

Geothermietag Hannover

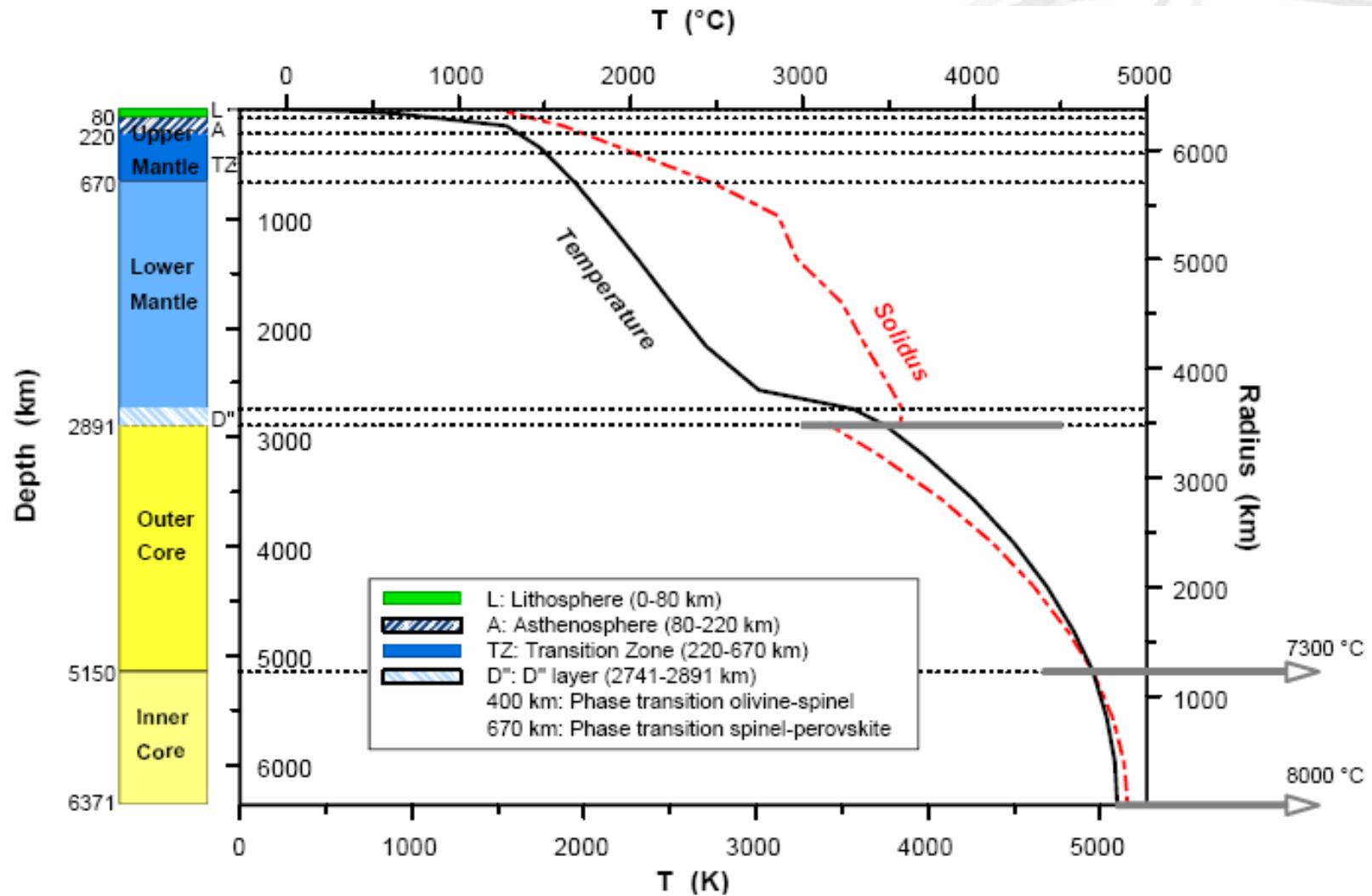
Durch Innovation zur Wirtschaftlichkeit

Geothermie eine brandheiße Zukunftsoption

Prof. Horst Rüter



Temperaturen im Erdinneren



© Anton Jungfer Verlag

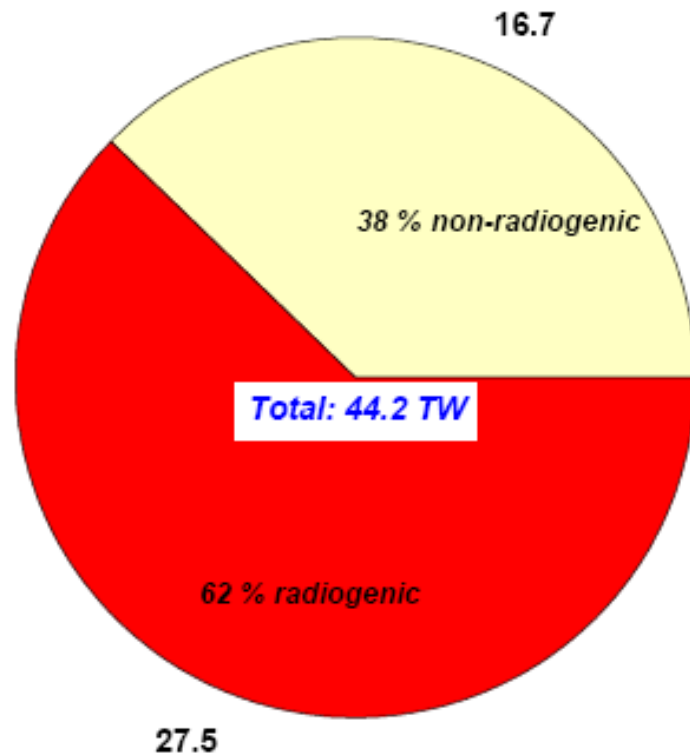
Hannover 2008



GEOthermische VErEINIGUNG e.V.
BUNDESVERBAND GEOTHERMIE

Horst Rüter / www.geothermie.de / 2008

Wärmebilanz der Erde



Wärmequellen:

Radioaktivität

Ursprungsenergie

Reibung

Fig. 8.4. Thermal power (TW) received by the Earth from different sources.

Pre-Print from:

Clauser, C., 2006. Geothermal Energy, In: K. Heinloth (ed), *Landolt-Börnstein, Group VIII: Advanced Materials and Technologies, Vol. 3: Energy Technologies, Subvol. C: Renewable Energies*, Springer Verlag, Heidelberg-Berlin, 493-804.



Wärmebilanz der Erde

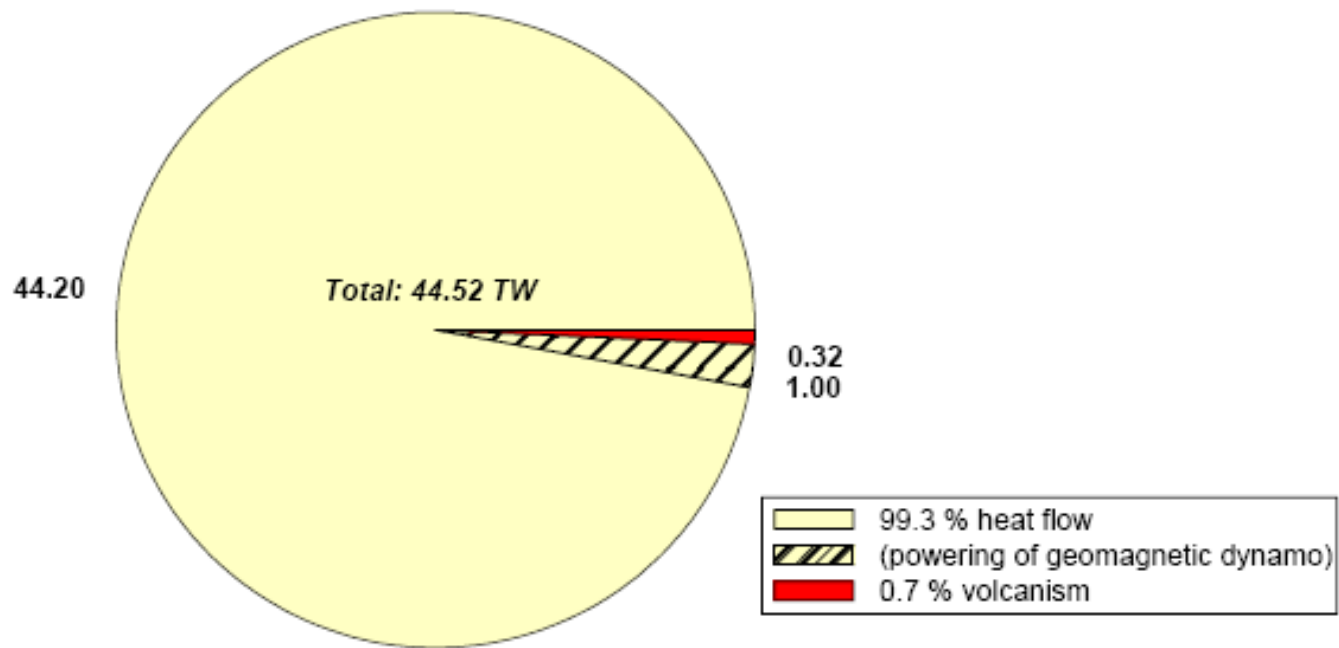
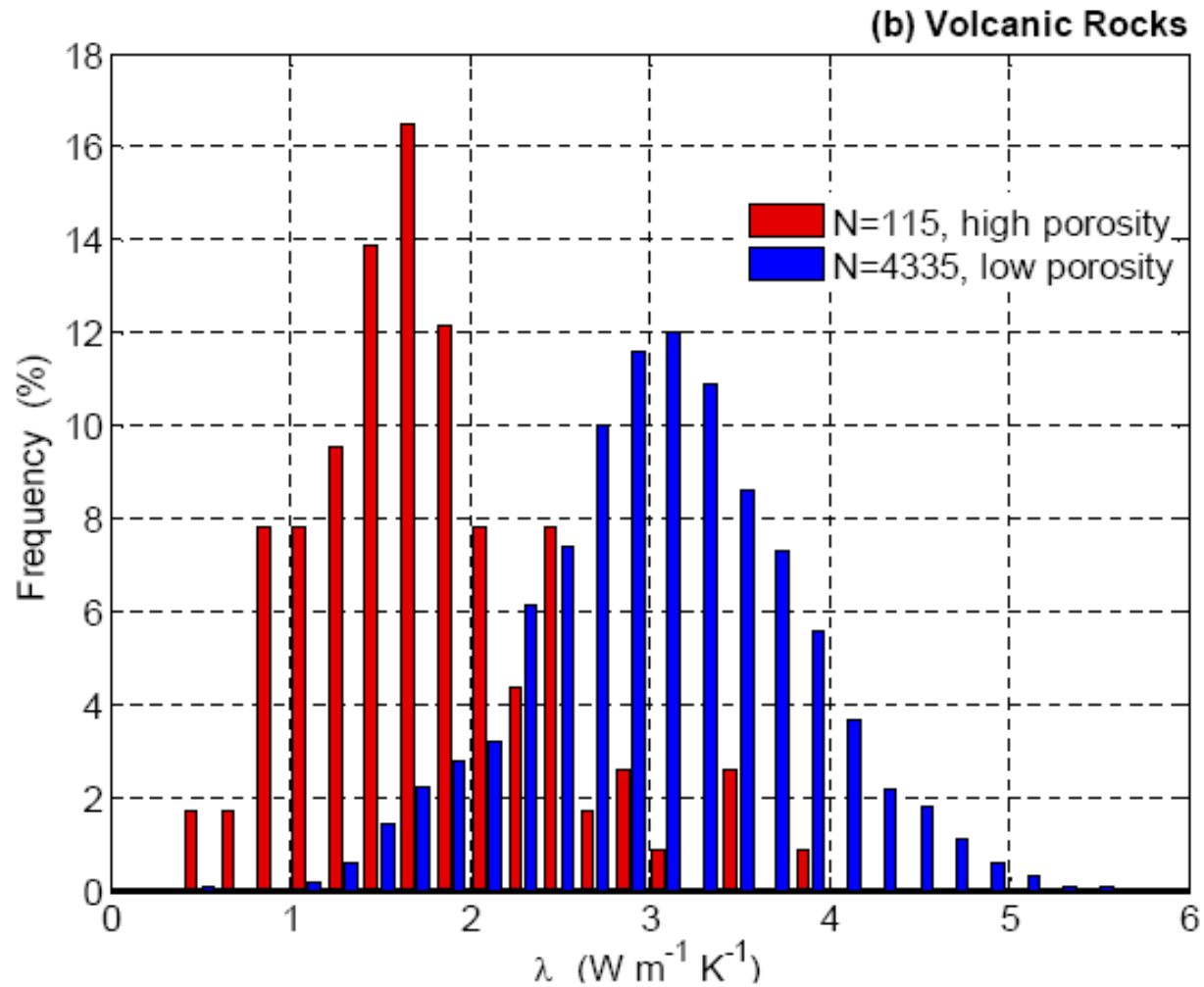


Fig. 8.5. Thermal power (TW) spent by the Earth via different processes (disregarding long-wavelength heat radiation).



