispiel vor, wie Sie durch eine Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Erdwärmesonden und unserem speziellen Tarif für Wärmepumpen effizient, kostengünstig und umweltfreundlich heizen können.



> Verbrauchsreduzierung

Bei der Sanierung dieses Zweifamilienhauses hat die Umstellung der Energieversorgung zu einer erheblichen Reduzierung der jährlichen Heizkosten geführt.

Anlagenstandort	88239 Wangen im Allgäu
-----------------	------------------------

Angaben zum Objekt	Altbau, Zweifamilienhaus, Wohnung mit je 2 bzw. 3 Personen, beheizte Fläche: ca. 207 m ² , Baujahr 1969, Wärmedämmung: Obergeschossdecke, Fenster, Wand, Wärmebedarf: ca. 10,5 kW errechnet.
--------------------	---

Praxisbeispiel: Sole/Wasser-Heizungswärmepumpe mit Erdwärmesonden im sanierten Zweifamilienhaus in Wangen 2005 (2)

Heizsystem	Vor Sanierung der Heizungsanlage	Nach Sanierung der Heizungsanlage (05/2004)
	<p>Öl-Heizkessel mit integriertem Speicher Kachelofen</p> <p>➤ Jahres-Verbrauch: 3.800 l Heizöl</p> <p>➤ Verbrauchskosten*: Für Heizung, Warmwasser und Nebenkosten 2.305 €/Jahr (Preisangabe bei einem derzeitigen Ölpreis von 0,55 € bei 3.000 Liter Abnahme)</p>	<p>Wärmebedarf: 10,5 kW Kachelofen wird fast nie benutzt Sole/Wasser-Wärmepumpe für Innenaufstellung Fabrikat Viessmann Sondenlänge: 2 x 90 m Heizleistung: B0/W35: 10,4 kW Pufferspeicher: 200 l Wärmeverteilung: 16 m² FbH, Rest Heizkörper Warmwasserbereitung über Wärmepumpe Erdwärmesonden: 2 Bohrungen je 99 m Tiefe</p> <p>➤ Stromverbrauch: ca. 8.400 kWh/a (6.500 kWh von 05/2004 bis 03/2005)</p> <p>➤ Verbrauchskosten*: 1.073 €/Jahr (inkl. Nebenkosten)</p>
Angaben zur Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Erdwärmesonden		
Betriebsweise	Reine Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Erdwärmesonden (monovalent) Kachelofen zur Ergänzung und Spitzenabdeckung	
Anschaffungskosten	Wärmepumpe und Zubehör: 11.900 € (inkl. MwSt.) inkl. WW, Montage und 2 neue Heizkörper: 998 € Erdwärmesonde: 6.700 €	
Installateur	Waldner Haustechnik GmbH & Co. KG, 88239 Wangen	

*auf der Basis des derzeit aktuellen Stromtarifes „EnBW WärmePlus“ und des derzeit aktuellen Heizölpreis ermittelt. (Stand Juli 2005)

Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Erdwärmesonden 2006 (1)

EnBW Referenzanlage Heizen mit Erdwärme, Neubau in Wangen

Praxisbeispiel

Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Erdwärmesonden und speziellen Tarif für Wärmepumpen heizt effizient, kostengünstig und umweltfreundlich



Anlagenstandort	88239 Wangen im Allgäu
Angaben zum Objekt	Dreifamilienhaus, Neubau, Baujahr 2002, Anzahl der Bewohner: 8, beheizte Wohnfläche: 278 m ² , Wärmebedarf: 11,6 kW, Wärmedämmung: nach KfW 60 Standard
Heizsystem	<p>Die Heizungsanlage im Neubau</p> <p>Sole/Wasser-Wärmepumpe für Innenaufstellung</p> <p>Hersteller: SIMAKA SIMATRON, Typ: WP12</p> <p>Heizleistung: 12,15 kW bei B0/W35</p> <p>Pufferspeicher: 750 Liter</p> <p>Vorlauftemperatur: 28 – 35 °C</p> <p>Wärmeverteilung: Fußbodenheizung</p> <p>Warmwasserbereitung: 550 Liter Warmwasserspeicher über Wärmepumpe</p> <p>Erdwärmesonden: 2 Bohrungen je 80 m tief</p>

Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Erdwärmesonden 2006 (2)

EnBW Referenzanlage Heizen mit Erdwärme, Neubau in Wangen

Angaben zur Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Erdwärmesonden

Betriebsweise	Sole/Wasser-Wärmepumpe (monovalent ohne Heizstab)
Anschaffungskosten	Wärmepumpe und Zubehör: 15.148 € (inkl. MwSt. und Montage), Erdwärmesonde: 8.352 € (inkl. MwSt.)
Stromverbrauch	pro Jahr (im Durchschnitt seit 2002): 5.500 kWh
Verbrauchskosten*	700 € pro Jahr (inkl. MwSt., Verrechnungspreis für Zweitarifmessung und Warmwasserbereitung)
Stromprodukt	EnBW WärmePlus, Zweitarifzähler mit getrennter Messung
Sperrzeiten	Montag – Freitag 2 x 1,5 h außer an Feiertagen
Installateur	Fa. SIMAKA Energie und Umwelttechnik, 88260 Argenbühl
Bohrunternehmen	Johann Haas, 88178 Heimenkirch

* auf der Basis des derzeit aktuellen Stromtarifs „EnBW WärmePlus“ ermittelt. (Stand Juni 2006)

Heizen mit Erdwärme bzw. oberflächennaher Geothermie in der Praxis (1)



- Nutzung eines jahreszeitlich konstanten Temperaturniveaus von ca. **10°C im Erdreich** ab einer Tiefe von 10m
- Anhebung des Temperaturniveaus von 10°C auf Heizmediumtemperatur z.B. 40°C mittels **Wärmepumpe**
- Effizienz der Wärmepumpe (**Jahresarbeitszahl**) abhängig von diesen beiden Temperaturniveaus
- niedrige Temperaturniveaus im Heizsystem sind notwendig (**z.B. Fußbodenheizung, Bauteilheizung**)
- 10-grädiges Temperaturniveau des Erdreichs kann zur **energieeffizienten Kühlung (Bauteilkühlung)** eingesetzt werden

Heizen mit Erdwärme bzw. oberflächennaher Geothermie in der Praxis (2)

Nutzung über **Erdsonden** (typisch bis 150m Tiefe)

- geschlossener Wasser/Glykol-Kreislauf
- Bohrlochdurchmesser ca. 15cm
- Verpressung der Bohrlöcher



© Pfeil & Koch ingenieurgesellschaft

Beispiele Heizen mit Erdwärme bzw. oberflächennaher Geothermie in der Praxis (3)

- Nutzung über **Energiepfähle** (typisch 15 bis 30m Tiefe)
- Bohrpfähle zur Baugrundverbesserung werden zu Wärmetauschern



© Pfeil & Koch
ingenieurgesellschaft

Beispiele Heizen mit Erdwärme bzw. oberflächennaher Geothermie in der Praxis (4)

direkte Nutzung über **Grundwasser** (typisch 5 bis 20m Tiefe)



- Brunnenwassernutzung mit hohen Entzugsleistungen
- Voraussetzung: Hydrogeologie und Wasserchemie ermöglichen die technische Grundwassernutzung

Brunnenstube mit Brunnenkopf

Beispiele Heizen mit Erdwärme bzw. oberflächennaher Geothermie in der Praxis (5)

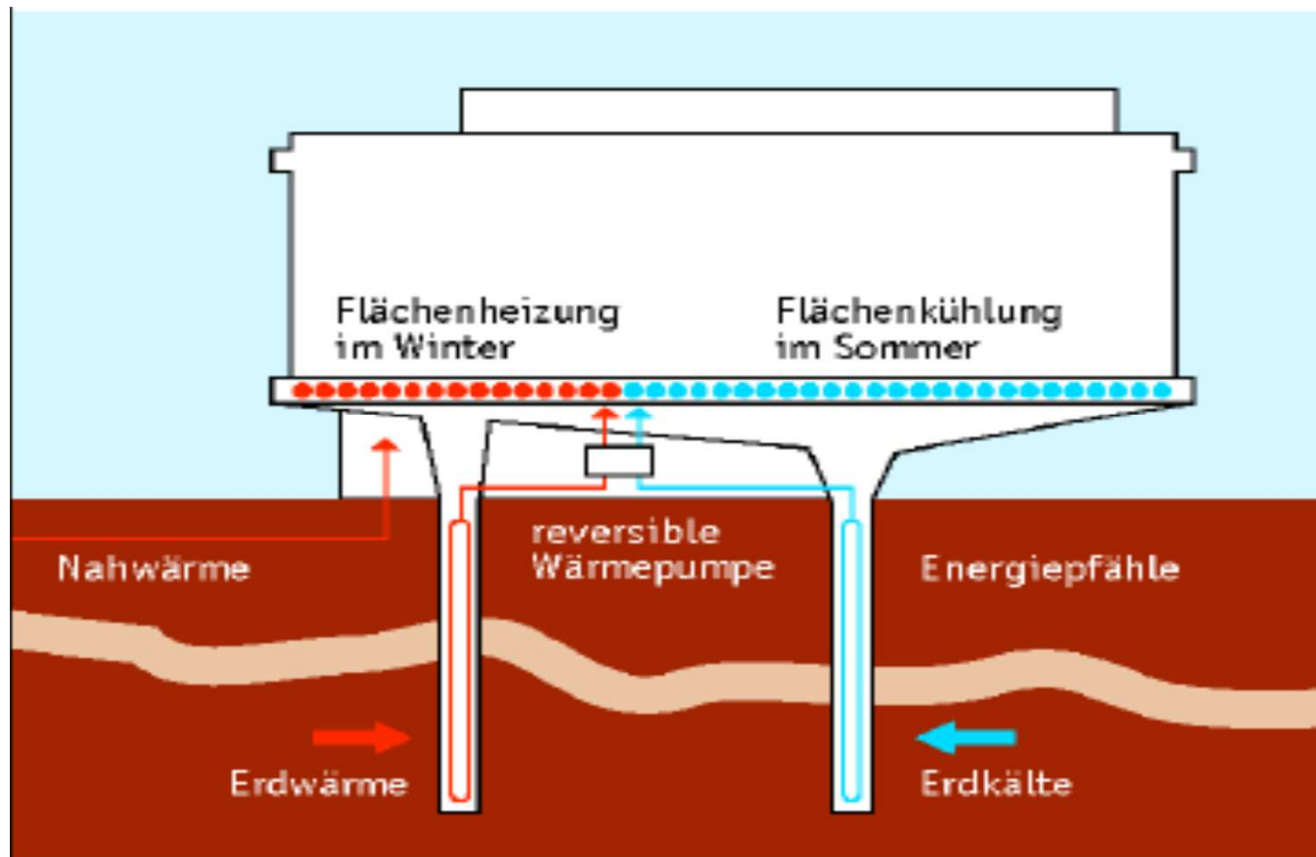
Eingriffe in Primärkonstruktionen sind oft nötig



Beispiel:

Die für eine Geothermienutzung notwendige Flächenheizung läßt sich nicht nachrüsten. Sie besitzt die gleiche Lebensdauer wie die Primärkonstruktion selbst.

Beispiel der Beheizung und Kühlung eines Bürgersaals mittels Energiepfählen und reversibler Wärmepumpe



© Pfeil & Koch ingenieurgesellschaft

- Energiekonzept nutzt die notwendige Bohrspfahlgründung
- Aktivierung der Energiepfähle zum Heizen und Kühlen
- Flächenheizsysteme zum Heizen und Kühlen
- Einsatz einer reversiblen Wärmepumpe zur Grundlastdeckung (37kW Heizen/ 14 kW Kühlen)

Praxisbeispiel: Heizen und Kühlen mit Erdwärme mittels Wärmepumpe und Fußbodenheizung im Einfamilienhaus

Heizen und Kühlen mit Erdwärme

Einfamilienhaus:

- Nutzfläche 150 m²
- Heizleistung 6 kW

Beteiligte Gewerke:

- Brunnenbauer
- Heizungsbauer

Installation Heizsystem:

- Fußbodenheizung
- Wärmepumpe
- Erdsonden
- sachgerechte Ausführung

Erdsonden:

- Bohrungen 50 bis 80 m Tiefe
- Temperatur 8-10°C
- Investition rund 500 €/ kW Heizleistung

Wärmepumpe:

- Moderne Kompakt-Wärmepumpe
- Glykol-Gemisch im Erdreich
- Sondertarife für Strom

Fußbodenheizung:

- Vorlauftemperatur 35 °C

Ergebnisse Heizwärme im Winter:

- 75 % kostenlose Erdwärme
- 25% Antriebsstrom

Ergebnisse Kühlen im Sommer

- Reduzierung Zimmertemperatur um 4 bis 5 °C (z.B. von 28 auf 24°C)

Ergebnisse Warmwasserbereitung

- z.B. Elektrostab für Erwärmung ab 35°C

Wirtschaftlichkeit

- Amortisationszeit der Mehrkosten von 3.000 € gegenüber herkömmlicher Heizung mit Kessel und Radiatoren rund 4 bis 5 Jahre

Beispiele oberflächennahe Geothermieranlagen (1)

Oberflächennahe Geothermie *Grundwasserwärmepumpen* Prinzipskizze



Dywidag Verwaltungsgebäude, München



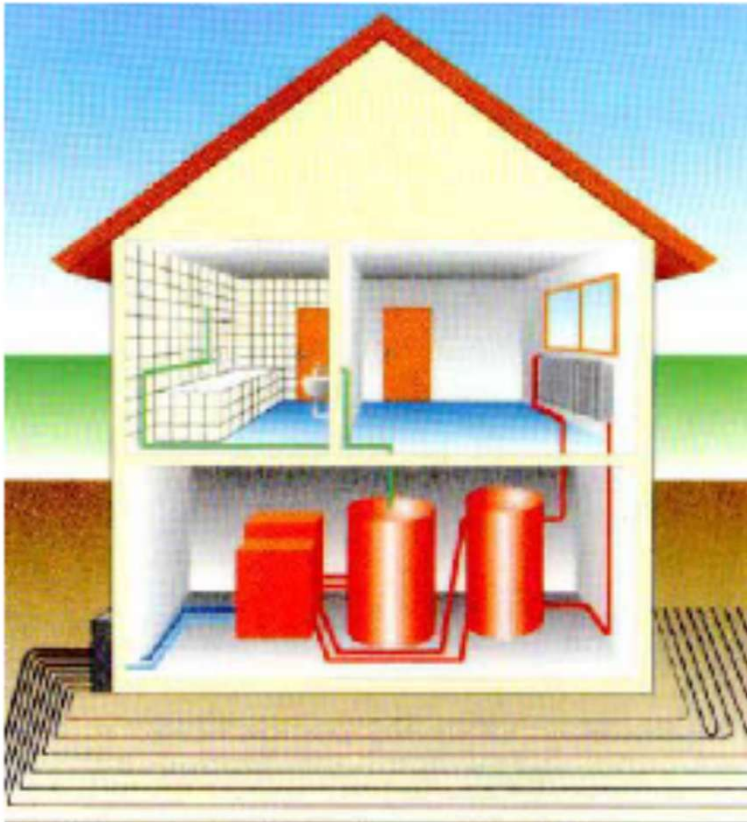
Rathaus Unterneukirchen

© Schenk GmbH
Unterneukirchen

Oberflächennahe Geothermie

Erdwärmekollektoren

Prinzipskizze



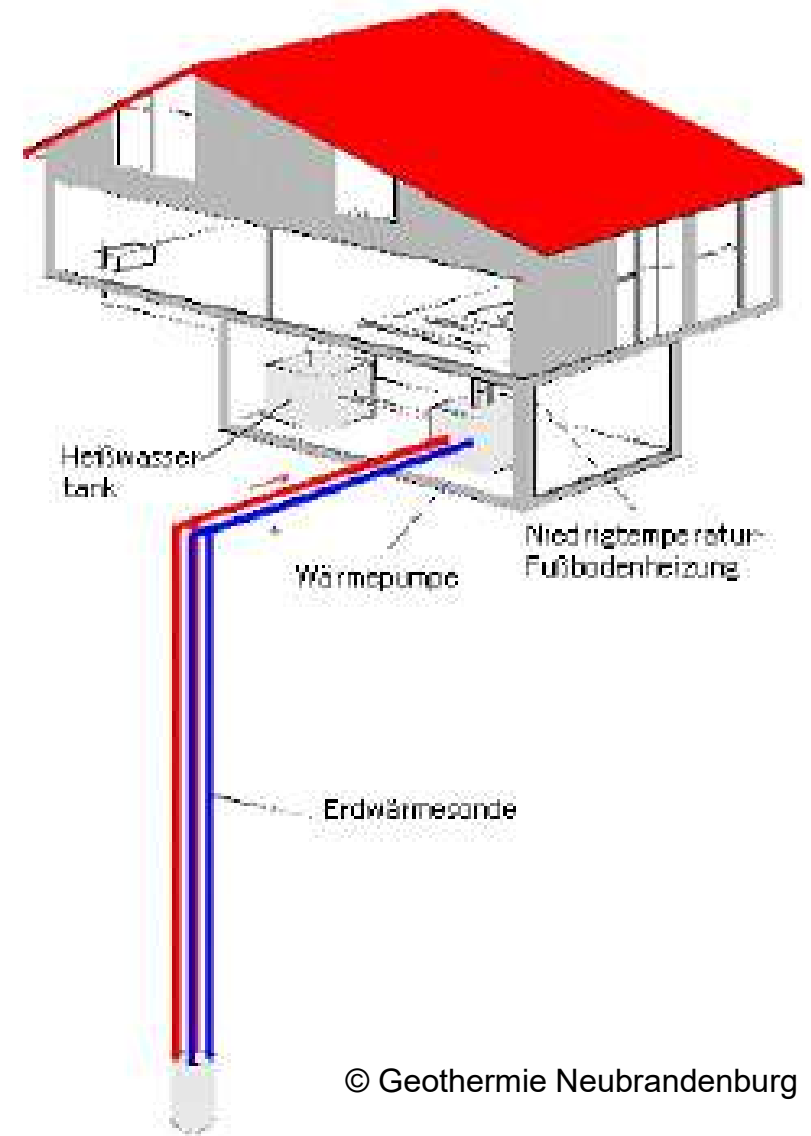
© Seidl Ensotec, Regensburg

Verlegearbeiten an der Grundschule
Schöna, Tüntenhäusen

Oberflächennahe Geothermie

Erdwärmesonden

- sind die in Mittel- und Nordeuropa verbreitetsten Anlagentypen
- Ihr Flächenbedarf ist gering
- Sie nutzen ein konstantes Temperaturniveau.
- Senkrechte oder schräge Bohrungen, in die Rohre installiert werden, in Mitteleuropa gewöhnlich Doppel-U-Rohre aus HDPE Kunststoff.
- In Deutschland werden sie normalerweise in Tiefen zwischen 50 - 100 m abgeteuft



Oberflächennahe Geothermie - *Erdwärmesonden*



© GTN

Blumberger Mühle



© Systherma

Bönningheim, Villa Amann



© EWS

Aachen, Bürogebäude Schurzelter Straße



© Amstein + Walthert

DFS Langen

Oberflächennahe Geothermie

Erdberührte Betonbauteile, Energiepfähle

- Betonbauteile lassen sich auch zum Heizen und Kühlen einsetzen.
- Schlagwort “Energiepfahl”: Es rührt aus der Nutzung von Gründungspfählen zu Heizzwecken her.
- Der Einbau der Wärmetauscher kann nur im Rahmen der Errichtung des Bauwerks selbst erfolgen. Eine Nachrüstung bereits vorhandener Betonflächen ist nicht möglich.
- Der Mehraufwand ist relativ gering.
- Der wirtschaftliche Vorteil ergibt sich vor allem daraus, dass nur solche Bauteile herangezogen werden, die aus statischen Gründen sowieso errichtet werden müssen.

