

GEOTHERMIE TIEFENKRAFTWERK™

EIN NEUES KONZEPT ZUR STANDORTUNABHÄNGIGEN BEREITSTELLUNG VON GRUNDLAST IM LEISTUNGSBEREICH VON 1.000 MW.E

Hubert HÄMMERLE¹

Konzept und Hintergrund des Geothermie Tiefenkraftwerks (GTKW)

Das Konzept des GTKW ist ein weltweit neuer Verfahrensansatz zur Nutzung geothermischer Lagerstätten. Die Vorgaben sind so gewählt, dass an beinahe jedem Standort, an dem der durchschnittliche geothermische Gradient 3 K (oder mehr) / 100 m Tiefenstufe beträgt, eine Umsetzung wirtschaftlich möglich ist. Im Unterschied zu den bisherigen Verfahren, die Reservoirs mittels Bohrungen von der Geländeoberkante erschließen, sieht das GTKW Konzept eine tiefe Bergbauinfrastruktur in 6.000 m Teufe bei ungestörten Gebirgstemperaturen von > 180°C vor. Diese dient als Basis für Bohrungen und Bohrlochwärmeaustauscher. Dabei handelt es sich um die Transformation der Technik der oberflächennahen Geothermie in den Bereich hoher Enthalpie der oberen Erdkruste. Gegenüber bisherigen Ansätzen zur geothermischen Nutzung nicht hydrothermalen Hochenthalpie-Lagerstätten – Hot-Dry-Rock (HDR) und Enhanced Geothermal Systems (EGS) – stellt das GTKW Konzept auch einen Quantensprung im Hinblick auf die erzielbaren Leistungen dar – 1.000 MW.e Nettoleistung entsprechen ca. dem 200fachen Wert dessen der für EGS pro Standort für möglich gehalten wird.

Das GTKW Konzept adressiert – wenn erfolgreich implementiert – drei vordringliche Herausforderungen unserer Zeit: (1) Erreichen der klimapolitischen Ziele, (2) Bereitstellung von Alternativen für Kernenergie, (3) Förderung der Unabhängigkeit von Energieimporten.

- (1) Im Hinblick auf den globalen Klimawandel hat sich die EU sehr ambitionierte Ziele zur Reduktion von CO₂ Emissionen gesetzt: 20% bis zum Jahr 2020 bzw. 80% bis zum Jahr 2050 (zum Vergleichsjahr 1990). Die energiepolitischen Ziele sehen hierfür eine Energie-Effizienzsteigerung von 20% und eine Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien auf 20% vor. Die Umsetzung dieser Vorgaben ist im strategischen Energie Technologie Plan der EU (SET-Plan) beschrieben. Das GTKW Konzept hat das Potential, die Vorgaben des SET-Plans zu erreichen oder sogar zu übertreffen, da es einen Durchbruch für Großkraftwerke im Bereich der Erneuerbaren Energien darstellt. In der Betriebsart Kraft-Wärme-Kopplung kann zusätzlich der Wärmebedarf von Großstädten in der Größenordnung von 10 TWh.th und mehr abgedeckt werden. Das Emissionseinsparungspotential bei der Wärmeauskopplung liegt in der Größenordnung von 5 Millionen Tonnen CO₂/ 10 TWh.th.
- (2) Als Folge der katastrophalen Ereignisse nach dem Erdbeben in Japan im März 2011 mit dem anschließenden, zerstörerischen Tsunami, bei dem mehrere AKW-Reaktoren zerstört und in einigen eine Kernschmelze ausgelöst wurde, hat der öffentliche Druck in Deutschland und der Schweiz zu einem schrittweisen Ausstieg aus der Kernkraftwerk-Technologie bis zum Jahr 2022 respektive 2030 geführt. Dieser Ausstieg bedeutet, dass Grundlastalternativen in der Größenordnung von mehreren GW bereitgestellt werden müssen, anderenfalls diese Lücken nur durch erhöhte Importe – von großteils mittels AKW erzeugten Stroms – gedeckt werden können.
- (3) In den vergangenen Jahren kam es aufgrund von politischen Differenzen zwischen Russland und seinen Nachbarstaaten immer wieder zu Versorgungsengpässen bei Gaslieferungen aus dem osteuropäischen Raum. Derartige Engpässe können sich jederzeit bei politischen und / oder wirtschaftlichen Unruhezeiten sowohl bei Gas als auch bei Erdöllieferungen wiederholen.

¹ Ehoch10 Projektentwicklung GmbH, Halbgasse 3-5, 1070 Wien,
T: 01-9247867-10, M: 0676-9754438, F: 01-9247867-99, E: info@ehoch10.at, W: www.ehoch10.at

Dadurch dass ein GTKW in nahezu jedem Land der Erde realisierbar ist, wird die Unabhängigkeit von Energieimporten gestärkt und die Versorgungssicherheit erhöht.