Wärmeleitfähigkeit der Gesteine



Geothermische Potenziale

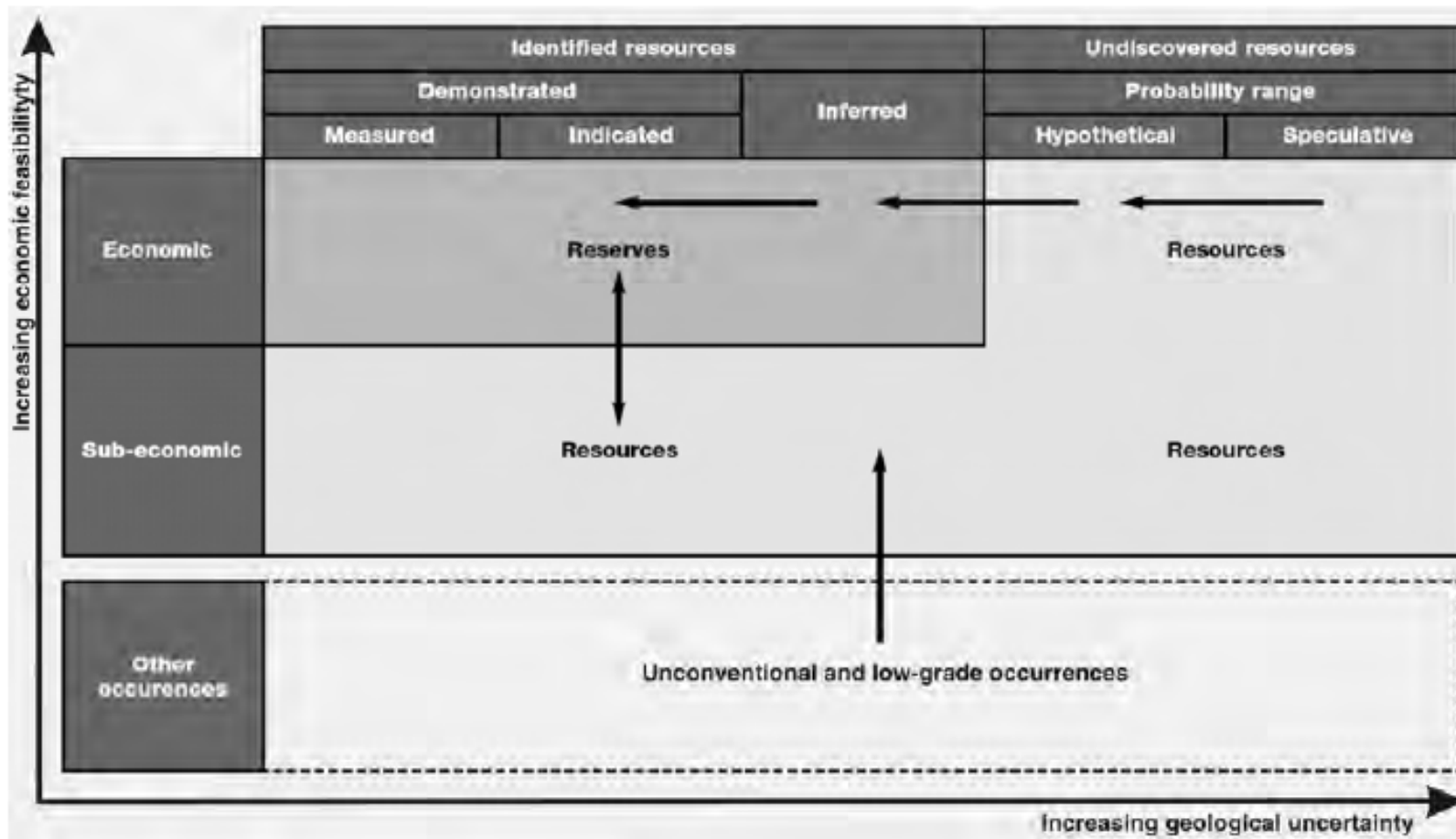
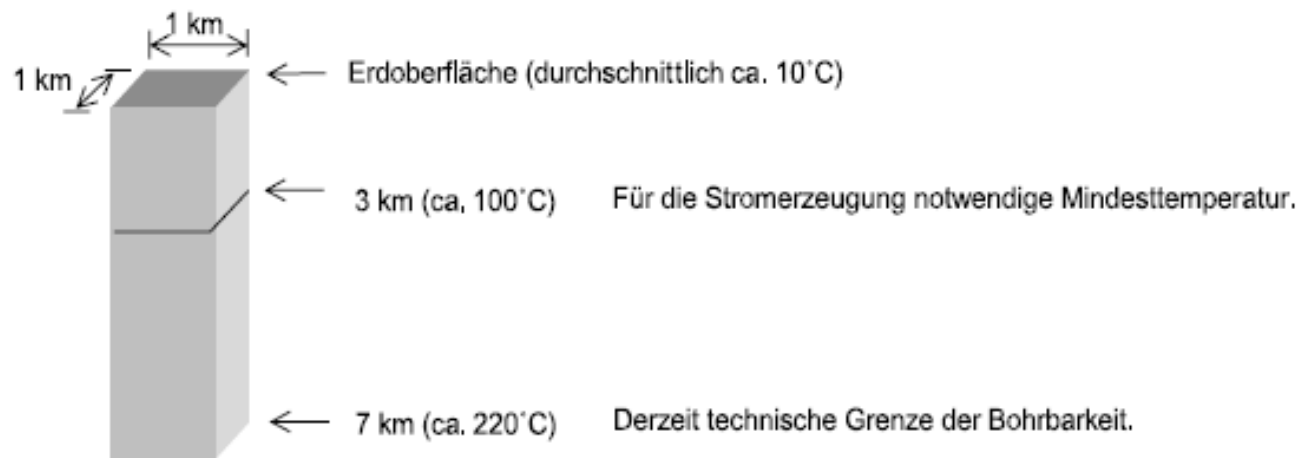


Fig. 8.25 McKelvey-diagram [1967McK] for classifying resources (modified after [2000Rog]).



Geothermische Potenziale

Abb. 1: Tiefenbereich, der für die geothermische Stromerzeugung derzeit in Frage kommt

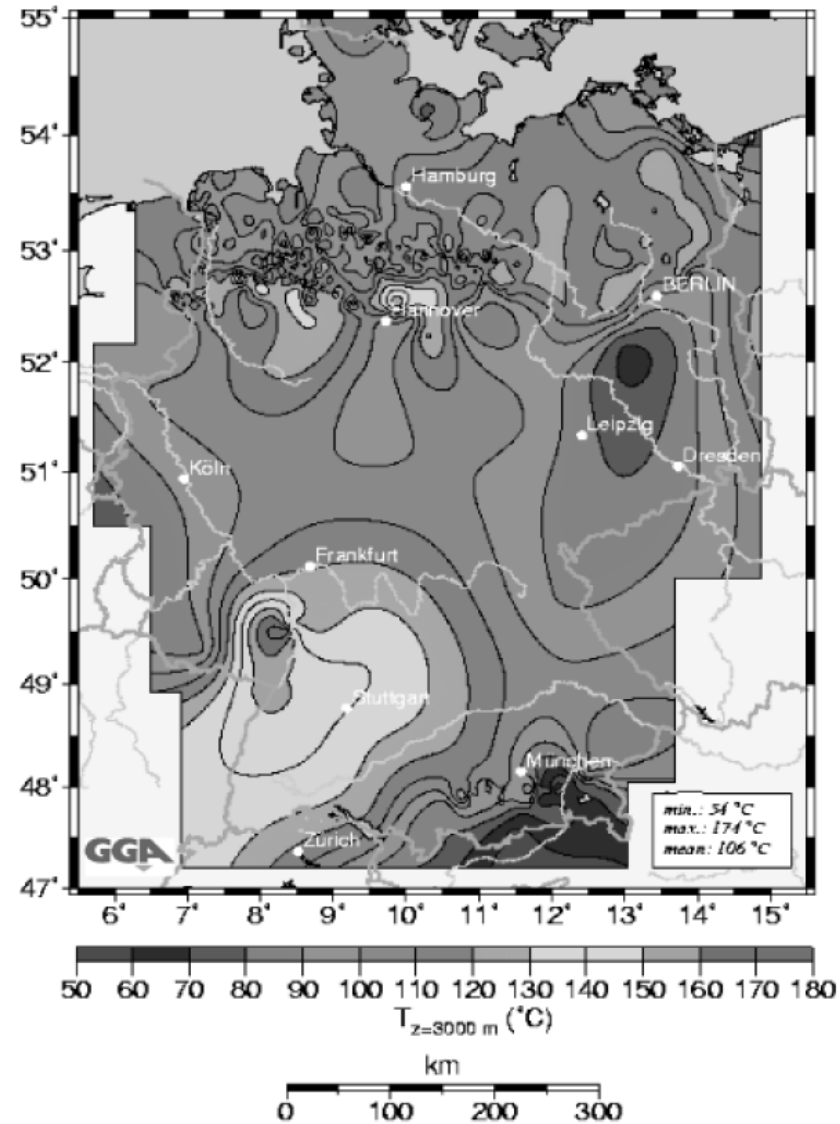


Quelle: nach Jung et al. 2002, S. 5 (ergänzt)



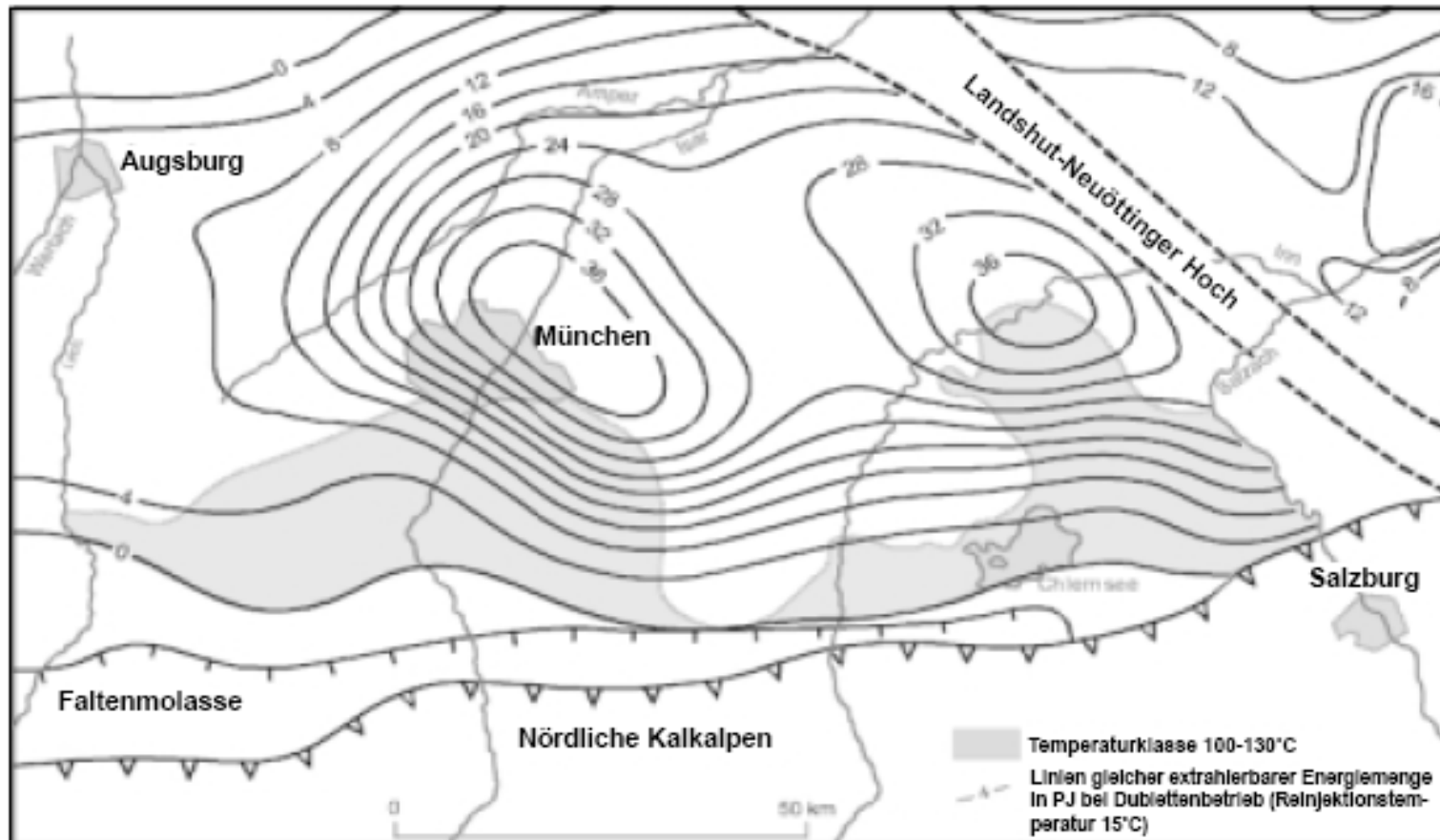
Temperaturen

Abb. 2: Temperaturverteilung im Untergrund (ca. 3.000 m) in Deutschland



Geothermische Potenziale

Abb. 10: Geothermische Ressourcen des Malm im Zentralbereich des süddeutschen Molassebeckens



