

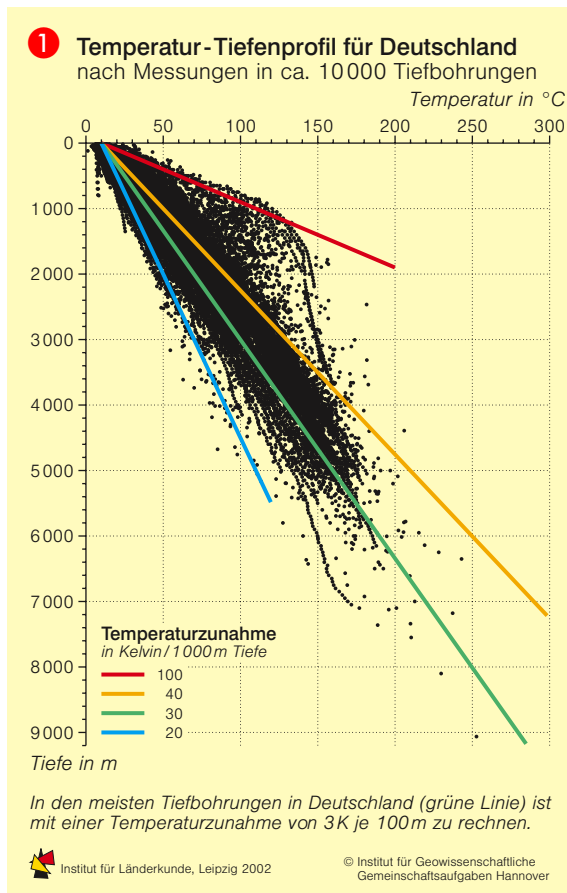
Temperatur im Untergrund – Erdwärme als Mega-Energiequelle

Fritz Rummel und Rüdiger Schellschmidt



Dampferzeugung im Europäischen Hot-Dry-Rock Forschungsprojekt Soultz-sous-Forêts im Elsaß

Nutzung von Geothermie aus 2300 m Tiefe im Thermalbad in Erding

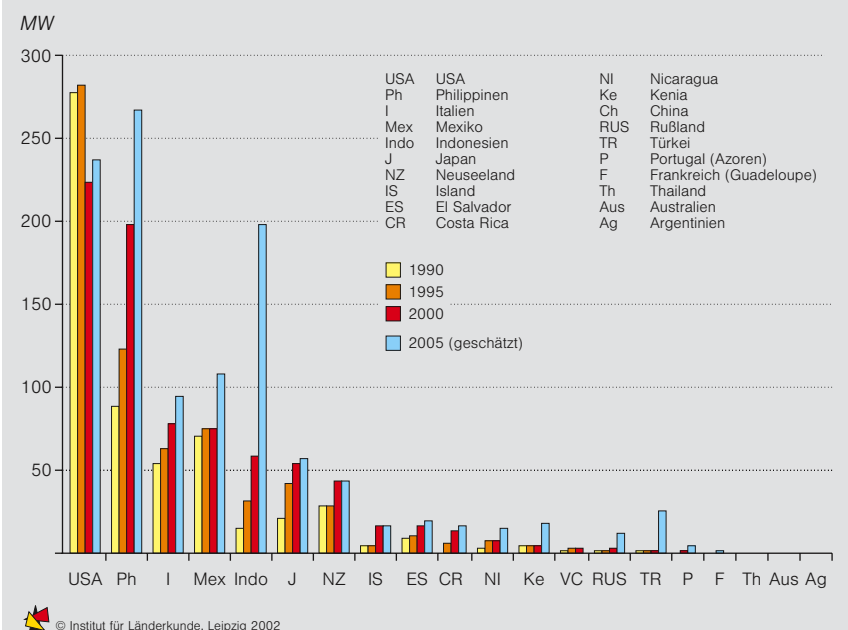


Unsere Erde entstand vor rund 4,5 Mrd. Jahren durch Zusammenballung von kosmischen Gas- und Staubpartikeln zu einem Protoplaneten, der Ur-Erde. Der Kontraktionsprozess dürfte etwa 200 Mio. Jahre angedauert haben, in denen ein großer Teil der **Gravitationsenergie** beim Aufprall der Materie in Wärme umgewandelt und anschließend zum Teil wieder in den Weltraum abgestrahlt wurde. Trotz aller Unsicherheiten kann die Menge der Ursprungswärme der Erde auf 15×10^{30} bis 35×10^{30} Joule geschätzt werden. Dabei erfolgte ein Strahlungsausgleich zwischen Einstrahlung von der Sonne und Wärmeabstrahlung von der Erde. Sehr rasch stellte sich an der Erdoberfläche eine mittlere Temperatur von rund 14 °C ein, die bis heute im Wesentlichen konstant blieb.

