

# Geothermische Stromerzeugung

## – Grundlaststrom für den erneuerbaren Energiemix 2050

### Einführung

Technologien der tiefen Geothermie nutzen die im tieferen Untergrund verfügbare Wärme zur kontinuierlichen, aber auch bedarfsgerechten Energiebereitstellung. Der verstärkte Ruf nach einer grundlastfähigen Energieversorgung aus regenerativen Quellen und die Verpflichtung, internationale und nationale Klimaschutzziele einzuhalten, rechtfertigen daher eine nachhaltige Förderung der Geothermie. Die geothermische Wärme kann direkt zur Wärmebereitstellung genutzt und/oder in Strom und Kälte gewandelt werden.

Man unterscheidet zwei geothermische Technologien, die jeweils zur Wärme- und Strombereitstellung genutzt werden können:

- **Konventionelle** geothermische Systeme basieren auf leicht zugänglichen Dampf- und Heißwasserreservoirs und sind beschränkt auf geologische Regionen mit vulkanischen oder tektonischen Aktivitäten (z. B. Teile der Toskana in Italien, Island, Neuseeland, Kalifornien in den USA). In diesen Regionen kann ein geothermales Fluid in ausreichender Menge bei hohen Temperaturen genutzt werden. Auch das hydrothermale Potenzial in Deutschland wird kontinuierlich erschlossen.
- **Unkonventionelle** geothermische Systeme (Enhanced Geothermal Systems, EGS) basieren überwiegend auf Heißwasserlagerstätten und trockenen Gesteinsformationen, die außerhalb der oben genannten aktiven Zonen liegen und damit, bezogen auf die gewinnbare Energie, mit größerem erschließungs- bzw. fördertechnischem Aufwand verbunden sind. Diese Reservoirs stellen den größten Teil des weltweiten tiefengeothermischen Potenzials dar. Die Nutzung von EGS wird an den meisten Standorten gegenwärtig noch durch technische und wirtschaftliche Barrieren erschwert.

Die jeweils einzusetzende geothermische Technologie wird durch die Zugänglichkeit zu geothermischen Lagerstätten in geologischen Strukturen im Untergrund bestimmt. Weltweit sind gegenwärtig ca. 17 GW thermische Leistung und 10 GW elektrische Leistung mit Nutzung der Erdwärme installiert (**Abb. 1**). Zur geothermischen Nutzung in Deutschland stehen im Moment etwa 150 MW thermische und 6,6 MW elektrische Leistung bereit.

### Blick nach vorne

Unter der Voraussetzung nachhaltiger Technologieentwicklung wird die geothermische Stromerzeugung eine maßgebliche Rolle der energetischen Grundlastversorgung in einem dann weitgehend nachhaltigen Energiemix gewinnen, und es werden Kraftwerke in großer Zahl entstehen. Dies wird allerdings nur mit EGS-Technologien möglich sein, zu denen Deutschland einen entscheidenden Beitrag leisten kann.

Weltweit werden große Anstrengungen unternommen, die nachhaltige EGS-Technologieentwicklung schrittweise und in großer Zahl zu entwickeln. Deutschland wird dabei einen wichtigen technologischen Beitrag leisten können, wenn schwerpunktmäßig die geothermischen Technologien gefördert und über einen längeren Zeitraum weiterentwickelt werden, die nicht auf geothermische Anomalien beschränkt und somit weltweit auf andere Standorte übertragbar und exportfähig sind. **Abbildung 2** zeigt eine Abschätzung des Ausbaus der geothermischen Stromerzeugung, die noch zur Hälfte auf konventionellen Technologien basiert. Es gibt weitere Szenarien, die weit darüber hinausgehen, die noch mehr von der EGS erwarten.