Quelle: Jung et al. 2002, S. 46, aus Schulz/Jobmann 1989; hellgraue Unterlegung: Bereiche mit Temperaturen über 100°C



Geothermische Potenziale

Tab. 2: Strom- und Wärmepotenzial der Heißwasser-Aquifere in Deutschland

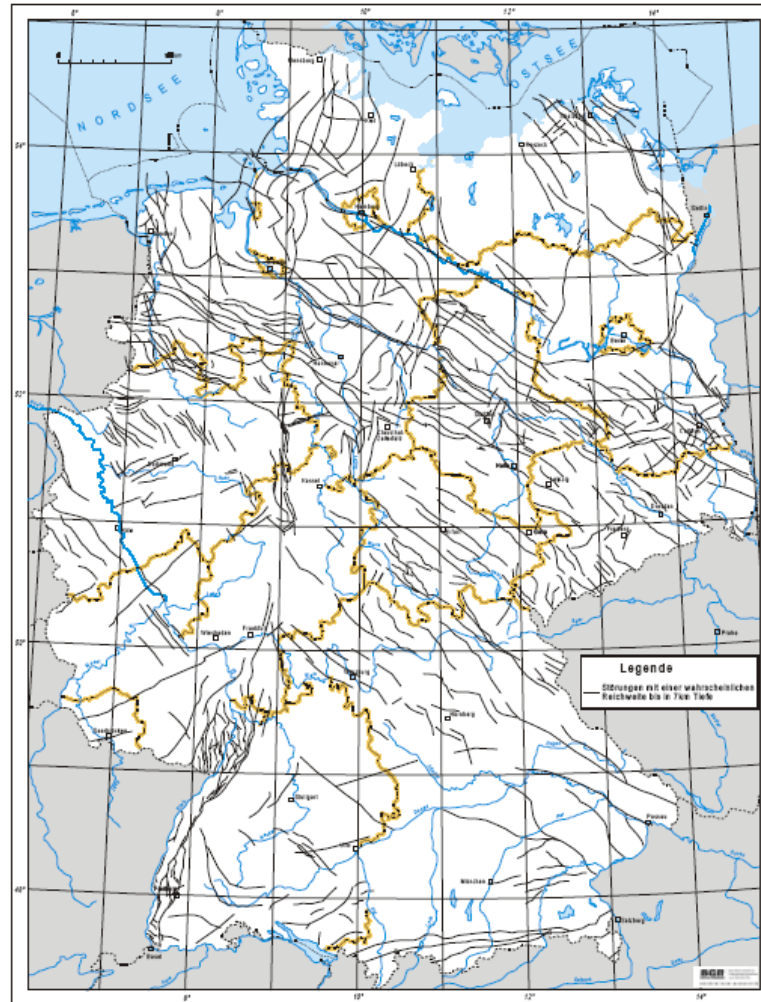
	<i>elektrische Energie</i> [EJ]	<i>Wärme (oW)</i> [EJ]	<i>Wärme (mW)</i> [EJ]
Norddeutsches Becken	6,8	18	36
Oberrhein graben Bunt- sandstein	1,8	4,4	8,7
Oberrhein graben Muschelkalk	0,24	0,62	1,2
Süddeutsches Molasse- becken	0,6	2,5	5,1
Deutschland gesamt ca.	9,4 (300 GWa)	25 (790 GWa)	50 (1.600 GWa)

Quelle: nach Jung et al. 2002; oW = ohne Wärmepumpe, mW = mit Wärmepumpe



Geothermische Potenziale

Abb. 15: Karte der Tiefenstörungen in Deutschland

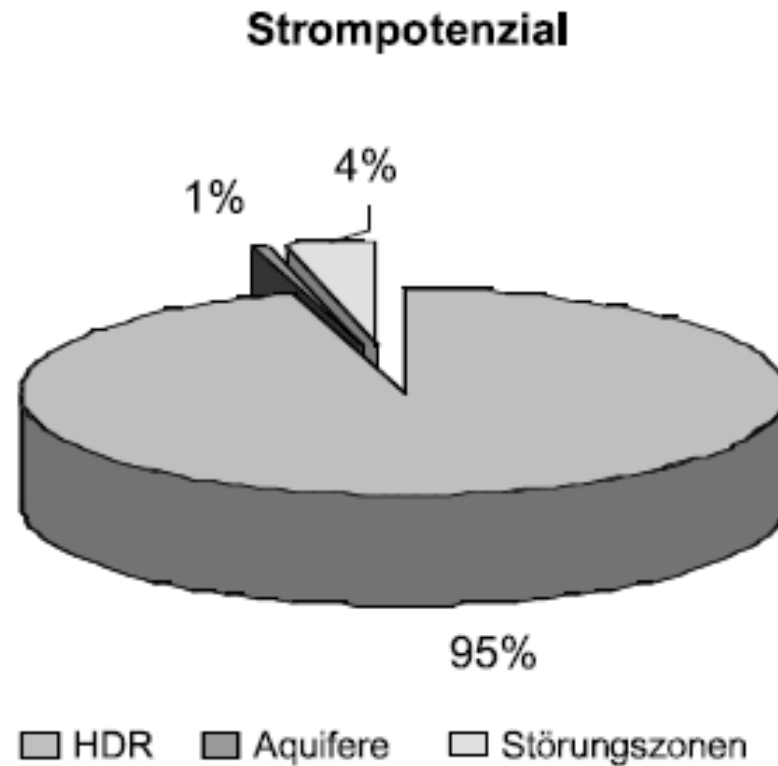


Quelle: Jung et al. 2002, S. 55, nach Brückner-Röhling et al. 2002; Haemel/Staroste 1988; Röllig et al. 1990; Söllig/Röllig 1990; Zitzmann 1981; Störungslinien, die sich näher als 5 km nebeneinander befinden, wurden zusammengelegt, da solche Störungen in Tiefen von wenigen Kilometern i.d.R. zu einer Störung verschmelzen.



Geothermische Potenziale

Anteil der drei Reservoirtypen am technischen Potenzial geothermischer Stromerzeugung



Geothermische Potenziale



Table 8.18 Accessible geothermal resource base by region (after [2000Rog]).

Region	Energy (EJ)	Percentage of world total
North America	26,000,000	18.6
Latin America and Caribbean	26,000,000	18.6
Western Europe	7,000,000	5.0
Eastern Europe and former Soviet Union	23,000,000	16.4
Middle East and North Africa	6,000,000	4.2
Sub-Saharan Africa	17,000,000	12.1
Pacific Asia (excl. China)	11,000,000	7.9
China	11,000,000	7.9
Central and South Asia	13,000,000	9.3
<i>Total</i>	<i>140,000,000</i>	<i>100.0</i>



Endenergie in Deutschland

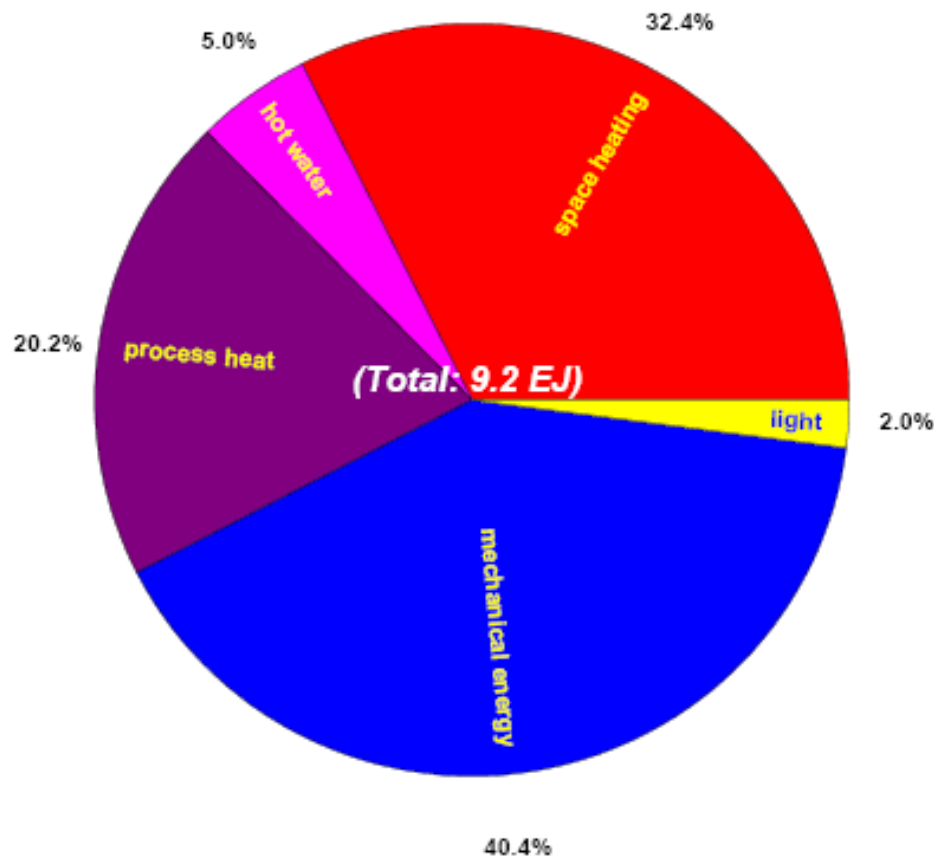


Fig. 8.27 Consumption of final energy in Germany in 2002; Data: [2003VDE; 2004BMW].



Vorteile Geothermischer Energienutzung

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



Nutzungsarten

Petrothermale 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



Stromerzeugung

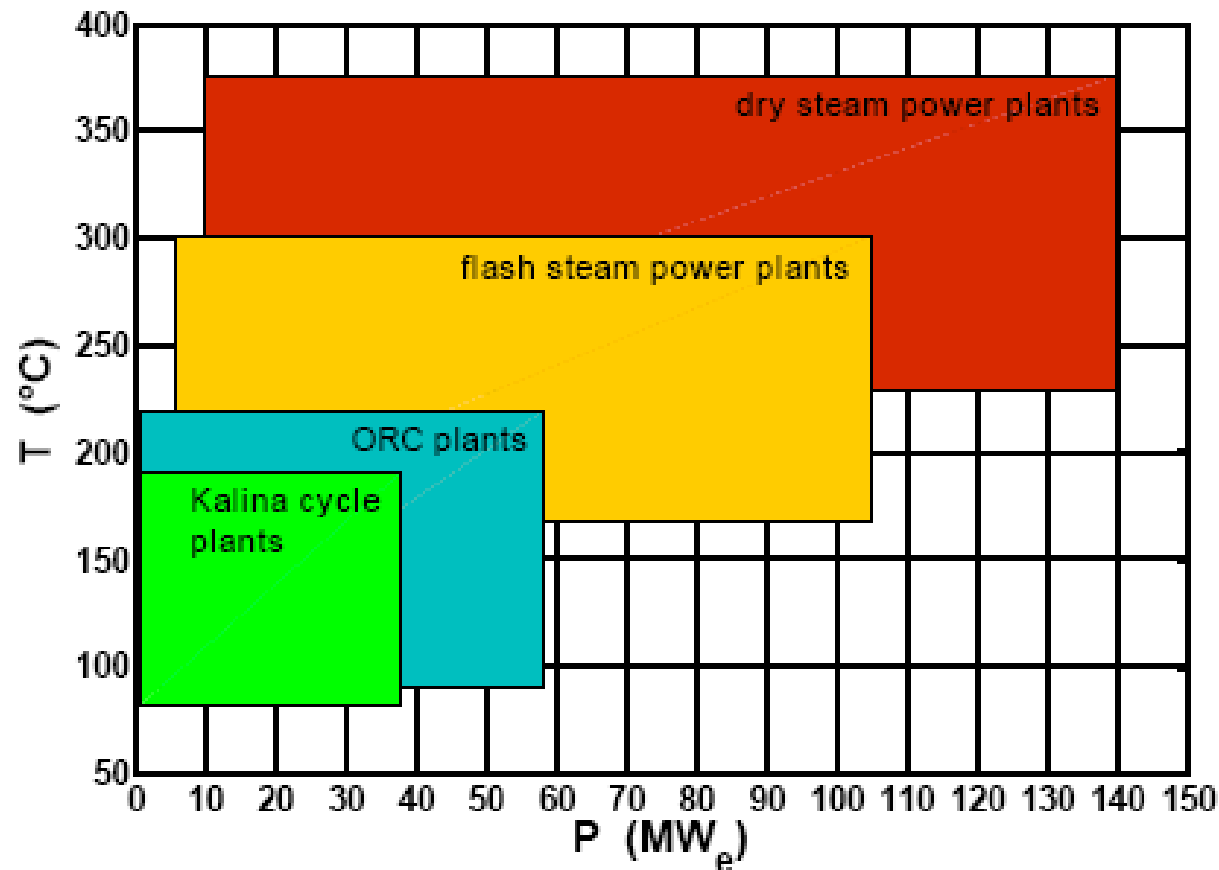


Fig. 8.46 Power range and characteristic reservoir temperatures for generation of electric power by direct-intake dry steam plants, single or multiple flash wet steam plants, ORC and Kalina cycle hot water plants (modified after [2004Len^a]).