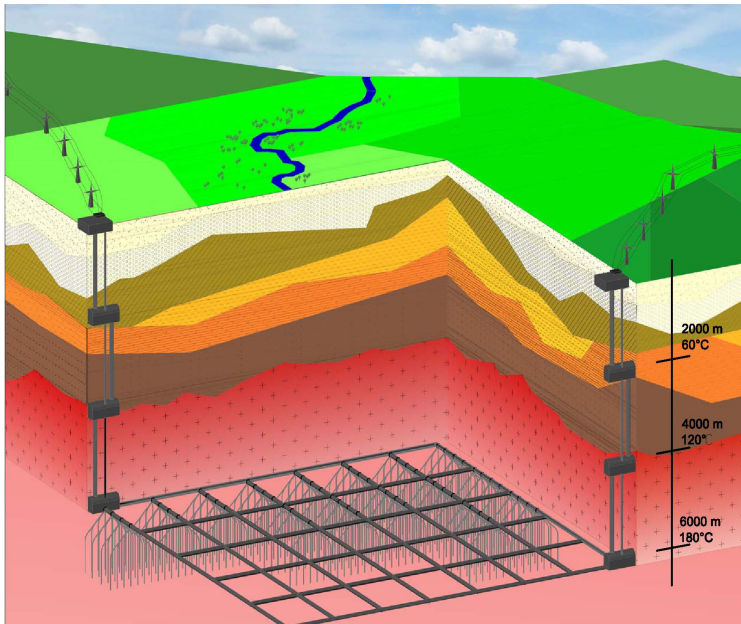


Abbildung 1:
Vereinfachte schematische Darstellung des GTKW Konzepts. Von der Geländeoberkante aus werden Schächte auf 6.000 m abgeteuft und ein weitverzweigtes Stollensystem errichtet. Dieses ist die Basis für Bohrungen / Bohrlochwärmeaustauscher, mit denen das Reservoir bewirtschaftet wird. Bei einem Energieumwandlungswirkungsgrad von 20% werden dem Reservoir in einem Zeitraum von 30 Betriebsjahren rund 5 EJ Wärme entzogen, dies erfordert eine Reservoirgröße von ca. 50 km³. Die Betriebsart Kraft-Wärme-Kopplung erfordert für einen Zeitraum von 50 Jahren ein Reservoir mit 9 EJ.

Thermodynamische und Energietechnische Aspekte eines GTKW

- (1) Geologie und Hydrogeologie: Sowohl aus Sicht der unterirdischen Bauten als auch aus thermodynamischer Sicht stellt kristallines Grundgebirge (Granit, Gneis, bedingt auch Schiefer) einen optimalen Standort dar. Derartige Standorte sind in Österreich beispielsweise die Böhmisches Masse, der Granit bei Wolfstahl oder der Gneis des Rosalia Gebirges.

Auf Grund der geringen hydrogeologischen Permeabilität des Kristallin ist für Modellrechnungen die ausschließliche Betrachtung der Wärmeleitfähigkeit des Gesteins ausreichend.

Folgende thermodynamischen Kennwerte sind für die Reservoircharakteristik maßgebend:

Durchschnittlicher geothermischer Gradient:

Mit zunehmender Tiefe steigt die Gebirgstemperatur an, im Mittel liegt diese Zunahme in der kontinentalen Erdkruste bei 3 K / 100 m (geothermische Tiefenstufe) – wobei es lokale sowohl zu positiven als auch negativen Anomalien mit verschiedenen Ursachen und Ausprägungen kommen kann. In Gebieten, die nicht durch derartige Anomalien gekennzeichnet sind, wird sich die ungestörte Gebirgstemperatur in 6.000 m Teufe zwischen 180°C und 200°C bewegen.

Wärmeleitfähigkeit (Granit):

Die Wärmeleitfähigkeit stellt einen zentralen Kennwert für die Reservoircharakterisierung dar. Sie variiert zwischen: $1,28 \text{ W}/(\text{mK}) < \lambda_{(0^\circ\text{C})} < 4,44 \text{ W}/(\text{mK})$. Mittelwert: $\lambda_{(180^\circ\text{C})} = 2,38 \text{ W}/(\text{mK})$

Wärmekapazität:

Die mittlere spezifische Wärme bei konstantem Volumen für Granit liegt bei:

$c_v (180^\circ\text{C}) = 2,32 \text{ MJ}/(\text{K m}^3)$ woraus sich eine Wärmekapazität von 100 PJ / (45 K x km³) respektive 200 PJ / (90 K x km³) ableitet (Nutzung: nur Kraft bzw. Kraft-Wärme-Kopplung).