Energiepfähle, erdberührte Betonteile



© HPE GmbH

Berlin: Zentrum für
Zukunftsenergien



© enerjet AG



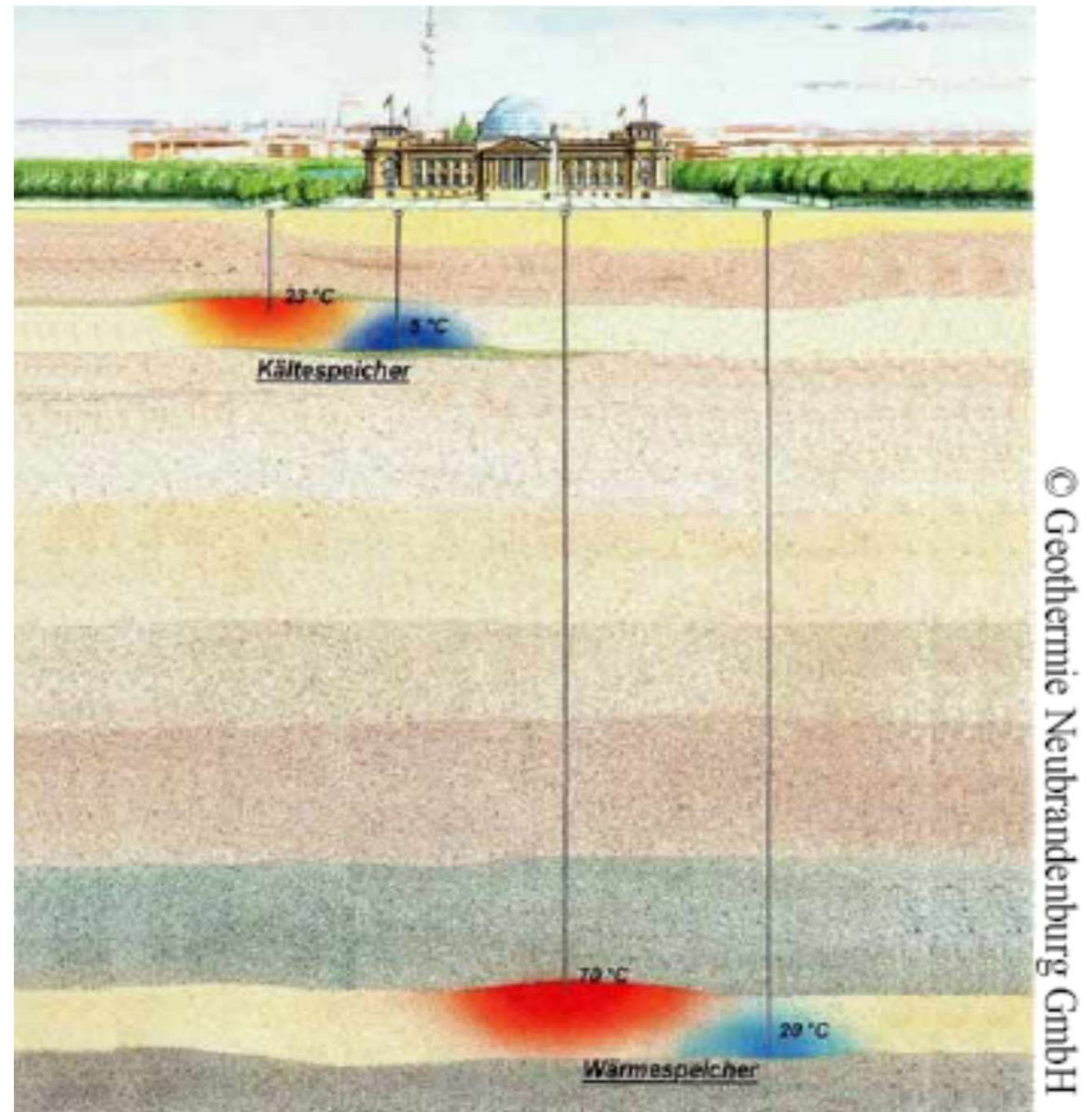
© enerjet AG

Hannover: Hauptverwaltung der Norddeutschen Landesbank

Wärmespeicherung

- Sommerwärme in den Winter retten: Geothermie macht's möglich.
- Es stehen verschiedene Speichertechnologien bzw.- alternativen zur Verfügung:
- Wärme- oder Kältespeicherung
- mit oder ohne Wärmepumpen
- Aquiferspeicher
- Erdwärmesondenspeicher
- Wärmequellen Abwärme, Umgebungswärme, Sonnenenergie

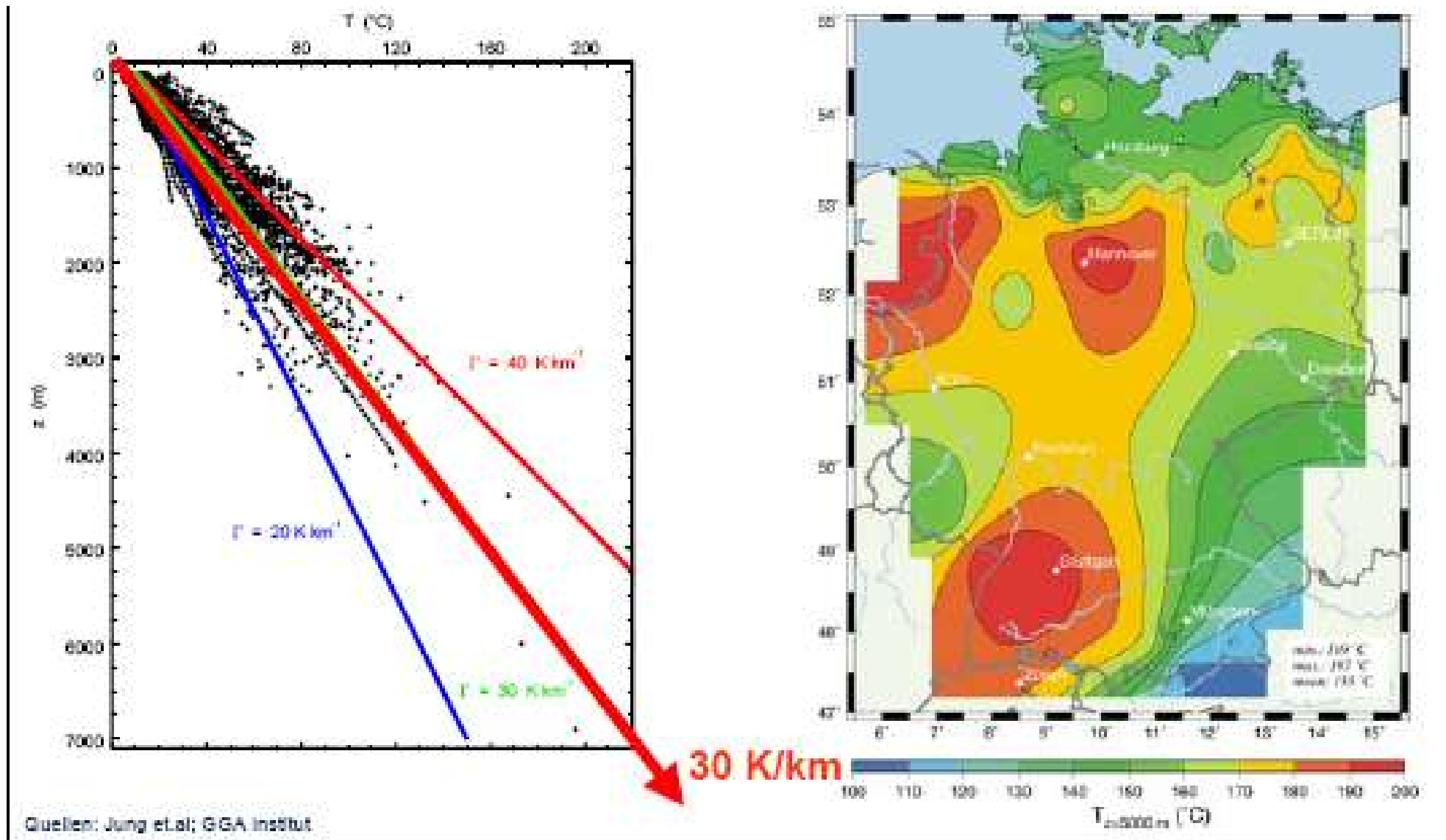
Wärmespeicherung Reichstagsgebäude Berlin



Tiefe Geothermie

Energiequellen und Technologien

Tiefe Geothermie - Geologische Bedingungen (1)



Tiefe Geothermie - Geologische Bedingungen (2)

Unterschiedliche geologische Gegebenheiten im Untergrund:

- kristallines oder poröses & permeables Gebirge (Sedimente)
- klüftiger oder ungestörter Untergrund
- beliebige Kombinationen

Unterschiedliche, Standort-angepasste Erschließungskonzepte:

- geschlossene Systeme
- offene Systeme
- hydrothermale Systeme
- HDR/HFR-Systeme
- Kombinierte Systeme



Nutzungsverfahren für Tiefe Geothermie

Tiefe Erdwärmesonden:

Das Prinzip der tiefen Erdwärmesonden (>400 m Tiefe) wurde Anfang der 90er Jahre erstmals in der Schweiz erprobt. Seit 1994 arbeitet eine solche fast 3.000 m tiefe Erdwärmesonde auch in Prenzlau (Brandenburg). Die aus ihr gewonnene Energie wird in das Fernwärmenetz der Stadtwerke eingespeist. Da dieses jedoch mit höheren Temperaturen betrieben wird, als die Bohrung liefert, ist eine **Wärmepumpe** zur Aufheizung zwischengeschaltet.

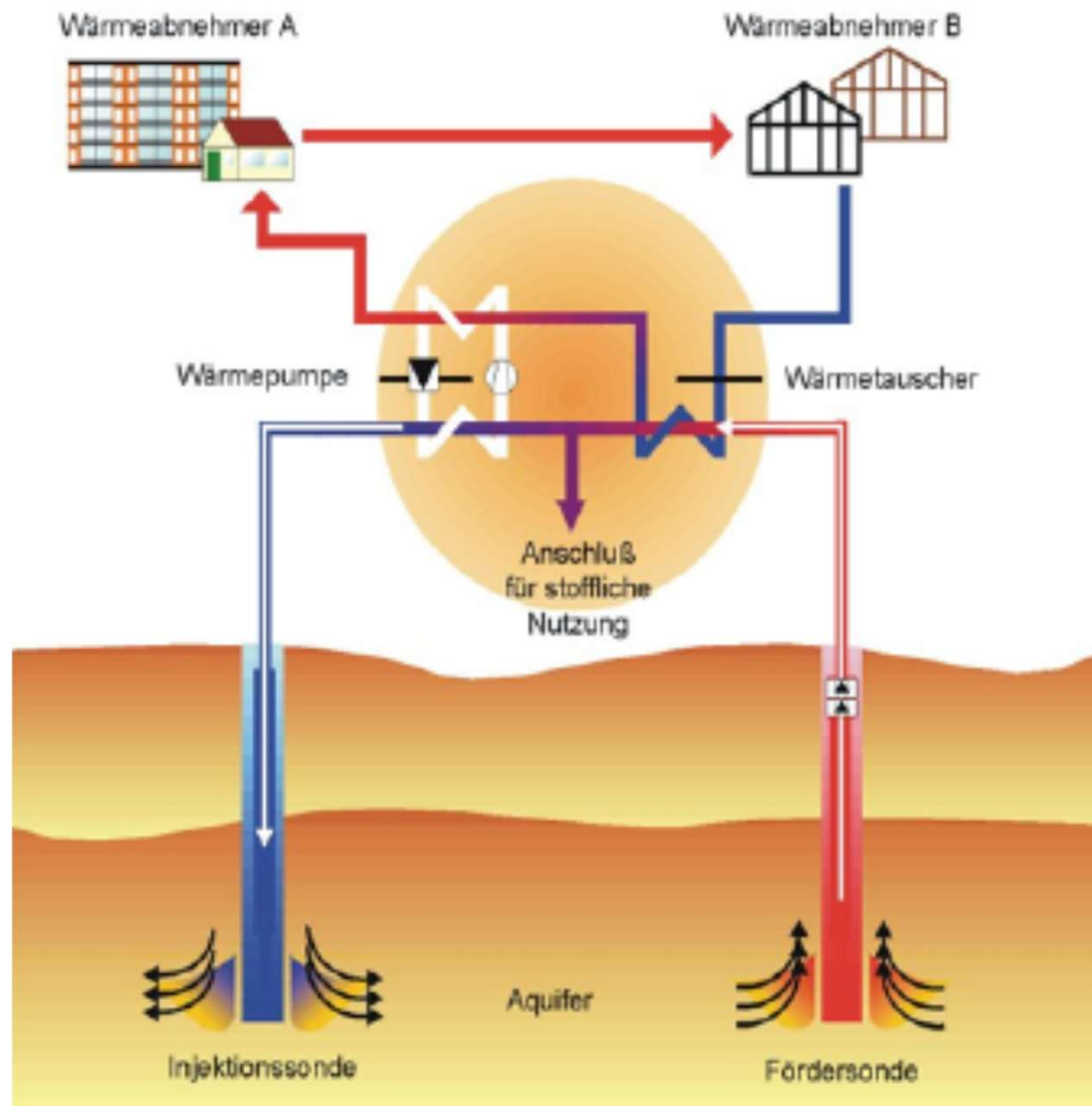
Moderne Wohnbauten werden heute so gebaut, dass sie nur noch wenig Heizenergie benötigen und die Heizung selbst mit sehr viel geringeren Temperaturen auskommt. In Nordrhein-Westfalen konnte dadurch erstmals folgendes Prinzip genutzt: Das in der Bohrung erhitzte Wasser liefert seine Energie direkt in den Gebäuden ab, und kehrt dann ausgekühlt in die Tiefe zurück, um sich dann erneut zu erwärmen und erspart den Einsatz einer Wärmepumpe.

Thermalwassernutzung:

In Deutschland entstanden geothermische Heizwerke zuerst dort, wo es im Untergrund Thermalwasser gibt. Größere bekannte Vorkommen finden sich z.B. in der Norddeutschen Tiefebene, im Süddeutschen Molassebecken zwischen Donau und Alpen, unter der schwäbischen Alb oder im Oberrheintal. Sie verfügen über Temperaturen von ca. 40 bis ca. knapp über 100°C. Im Oberrheingraben und in Bayern gibt es auch Aquifere (wasserführende Schichten) mit Thermalwassertemperaturen von mehr als 100°C.

Das warme oder heiße Wasser wird über eine Tiefbohrung an die Oberfläche gefördert, ausgekühlt und über eine weitere Bohrung wieder in den Untergrund zurückgeschickt und zwar in die Schicht, aus der es auch entnommen wurde. Auf diese Weise wird das hydraulische Gleichgewicht im Untergrund erhalten und der Speicher nicht leergepumpt. In Deutschland sind die Bohrungen zwischen 800 und 2.500 m tief. Geothermische Heizwerke können über eine installierte Leistung von mehr als 20 Megawatt verfügen und über ein Fernwärmenetz mehrere Tausend Wohnungen mit Wärme versorgen.

Tiefe Geothermie - Geothermische Dublette



Geothermie Neubrandenburg GmbH

Grundprinzip der geothermischen Energiegewinnung aus dichtem Tiefengestein

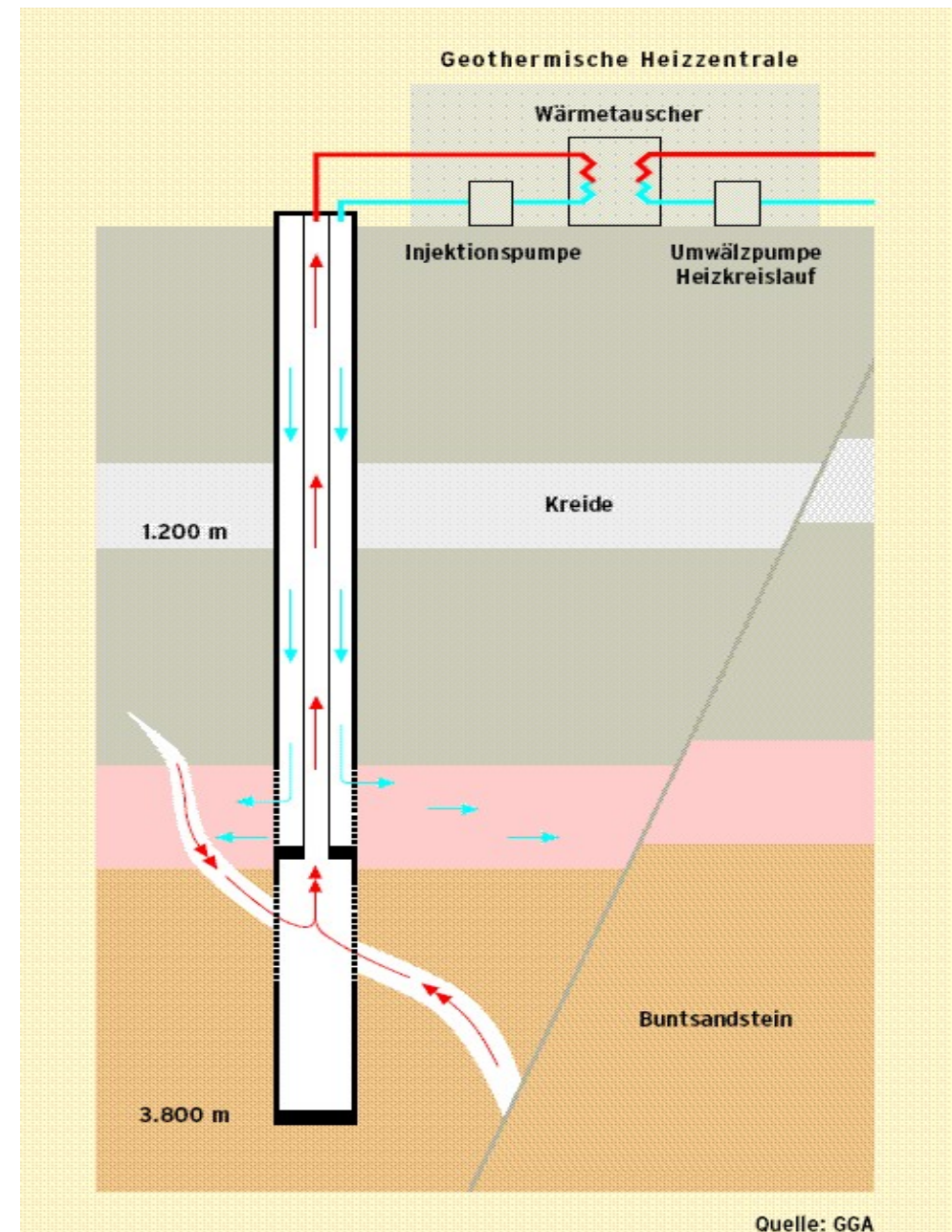
Hydrothermale Systeme mit hohem Temperaturangebot

Unter gewissen geologischen Bedingungen kann auch heißes Wasser aus wasserführenden Schichten, den Aquiferen, gefördert und zur Strom- und Wärme-erzeugung genutzt werden. Zur Stromproduktion sollte allerdings eine Temperatur von 100° C überschritten werden. Außerdem müssen ausreichende Thermalwassermengen zur Verfügung stehen. In einigen euro-päischen Ländern, z. B. Island und Italien, finden sich solche Thermalwasservorkommen bereits in moderaten Tiefen.

In Deutschland muss man hingegen schon 4.000 Meter tief bohren, um auf ausreichende Temperaturen und Wassermengen zu stoßen, und das nur an ausgesuchten Standorten des Oberrheintalgrabens und im bayerischen Voralpenraum.