Geothermische Stromerzeugung - Projekte

Altheim (Österreich): Kraftwerk integriert in eine bestehende Fernwärmeversorgung auf der Basis Thermalwasser

Bad Urach: Hot-Dry-Rock-Forschungs- und Kraftwerksprojekt

Groß-Schönebeck: Forschungsvorhaben für Enhanced Geothermal Systems in Sedimenten

Neustadt-Glewe: Kraftwerk integriert in eine bestehende Fernwärmeversorgung auf der Basis Thermalwasser

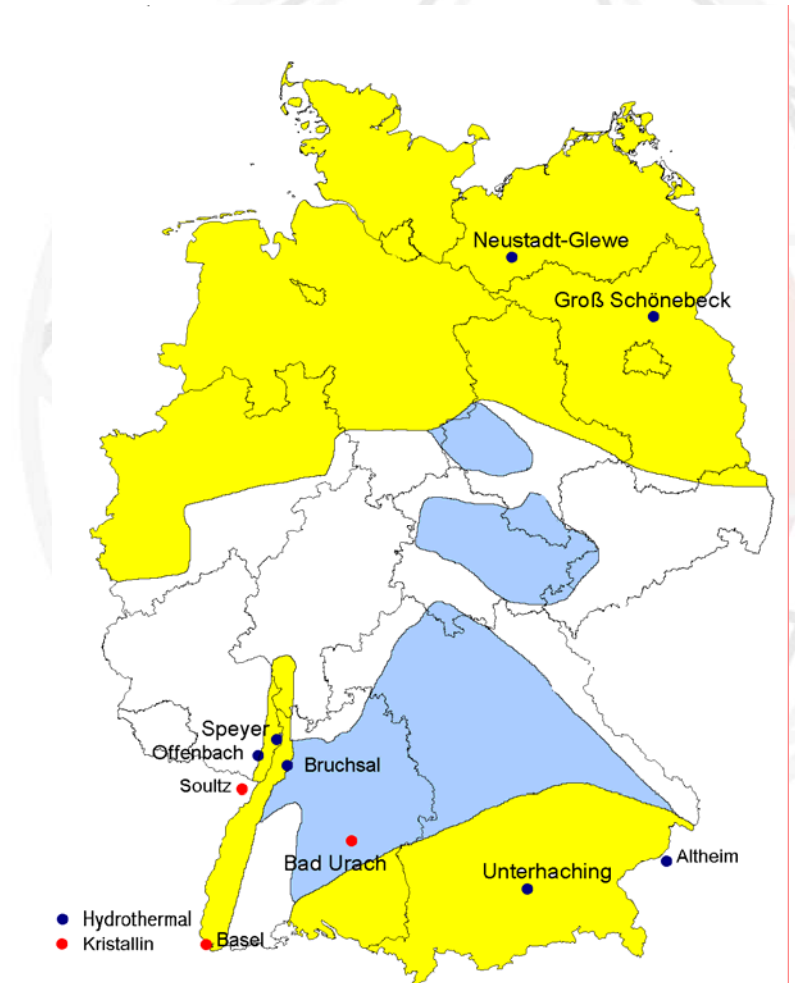
Offenbach/Pfalz: EGS-Kraftwerk (geplant)

Soultz-sous-Forêts (Frankreich): Zentrale europäische Forschungsanlage für EGS-Systeme

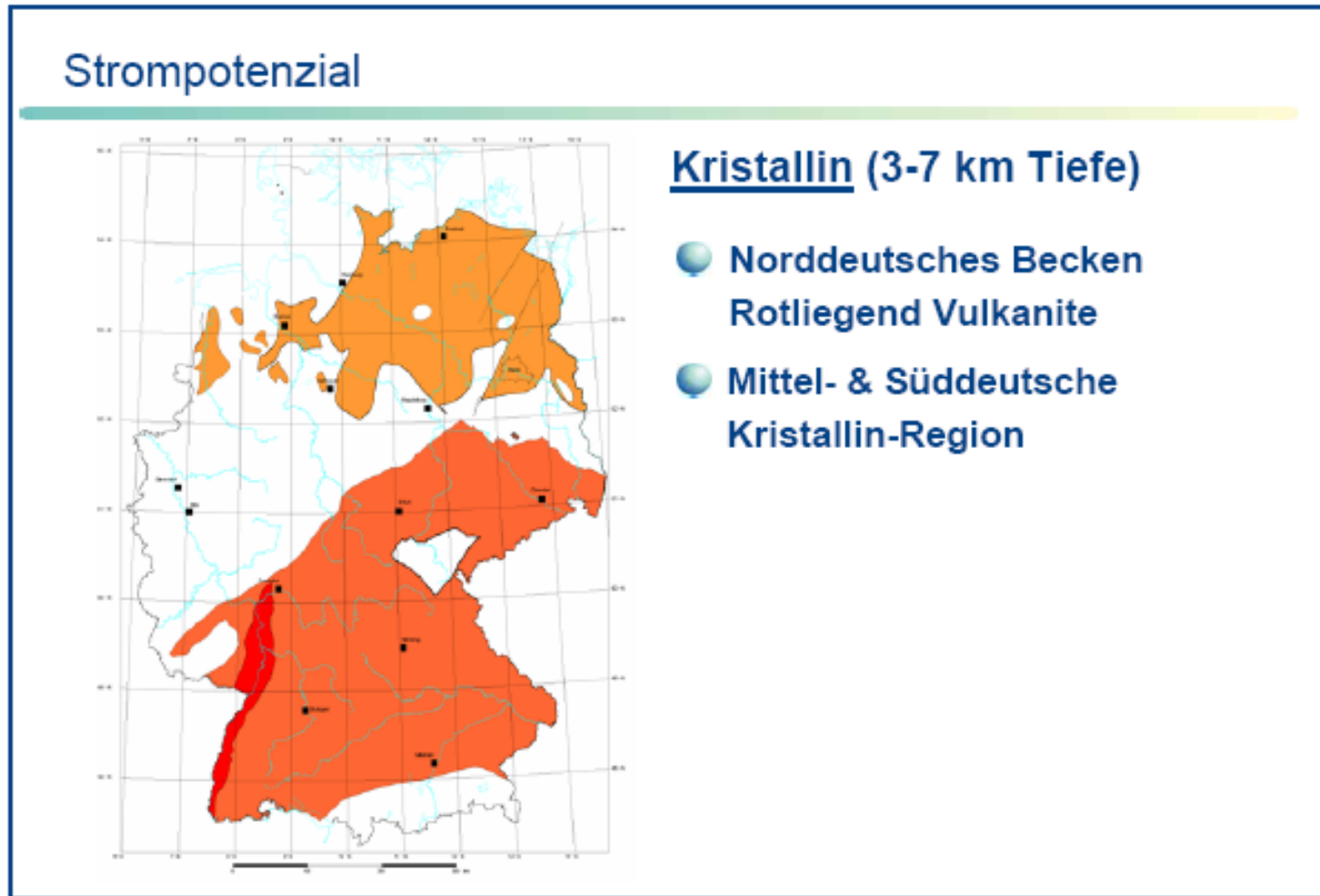
Bruchsal: Im Bau

Speyer: EGS-Kraftwerk und Fernwärme (im Bau)

Unterhaching: Kraftwerk und Fernwärme, Basis Thermalwasser (im Bau)



Strompotenzial Kristallin



Stromerzeugung direkt

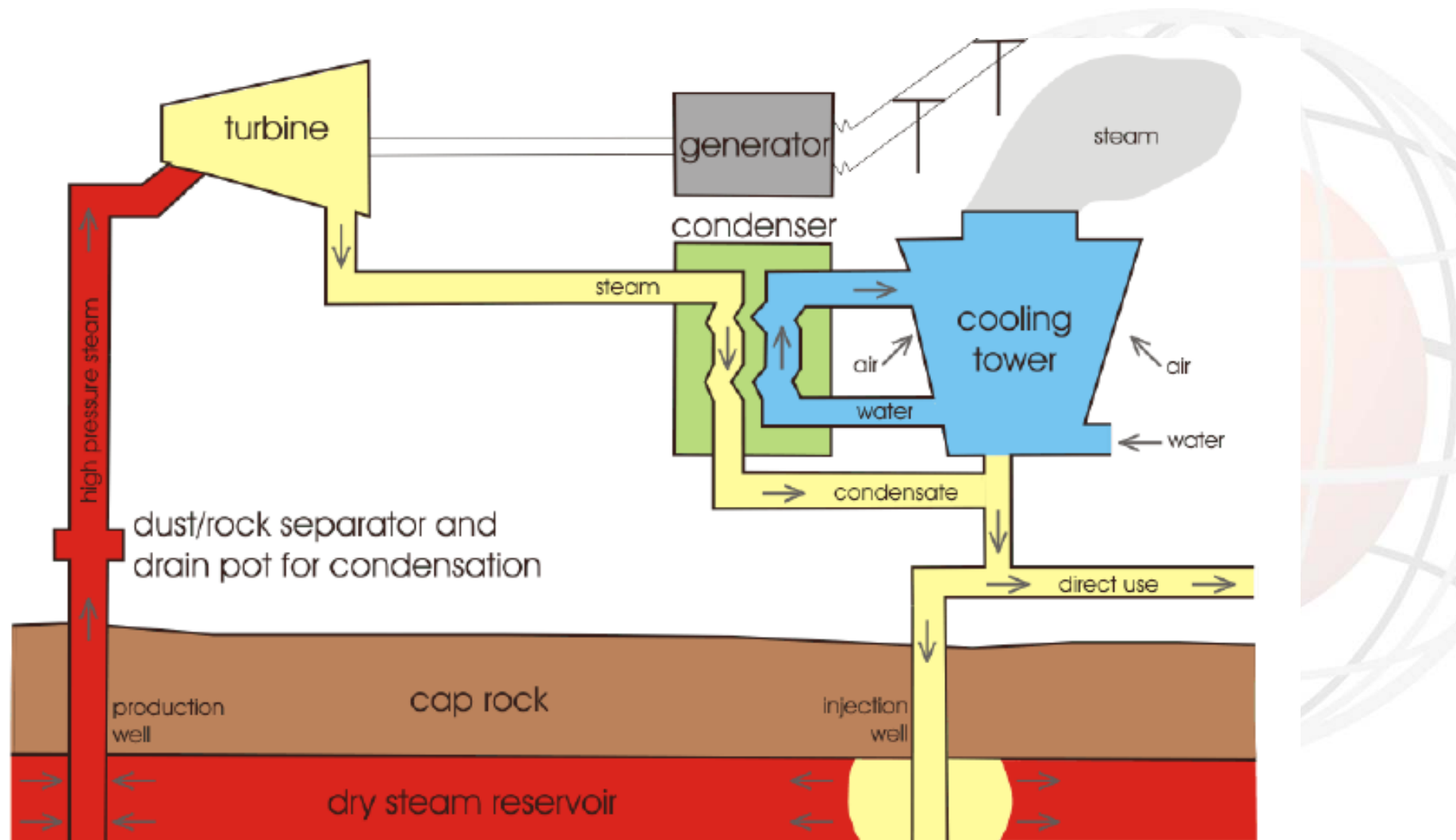


Fig. 8.49 Direct-intake, condensing power plant for heat production from dry steam fields (modified after [2004Tri]).