Dr. Ernst Huenges  
GFZ

[huenges@gfz-potsdam.de](mailto:huenges@gfz-potsdam.de)

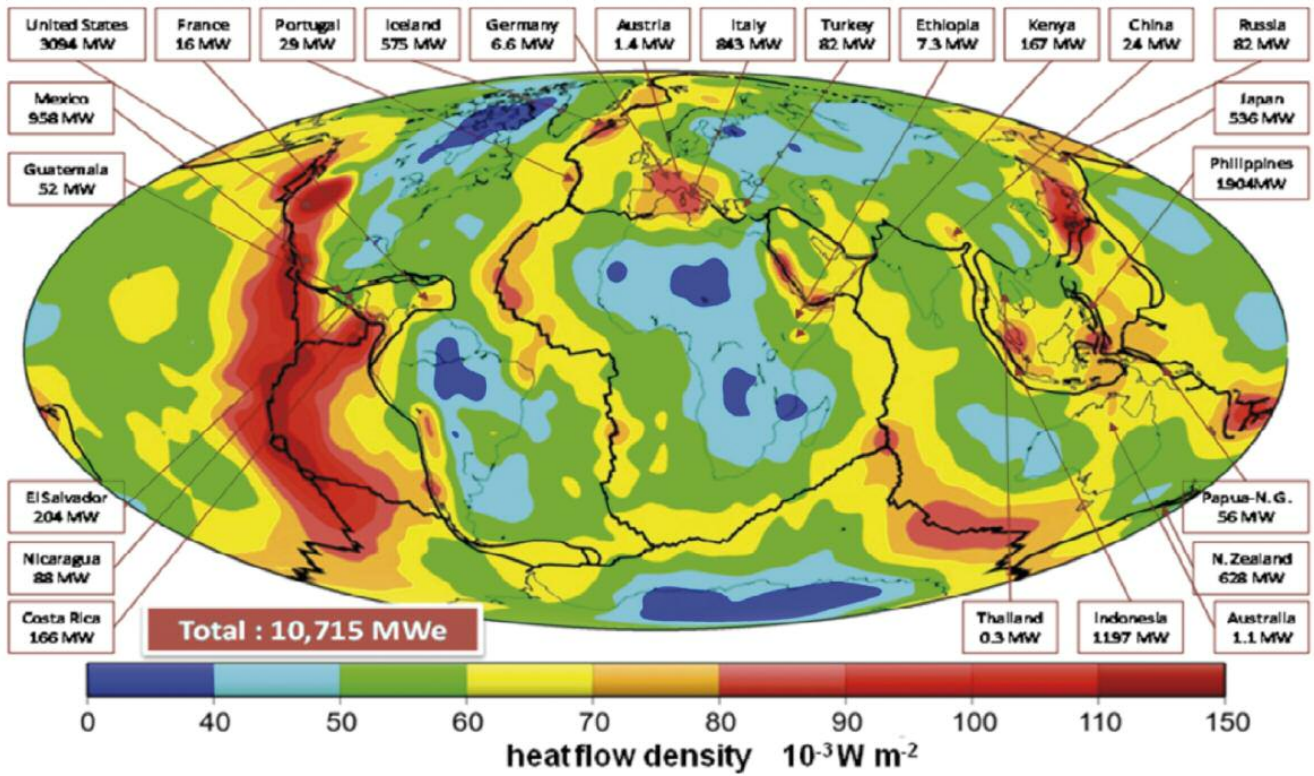
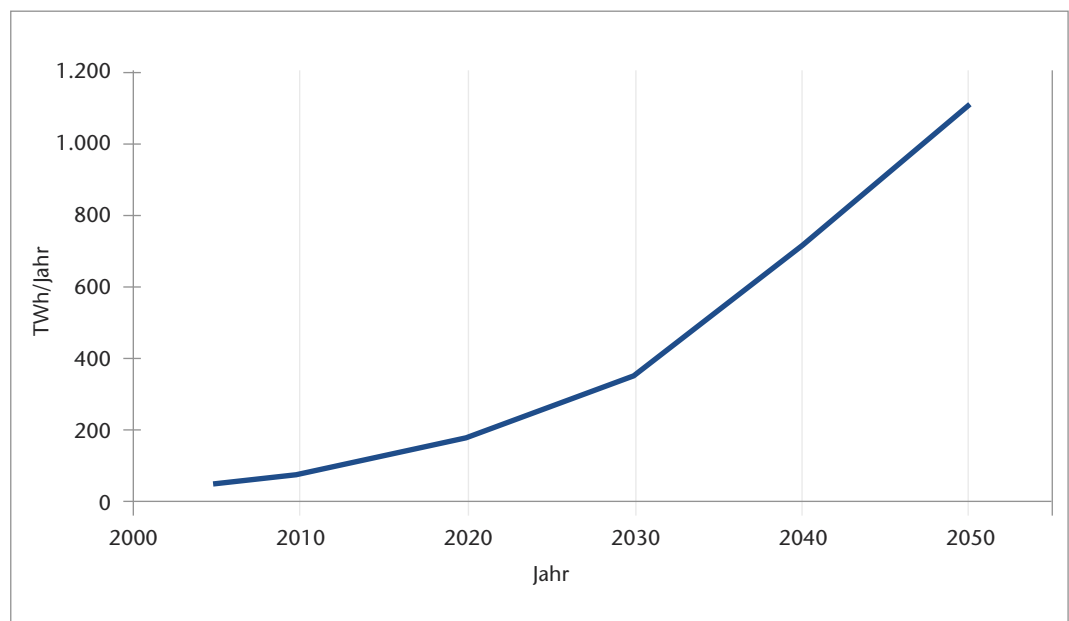