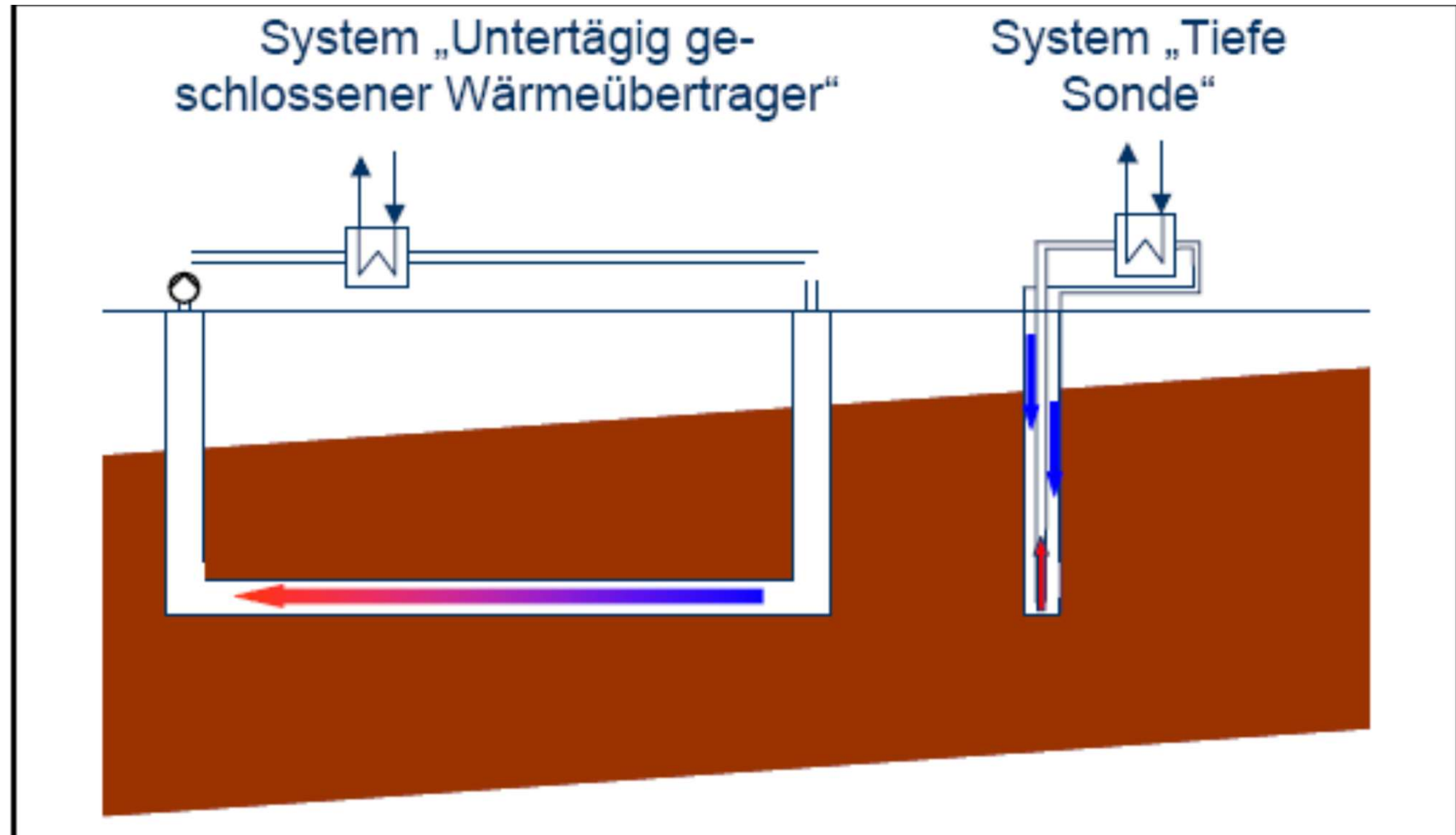
Das erste deutsche Geothermiekraftwerk ist seit November 2003 in Neustadt-Glewe bei Schwerin in Betrieb.

Dort wurde die schon seit 1995 bestehende hydrothermale Wärme-erzeugung durch eine **ORC-Turbine** mit einer elektrischen Leistung von 210 kW ergänzt. Ein wesentlich größeres Kraftwerk mit einer Leistung von 3360 kW soll bis 2007 in Unterhaching, Bayern, in Betrieb genommen werden. Eine bereits 2004 abgeteufte Bohrung liefert pro Sekunde 150 Liter Thermalwasserstrom bei einer Temperatur von über 120° C. Überschüssige Wärme wird in das örtliche Fernwärmenetz eingespeist.



Tiefe Geothermie

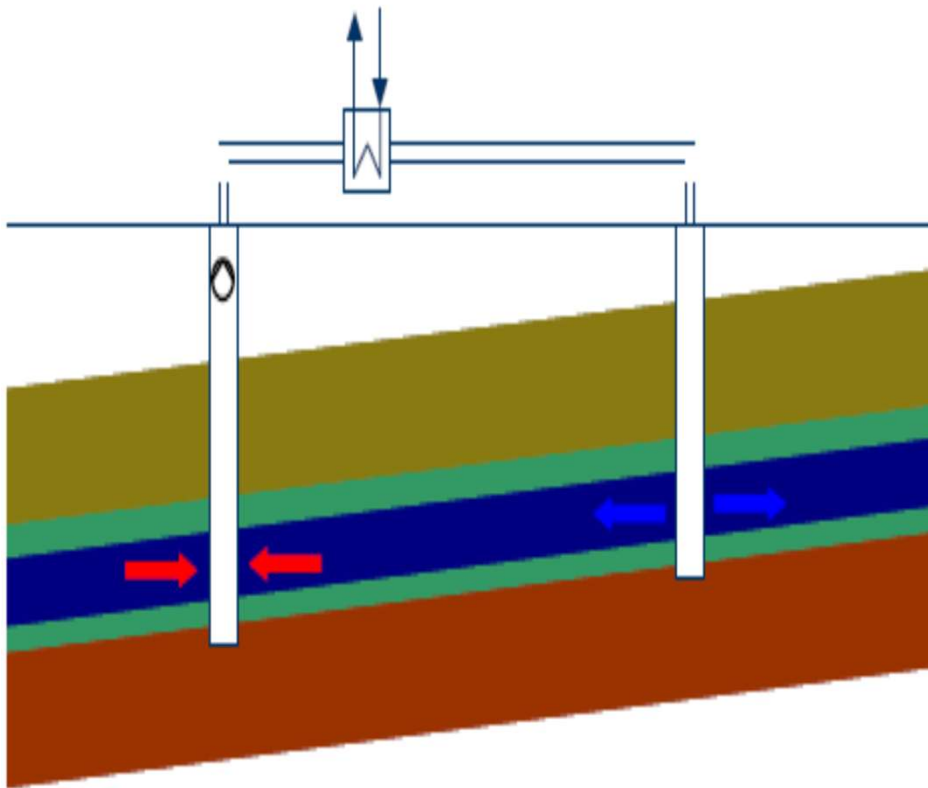
Erschließung des Untergrunds mittels **geschlossener** Systeme



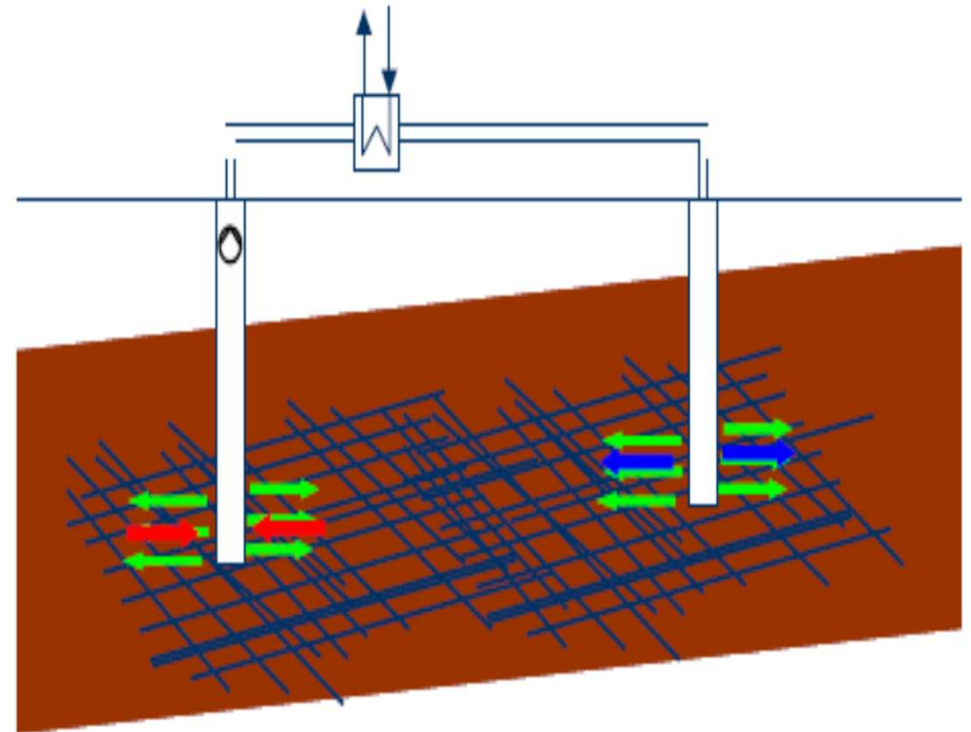
Tiefe Geothermie

Erschließung des Untergrunds bzw. Speicher mittels **offener** Systeme

Erschließung klüftig-poröser Speicher



Erschließung des kristallinen Untergrunds



Orientierungswerte für Investitions- und Energiegestehungskosten geothermischer Heizwerke - Stand 2006

Benennung	Einheit	Heizwerk (geringe Tiefe)	Heizwerk (geringe Tiefe)	Heizwerk (mittlere Tiefe)	Heizwerk (große Tiefe)
Lagerstättentiefe	m	1.000	1.000	2.000	3.400
Temperatur	°C	38	38	80	80
Installierte Leistung	MW	2	5	10	20
Volllaststunden	h/a	2.000			
Ertrag	Mio. kWh/a	4	10	20	40
Investitionen 1)	Mio. €	5	5	6	7,7
spez. Investitionskosten	€/kW	2.350	1.000	600	380
Nutzungsdauer	a	20			
Zins p.a.	%	6			
Kapitalkosten	€(kWhth *a)	205	87	52	34
Betriebskosten	€ (kWhth*a)	95	45	25	15
Wärmekosten ohne Wärmenetz	€/kWh	0,15	0,07	0,04	0,03

1) Investitionen für hydrothermische Anlagen sind auf Grund der individuellen Rahmenbedingungen kaum pauschalierbar.

Sie umfassen im Wesentlichen die Aufwendungen für

- die Bohrungen und den Untertageteil des Thermalwasserkreislaufes,
- den obertägigen Thermalwasserkreiskauf,
- die wärmetechnische Ausrüstung wie Wärmetauscher und Wärmepumpen
- Grundstücke und Bauwerke

Tiefe Geothermie

Übersicht Stromerzeugungssysteme zur Geothermienutzung

Hochenthalpie

- Der Strom wird direkt erzeugt
- Temperaturen $> 200^{\circ}\text{C}$

Stromerzeugungssysteme

- **Trockendampf** (nur Dampf)
- **Nassdampf** (Dampf und Wasser)
- **Hybrid Anlagen** (Dampf + Binäre Anlage)
- **Binäre Anlage** (Thermalwasser + Arbeitsfluid)

Niederenthalpie

- Strom wird mit binären Systemen erzeugt
- Temperaturen $90 - 200^{\circ}\text{C}$

Stromerzeugungssysteme

- **Organic Rankine Kreislauf (ORC)**
 - Ormat, Turboden, GMK
- **Kalina Kreislauf**
 - Siemens, X-Orka, MW Zander, Geodynamics

Tiefe Geothermie - Übersicht Konversionstechnologien zur geothermischen Stromerzeugung

Stromerzeugung mit direkten Verfahren:

- Direkte Dampfnutzung (z. B. Lardarello, Neuseeland, Island)
- Single Flash-Verfahren
- Double (Multi)-Flash-Verfahren

Stromerzeugung mit binären Verfahren:

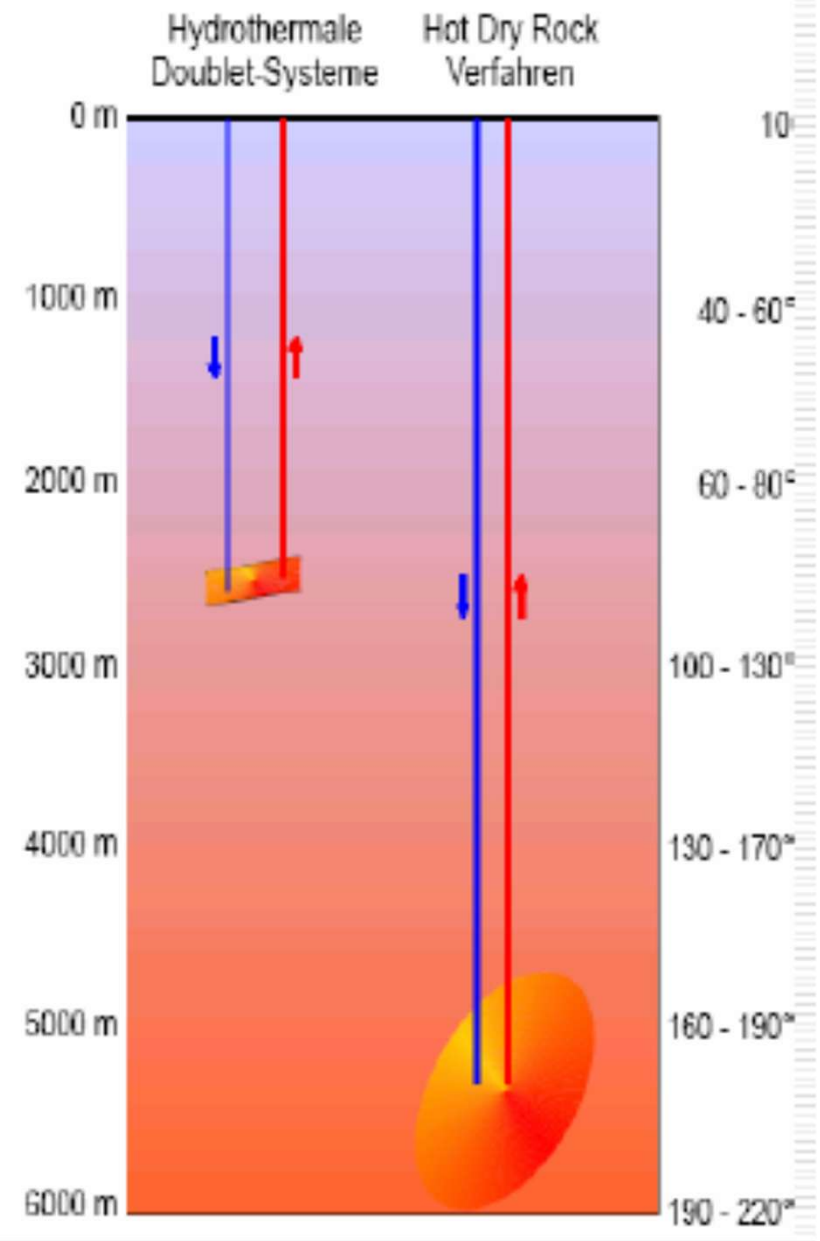
- Organic Rankine Cycle (ORC)
- Kalina-Cycle

Unter deutschen geologischen Bedingungen sind nur Binärverfahren einsetzbar.

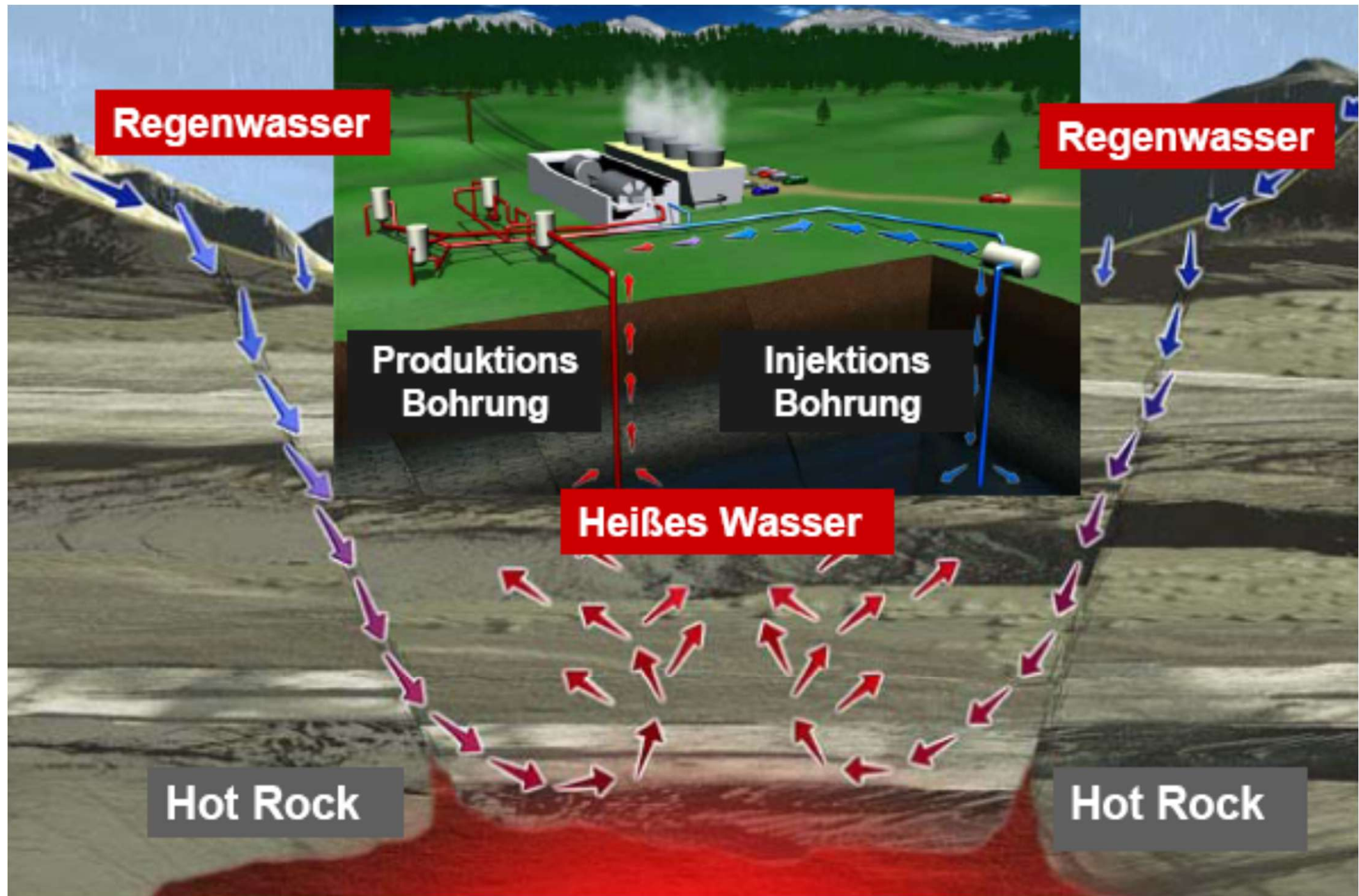
ORC und Kalina-Cycle werden bei den derzeit laufenden Projekten gleichwertig eingesetzt.