Stromerzeugung binary

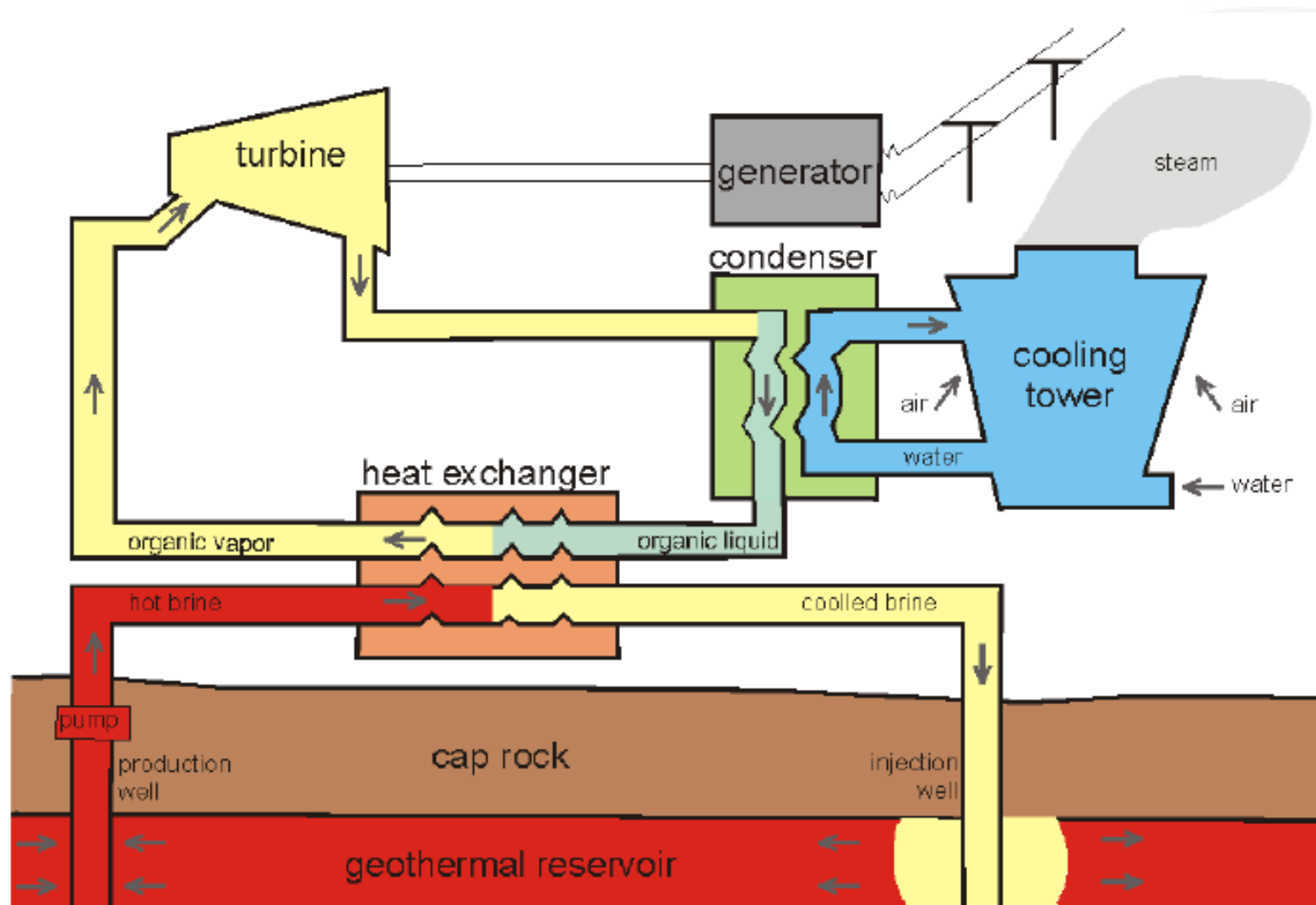
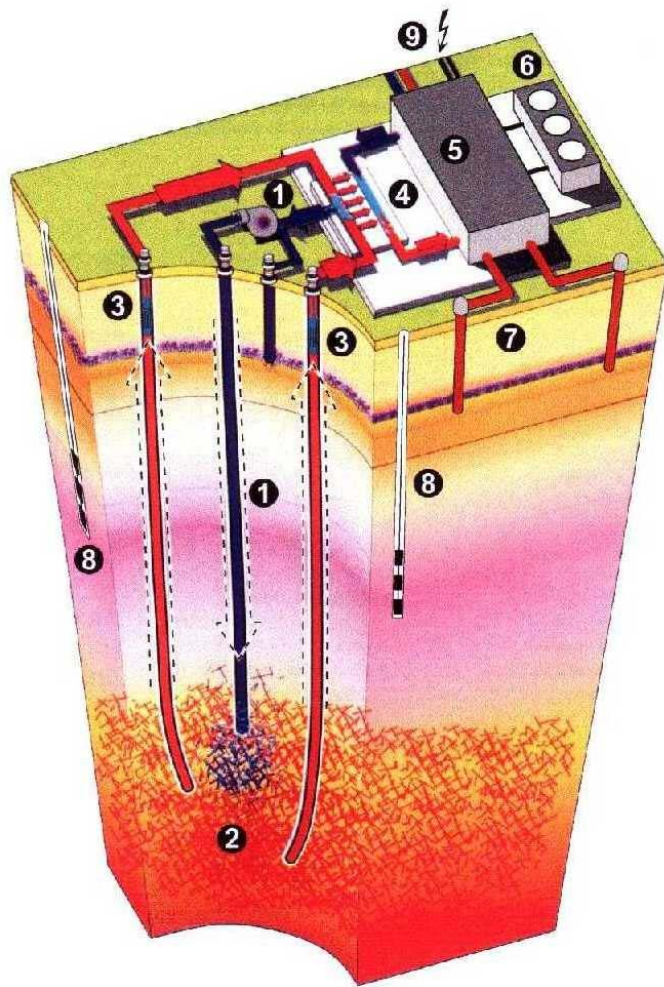


Fig. 8.52 Binary power plant (water-cooled) for heat production from hot water or low enthalpy wet steam fields (modified after [2004Tri]).



Schema eines petrothermalen (HDR) Kraftwerks



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



Petrothermale Systeme

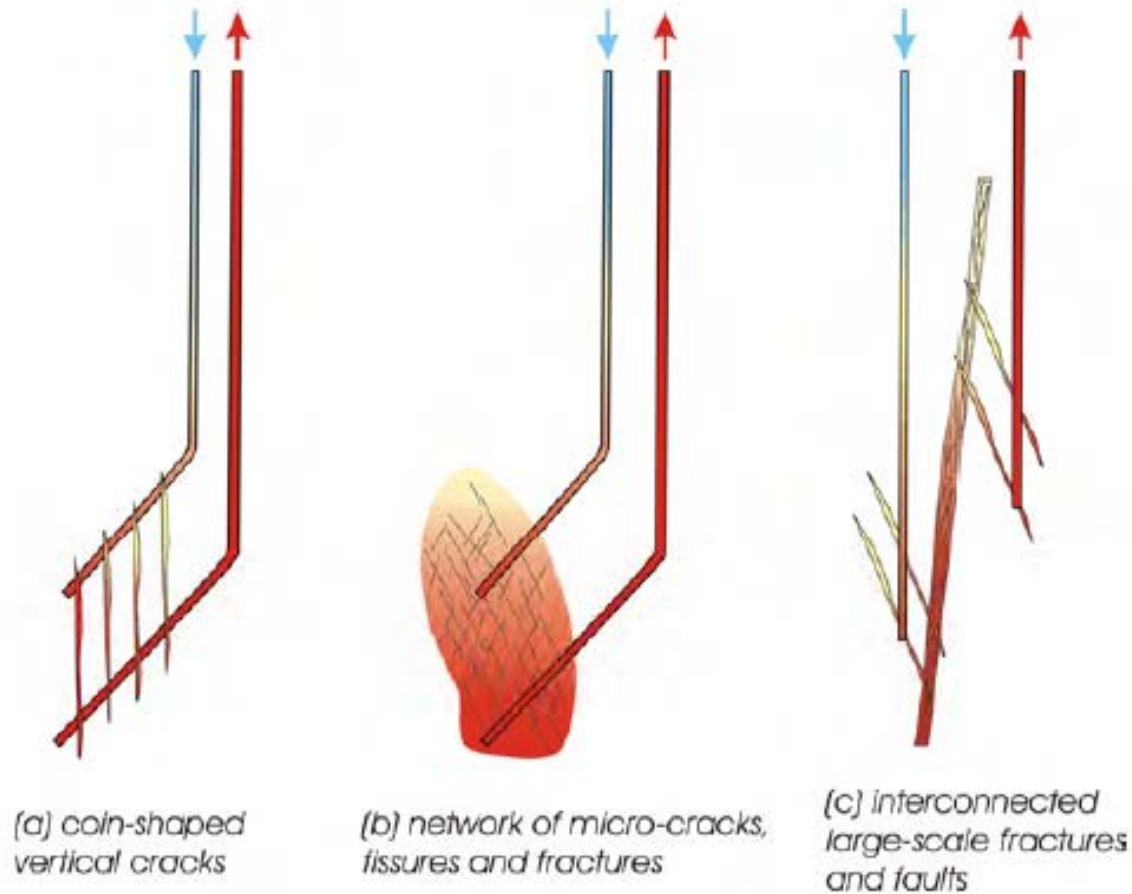
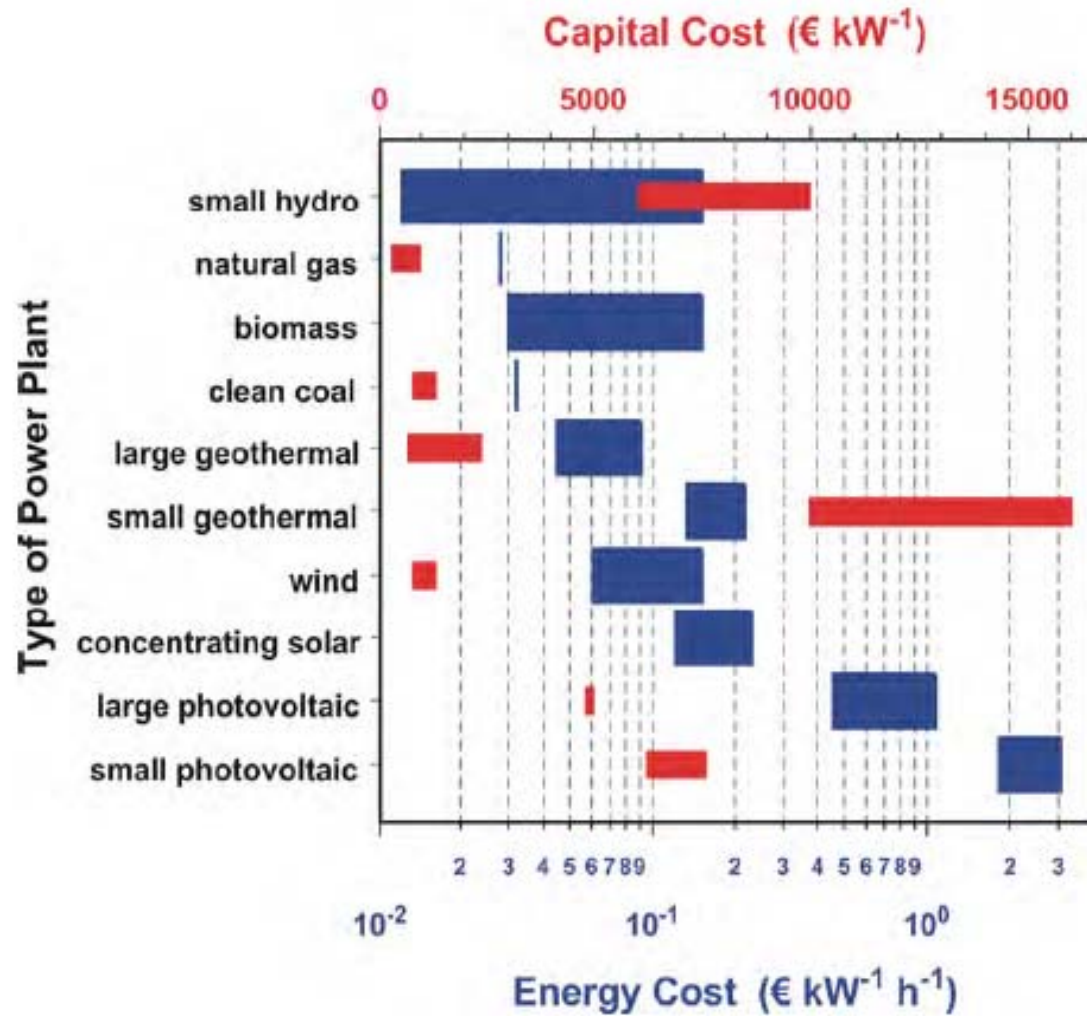


Fig. 8.56 Different kinds of sub-surface heat exchanger systems in HDR and enhanced geothermal systems (after [2003Jun]).