Bei einer mittleren Wärmeabstrahlung von 3×10^{14} kWh pro Jahr wäre die Erde seit ihrer Entstehung längst erkalte, wenn nicht der Zerfall der radioaktiven Isotope von Uran (U^{235} , U^{238}), Thorium (Th^{232}) und Kalium (K^{40}) für eine ständige Wärmeproduktion vor allem in der kontinentalen Erdkruste sorgen würde. Die potenzielle Energie noch vorhandener radioaktiver Isotope kann auf 12×10^{30} Joule oder 38×10^{10} **Terawattjahre** (TWa) geschätzt werden, obgleich die genaue Verteilung der radioaktiven Isotope im Inneren der Erde nicht bekannt ist. Bei Addition aller Energieinhalte, der heute noch vorhandenen Gravitationsenergie, des noch vorhandenen **radiogenen Wärmepotenzials** sowie des Wärmeinhalts kann ein Gesamtenergiegehalt der Erde von 38 bis 77×10^{10} TWa angenommen werden.

Die tatsächliche Temperatur im tiefen Erdinneren kann nur mit großer Unsicherheit angegeben werden. Sie dürfte zwischen 3000 und 5000 °C betragen. Im oberen Erdmantel an der Basis der kontinentalen **Lithosphäre** in rund 100 km Tiefe herrscht eine Temperatur von etwa $1200 \text{ °C} \pm 100^\circ$, eine Temperatur, die dem Schmelzpunkt der Mantelgesteine (Olivinegesteine) nahe kommt. Die Temperatur im tieferen, festen Erdmantel dürfte mit 0,3-2° pro Kilometer zunehmen, was durch Abschätzung des Schmelzpunkts der **Silikate** der Mantelgesteine in Abhängigkeit des in der Tiefe herrschenden Drucks von 35-140 Giga-Pascal angenommen werden kann. Demgegenüber ist das Temperaturprofil in der Oberkruste aufgrund von Messungen in zahlreichen Tiefbohrungen bis 10 km Tiefe sehr gut bekannt. Der Temperaturgradient variiert in der kontinentalen Erdkruste zwischen 20 und 40° pro Kilometer, wenn man von aktiven Vulkange-

2 Strom aus geothermischen Kraftwerken 1990-2005



bieten wie Island oder alten Kontinenten wie Südafrika oder Südafrika absieht. In der 9,1 km tiefen Forschungsbohrung des deutschen Kontinentalen Tiefbohrprojekts in der Nördlichen Oberpfalz wird z.B. ein Temperaturgradient von ca. 30° pro Kilometer beobachtet und eine Temperatur von 260 °C im Bohrlochtiefsten. In der 12 km tiefen russischen Tiefbohrung auf der Halbinsel Kola werden vergleichsweise „nur“ 215 °C erreicht, während man in Island oder Japan bereits in 1 km Tiefe Temperaturen von einigen 100 °C messen kann.

Die Nutzung der Geothermik

Die Kenntnis des Temperaturfeldes in der oberen Kruste ist für eine Reihe von geowissenschaftlichen Fragestellungen von großem Interesse, z.B. die Nutzung geothermischer Energie oder die Identifizierung von Grundwasserströmungen. In einer Datenbank des Institutes für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben in Hannover werden die Daten gesammelt. In weiten Teilen Deutschlands nimmt die Temperatur mit der Tiefe um 20-40° pro Kilometer zu **1**, während sich der Oberrheingraben durch sehr hohe Temperaturgradi-

Gravitationsenergie – Energie einer Masse durch Bewegungen aufgrund der Erdanziehungskraft