Einsatz von Stromerzeugungssystemen zur Geothermienutzung

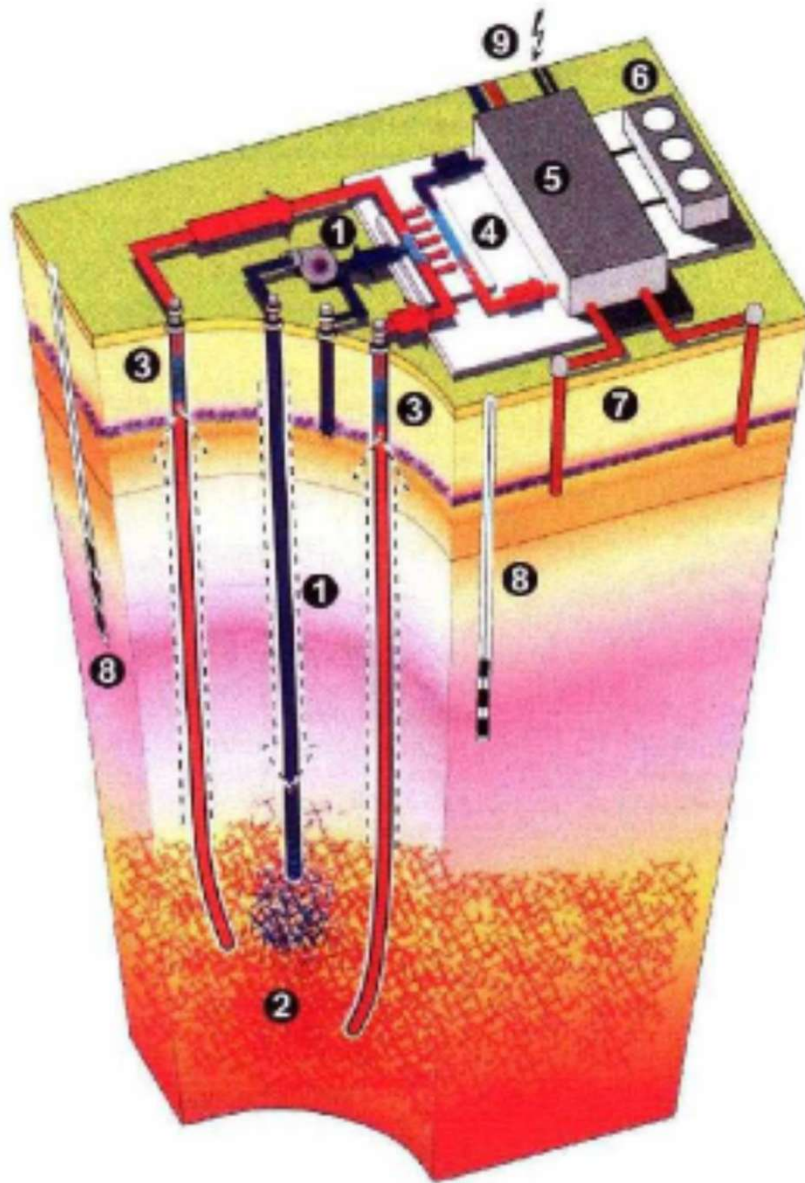
- Hydrothermal
- HDR...



Prinzip der Stromerzeugung durch die Hot Rock-Technik



Schema eines Hot-Dry-Rock Geothermiekraftwerk



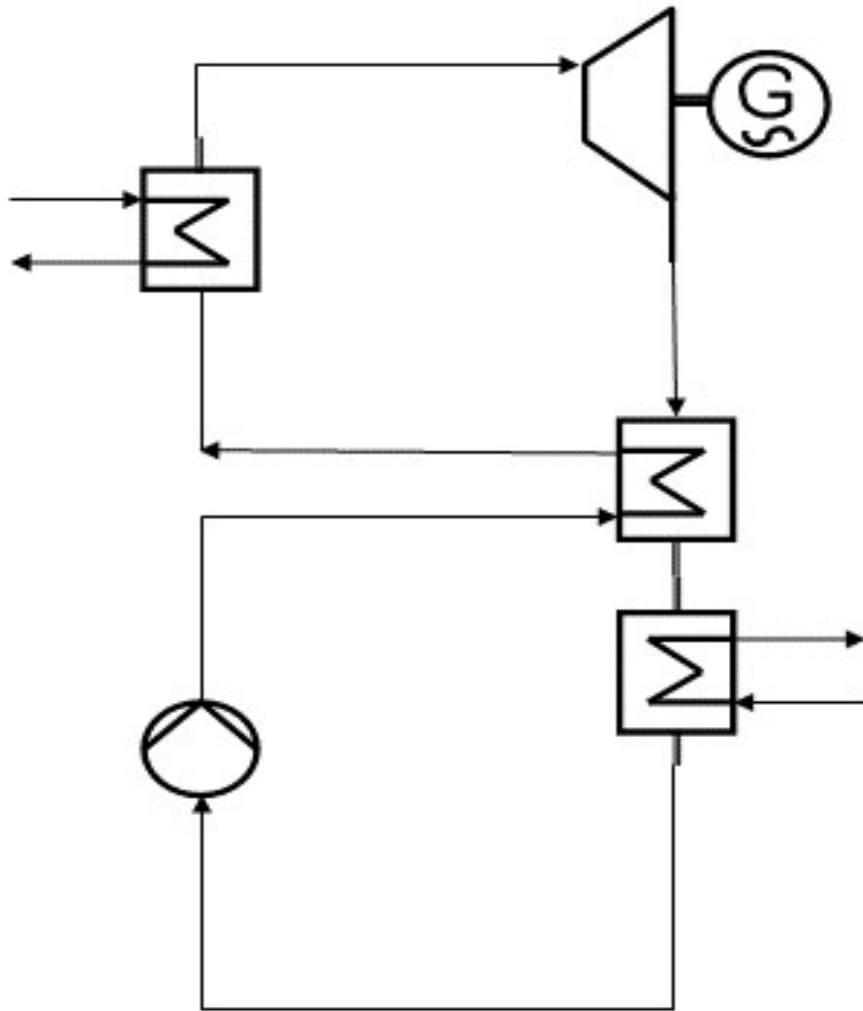
Schemaerläuterung:

1. Injektionsbohrung mit Injektionspumpe
2. Stimuliertes Kluftsystem
3. Produktionsbohrungen
4. Wärmetauscher
5. Turbinenhaus
6. Kühlung
7. Hochtemperatur-Untergroundspeicher für Überschusswärme
8. Beobachtungsbohrungen
9. Verbrauch Strom und Wärme

Beispiel:

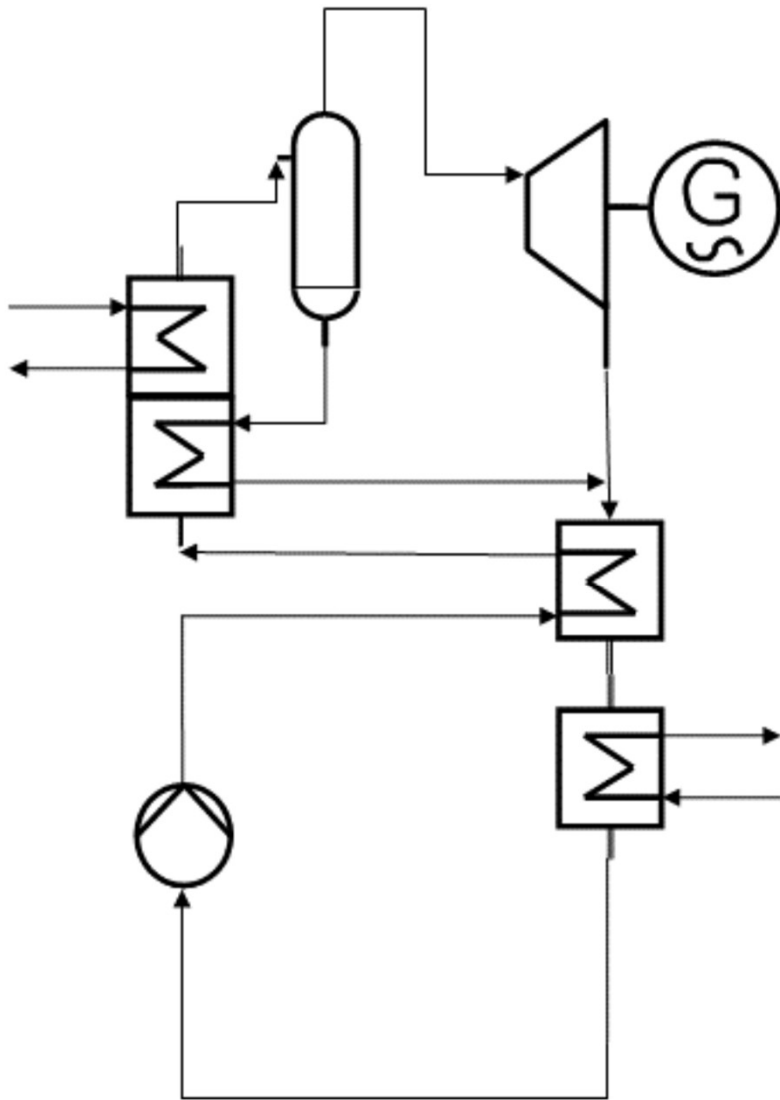
Hot-Dry-Rock (HDR)-Technologie
Europäisches Hot-Dry-Rock-Projekt
Soulz-sous-Forêts (Frankreich/Elsass)

Tiefe Geothermie – Konversionstechnologien zur geothermischen Stromerzeugung - ORC-Technik -



- Konventioneller DKP
(Vergleichsprozess Clausius Rankine)
- Organische Arbeitsmedien (Alkane, Perfluorierte KW, Toluol, Siloxane ...)
- Arbeitsmedium teilweise am Turbinenausgang noch überhitzt
> interne Rekuperation
- Sonderturbinenbau notwendig
- Gutes Teillastverhalten
- Erfahrungen im Bereich Abwärme, Biomasse und Geothermie (Neustadt-Glewe, Altheim)
- Zukünftig auch Mischungen mit Temperaturgleitung (zeotrop) vorstellbar, dadurch nichtisothermer Phasenwechsel möglich.
- Relativ günstig

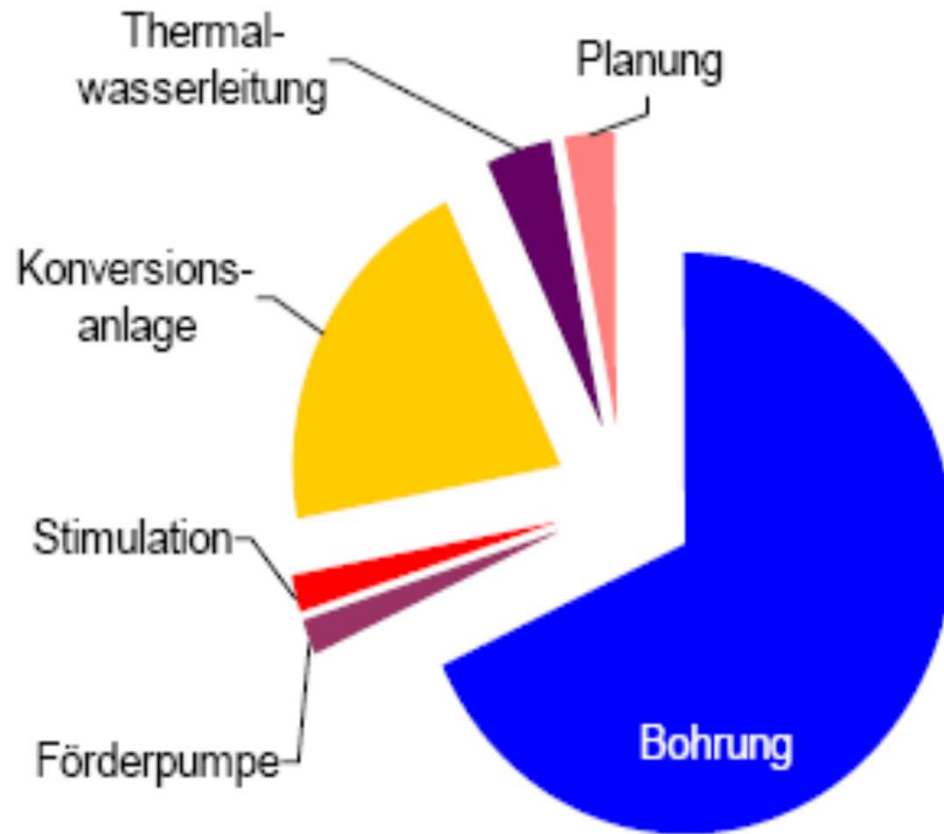
Tiefe Geothermie – Konversionstechnologien zur geothermischen Stromerzeugung - Kalina-Technik -



- Verbesserung des DKP
- Kreislaufmedium Arbeitsmittel-Lösungsmittelpaar (meist Ammoniak-Wasser)
- Phasenwechsel nichtisotherm > bessere Wirkungsgrade möglich
- Verschiedene, patentrechtlich geschützte Kreisläufe vorhanden
- Ammoniak-Dampf hat wasserähnliche Eigenschaften hinsichtlich Molekulargewicht
- Gutes Teillastverhalten durch variable Mischungsverhältnisse
- Demo-Erfahrungen im Bereich Geothermie (Husavik, Island)
- Thermische Zersetzung problematisch
- Relativ teuer

Energiewirtschaftliche Einordnung der Tiefengeothermie zur Stromerzeugung am Beispiel Deutschland (1)

Kostenverteilung von Heizkraftwerken

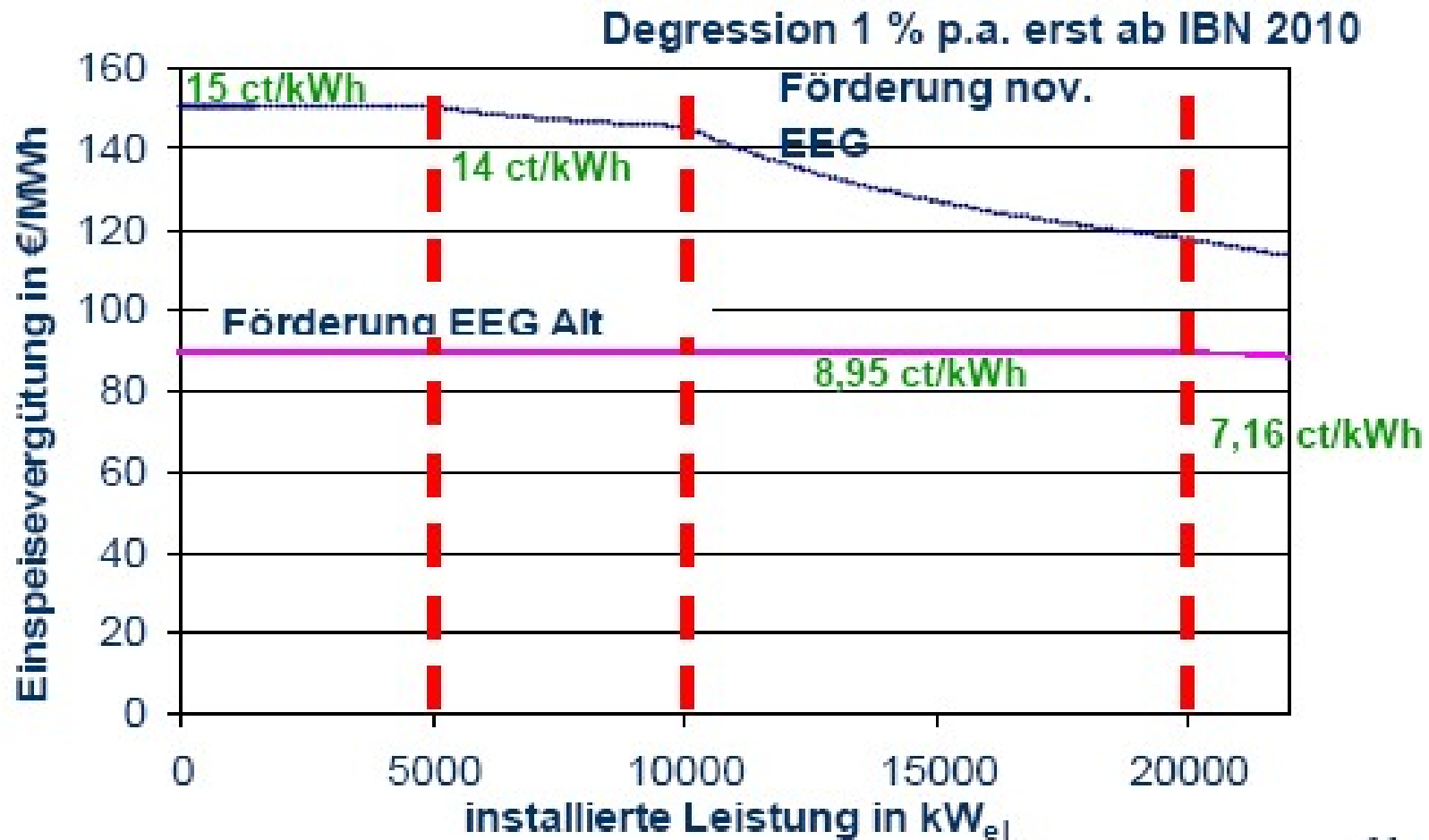


- Kosten variieren stark je nach Geologie, unter- und übertägiger Infrastruktur
- Wärmenetze für KWK müssen oft zusätzlich installiert werden (zwischen 175 und 380 k€/MW; für industrielle Großverbraucher mit hohen Volllaststunden deutlich geringer)
- Gesamtinvestitionen für Geothermie-Heizkraftwerke im Bereich von 8 bis max. 30 Mio. €

Energiewirtschaftliche Einordnung der Tiefengeothermie zur Stromerzeugung am Beispiel Deutschland (2)

Vergütung von Geothermiestrom laut EEG*

*

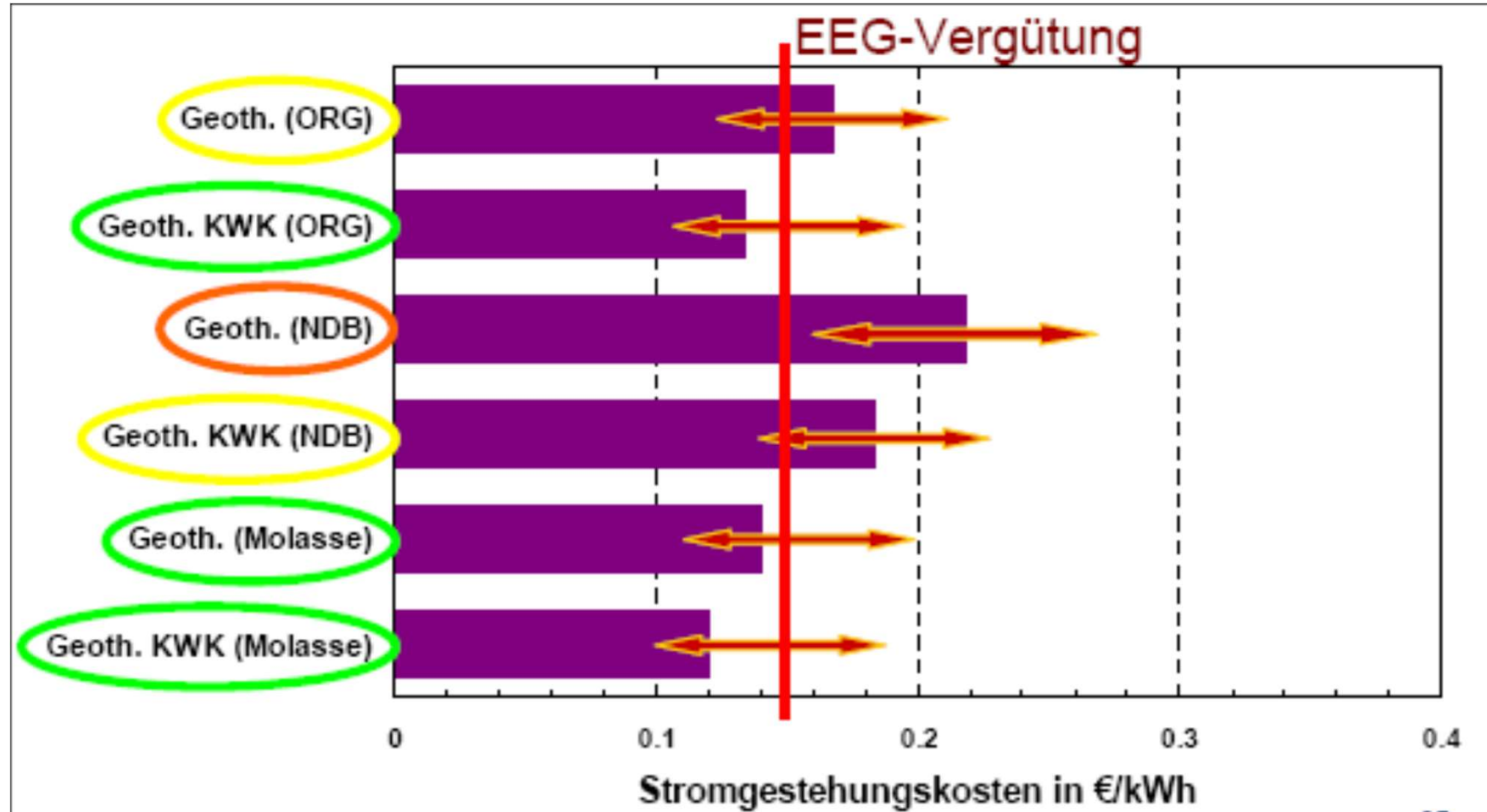


* EEG: Erneuerbares Energie-Gesetz 2004 INB: Inbetriebnahme

Quelle: Prof. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt, Institut für Energetik und Umwelt, Leipzig, www.ie-leipzig.de;
Vortrag beim Kolloquium „Erneuerbaren Energien“ an der Universität Stuttgart am 9. Juni 2005