Abbildung 1  
Terrestrischer Wärmefluss, tektonische Plattengrenzen und Verteilung der installierten Kapazität geothermischer Stromerzeugung (IPCC 2010)

Abbildung 2  
IPCC-Szenario für die Entwicklung der jährlichen Bereitstellung von elektrischem Strom aus Geothermiekraftwerken weltweit (IPCC 2010)



## Forschungsbedarf

Auf Grund des großen und noch weitgehend unerschlossenen geothermischen Potenzials wird das EGS in den letzten Jahren als besondere Option gesehen. Jedoch sind die Technologien zur Nutzung von EGS gegenwärtig noch nicht marktreif. Gut ist, dass notwendige Schlüsselkomponenten von EGS-Anlagen, die hauptsächlich andere Anwendungen haben, z. B. zur Gewinnung von Kohlenwasserstoffen, etabliert sind. Jedoch weisen diese für die Randbedingungen in EGS-Anlagen noch ein erhebliches technisches Verbesserungspotenzial auf. Die vergleichsweise hohen Kosten der verfügbaren Bohr-, Stimulations- und Fördertechnologien erschweren die Entwicklung. Der bislang ausstehende Nachhaltigkeitsnachweis für EGS-Systeme ist ein weiteres Entwicklungshemmnis.

Aufgrund des noch frühen Standes der EGS-Technik gilt es, die Forschungs- und Entwicklungsansätze und bisherigen Erfolge zukünftig in adäquaten Programmen fortzuschreiben und auszuweiten. Das Ziel müssen kosten- und risikosenkende sowie produktivitätssteigernde Weiterentwicklungen vor allem im Bereich der Lagerstättenerschließung sein. Diese Weiterentwicklungen gilt es an verschiedenen Standorten in Deutschland mit unterschiedlichen geologischen Bedingungen zu demonstrieren, um so den Nachweis einer nachhaltigen und effizienten Energiebereitstellung mit dem Einsatz von EGS zu erbringen. Zusätzlich müssen europaweite Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten und nationale Förderprogramme und Kompetenzen zukünftig stärker zusammengeführt und vernetzt werden. Um zuverlässige und langfristige Erfolge in der geothermischen Technologieentwicklung zu erzielen, muss Planungssicherheit für langfristig ausgerichtete Forschungs- und Entwicklungsvorhaben und investierende Unternehmen geschaffen werden.

Für die Geothermie, insbesondere für EGS-Systeme werden folgende Forschungsschwerpunkte abgeleitet:

- Die Erfahrungen aus der Erdöl- und Ergas-Exploration müssen für die Exploration von EGS-fähigen Lagerstätten modifiziert werden.

EGS-Systeme erfordern mehr Kenntnis über geologische Kluft- und Störungssysteme und deren Verhalten unter besonderer Berücksichtigung der Wasserführung und des In-situ-Spannungsfeldes. Entwicklung von Methoden zur Erkundung des Spannungsregimes im engeren und weiteren Umfeld eines geplanten EGS Projekts sollten mit dem Ziel durchgeführt werden, notwendige Stimulationsmaßnahmen zu optimieren und das Risiko induzierter Seismizität zu senken.