Stromkosten



Direkte Wärmenutzung

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

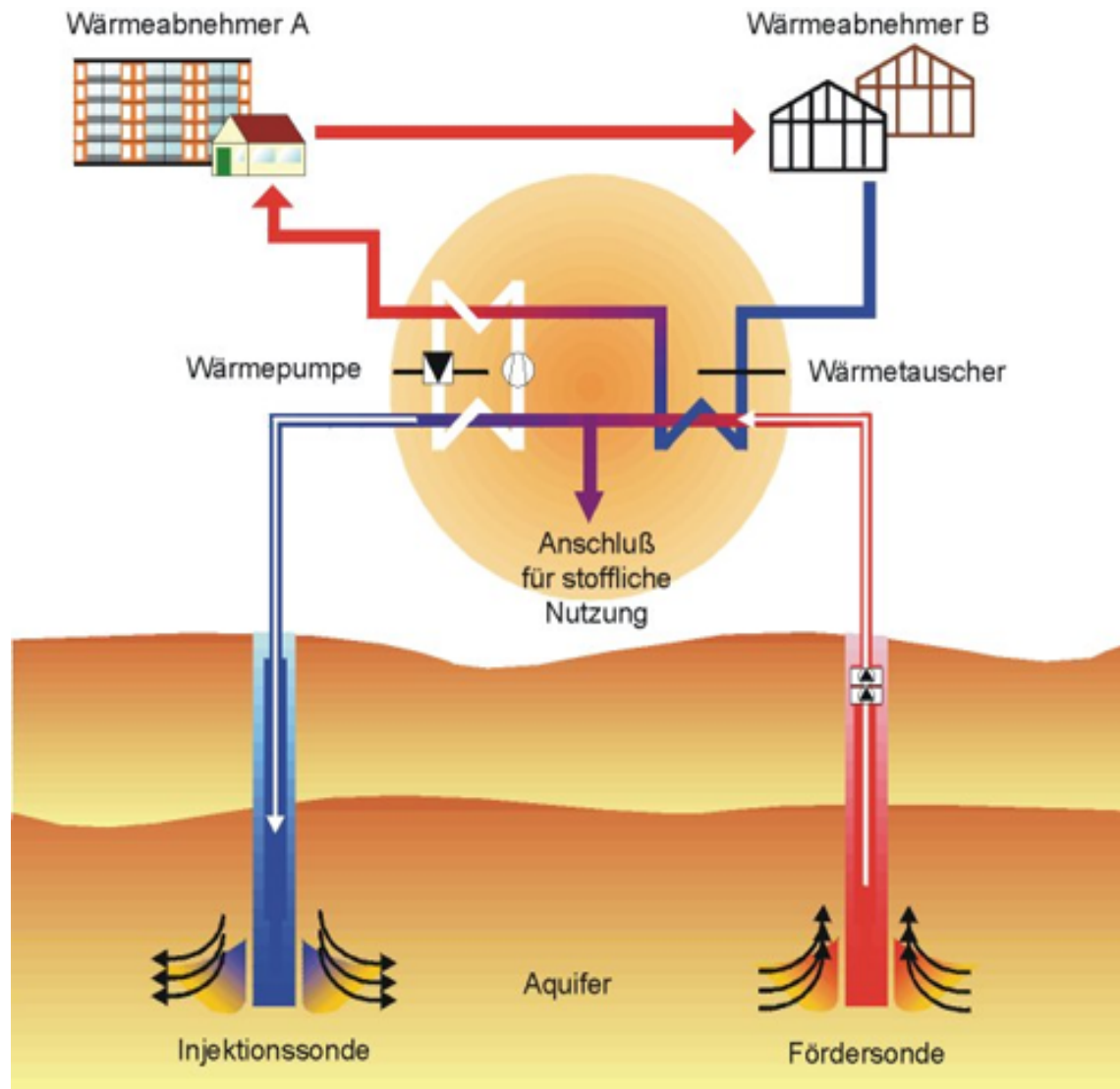


Direkte Wärmenutzung, weltweit

Direkte Nutzung geothermischer Energie in fast 100 Ländern mit einer installierten Leistung von ca. 13.000 MWth



Hydrothermale Nutzung - Dublette



Geothermie Neubrandenburg GmbH



Das Exergie Konzept

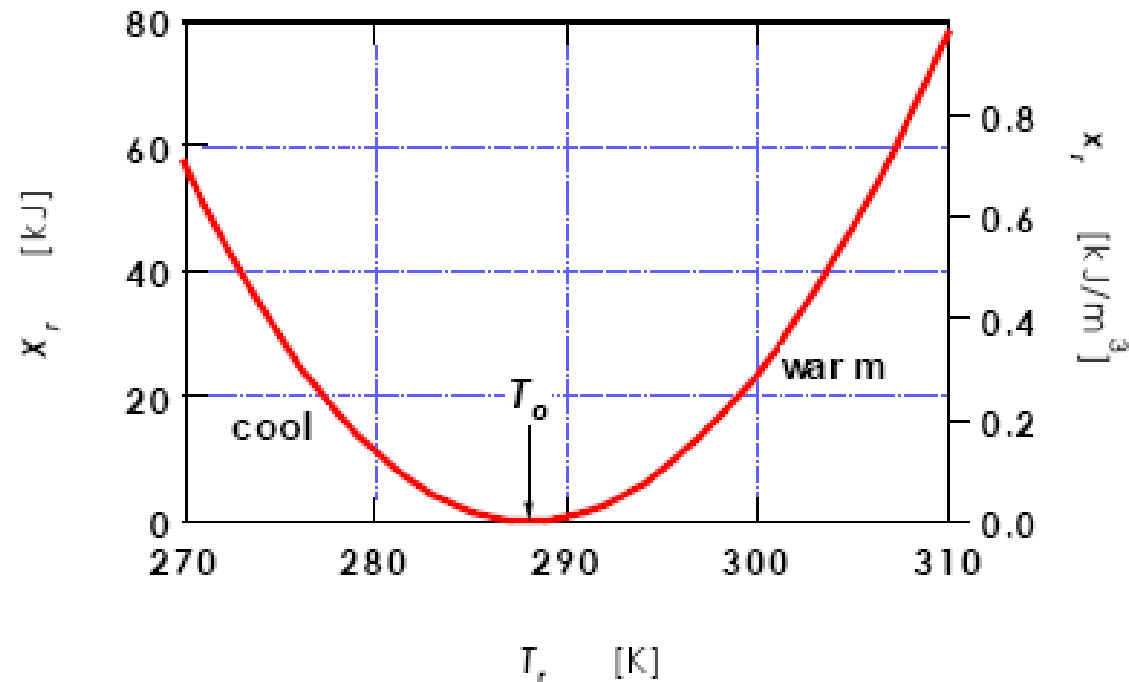


Fig. 2. Thermal exergy contained by air as a function of temperature, T_r . Air volume is assumed to be 81m^3 ($= 6\text{m} \times 5\text{m} \times 2.7\text{m}$). Environmental temperature, T_o , is 288K ($=15^\circ\text{C}$). Air at a temperature higher than the environmental temperature has “cool” exergy and the air at a temperature lower than the environmental temperature has “warm” exergy (See Appendix A, formula A.1).



Oberflächennahe Geothermie

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
 - Erdwärmesonden
 - Erdberührte Betonbauteile, Energiepfähle



Erdwärmesonde



Fig. 8.29 Vertical borehole heat exchanger system (after [1999Ano^a; yellow box in building basement: heat pump).



Kollektor



Fig. 8.28 Horizontal Earth coupled heat exchanger system (after [1999Ano^a]; yellow box in building basement: heat pump).



Grundwasser Dublette



Fig. 8.32 Groundwater heat pump system (after [1999Ano^a]; yellow box in building basement: heat pump).



Erdwärmesonden

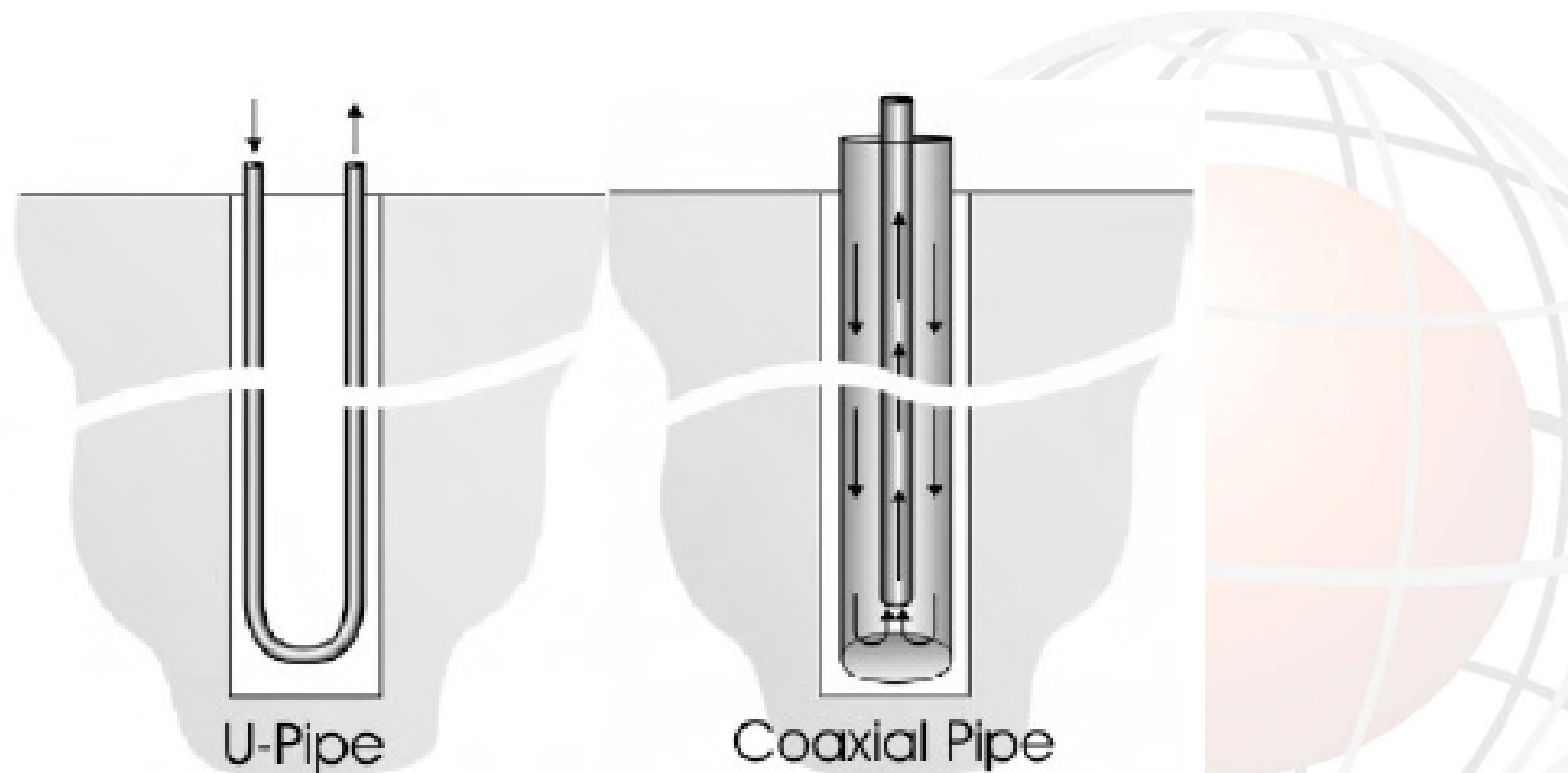


Fig. 8.30 Two common basic pipe arrangements used in borehole heat exchangers (after [2002Geh]).