Energiewirtschaftliche Einordnung der Tiefengeothermie zur Stromerzeugung am Beispiel Deutschland (3)

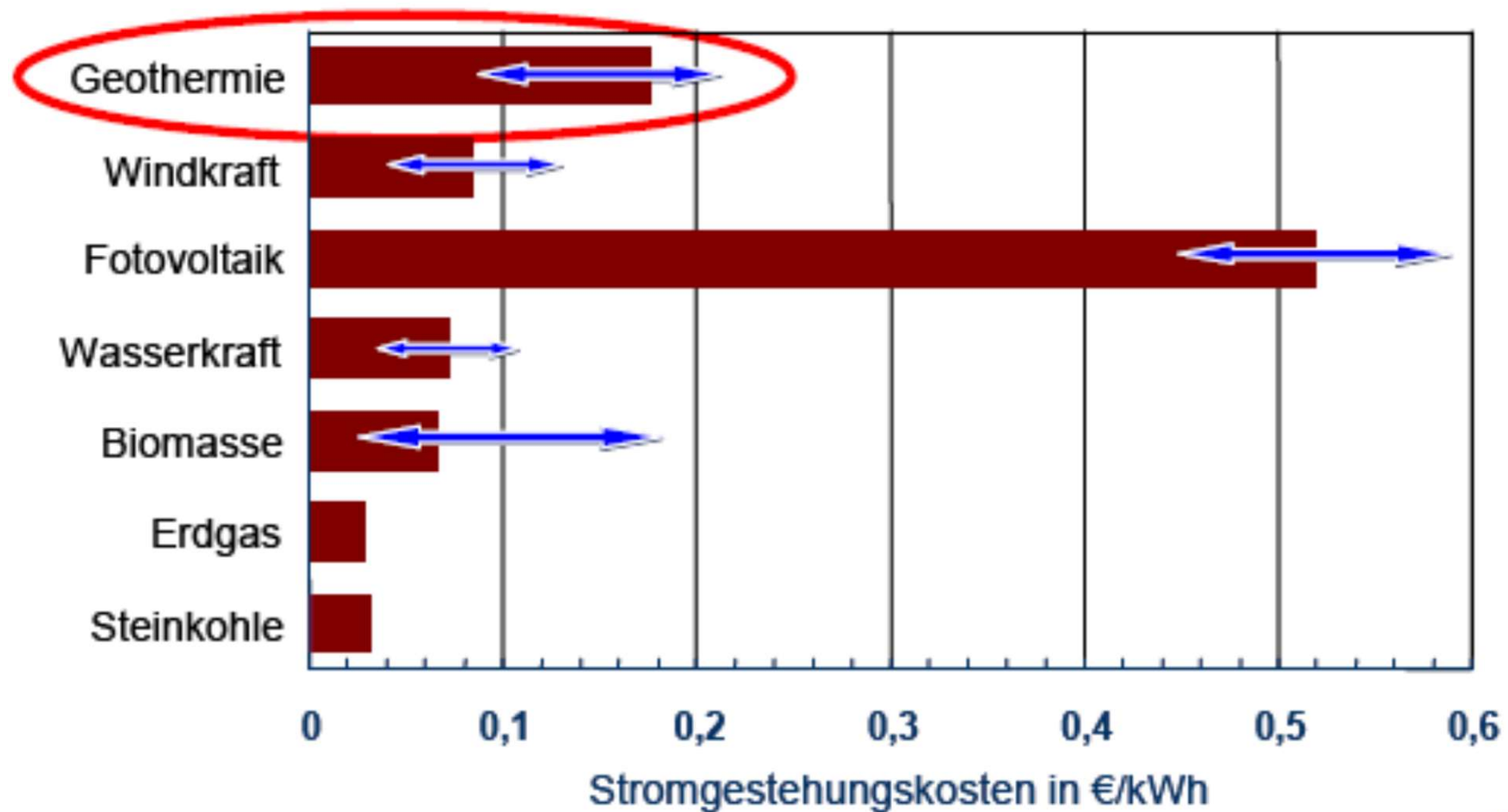
Vergleich Stromgestehungskosten* nach Regionen



* ORG Oberrheinbecken; NDB Norddeutsches Becken; Molasse in Bayern und Baden-Württemberg (Schwäb. Alb)

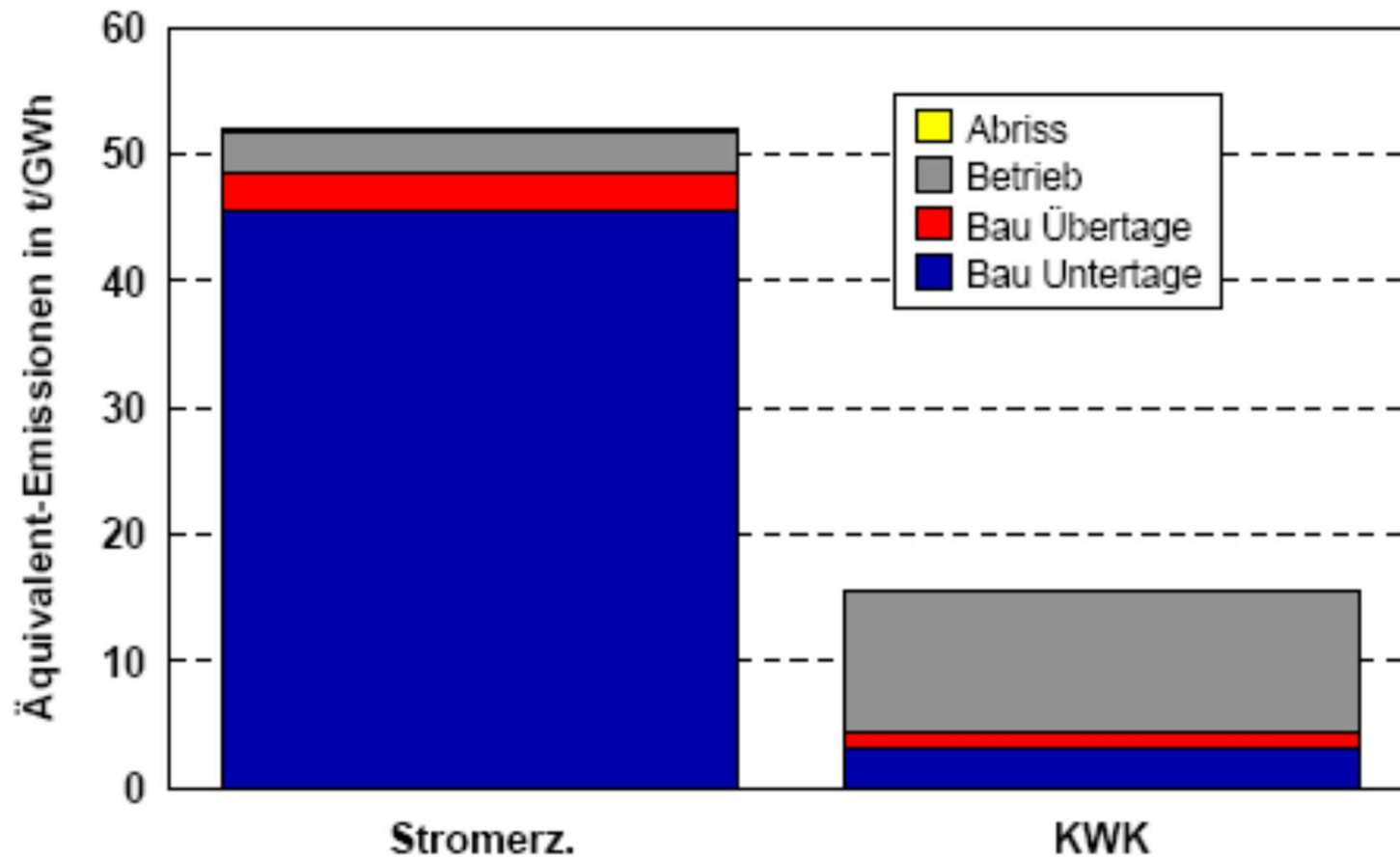
Energiewirtschaftliche Einordnung der Tiefengeothermie zur Stromerzeugung am Beispiel Deutschland (4)

Vergleich Stromgestehungskosten nach Energieträgern



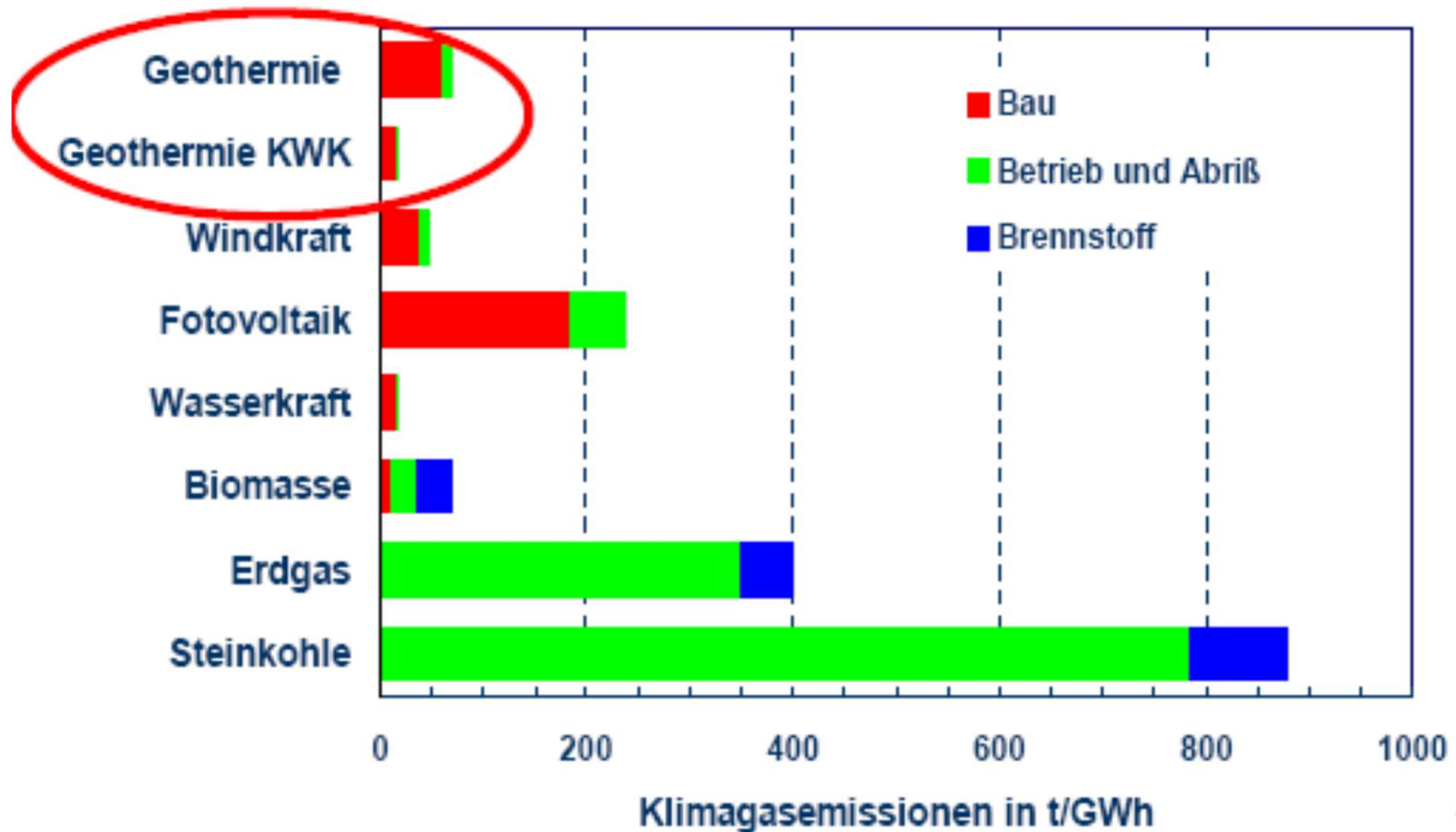
Energiewirtschaftliche Einordnung der Tiefengeothermie zur Stromerzeugung am Beispiel Deutschland (5)

Geothermische Klimagasemissionen bei der Stromerzeugung



Energiewirtschaftliche Einordnung der Tiefengeothermie zur Stromerzeugung am Beispiel Deutschland (6)

Vergleich Klimagasemissionen bei der Stromerzeugung



Energiewirtschaftliche Einordnung der Tiefengeothermie zur Stromerzeugung am Beispiel Deutschland (7)

Geothermische Strompotenziale

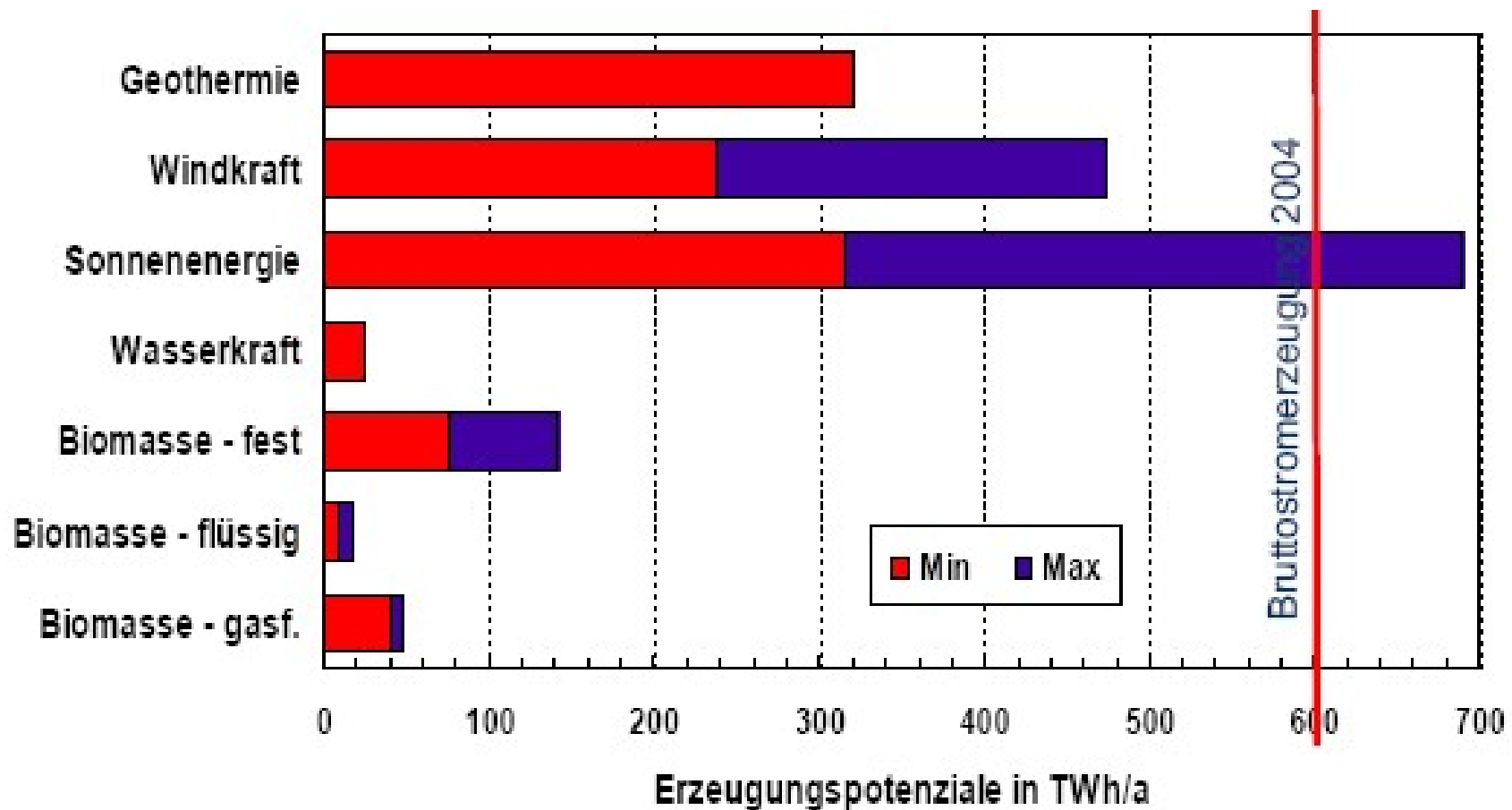
Erzeugerpotenzial	320 TWh/a
Nachfragepotenzial „Grundlaststrom“ (ausschl.)	288 TWh/a
Nachfragepotenzial „Gesamtwärmebedarf“ (KWK)	66 TWh/a
Nachfragepotenzial „Verteilungsnetze“ (KWK)	10 TWh/a

Energieeinheit: 1 TWh = 1 Mrd. kWh

Quelle: Prof. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt, Institut für Energetik und Umwelt, Leipzig, www.ie-leipzig.de;
Vortrag beim Kolloquium „Erneuerbaren Energien“ an der Universität Stuttgart am 9. Juni 2005

Energiewirtschaftliche Einordnung der Tiefengeothermie zur Stromerzeugung am Beispiel Deutschland (8)