Joule – Einheit zum Maß des Heizwertes von Brennstoffen oder von Reaktionswärme bei chemischen Umsetzungen Ein Joule (1 J) ist die Energie, die verausgabt wird, wenn die Kraft ein 1 Newton (N) auf 1 m lang wirkt

Pascal – Einheit der Druckmessung (1 Pa = 1 N/m²)

radiogen – durch den Zerfall radioaktiver Substanzen entstanden

Terawatt – Energiemessgröße: 1 TW = 10^{12} W = 1 Mio. Megawatt

enten bis zu 100°/km in den oberen Gesteinsschichten auszeichnet. Untersuchungen im Rheingraben haben gezeigt, dass eine Umverteilung der Wärme durch Konvektion (Grundwasserströmung) in der oberen Kruste diese Temperaturanomalie hervorruft.

Die in der obersten Erdkruste bis 10 km Tiefe gespeicherte Erdwärme ist geeignet, eine gigantische Energiequelle für die Zukunft zu werden. Ein Kubikkilometer heißen Tiefengesteins kann ein 30 MW Kraftwerk für 30 Jahre mit Wärme versorgen, d.h. den Bedarf einer

Stadt mit 20.000 Einwohnern decken. Die Römer nutzten schon vor 2000 Jahren – auch im heutigen Deutschland – Erdwärme für die Beheizung von Wohnanlagen und Thermalbädern. Die Maoris, seit 750 n.Chr. die Ureinwohner Neuseelands, kochen, waschen und heizen von alters her mit Thermalwasser. Seit 1827 wurde auf Vorschlag von Francesco Larderel der Dampf aus heißen Fumarolen (Heißdampfquellen) in der italienischen Toskana industriell zum Eindampfen von Borsäure verwendet. Und 1904 brachte Graf Piero Ginori Conti im toskanischen Larderello fünf Glühlampen mit Hilfe eines heißdampfbetriebenen Dynamos zum Leuchten.

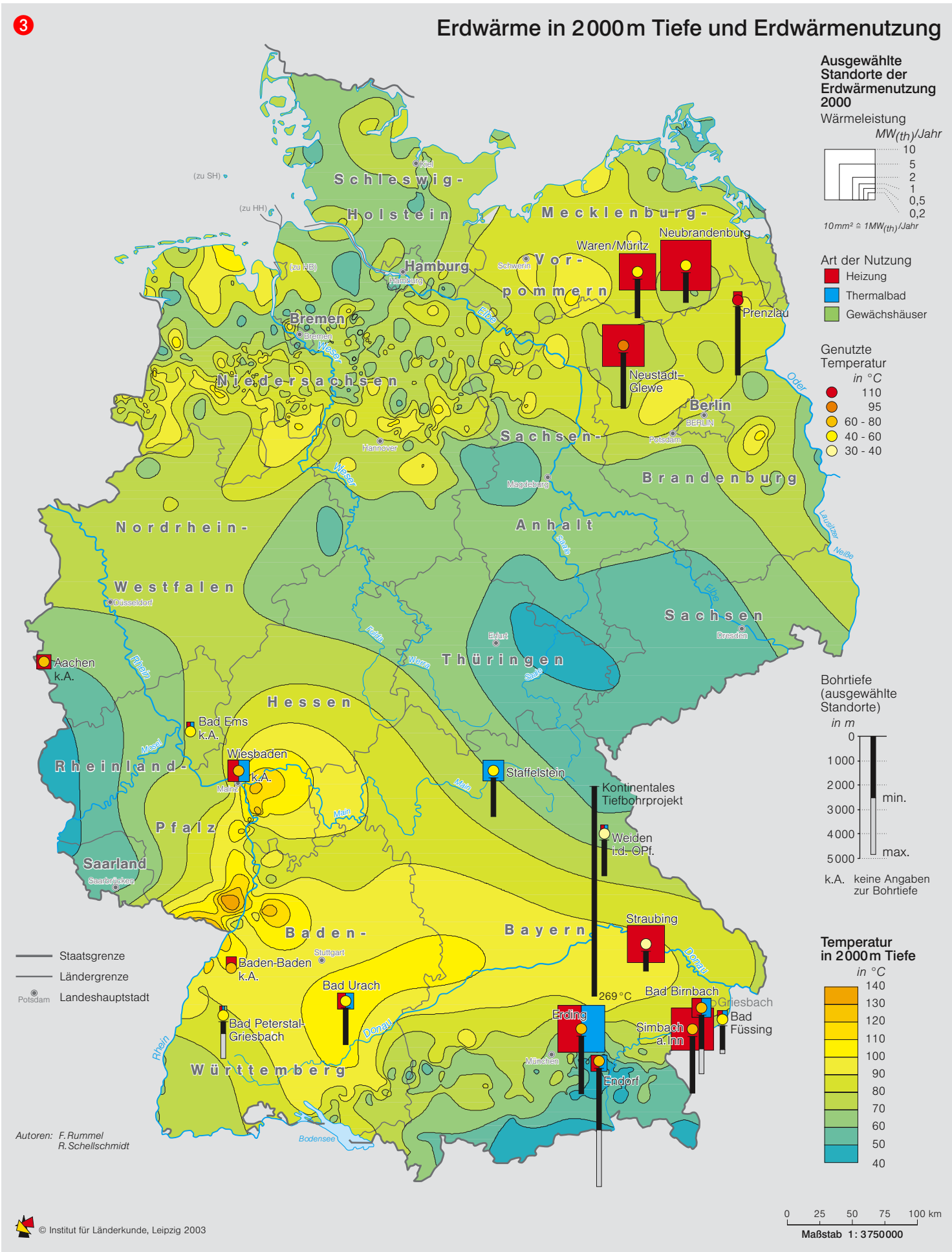
Schon heute produzieren geothermische Kraftwerke in der Toskana elektrischen Strom mit einer Gesamtleistung von 500 MW. Mittlerweile ist weltweit eine geothermische Kraftwerksleistung von fast 10.000 MW installiert **2**. Hinzu kommt die direkte Nutzung von Erdwärme für die Beheizung großer Wohnanlagen z.B. im Pariser Becken (200.000 Wohnungen), für Prozesswärme z.B. in der Papierindustrie, für die Beheizung von Gewächshäusern und für Thermalbäder oder für die Deckung von 85% des Wärmebedarfs Islands.