Erdgekoppelte Bauteile

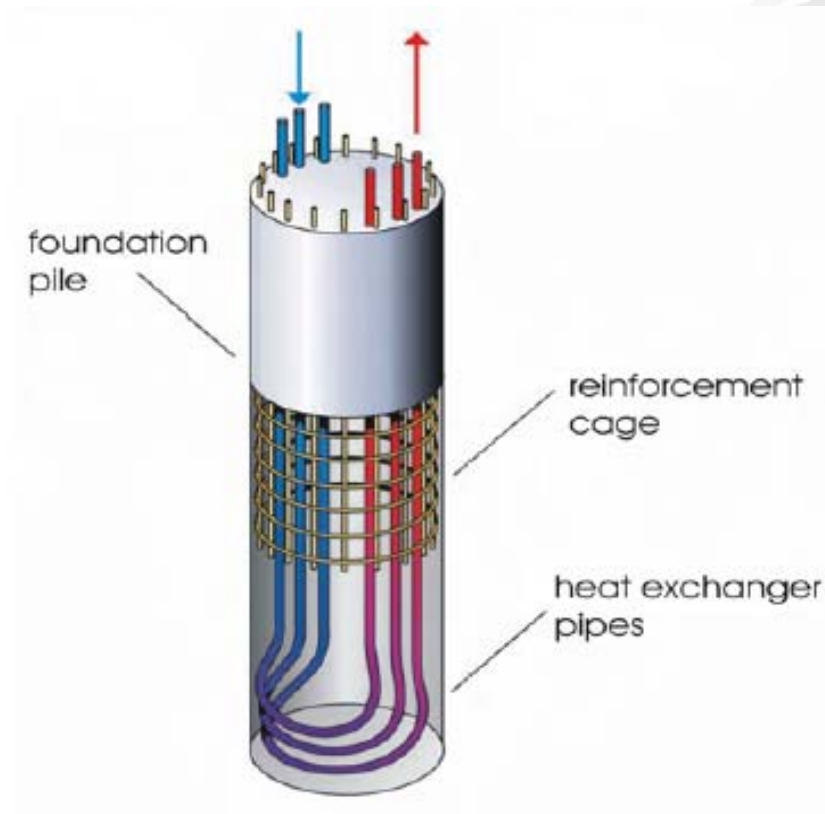


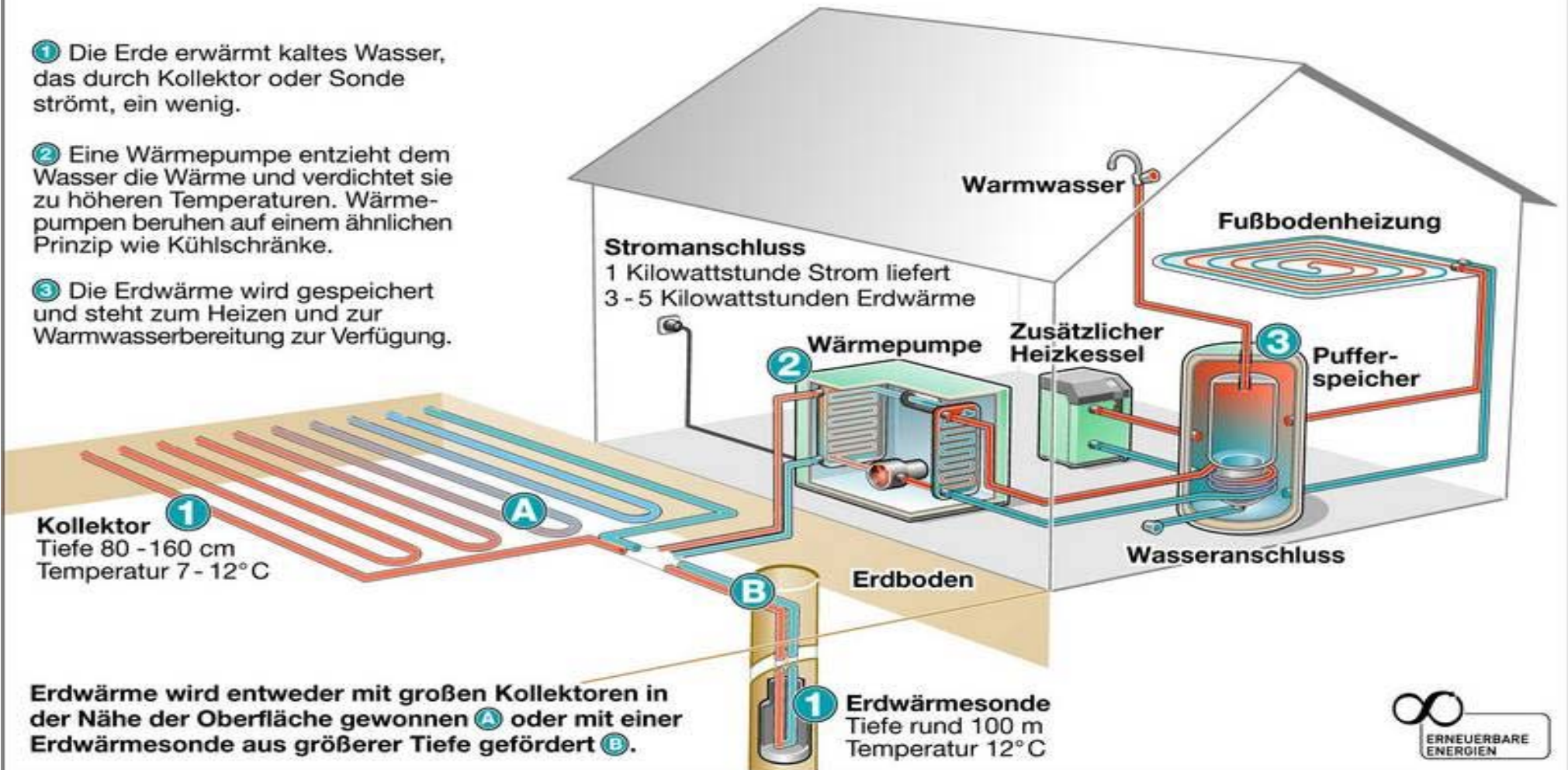
Fig. 8.31 Heat exchanger piles: Earth coupled heat exchanger pipe systems integrated in building foundation piles (after [2004Von^b]).



Gesamtanlage

Wärme aus der Erde: Wie man mit oberflächennaher Geothermie heizen kann

- 1 Die Erde erwärmt kaltes Wasser, das durch Kollektor oder Sonde strömt, ein wenig.
- 2 Eine Wärmepumpe entzieht dem Wasser die Wärme und verdichtet sie zu höheren Temperaturen. Wärmepumpen beruhen auf einem ähnlichen Prinzip wie Kühlschränke.
- 3 Die Erdwärme wird gespeichert und steht zum Heizen und zur Warmwasserbereitung zur Verfügung.



Wärmepumpen

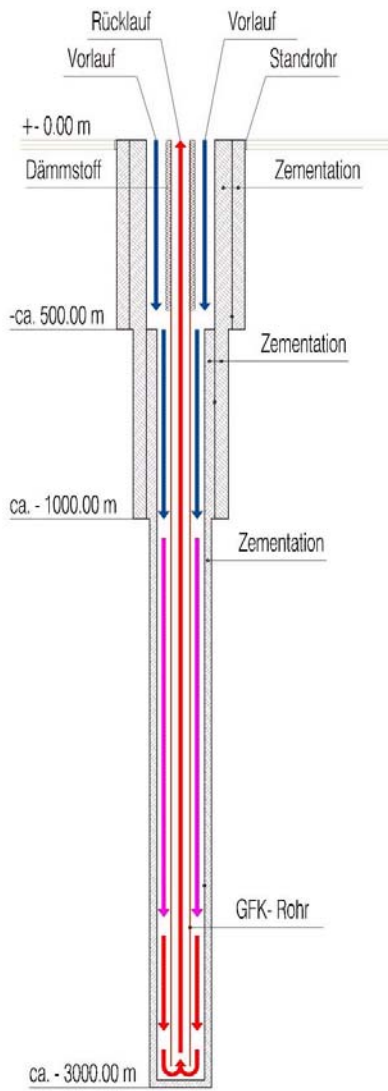


Table 8.21 Top producers of geothermal heat by ground-source heat pumps (data: [2003Lun^a; 2004Sig^b; 2004BWP] and own calculations).

Country, population (10 ⁶)	Number of ground-source heat pumps	Annual heat production (TJ)	Installed power (MW _{th})	Per capita annual heat production (MJ)
Sweden, 9	200,000	28,800	2,000	3200
USA, 294	500,000	13,392	3,720	46
Germany, 82	51,000	4,212	780	51
Canada, 32	36,000	1,080	435	34
Switzerland, 7	27,500	2,268	420	324
Austria, 8	23,000	1,332	275	167



Tiefe Erdwärmesonde Arnsberg



Fündigkeitsrisiko

Minderung durch

- ◆ Verbesserung der Datenbasis
- ◆ Fündigkeitsabsicherung
- ◆ Explorationsverfahren



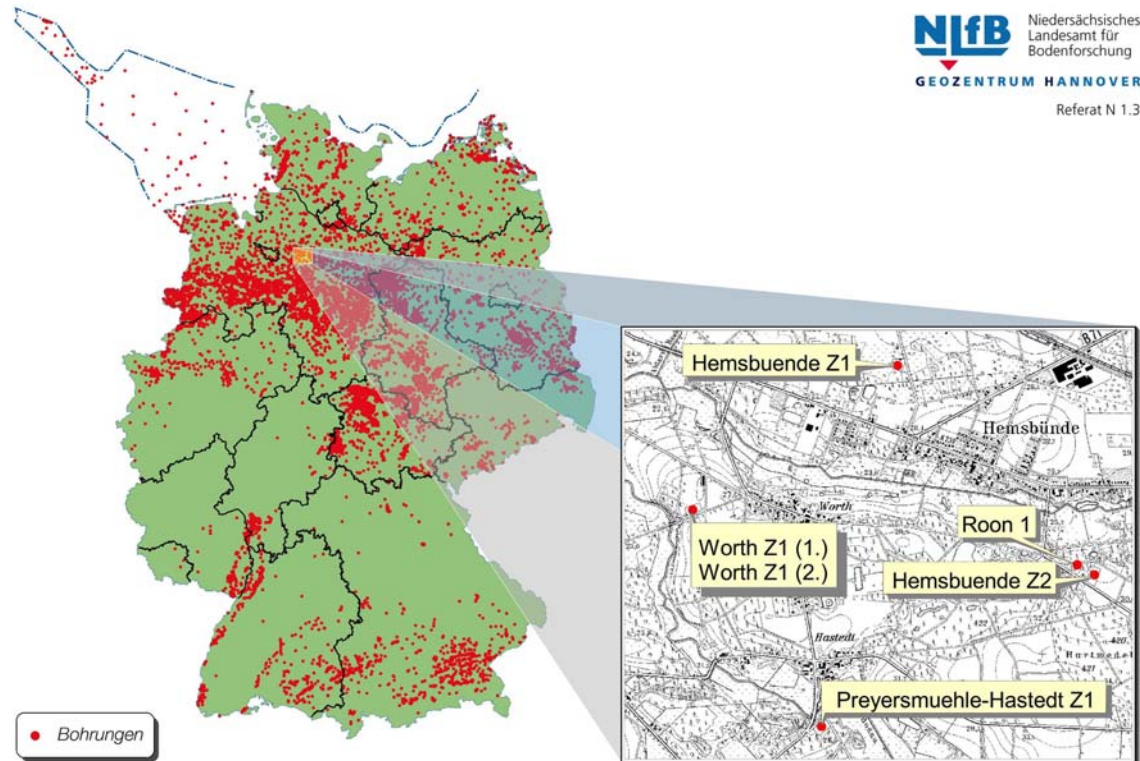
Verbesserung der Datenbasis

Bohrarchiv

NLfB Hannover

NlfB Niedersächsisches
Landesamt für
Bodenforschung
GEOZENTRUM HANNOVER
Referat N 1.3

Ca. 27.000 Bohrungen
Großteil aus NS



Hannover 2008

Horst Rüter / www.geothermie.de / 2008



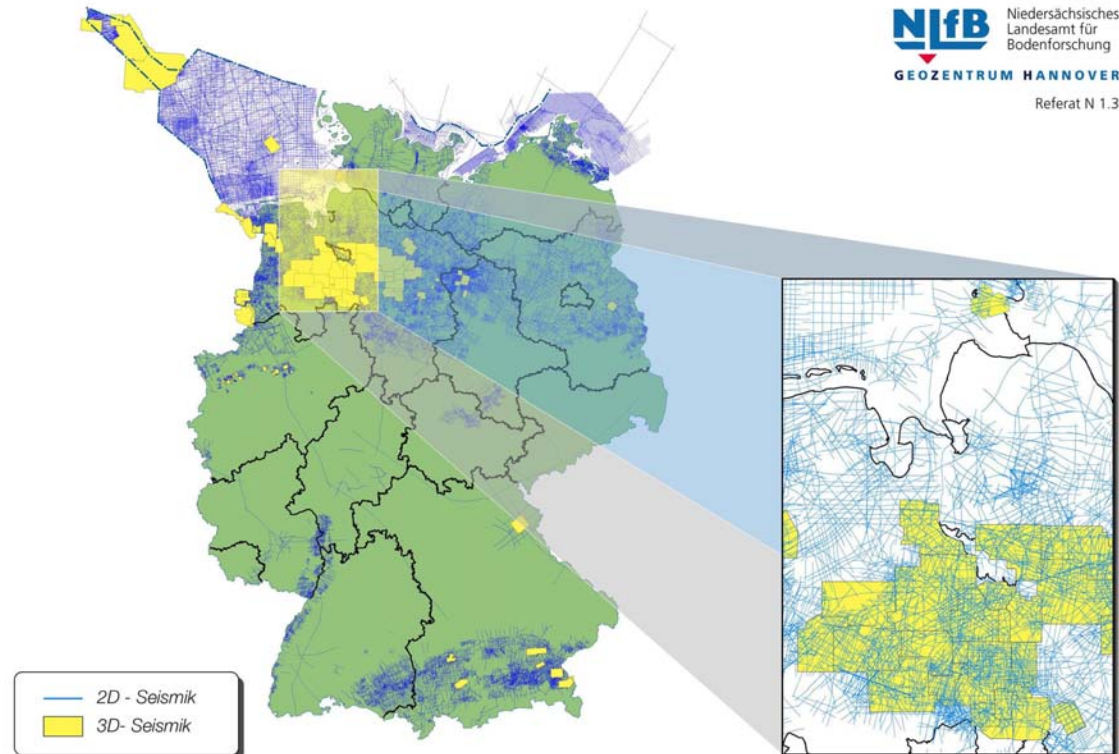
Verbesserung der Datenbasis

Seismik-
archiv

NLfB Hannover

NlfB Niedersächsisches
Landesamt für
Bodenforschung
GEOZENTRUM HANNOVER
Referat N 1.3