Vergleich Stromerzeugungspotenziale nach Energiequellen

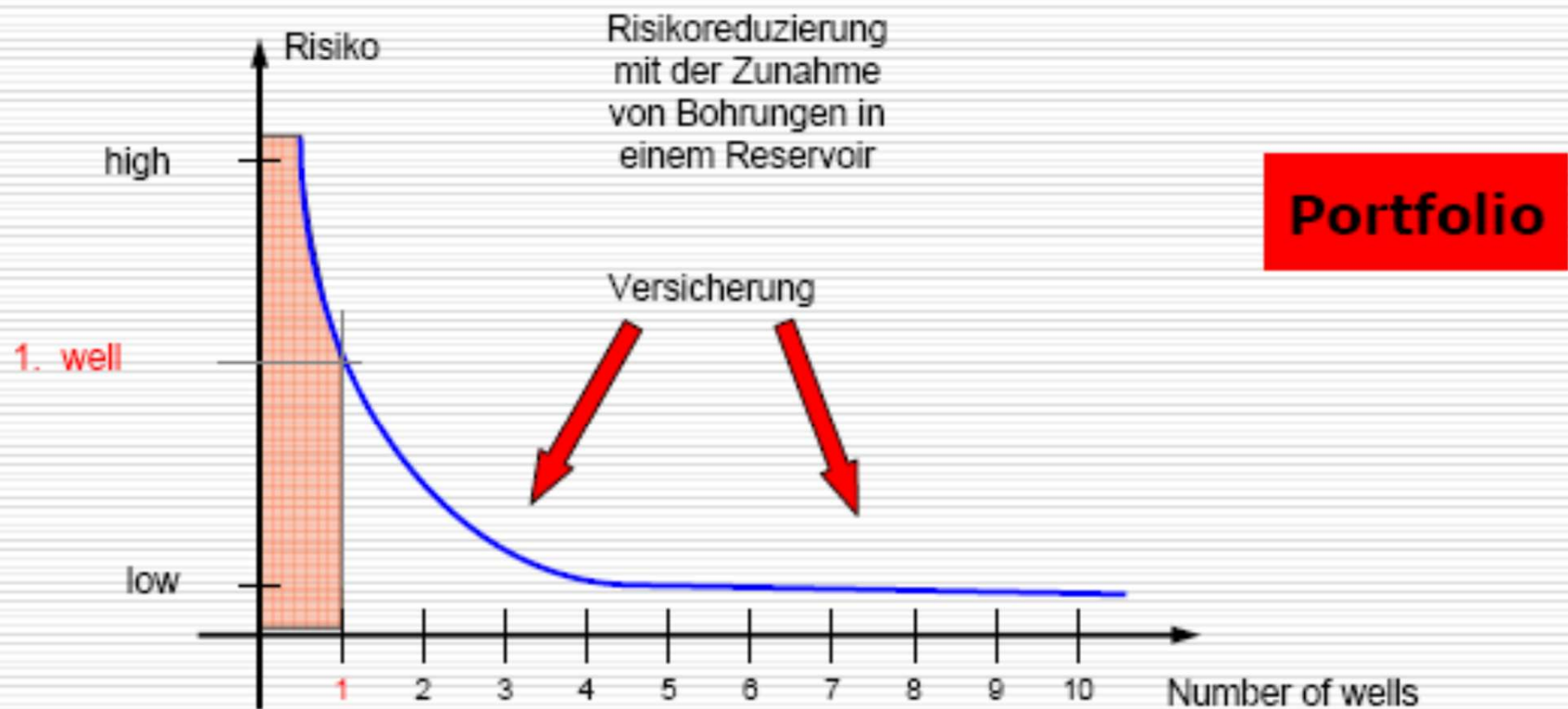


Energieeinheit: 1 TWh = 1 Mrd. kWh

Quelle: Prof. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt, Institut für Energetik und Umwelt, Leipzig, www.ie-leipzig.de;
Vortrag beim Kolloquium „Erneuerbaren Energien“ an der Universität Stuttgart am 9. Juni 2005

Versicherungskonzepte

- Fündigkeitsversicherung (Temperatur und Produktionsrate)
- Technische Bohrrisiken (nur zum Teil)



Ausgewählte Praxisbeispiele

Übersicht Wärmebereitstellung zur direkten Nutzung der Erdwärme

- Balneologie (Heiße Quellen, Thermal- und Heilbäder)
- Landwirtschaft (Gewächshäuser, Bodenheizung)
- Aquakultur (Fisch- und Garnelenzucht)
- Gebäudeheizung und -kühlung, Fernwärme

Beispiel Tiefe Geothermieranlage in Baden-Württemberg **MIRAMAR Freizeitzentrum Weinheim/Bergstraße 2006**

MIRAMAR Freizeitzentrum Weinheim

an der Bergstraße mit rund 500.000 Besucher pro Jahr
eines der größten Erlebnisbäder in Deutschland.

Technik

Aus einer **Tiefe von 1.100 m** wird **65 °C warmes Wasser** gepumpt. Bei einer max. Pumpleistung von 15 Liter/Sekunde können **2,3 Megawatt Heizleistung** für Miramar für das Badewasser und zur Aufbereitung von 70.000 m³ Brauchwasser zu Trinkwasser genutzt werden.

In einer 2-ten Bohrung wird dann das auf ca. **35° C abgekühlte Wasser** wieder in eine Tiefe von 1.150 m zurückgeführt.

Energiebedarf

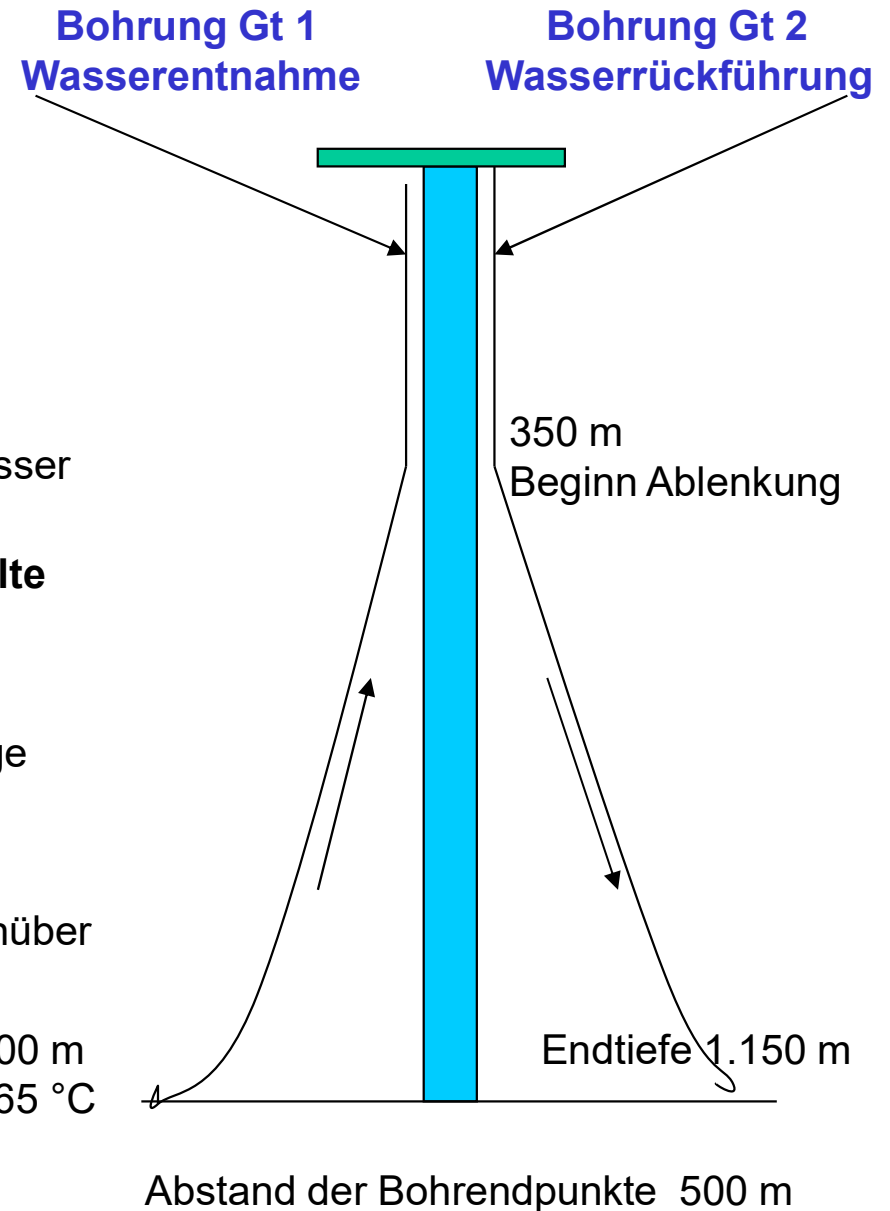
Deckung der Wärmeversorgung durch eine Geothermieranlage mit **2,3 MWth installierte Leistung**

Klimaschutz

Verringerung des umweltschädlichen CO₂-Ausstoßes gegenüber einer herkömmlichen Heizung mit Öl oder Gas von bis zu **8.000 t CO₂ jährlich.**

Investition

rund 2,6 Mio. €



Überblick ausgewählte Geothermische Kraftwerke in Deutschland, Frankreich und Österreich - Stand 2005 -

Kraftwerke und Kraftwerksprojekte

Altheim (Österreich):

Kraftwerk integriert in eine bestehende Fernwärmeversorgung auf der Basis Thermalwasser

Bad Urach:

Hot-Dry-Rock-Forschungs- und Kraftwerksprojekt (z.Z. Bohrbetrieb eingestellt)

Groß-Schönebeck:

Forschungsvorhaben für Enhanced Geothermal Systems in Sedimenten

Neustadt-Glewe:

Kraftwerk integriert in eine bestehende Fernwärmeversorgung auf der Basis Thermalwasser

Offenbach/Pfalz:

EGS-Kraftwerk (geplant)

Soultz-sous-Forêts (Frankreich):

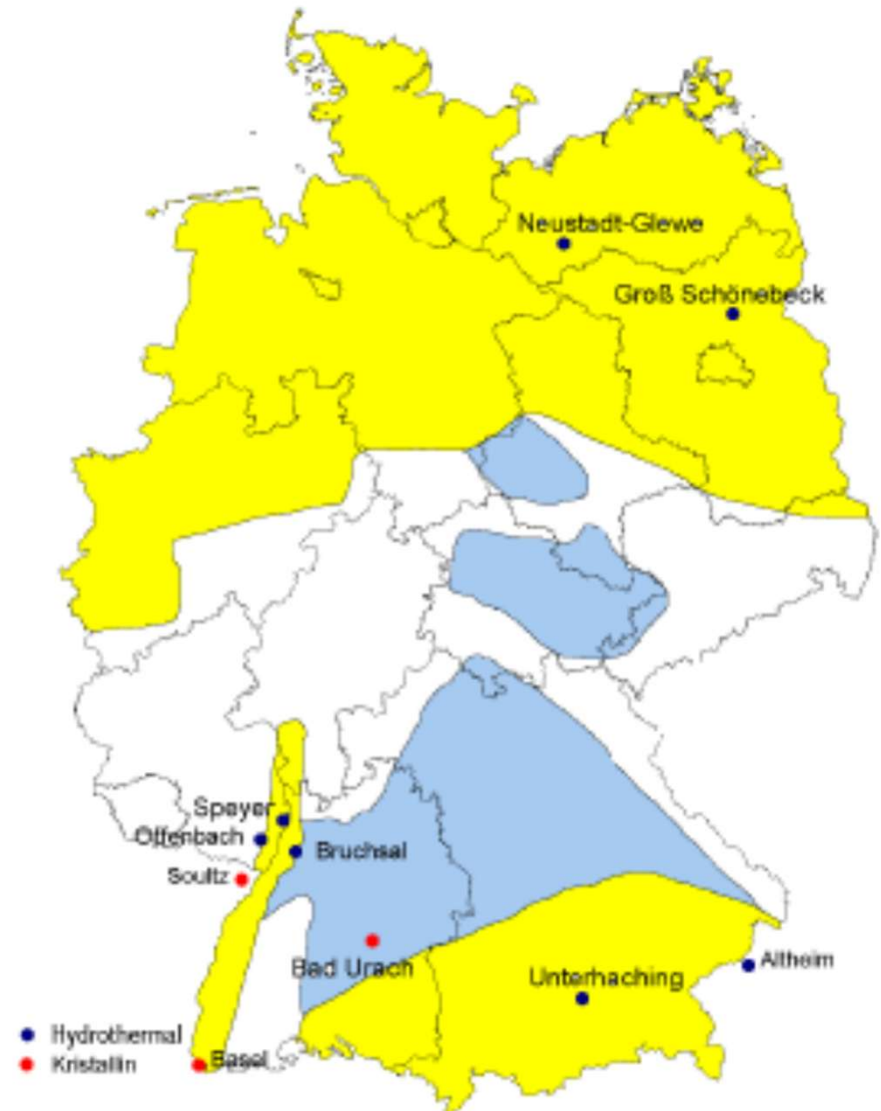
Zentrale europäische Forschungsanlage für EGS-Systeme

Speyer:

EGS-Kraftwerk und Fernwärme (im Bau)

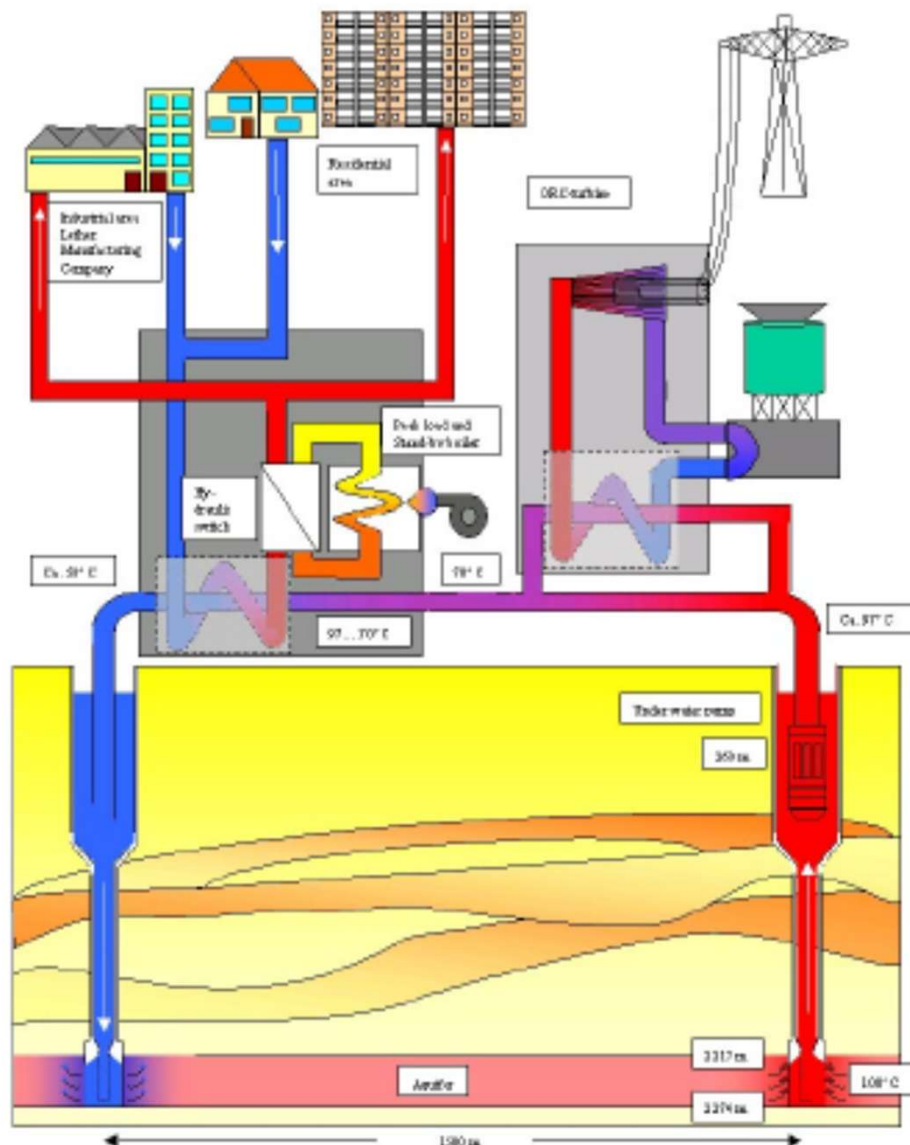
Unterhaching:

Kraftwerk und Fernwärme, Basis Thermalwasser (im Bau)



Erdwärme-Kraftwerk in Neustadt-Glewe/Mecklenburg-Vorpommern (1)

Schematische Darstellung der Nutzung geothermischer Energie



Kraftwerk ist integriert in eine bestehende Fernwärmeversorgung auf der Basis Thermalwasser. Inbetriebnahme Nov. 2003

Fakten (1):

Geothermischer Kreislauf:

Tiefe der Förderbohrung:	2.250m tief
Tiefe der Injektionsbohrung:	2.335m tief
Abstand der Bohrungen:	1.780 m
Fördertemperatur der Sole	97°C am Sondenkopf
Fördermenge:	40-110 m ³ /h(10-30l/s)
Salzgehalt der Sole:	227g/l (Totes Meer: 300g/l)

Heizwerk

Inbetriebnahme:	1994
Geothermische Wärmeleistung:	10.400 kW
Gaskessel:	10.000 kW
Mittlere Wärmeabgabe:	16.000 MWh/a, davon bis zu 98 % geothermische Wärme
Fernwärmekunden:	1.325 Wohnungseinheiten, 23 kleine Gewerbekunden
Prozesswärme:	1Lederwerk
Gefördert durch:	Bundesministerium für Forschung und Technologie, Land Mecklenburg-Vorpommern, Hamburgische Elektrizitäts-Werke AG (HEW)

Quellen: Geothermische Vereinigung, Vortrag Werner Bußmann, Dr. Burkhard Sanner, Geothermie in Deutschland:

Aktuelle Trends und Entwicklungen, 2006 und **Erdwärme-Kraft GbR**, Internet: www.erdwaerme-kraft.de vom 19.6.2007

Erdwärme-Kraftwerk in Neustadt-Glewe/Mecklenburg-Vorpommern (2)

Pumpenhaus

Filterhaus

ORC-Anlage

Kühlturm

Wasseraufbereitung



Bild: Außenansicht Erdwärme-Kraftwerk Neustadt-Glewe 2007

ORC-Erdwärme-Kraftwerk (Fakten 2)

Elektrische Leistung:

bis 230 kW

Nutzbare geothermische Wärme:

98°C bis 71°C, ca. 3000 kW

ORC-Turbine:

- einstufig mit drei Düsendgruppen, - Wirkungsgrad von 70%,
- Verdampfungsdruck ca. 4 bar; - Verdampfungstemperatur ca. 75°C

Kondensatordruck:

ca. 1 bar

Siedetemperatur des organischen Mediums bei Normaldruck: 31°C

2 Nasskühltürme, die von einem Brunnen gespeist werden; Chemische Wasseraufbereitung in einem Container:

Synchrongenerator:

250 kVA, 3000 U/min

Stromerzeugung:

1.400-1.600 MWh/a (Jahresstrombedarf von ca. 500 Haushalten)

Fahrweise:

Die Wärmeversorgung hat Vorrang, damit fährt das Kraftwerk im Sommer volle Leistung und steht bei Frostgraden im Winter. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Gefördert durch:

Geothermieprojekt Landau/Pfalz 2004-2007 (1)

Das Projekt soll die **Stromerzeugung und Wärmeversorgung** nach dem **hydrothermalen Geothermieverfahren ermöglichen**, mit dem man Heißwasservorkommen aus tieferen Schichten bis rund 3.000 m nutzen kann.

Das Wasser wird dabei über eine Förderbohrung an die Erdoberfläche gebracht und in zwei Stufen ausgekühlt. Im ersten Schritt gibt es seine Wärmeenergie in einen Stromerzeugungsprozess ab und im zweiten Schritt wird die Restwärme zur Fernwärmeversorgung genutzt. Das ausgekühlte Thermalwasser wird danach über eine zweite Bohrung wieder in den Untergrund zurückgeleitet.