- (2) Geotechnik, Bauen in heißem Gestein: Die derzeit weltweit tiefsten Bergwerke in Südafrika erreichen Teufen von etwas mehr als 4.000 m. Bedingt durch einen geringen geothermischen Gradienten belaufen sich die ungestörten Gebirgstemperaturen in diesen Bergwerken auf ca. 60°C. Der konventionelle Bergbau stößt bei diesen Temperaturen an die Grenzen der Wirtschaftlichkeit hinsichtlich der Kühlung mittels Bewetterung. Die für das GTKW projektierten hohen ungestörten Gebirgstemperaturen von 180°C (und darüber) erfordern eine Kühlung des unmittelbar die unterirdischen Bauten umgebenden Gesteins vor der Errichtung der Bauwerke. Berechnungen zur Kühlung mittels Mantelkollektor – einer Weiterentwicklung der Kühltechnik wie sie zur Bodenvereisung eingesetzt wird – zeigen dass das Gebirge in ausreichend kurzen Zeiträumen auf Temperaturen von 40°C bis 60°C abgekühlt werden kann.

- (3) Reservoirbewirtschaftung: Die Wärmeleitfähigkeit des Gesteins stellt den limitierenden Faktor bei der Bewirtschaftung mit Bohrlochwärmeaustauschern dar („Temperatursenken“). Unabhängig von der Art der Wärmeaustauscher sind durchschnittliche Dauerentzugsleistungen von 150 W/lfm bis 250 W/lfm Bohrung möglich ($\Delta T_{\text{Bohrlochrand}} \sim 60 \text{ K} / 30 \text{ a}$).
- (4) Energiewandlung, Rückkühlung: Die Energiewandlungseffizienz im Niedertemperaturbereich (ca. 130°C bis 180°C) wird sich maßgeblich auf die Wirtschaftlichkeit auswirken. Niederdruckturbinen, die mit Wasserdampf betrieben werden erfordern bei einem angepeilten Wirkungsgrad von $\eta \sim 20\%$ Temperaturen von rund 180°C (in Abhängigkeit der Rückkühlungsmöglichkeiten). Für geringere Temperaturen kommen Turbinen mit organischen Arbeitsmitteln (ORC Prozess) in Frage. Aktuelle Forschungs- und Entwicklungsprogramme lassen bei ORC Turbinen Wirkungsgradverbesserungen von 10% bis 20% erwarten. Die Rückkühlung (80% und darüber der eingesetzten Primärenergie) wird einen nicht zu unterschätzenden Faktor in der Standortwahl darstellen.
- (5) Wirtschaftlichkeit: Eine Grobkostenschätzung für den Betrieb mit Kraft-Wärme-Kopplung ergibt für die Errichtung der Bergwerksinfrastruktur, bestehend aus einem 6.000 m Doppelschacht mit Querschlägen sowie 25 km Stollen und 1.000 Kavernen Aufwendungen für die Unterirdischen Bauten von 2,9 Mrd €. Für die Bohrungen sowie die Bohrlochwärmeaustauscher mit einer Gesamtlänge von 40.000 km liegen die Schätzungen bei 8,1 Mrd €. Für die Energiewandlung wird 1 Mrd angenommen, eine weitere Mrd wird für Begleitmaßnahmen geschätzt. Die Gesamtaufwendungen belaufen sich auf 13 Mrd € (ohne Finanzierungskosten). Der Erlöse aus dem Fernwärmeverkauf (50a x 10 TWh.th) werden auf 5 Mrd € geschätzt. Die Stromgestehungskosten (Gesamt 400 TWh.e) belaufen sich auf 20 € / MWh. Standortsspezifische geotechnische und thermodynamische Parameter sowie technologische Fortschritte bei der Energiewandlung, der Bohrtechnologie und der Errichtung der unterirdischen Bauten werden maßgeblichen Einfluss auf die realen Kosten haben.
- (6) Zusatz- und Nachnutzungen: Die tiefe Bergwerksinfrastruktur ermöglicht die Errichtung von Unterirdischen Pump-Speicher-Kraftwerken. Als begrenzender technisch-wirtschaftlicher Faktor wird die Auskleidung der Druckschächte (Panzerung) betrachtet. Fallhöhen von 2.500 m bis 3.000 m scheinen aus heutiger Sicht technisch machbar zu sein. Ein Oberbecken (dass auch unterhalb der Geländeoberkante situiert werden kann) sowie ein entsprechendes Unterbecken können mittels TBM Vortrieb (z.B. 5 x 2 km mit 100 m² Querschnitt) aufgefahren werden. Zwischenbecken für einen kaskadenartigen Betrieb (beispielsweise 3 x 2 km Fallhöhe) können demgegenüber wesentlich kleiner dimensioniert werden, da sie lediglich der Ausgasung nach dem Turbinendurchgang dienen. Als Nachnutzungen der Unterirdischen Bauten sowie der Bohrungen kommen die Lagerung von Gasen und Flüssigkeiten, z.B. als Erdgas- oder Erdölspeicher, in Betracht.