Zentren deutscher Erdwärmennutzung **3**

Ein herausragendes Beispiel in Deutschland ist das niederbayerische Bäderdreieck Füssing/Birnbach/Griesbach im Rottal mit jährlich 1 Mio. Kurgästen. Seit 1984 wurden in Deutschland erstmals geothermische Heizkraftwerke im Norddeutschen Becken in Neubrandenburg, Waren (Müritz), Prenzlau und Neustadt-Glewe in Betrieb genommen. In Bayern wird Erdwärme z.B. in Simbach am Inn/Braunau (Oberösterreich), in Straubing oder in Erding (Foto) genutzt. Derzeit sind in Deutschland 28 größere Zentraleinrichtungen zur direkten Nutzung geothermischer Energie in Betrieb, d.h. Systeme mit einer installierten Wärmeleistung von mehr als 100 kW, die mehr als einen Endverbraucher mit Wärme versorgen. Da eine Mehrfach- oder Kaskadennutzung die Wirtschaftlichkeit der Erdwärmennutzung erhöht, stellen die meisten Anlagen eine Kombination aus hydrothermaler Gebäudeheizung, Thermalbädern, Gewächshausheizung und Trinkwasserversorgung dar.

Das Hot-Dry-Rock-Konzept

Um die Wärmeenergie kristalliner Tiefengesteine zu nutzen, entwickelten amerikanische Physiker 1970 erstmals das so genannte Hot-Dry-Rock-Konzept (HDR), nach dem in einer Tiefenbo-



rung kaltes Wasser in die Tiefe eingepresst wird; ein unterirdischer Wärmetauscher erhitzt das Wasser, das dann in einer zweiten Bohrung abgepumpt wird. Der gewonnene Wasserdampf treibt Turbinen an, die der Stromerzeugung dienen. Dieses HDR-Konzept wird seit 1987 im Europäischen HDR-Forschungsprojekt nahe der nordelsässi-

schen Stadt Soultz-sous-Forêts westlich von Karlsruhe zur technischen Anwendung entwickelt und stellt einen Prototyp für die Stromerzeugung im gesamten Oberrheingraben von Basel bis Frankfurt dar (Foto).