Kennwerte

- Thermalwassertemperatur: 155–160 °C
- Fließrate: 50–70 l/s

Erzeugter Strom:

- Elektrische Leistung: ca. 3MW
- Ca. 6.000 Haushalte
(bei 3.800 kWh/Haushalt pro Jahr)

Erzeugte Wärme:

- Thermische Leistung: 3–6 MW
- Ca. 200–300 Haushalte

- Jährliche Einsparung an CO₂: ca. 5.800 t

Projektverlauf

Projektstart: 2004

- Gesamtinvestitionen: ca. 15 Mio. €

1. Bohrung:

- 63 Bohrtage, 3.300 Bohrmeter
33 Grad Ablenkung

2. Bohrung:

- 56 Bohrtage, 3.170 Bohrmeter
25 Grad Ablenkung

Auftragsvergabe für den Kraftwerksbau

- ab Juli 2006

Zirkulationstest:

- März/April 2007

Aufbau der Kühlung:

- ab Mai 2007

Aufbau des Turbogenerators:

- ab August 2007

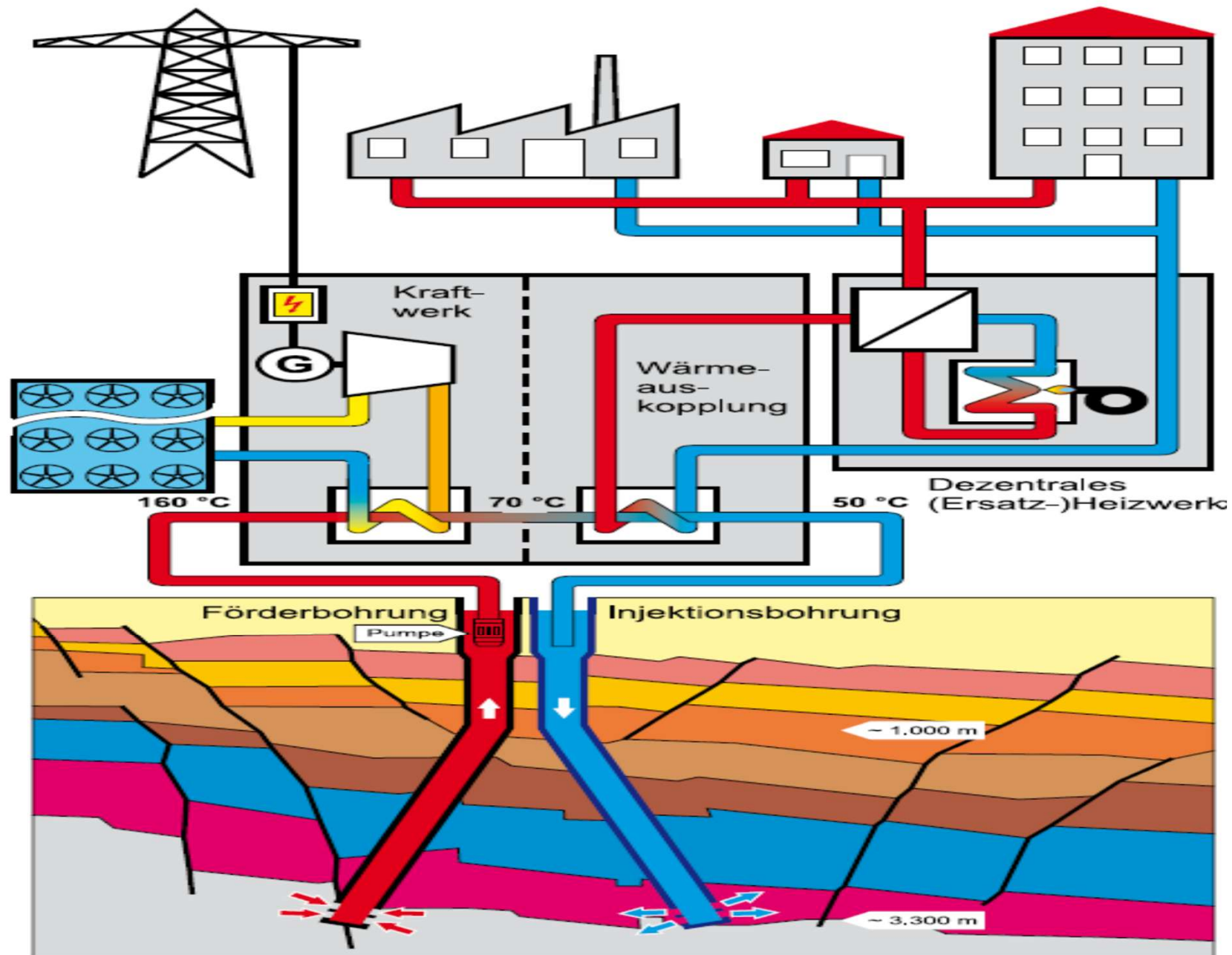
Probetrieb:

- September/Oktober 2007

Inbetriebnahme:

- November 2007

Geothermieprojekt Landau/Pfalz 2004 –2007 (2)



Tiefe Geothermieprojekt zur Strom- und Wärmeproduktion aus heißem Tiefengestein durch Kalina-Technik in Unterhaching bei München (1)

Erdwärme kann mit Hilfe der sogenannten **Kalina-Technik** erfolgreich zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden. Das zeigt das bekannteste Erdwärmekraftwerk in Husavik (Island).

In Deutschland werden z.Z. rund 50 Geothermie-Projekte geplant, bei denen die Kalina-Technik in Frage kommt. Das erste Projekt in Deutschland ist im bayerischen Unterhaching im Jahr 2004 mit der ersten Bohrung begonnen worden. Die zweite Bohrung erfolgte im Jahr 2006. Die Fertigstellung der Anlagen mit dem Heizwerk und der Stromerzeugungsanlage ist bis Ende 2007 vorgesehen.

Die **Kalina-Technik** nutzt eine Wärmeträger-Flüssigkeit aus Ammoniak und Wasser mit einem niedrigen Siedebereich, um eine Dampfturbine anzutreiben. So lässt sich bei niedrigem Temperaturniveau von 90°C Strom gewinnen. Der Wirkungsgrad soll gegenüber der **ORC-Technik** wesentlich besser sein.

Das kalifornische Unternehmen Exergy besitzt über 250 Patente zum Kalina-Verfahren. Die Firma Siemens-Bereich Industrial Solutions and Services hat für Europa die Lizenz gesichert.

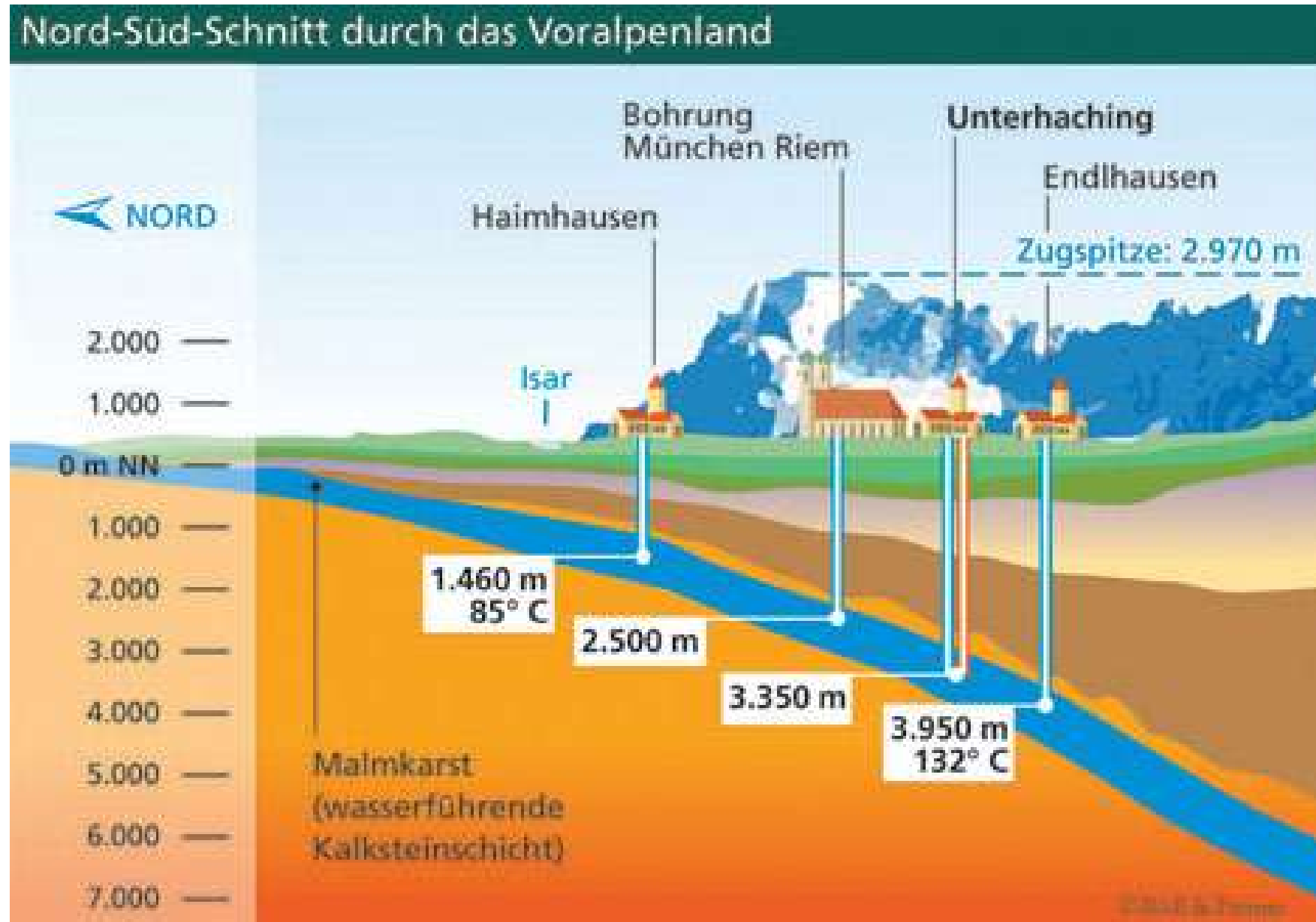
Beim **Geothermieprojekt in Unterhaching** handelt es sich um die bisher größte geothermale Tiefbohrung in Deutschland. Aus 3.300 m Tiefe soll bis zu 150 l/s heißes Thermalwasser an die Oberfläche gefördert werden. In einem Temperaturbereich zwischen 60 und 122°C stehen in der Anlage ganzjährig ca. 38 MW thermische Energie zur Verfügung. Diese können in Abhängigkeit von der Witterung entweder zur **Produktion von Fernwärme oder von Strom** (bis zu 3,4 MW) genutzt werden.

Quellen:

VDI nachrichten 8.10.2004,

Geothermie Unterhaching GmbH & Ko. KG; www.geothermie-unterhaching.de vom 2.5.2007

Tiefe Geothermieprojekt zur Strom- und Wärmeproduktion aus heißem Tiefengestein durch Kalina-Technik in Unterhaching bei München (2)



Fazit und Ausblick

Anhang zum Foliensatz

Glossar zur Geothermie von A bis Z (1)

Aaquifer

Unterirdische Gesteinsschicht, in deren Hohlräumen Wasser fließen kann. Grundwasserleiter.

Binärverfahren

Konversionsverfahren; wenn die direkte Dampf- oder Wassernutzung nicht möglich ist, muss ein anderes Medium als Arbeitsmittel herangezogen werden. In diesem Fall spricht man von indirekter Nutzung der Wärmequelle und damit von einem Binärverfahren. (siehe ORC, Kalina-Prozess)

Dublette

System aus 2 Bohrungen, von den in der Regel eine genutzt wird, um (kaltes) Wasser in den Boden zu verpressen, und die andere, um das (untertage erhitzte) Wasser an die Oberfläche zu fördern. Weitere Bohrsysteme sind z.B. die Einzelsonde und die Triplette.

HDR/HFR-Technik

Hot-Dry(Fractured)-Rock: Heiße, nicht (genügend) wasserführende Gesteinsschicht. Um diese Wärme nutzbar zu machen, muss ein unterirdischer Wärmeübertrager (weit zerklüftetes Rissystem) erzeugt werden, in den dann Wasser injiziert, dort erwärmt und wieder an die Oberfläche transportiert wird.

in situ-Geothermielabor

Ein "in situ"-Geothermielabor ist eine Forschungseinrichtung, die sich nicht im Labor, sondern direkt an einer aktuellen Bohrung befindet ("in situ" = "am Ort").

Kalina-Prozess

Der Kalina-Prozess ähnelt dem ORC, nur dass hier als Arbeitsmedium ein Arbeitsmittel-Lösungsmittelpaar (i.d.R. Ammoniak-Wasser) verwendet wird. Gegenüber dem ORC ist eine Steigerung des Wirkungsgrads um 10 bis 60 % möglich, allerdings steht die Kalina-Technologie erst am Anfang der Entwicklung und muss sich in der Praxis erst noch bewähren. Die Kalina-Technologie ist patentrechtlich geschützt.

Molassebecken

Gebiet im Alpenvorland, das potenziell günstige Eigenschaften für die Nutzung der Geothermie aufweist.

Oberflächennahe Erdwärme

In den oberflächennahen Erdschichten wird die Temperatur maßgeblich durch die solare Strahlung, Niederschläge, das Vorhandensein von Grundwasser und die Wärmeleitung im Gestein beeinflusst und ist somit von der Witterung abhängig. Da in diesem Bereich die Temperaturen nicht für eine direkte Wärmenutzung ausreichen, müssen sie durch eine Wärmepumpe

Glossar zur Geothermie von A bis Z (2)

auf ein geeignetes Temperaturniveau angehoben werden. Die Wärmepumpe nutzt eine Wärmequelle mit geringer Temperatur zur Verdampfung eines Kreislaufmediums und gibt so die Wärme nach Zufuhr von Verdichterenergie auf einem höheren Temperaturniveau ab. Dadurch ist eine Versorgung von Niedertemperaturheizungen für Raumheizzwecke möglich. Außerhalb der Heizperiode kann die Anlage für Kühlzwecke genutzt werden.

ORC

Organic-Rankine-Cycle: Dampfkraftprozess mit organischen Arbeitsmedien. Das Thermalwasser gibt seine Energie über einen Wärmeübertrager an das organische Arbeitsmittel (z.B. Perfluorpentan) ab, das schon bei geringen Temperaturen verdampft. Durch die spezifischen Eigenschaften des eingesetzten Mediums sind Veränderungen der Verfahrenstechnik (interne Rekuperation) möglich.

Stimulation

Durch ein Verpressen von großen Mengen Wasser können unterirdische Rissysteme erzeugt bzw. erweitert werden. Dadurch wird der verfügbare Wärmeübertrager künstlich vergrößert.

Temperatur-Tiefenkoeffizient

Dieser Gradient gibt den Anstieg der Temperatur mit zunehmender Tiefe an. In Deutschland kann mit ca. 3 K je 100 Meter Tiefe gerechnet werden. Es können aber lokale Abweichungen auftreten, die u.U. für Geothermieprojekte besonders günstig sind und genutzt werden können.

Teufe

Bergmannssprachlich für senkrechte Tiefe einer Bohrung oder eines Schachtes.

Tiefengeothermie

In Abhängigkeit des lokalen Temperatur-Tiefenkoeffizienten können in Deutschland Wärmequellentemperaturen bis ca. 200 °C erschlossen werden. Damit lässt sich eine geothermische Stromerzeugung realisieren. Die Exploration erfolgt über Tiefenbohrungen. Die erschlossenen Gesteinschichten - wasserführend (Aquifer) oder trocken - dienen als untertägiger Wärmeübertrager, aus dem das heiße Wasser gefördert wird. Zur geothermischen Stromerzeugung mit sog. Binärverfahren eignen sich Temperaturen ab ca. 100 °C. Die im Thermalwasser enthaltene Wärmeenergie wird für die Verdampfung eines Kreislaufmediums benutzt, das in einem separaten Kreislauf über einer Turbine mit Generator entspannt wird. Nach einer vollständigen Kondensation und Druckerhöhung beginnt der Kreislauf erneut. (siehe ORC bzw. Kalina-Prozess)

ZIP

Zukunftsinvestitionsprogramm der Bundesregierung, mit dessen Mitteln u.a. Forschung und Entwicklung im Bereich der Geothermischen Stromerzeugung unterstützt werden.

Ausgewählte Internetportale + KI (1)

Statistikportal Bund & Länder

www.statistikportal.de

Herausgeber:

Statistische Ämter des Bundes und der Länder

E-Mail: Statistik-Portal@stala.bwl.de ; verantwortlich:

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

70199 Stuttgart, Böblinger Straße 68

Telefon: 0711 641- 0; E-Mail: webmaster@stala.bwl.de

Kontakt: Frau Spegg

Info

Bevölkerung, Wirtschaft, Energie, Umwelt u.a, **sowie**

- **Arbeitsgruppe Umweltökonomische Gesamtrechnungen**

www.ugrdl.de

- **Arbeitskreis „Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder“**; www.vgrdl.de

- **Länderarbeitskreis Energiebilanzen Bund-Länder**

www.lak-Energiebilanzen.de > mit Klimagasdaten

- **Bund-Länder Arbeitsgemeinschaft Nachhaltige Entwicklung**; www.blak-ne.de

Energieportal Baden-Württemberg

www.energie.baden-wuerttemberg.de

Herausgeber:

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Postfach 103439; 70029 Stuttgart

Tel.: 0711/126-0; Fax 0711/126-2881

E-Mail: Poststelle@um.bwl.de

Portal Energieatlas Baden-Württemberg

www.energieatlas-bw.de

Herausgeber:

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft

Baden-Württemberg, Stuttgart und

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz

Baden-Württemberg, Karlsruhe

Info

Behördliche Informationen zum Thema Energie aus Baden-Württemberg

Versorgerportal Baden-Württemberg

www.versorger-bw.de

Herausgeber:

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Tel.: 0711 / 126 – 0, Fax: +49 (711) 222 4957 1204

E-Mail: poststelle@um.bwl.de

Info

Aufgaben der Energiekartellbehörde B.-W. (EKartB) und der Landesregulierungsbehörde B.-W. (LRegB), Netzentgelte, Gas- und Trinkwasserpreise, Informationen der 230 baden-württembergischen Netzbetreiber

Umweltportal Baden-Württemberg

www.umwelt-bw.de

Herausgeber:

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Postfach 103439; 70029 Stuttgart

Tel.: 0711/126-0; Fax 0711/126-2881

E-Mail: Poststelle@um.bwl.de

Info

Der direkte Draht zu allen Umwelt- und Klimaschutzinformationen in BW

Ausgewählte Internetportale + KI (2)

<p>BMU Internetportal Erneuerbare Energien www.erneuerbare-energien.de Herausgeber: Bundesumweltministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Info D-Statistik, Aktuelle Informationen zu Erneuerbaren Energien, z.B. Geothermie</p>	<p>Internetportal Qualifizierungskampagne Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg www.energie-aber-wie.de Herausgeber: Umweltministerium Baden-Württemberg Info Erneuerbare Energien, z.B. Infomaterial, Veranstaltungen, Referenten u.a</p>
<p>UM-BW Internetplattform Erdwärme Baden-Württemberg www.erdwaerme.baden-wuerttemberg.de Herausgeber: Umweltministerium Baden-Württemberg Info Förderung und Nutzung der Erdwärme</p>	<p>TTI Internetplattform Energiefakten www.energiefakten.de Herausgeber: Technologie-Transfer-Initiative GmbH an der Universität Stuttgart (TTI GmbH) Info Veröffentlichungen und Meinungen zu Energiefragen bei der nachhaltige Energieversorgung weltweit</p>
<p>Internetplattform LGRBwissen Das geowissenschaftliche Portal für Baden-Württemberg www.lgrbwissen.grb-bw.de Herausgeber: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau beim Regierungspräsidium Freiburg Info Informationen zur Geothermie u.a.</p>	<p>EK Energie Internetportal Erneuerbare Energien ec.europa.eu/energy/res > Thema EE http://ec.europa.eu/energy/res/publications/b arometers_en.htm Herausgeber: European Kommission, GD Energy and Transport Info EU-Statistik - Barometer EurObserv'ER, z.B. Geothermie</p>

Ausgewählte Internetportale + KI (3)