Ca. 20.000 seismische Profile



Hannover 2008

Herbst Referat / www.geothermie.de / 2008

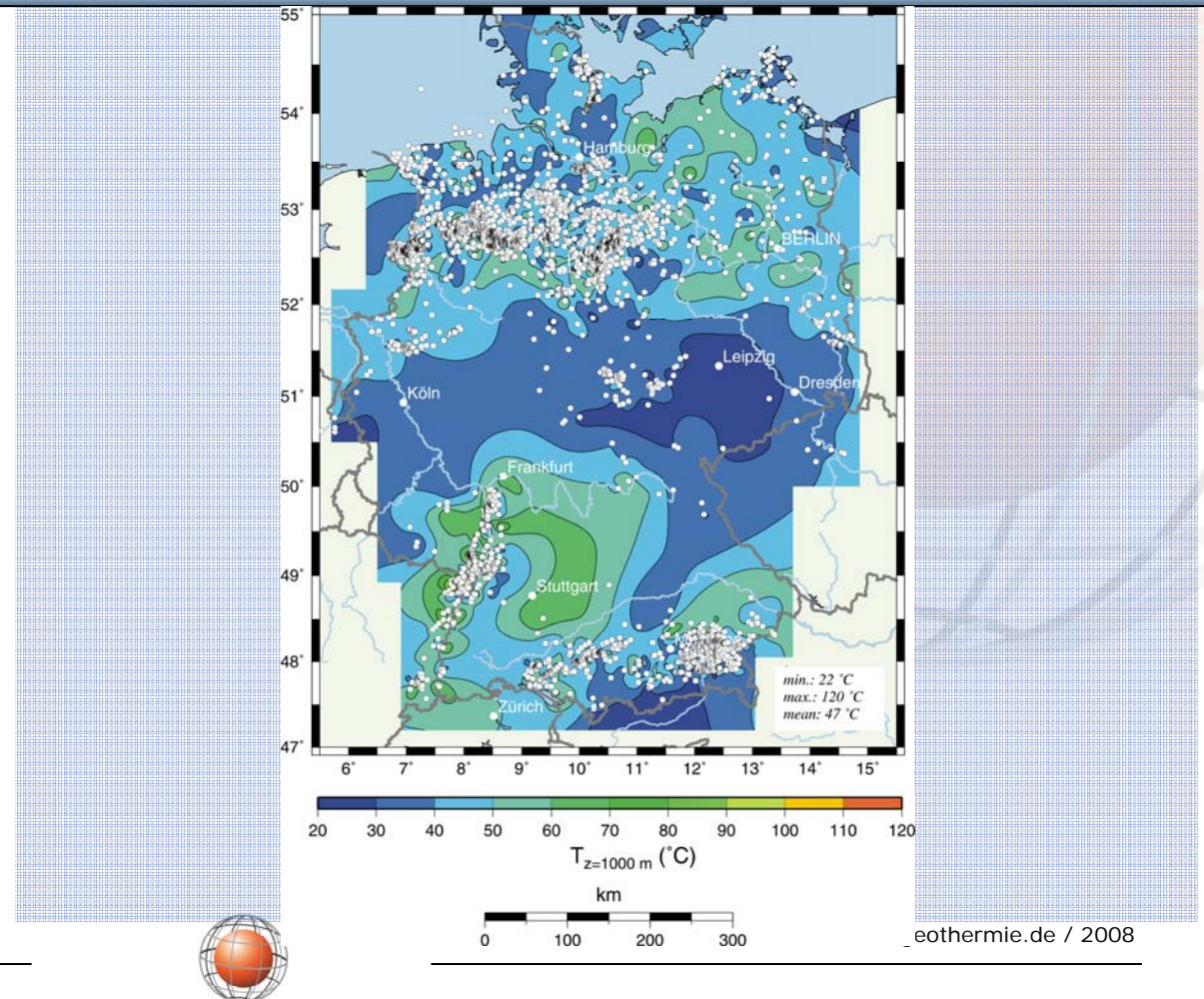


Verbesserung der Datenbasis

Temperatur-Datenbank

Ca. 10.000 Bohrungen

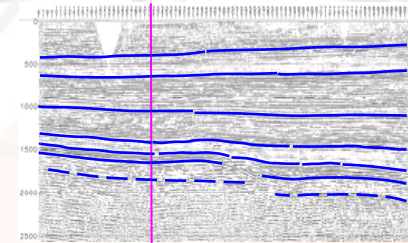
GGA-Institut Hannover



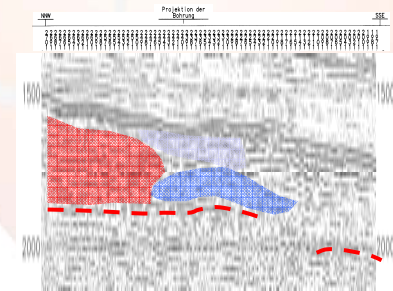
Exploration

Reflexionsseismik: Hinweise auf Verkarstung

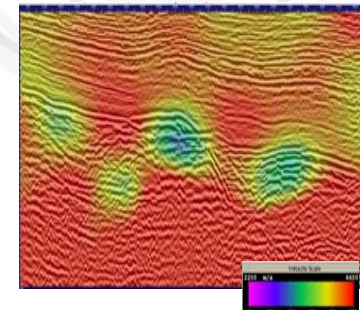
Störungszonen



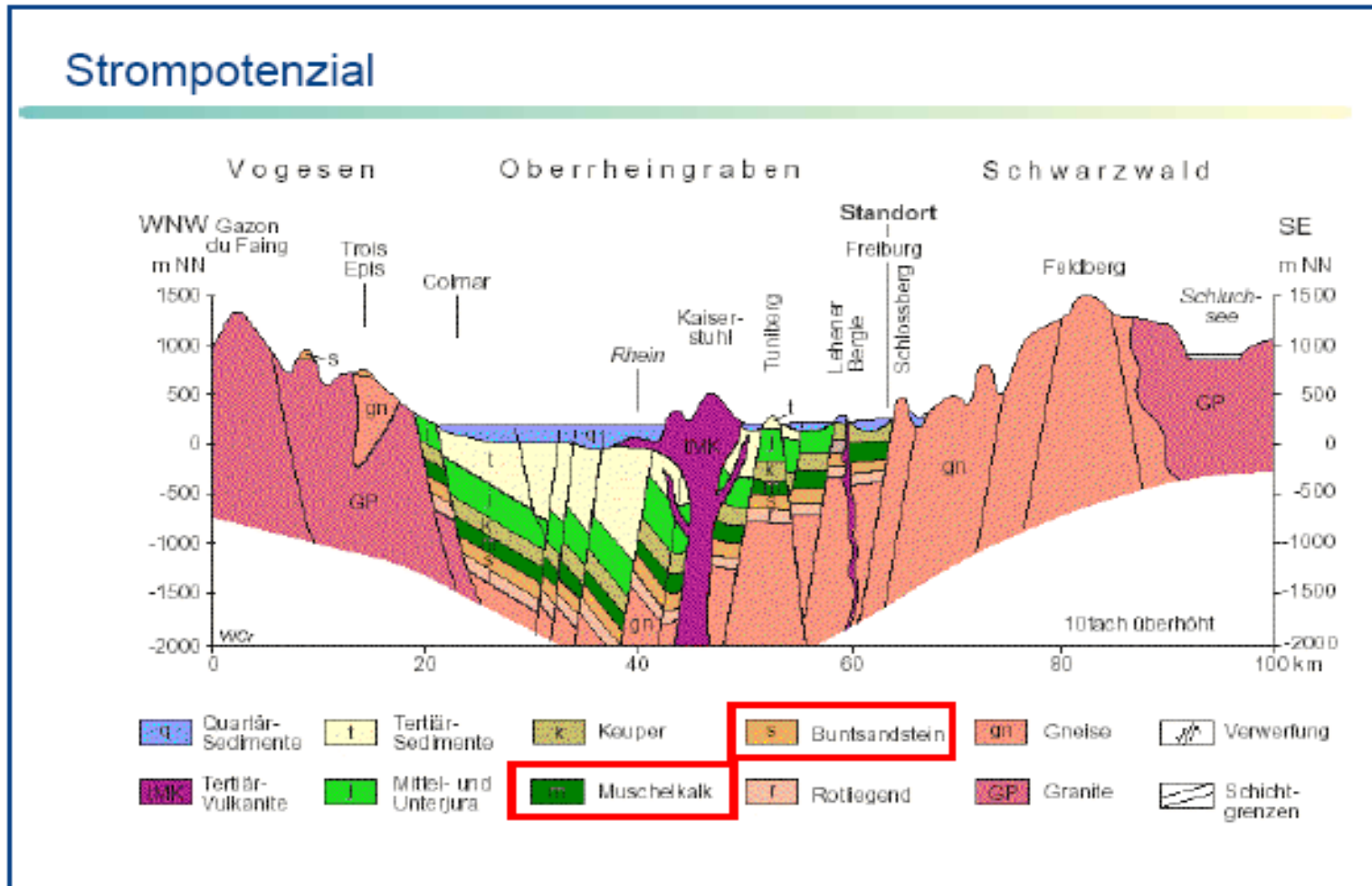
**Unterschiedliche seismische Signaturen
für verschiedene Faziesbereiche:
Diffraktoren bei Rifffazies**



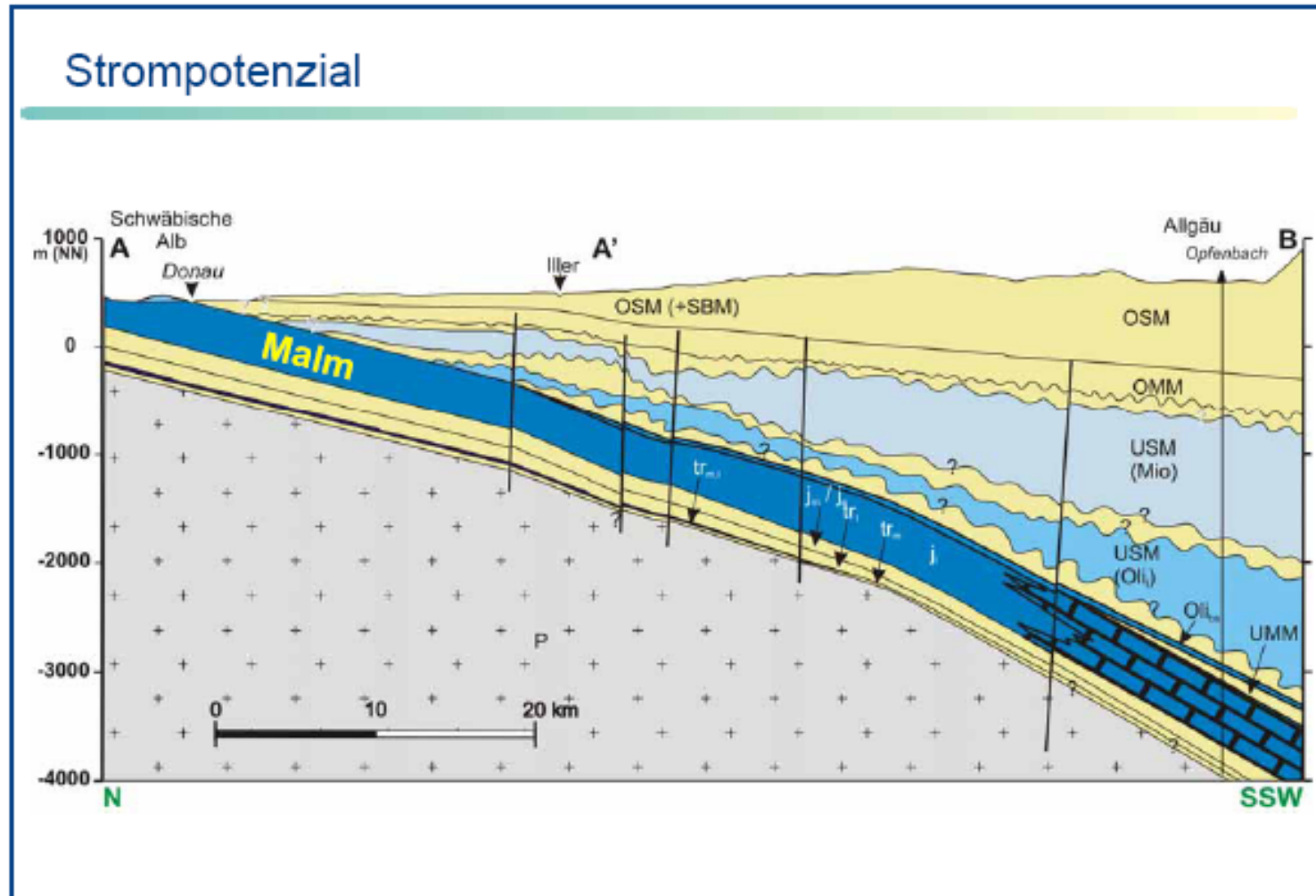
Niedriggeschwindigkeitszonen



Oberrhein



Bayrische Molasse



Bergrechtliche Erlaubnisse und Bewilligungen für Geothermienutzung

Oberrheingraben:

- **Hessen** 2 Erlaubnisse
- **Baden-Württemberg** 13 Erlaubnisse
- **Rheinland- Pfalz** 12 Erlaubnisse, 3 Bewilligungen

Molasse:

- **Bayern** 90 Erlaubnisse (zur Stromerzeugung)





Beehive-Geysir, Yellowstone-Nationalpark (Wikipedia)

Hannover 2008



GEOTHERMISCHE VEREINIGUNG E.V.
BUNDESVERBAND GEOTHERMIE



Danke
fürs Zuhören

Horst Rüter / www.geothermie.de / 2008