- Mit innovativen Bohrtechnologien und -strategien muss eine Reduktion der Bohrkosten erreicht werden. Im Mittelpunkt stehen dabei die Erhöhung der Lebensdauer von Bohrwerkzeugen, die Reduktion von Energie- und Materialverbrauch einer Bohrung, für EGS spezielle Komplettierungssysteme mit langer Lebensdauer und speicherschonende Aufschlussverfahren. Die Weiterentwicklung der Exploration und damit die bessere Charakterisierung der lokalen geologischen Gegebenheiten werden ebenfalls zur Minderung des Bohrrisikos und damit zur Kostensenkung beitragen. Im Rahmen eines nationalen EGS-Bohrprogrammes können diese Entwicklungen ganz gezielt angestoßen und vorangetrieben werden.
- Die technische Realisierbarkeit des EGS oder eines petrothermalen Systems, ein Begriff der im Rahmen des EEG eingeführt wurde, muss in den nächsten Jahren an repräsentativen Standorten (mittlere Tiefe, hohe Temperatur, geringe natürliche Reservoirproduktivität) von Exploration bis Energiebereitstellung mit einer Pilotanlage ganzheitlich demonstriert werden. Das Ziel bei der Weiterentwicklung von Maßnahmen zur Reservoirstimulation muss es sein, eine nachhaltige sowie bedarfsgerechte und somit weitgehend planungssichere Produktivität der Lagerstätte sicherzustellen. Die Realisierung muss eine Optimierung der ober-tägigen Umwandlungstechnologien (Wärme, Kälte, Strom) an den Pilotstandorten mit einschließen. Im Anschluss sollten die gewonnenen Erkenntnisse auf andere Standorte übertragen und dort mit Demonstrationsanlagen umgesetzt werden.

- Die verstärkte Geothermienutzung erfordert in vielen Teilgebieten noch wesentliche geowissenschaftliche Grundlagenforschung. Das Verständnis der Fluid-Gestein-Wechselwirkung in Verbindung mit der Hydromechanik der Reservoire bildet die Basis für das Ingenieurwesen zur Nutzung geothermischer Systeme, also dem Reservoirmanagement im weiten Sinne. Erkenntnisorientierte Forschung wird in Zukunft verstärkt interdisziplinär zum Beispiel in der Zusammenarbeit von Geologen und Ingenieuren stattfinden müssen.

mit vielen neuen Arbeitsplätzen und nutzt den Anlagenbetreibern mit planungssicheren Energieangeboten. Die Qualifizierung geothermischer Systemkomponenten macht forschungsnahe Industrie attraktiv für den Export, wie es weltweite Anfragen derzeit schon anzeigen.

## Ausblick

Die anwendungsorientierte Forschung muss auf sichere und effiziente Systemlösungen ausgerichtet sein. Dazu gehören auch die Sicherstellung eines ausreichenden und nachhaltigen Thermalwasserkreislaufes sowie die Optimierung der übertägigen Umwandlungstechnologien (Strom, Wärme, Kälte). Schwerpunktmäßig sollten diejenigen Technologien gefördert und weiterentwickelt werden, die sich auf die Nutzung der Erdwärme in Gebieten mit normalen Temperaturgradienten konzentrieren und nicht auf geothermische Anomalien (Hochenthalpie-Lagerstätten, Vulkangebiete) beschränkt sind. Damit wird diese Technologie weltweit auf viele andere Standorte übertragbar und exportfähig.

Der gerade begonnene Aufbau einer Forschungsstruktur in nationalen und internationalen Netzwerken muss fortgesetzt werden, und Deutschland muss seine führende Rolle in der EGS-Technologie festigen. Die Entwicklung in dieser Forschung muss durch nachhaltig finanzierte Projekte verstetigt werden.

Die breite Etablierung der Nutzung geothermischer Energie sowohl im Wärme(Kälte)- als auch im Strommarkt wird enorme volkswirtschaftliche Effekte haben. Zunächst wird verstärkt krisensichere, heimische Energie nachhaltig und umweltfreundlich verfügbar und ersetzt teure und unsichere Importe fossiler Energieträger. Dabei ist im Energiemarkt eine weitgehende Einstellung des Verbrauchs von Brennstoffen schon mittelfristig denkbar. Der Ausbau der Geothermie führt auch zu positiven Effekten in der Serviceindustrie