<p>Internetportal Erneuerbare Energien www.erneuerbare-energien.de</p> <p>Herausgeber: Bundswirtschaftsministerium für Wirtschaft und Energie</p> <p>Info D-Statistik, Aktuelle Informationen zu Erneuerbaren Energien, z.B. Geothermie</p>	<p>Dena Internetportal Exportinitiative Erneuerbare Energien www.exportinitiative.de</p> <p>Herausgeber: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)</p> <p>Info Internationaler Informationsaustausch zwischen deutschen Exporteuren und ausländischen Interessenten</p>
<p>UBA Internetportal Energie Germany Erneuerbar und Effizient</p> <p>www.energy-germany.de</p> <p>Herausgeber: Umweltbundesamt</p> <p>Info Technologien, Branche, Kontakte, Förderung, Internationale Zusammenarbeit, Rechtliche und politische Aspekte</p>	<p>BINE Internetportal Erneuerbare Energien</p> <p>www.bine.info.de</p> <p>Herausgeber: BINE Informationsdienst des Fachinformationszentrum Karlsruhe GmbH</p> <p>Info Innovative Technologien, Praxisbeispiele</p>
<p>Internetportal Erneuerbare Energien www.unendlich-viel-energie.de</p> <p>Herausgeber: AGEE Erneuerbare Energien</p> <p>Info Informationen und Folien zu EE</p>	<p>Energetik Leipzig Internetportal Geothermie http://www.energetik-leipzig.de/Geothermie/Portal/Geothermie.htm</p> <p>Herausgeber: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Leipzig</p> <p>Info Geothermische Stromerzeugung, Geothermie-Projekte u.a.</p>

Ausgewählte Internetportale + KI (4)

Microsoft – Bing-Chat mit GPT-4

www.bing.com/chat

Herausgeber:

Microsoft Bing

Info

b Bing ist KI-gesteuerter Copilot für das Internet zu Themen – Fragen und Antworten

Infoportal Energie- und Klimawende

Baden-Württemberg plus weltweit

www.dieter-bouse.de

Herausgeber:

Dieter Bouse, Diplom-Ingenieur

Werner-Messmer-Str. 6, 78315 Radolfzell am Bodensee

Tel.: 07732 / 8 23 62 30;

E-Mail: dieter.bouse@gmx.de

Info

Energiewende in Baden-Württemberg, Deutschland, EU-27 und weltweit

Ausgewählte Informationsstellen (1)

<p>Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM) Kerner Platz 9, 70178 Stuttgart Internet: www.um.baden-wuerttemberg.de Tel.: 0711-126-0, Fax: 0711/126-2881; E-Mail: poststelle@um.bwl.de, Besucheradresse: Hauptstätter Str. 67 (Argon-Haus), 70178 Stuttgart</p> <p>Abteilung 6: Energiewirtschaft Leitung: Mdgt. Martin Eggstein Sekretariat: Telefon 0711 / 126-1201</p> <p>Referat 62: Wärmewende Leitung: MR Brunner Tel.: 0711/126-1215, Fax: 0711/126-125 E-Mail:brunner@um.bwl.de</p> <p>Info Geothermie</p>	<p>Statistisches Landesamt Baden-Württemberg Referat 44: Energiewirtschaft, Handwerk, Dienstleistungen, Gewerbeanzeigen Böblinger Str. 68, 70199 Stuttgart Internet: www.statistik-baden-wuerttemberg.de Tel.: 0711 / 641-0; Fax: 0711 / 641-2440 Leitung: Präsidentin Dr. Carmina Brenner Kontakt: RL'in RD'in Monika Hin (Tel. 2672), E-Mail: Monika.Hin@stala.bwl.de; Frau Autzen M.A. (Tel. 2137)</p> <p>Info Energiewirtschaft, Handwerk, Dienstleistungen, Gewerbeanzeigen Landesarbeitskreis Energiebilanzen der Länder, www.lak-Energiebilanzen.de</p>
<p>Stiftung Energie & Klimaschutz Baden-Württemberg Durlacher Allee 93, 76131 Karlsruhe Internet: www.energieundklimaschutzbw.de Tel.: 07 2163 - 12020, Fax: 07 2163 – 12113 E-Mail: energieundklimaschutzBW@enbw.com Kontakt: Dr. Wolf-Dietrich Erhard</p> <p>Info Plattform für die Diskussion aktueller und allgemeiner Fragen rund um die Themen Energie und Klimawandel; Stiftungsmittel durch EnBW</p>	<p>Verband für Energie- und Wasserwirtschaft Baden-Württemberg e.V.- VfEW - Schützenstraße 6; 70182 Stuttgart Internet: www.vfew-bw.de Tel.: 0711/ 933491-20; Fax 0711 /933491-99 E-Mail: info@vfew-bw.de Internet: www.vfew-bw.de Kontakt: GF Matthias Wambach, GF Dr. Bernhard Schneider, Stv.</p> <p>Info Energie (Strom Gas, Fernwärme), Wasser</p>
<p>Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) Heßbrühlstr. 21c, 70565 Stuttgart Tel.: 0711/7870-0, Fax: 0711/7870-200 Internet: www.zsw-bw.de Kontakt: Leiter Prof. Dr. Frithjof Staiß, Tel.: 0711 / 7870-235, E-Mail: staiss@zsw-bw.de Dipl.-Ing Tobias Kelm</p> <p>Info Statistik Erneuerbare Energien u.a.</p>	<p>Universität Stuttgart Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Heßbrühlstr. 49a, 70565 Stuttgart, Internet: www.ier.uni-stuttgart.de Tel.: 0711 / 685-878-00; Fax: 0711/ 685-878-73 Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Kai Hufendiek Kontakt: AL Dr. Ludger Eltrop, AL Dr. Ulrich Fahl E-Mail: le@ier.uni-stuttgart.de, ulrich.fahl@ier.uni-stuttgart.de, Tel.: 0711 / 685-878-11/ 16 / 30</p> <p>Info Energienmärkte, GW-Analysen , Systemanalyse und Energiewirtschaft bzw. EE u.a.</p>

Ausgewählte Informationsstellen (2)

<p>Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM) Kernerplatz 9; 70182 Stuttgart Tel.: 0711/ 126 – 0; Fax: 0711/ 126 - 2881 Internet: www.um.baden-wuerttemberg.de E-Mail: poststelle@um.bwl.de Besucheradresse: Hauptstätter Str. 67 (Argon-Haus), 70178 Stuttgart Referat 63: Energieeffizienz in Haushalten und Unternehmen Kontakt: Baudirektor Dipl.-Ing. Harald Höflich Tel.: 0711 / 126-1223, Fax: 0711 / 126-1258 E-Mail: harald.hoeflich@um.bwl.de Info Informationen im Bereich Energiesparen, Energieeffizienz und Erneuerbare Energien</p>	<p>Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM) Kerner Platz 9, 70182 Stuttgart Tel.: 0711/126-0 , Fax: 0711/126-1509 E-mail: poststelle@um.bwl.de, udo.pasler@um.bwl.de Internet: www.uvm.baden-wuerttemberg.de www2.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/9077 Abteilung 5: Wasser und Boden Leitung: Mdgt'in Rosport Sekretariat: 0711/126-1501 Referat 54: Boden und Altlasten, Grundwasserschutz und Wasserversorgung Leitung : LTD Dr. Ochs Kontakt: Frau Heeß, Tel.: 0711/ 126-1504 Info Informationen im Bereich Erdsonden; Wärmepumpen</p>
<p>Ministerium für Umwelt Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM) Internet: www.energie-aber-wie.de Besucheradresse: Hauptstätter Str. 67 (Argon-Haus), 70178 Stuttgart Referat 63: Energieeffizienz in Haushalten und Unternehmen Kontakt: Dipl.-Ing. Achim Haid E-Mail: achim.haid@um.bwl.de Tel.: 0711 / 126-1224, Fax: 0711 / 126-1258 Info Referentenverzeichnis, Veranstaltungen, Vorträge, Infomaterial</p>	<p>IGA Internationale Vereinigung für Geothermie IGA International Geothermal Association Das IGA-Sekretariat c / o Bochum University of Applied Sciences (Hochschule Bochum) Lennershofstr. 140 , D-44801 Bochum Internet: www.geothermal-energy.org Tel: +49 (0) 234-3210712 ; Fax: +49 (0) 234-3214809 Kontakt: Info Geothermie, Wärmepumpe</p>

Ausgewählte Informationsstellen (3)

<p>Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz - Kontakt BMWi Berlin Scharnhorstr.34-37, 11019 Berlin Tel.: + 49 (0) 30 18 615 – 0; Fax: E-Mail: poststelle@bmwi.bund.de Internet: www.bmwi.de Kontakt: Info Zuständig für Wirtschaft, Energie und Klimaschutz</p>	<p>Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB) c/o.. BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Reinhardtstr. 32, 10117 Berlin Tel.: + 49 30 300199-1600, Fax: Internet: www.ag-energiebilanzen.de Kontakt: Michael Nickel E-Mail: m.nickel@ag-energiebilanzen.de Info Energiebilanzen für Deutschland</p>
<p>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) Presse- und Informationsstab Stresemannstraße 128 - 130 ; 10117 Berlin Telefon: 030 18 305-0, Telefax: 030 18 305-2044 Internet: www.bmuv.bund.de Tel.: 030 18 305-0 ; Fax: 030 18 305-2044 E-Mail: service@bmuv.bund.de Kontakt: Info Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit, Verbraucherschutz</p>	<p>Statistisches Bundesamt Gustav-Stresemann-Ring 11, 65189 Wiesbaden Tel.: 0611 /75-1 oder 3444, Fax: 0611 / 75-3976 E-Mail: presse@destatis.de, Internet: www.destatis.de Internet: www.destatis.de; www.statistikportal.de Kontakt: Jörg Kaiser , Pressestelle Info Statistik</p>
<p>Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen Baden-Württemberg (LMW BW) Theodor-Heuss-Str. 4, 70174 Stuttgart www.mlw.baden-wuerttemberg.de E-Mail: poststelle@mlw.bwl.de Tel.: + 49 (0) 0711 123-0, Telefax: (0711) 123-3131 Kontakt: Info Landesentwicklung, Bauen und Wohnen, Städtebau, Denkmalschutz</p>	<p>Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) Alt-Moabit 140, 10557 Berlin Internet: www.bmi.bund.de Telefon: +49-(0)30 18 681-0 Kontakt: Referat Presse, Online-Kommunikation, Öffentlichkeitsarbeit Info Publikationen zum Bauen und Wohnen u.a.</p>

Ausgewählte Informationsmaterialien (1)

<p>Broschüre „Erdwärme-Tipps für Hausbesitzer und Bauherren“, Ausgabe: 11/2016 Herausgeber: Bundesverband Geothermie e.V. Albrechtstraße 22; 10117 Berlin Internet: www.geothermie.de Tel: 030/200 95 495-0; Fax: 030/200 95 495-9 E-Mail: info@geothermie.de Schutzgebühr: kostenlos</p>	<p>Erneuerbare Energien in Zahlen Nationale und internationale Entwicklung 2023 Stand: 10/2024 Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) Stresemannstraße 128 - 130 ; 10117 Berlin Telefon: 030 18 305-0, Telefax: 030 18 305-2044 Internet: www.bmuv.bund.de Tel.: 030 18 305-0 ; Fax: 030 18 305-2044 E-Mail: service@bmuv.bund.de Schutzgebühr: kostenlos</p>
<p>Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2024 Auflage: 12/2025 Herausgeber: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg Besucheradresse: Willy-Brandt-Str. 41, 70173 Stuttgart Tel.: 0711/126-1203, Fax: 0711/126-1258 E-Mail: ilona.szemelka@wm.bwl.de Schutzgebühr: kostenlos</p>	
<p>Universität Stuttgart Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Heßbrühlstr. 49a, 70565 Stuttgart, Internet: www.ier.uni-stuttgart.de Tel.: 0711 / 685-878-00; Fax: 0711/ 685-878-73 Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Kai Hufendiek Kontakt: AL Dr. Ludger Eltrop, AL Dr. Ulrich Fahl E-Mail: le@ier.uni-stuttgart.de, ulrich.fahl@ier.uni-stuttgart.de, Tel.: 0711 / 685-878-11/ 16 / 30 Info Energiamärkte, GW-Analysen , Systemanalyse und Energiewirtschaft bzw. EE u.a.</p>	

Ausgewähltes Informationsmaterial (2)

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM)

Kernerplatz 9; 70182 Stuttgart
Tel.: 0711/ 126 – 0; Fax: 0711/ 126 - 2064
Internet: www.um.baden-wuerttemberg.de;
E-Mail: poststelle@um.bwl.de
Internet: www.um.baden-wuerttemberg.de;

Besucheradresse:

Hauptstätter Str. 67 (Argon-Haus), 70178 Stuttgart
Tel.: 0711/126-1203, Fax: 0711/126-1258
E-Mail: ilona.szemelka@wm.bwl.de
Schutzgebühr: kostenlos, pdf

Info

Faltblätter:

- Wärme aus Luft und Boden; 01/2012

Broschüren:

- Geothermie in Baden-Württemberg; 4/2008
- Energie sparen durch Wärmepumpenanlagen; 2010
- Qualitätsmanagement – Fehlervermeidung bei Wärmepumpen- und Erdsonden-Heizsystemen; 5/2010
- Mittelgroße Wärmepumpenanlagen ; 2006
- Wärmepumpen Checkliste – Empfehlungen für Planung, Ausführung und Betrieb von Wärmepumpen-Heizungsanlagen; 2012

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM)

Kerner Platz 9, 70182 Stuttgart
Tel.: 0711/126-0 , Fax: 0711/126-1509
E-mail: poststelle@um.bwl.de, udo.pasler@um.bwl.de
Internet: www.uvm.baden-wuerttemberg.de
www2.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/9077

Abteilung 5: Wasser und Boden

Leitung: Mdg't'in Rosport

Sekretariat: 0711/126-1501

Referat 54: Boden und Altlasten, Grundwasserschutz und Wasserversorgung

Leitung : LTD Dr. Ochs

Kontakt: Frau Heeß, Tel.: 0711/ 126-1504

Info

Broschüren:

- Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdsonden, Ausgabe 10/2017
- Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmekollektoren 1. Auflage 2008
- Qualitätsmanagement – Fehlervermeidung bei Wärmepumpen- und Erdsonden-Heizsystemen 12/2009 1. Auflage 12/2009
- Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Grundwasserwärmepumpen, 1. Auflage 4/2009
- Antworten zu Fragen der Tiefengeothermie Ausgabe Mai 2012

Ausgewählte Informationsmaterialien (3)

<p>Energiebericht 2024 und Energiebericht kompakt 2025 Ausgabe 10/2022 und 7/2023 Herausgeber UM BW & Stat. LA BW Besucheradresse: Willy-Brandt-Str. 41, 70173 Stuttgart Tel.: 0711/126-1203, Fax: 0711/126-1258 E-Mail: ilona.szemelka@wm.bwl.de Schutzgebühr: kostenlos, pdf</p>	
<p>Barometer Erneuerbare Energien von EurObserv'ER Regelmäßige Jahres-Publikation zum Themenbereich erneuerbaren Energien in Europa (PDF-Dateien), Aktuelle Ausgabe: Jahresbericht-Stand der EE in Europa 2023 Herausgeber: EurObserv'ER 146, rue de l'Université; 75007 Paris; Frankreich www.energie-srenouvelables.org/ec.europa.eu/energy/re/publications/barometers_en.htm www.euobserv.org Tel. : +33 (0)1 44 18 00 80; Fax : +33 (0)1 44 18 00 36 E-Mail: observ.er@energies-renouvelables.org; Kontakt: Frédéric Tuillé oder Gaëtan Fovez Schutzgebühr: keine</p>	<p>Leitfaden Erdwärmesonden in Bayern Broschüre , Ausgabe 2012 Oberflächennahe Geothermie Heizen und Kühlen mit Energie aus dem Untergrund Broschüre , Juli 2005 Herausgeber: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG) Rosenkavalierplatz 2, 81925 München Internet: www.umweltministerium.de Tel.: , Fax: E-Mail: poststelle@stmlu.bayern.de Schutzgebühr: kostenlos</p>
<p>Klimaatlas Baden-Württemberg Ausgabe 5/2019 Herausgeber: LUBW-Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Griesbachstraße 1, 76185 Karlsruhe Telefon: 0721/5600-0 E-Mail: poststelle@lubw.bwl.de Internet: www.lubwl.de Preis: 49 € mit CD-ROM</p>	<p>REN21 - RENEWABLES 2025 - Global Status Report Ausgabe 6/2025 Herausgeber: Renewables Energy Policy Network for the 21st Century c/o UNEP REN21 Secretariat 15 rue de Milan 75441 Paris Cedex 9 France Tel.: +33 1 44 37 50 94 Fax: +33 1 44 37 50 95 E-Mail: secretariat@ren21.org www.ren21.net Schutzgebühr: PDF-Datei, keine Schutzgebühr</p>

Ausgewählte Informationsmaterialien (4)

<p>Landesinitiative Zukunftsenergien NRW c/o Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen Haroldstraße 4, 40213 Düsseldorf Internet: www.energieland.nrw.de www.waermepumpen-marktplatz-nrw.de Tel.: 0211/ 866 42-0, Fax: 0211/ 866 42-22 E-Mail: baumann@energieland.nrw.de Kontakt: Dr. Frank-Michael Baumann</p> <p>Info Broschüren - Ausschreibungstext für die Errichtung von Erdwärmesonden</p> <p>PDF-Dokumente im Internet: www.waermepumpen-marktplatz-nrw.de</p>	<p>ENERGIEAGENTUR NRW REN-Impuls-Programm RAVEL NRW Kasinostraße 19-21, 42103 Wuppertal Tel: 02 02/2 45 52-27, Fax: 02 02/2 45 52-28 www.ea-nrw.de, info@ea-nrw.de</p> <p>Info Marktführer Wärmepumpe 2013, 8/2013 Planungsleitfaden Wärmepumpe, 12/2012</p> <p>PDF-Dokumente im Internet: www.waermepumpen-marktplatz-nrw.de</p>
<p>Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA NRW) Wallneyer Str. 6 • 45133 Essen Tel.: 02 01/ 79 95 – 0, Fax: 0201 / 79 95 - 1448 E-Mail: poststelle@lua.nrw.de</p> <p>Info Merkblätter Band 48 Wasserwirtschaftliche Anforderungen an die Nutzung von oberflächennaher Erdwärme, Essen 2004</p> <p>PDF-Dokumente im Internet: www.waermepumpen-marktplatz-nrw.de</p>	<p>BFE Bundesamt für Energie, Bern www.bfe.admin.ch www.bfe.admin.ch/forschung/waermepumpe Kontakt:</p> <p>Info - Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien 2016 - Basics AG: Erweiterung der schweizerischen Elektrowärmepumpenstatistik 2012 (PDF) - Forschung, jährliche Wärmepumpentagungen</p>
<p>GZB Internationales Geothermiezentrum Bochum Hochschule Bochum Lennershofstraße 140 – 44801, Bochum</p> <p>T: 0234 - 32-10233 / F: 0234 - 32-14890</p> <p>Info Branchenführer Geothermie 2017</p>	<p>Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE Heidenhofstr. 2 ; 79110 Freiburg Telefon: 0761 / 45 88 – 0; Fax: 0761 / 45 88 - 9000 Kontakt: Marek Miara; marek.miara@ise.fraunhofer.de</p> <p>Feldtest: Wärmepumpeneffizienz Messtechnische Untersuchung von WP-Anlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb Abschlussbericht und Kurzfassung, Mai 2011</p>

Ausgewählte Foliensätze zum Themenbereich Erneuerbare Energien*

Erneuerbare Energien	Geothermie	Solarenergie Solarwärme	Wasserkraft
Erneuerbare Energien Nationale und internationale Entwicklung	Geothermie Nationale und internationale Entwicklung	Solarthermie Nationale und internationale Entwicklung	Wasserkraft Nationale und internationale Entwicklung
	Geothermie	Solarthermieanlagen	
Bioenergie	Wärmepumpe	Solarenergie Solarstrom	Windenergie
Bioenergie Nationale und internationale Entwicklung	Wärmepumpen Nationale und internationale Entwicklung	Photovoltaik Nationale und internationale Entwicklung	Windenergie Nationale und Internationale Entwicklung
Biofestbrennstoffe	Gebäudeheizung mit Wärmepumpen	Netzgekoppelte PV-Anlagen	
Biogase	Wärmepumpen Wärmequelle Außenluft		Wasserstoff Nationale und Internationale Entwicklung
Biokraftstoffe	Wärmepumpen Wärmequelle Geothermie	Solarthermische Kraftwerke	

* Foliensätze teilweise in Aktualisierung bzw. in Vorbereitung

Stand: Mai 2021