

# Die Bedeutung der Geothermie im globalen Kontext und bei den Erneuerbaren Energien

LADISLAUS RYBACH<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Geophysik ETH Hönggerberg, CH-8093 Zürich, Schweiz  
rybach@geo.phys.ethz.ch, www.gtr.ethz.ch

## Einleitung

Geothermische Energienutzung basiert auf dem Wärmeinhalt des Erdkörpers. Seit Jahrbillionen wird die Wärme vor allem durch die natürliche Radioaktivität generiert. Über 99% des Erdvolumens ist wärmer als 1000°C, nur 0.1% ist kälter als 100°C. Der gesamte Wärmeinhalt der Erde liegt bei 10<sup>13</sup> EJ; die Erde kann es sich leisten, Wärme mit einer Gesamtkapazität von 40 Millionen MW<sub>th</sub>, d.h. 1300 EJ/Jahr durch den terrestrischen Wärmestrom ins Weltall abzugeben (zum Vergleich: dies entspricht der thermischen Leistung von 13.000 Kernkraftwerken der 1 GW<sub>e</sub>-Klasse). Die Ressource ist demnach riesig und hat entsprechend großes Nutzungspotenzial. Geothermische Energie ist einheimisch, umweltfreundlich und allzeit verfügbar. Die Erdwärme kann grundsätzlich für zwei Anwendungen genutzt werden: Stromgenerierung und direkte Wärmenutzung.

## Status der Geothermie innerhalb der erneuerbaren Energien

Das Potenzial der Geothermie (ausgedrückt in EJ/Jahr) wird unter den erneuerbaren Energien als das höchste bewertet: Geothermie 5000; Sonnenenergie 1600, Wind 650, Biomasse 275, Wasserkraft 50 (WEA, 2000). Die geothermische Stromerzeugung ist unter den erneuerbaren Energien (noch) gut positioniert, insbesondere durch die hohe Verfügbarkeit: generell sind geothermische Kraftwerke über 70% der Zeit operationell: Geothermie-Kraftwerke liefern durchwegs Bandenergie. Tabelle 1 zeigt die installierte Kapazität sowie die Stromproduktion in 2011 aus erneuerbaren Quellen, namentlich aus Wasserkraft, Biomasse, Wind, Geothermie und Sonnenenergie (Photovoltaik).

Technologie	Installierte Leistung		Jahresproduktion		Verfügbarkeit
	GWe	%	TWh/yr	%	
Wasserkraft	970	71.3	3,400	78.7	40
Biomasse	72	5.3	328	7.6	52
Wind	238	17.5	438	10.1	21
<b>Geothermie</b>	11	0.8	69	1.6	72
Solar PV	70	5.1	86	2.0	14
<b>Total</b>	<b>1,361</b>	<b>100</b>	<b>4,321</b>	<b>100</b>	

Tabelle 1.

Elektrizität aus erneuerbaren Quellen in 2011. Kompiliert aus Angaben in (REN21, 2012).

Gemäß der World Energy Assessment Statistics (WEA, 2004) schneiden die geothermischen Stromproduktionskosten gegenüber anderen erneuerbaren Energiequellen günstig ab, siehe Tabelle 2. Gegenwärtig liegt der Installationspreis für Geothermie-

Kraftwerke bei 3.0–4.5 M€/MW<sub>e</sub>, die Produktionskosten bei 40–100 €/MWh (FRIDLEIFSSON et al., 2008).

Kraftwerktyp	Produktionskosten (US cent/kWh)
Wasserkraft	2 – 10
Geothermie	2 – 10
Wind	4 – 8
Biomasse	3 – 12
Solar Photovoltaik	25 – 160
Solar Konzentriert	12 – 34

Tabelle 2.

Stromproduktionskosten erneuerbarer Energien (FRIDLEIFSSON et al., 2008).

Bei der Direktnutzung liegt der Einheitspreis für geothermische Fernheizung bei etwa 2.0 €/GJ; mit Erdwärmepumpen beträgt der kombinierte Preis für Heizung/Kühlung 16 €/GJ (IEA, 2007). Relevanter ist die Anlage-Amortisationszeit bei Erdwärmepumpen-Systemen; diese beläuft sich auf 4–8 Jahre.

### Geothermische Direktnutzung

Die weltweite Direktnutzung beläuft sich gegenwärtig auf rund 500 PJ/Jahr, aus einer Kapazität von etwa 60 GW<sub>th</sub> (REN21, 2012). Die höchsten Zuwachsraten weisen Erdwärmepumpen-Systeme auf (eine der am schnellsten wachsenden erneuerbaren Technologien); ihre weltweite Wärmeproduktion (in PJ/Jahr) nimmt rapide zu (IEA, 2007): 14.6 in 1995, 23.3 in 2000, 87.5 in 2005, 257 in 2011 (REN21, 2012). Erdwärmepumpen liefern Raumheizung, -kühlung, und Warmwasser.

Die Produktion der Direktnutzung in 2050 wird auf 5.1 EJ/Jahr geschätzt, mit einem Beitrag der Erdwärmepumpen von 4.2 EJ/Jahr (FRIDLEIFSSON et al., 2008).

### Künftige Entwicklungstrends und Perspektiven

Die geothermische Stromerzeugung wächst weltweit seit etwa 2005 zwar stetig, jedoch langsam (Zuwachsrate etwa 5% jährlich). In den letzten Jahren entwickeln sich Wind- und Solarenergie demgegenüber rasant (mit 30–50% pro Jahr) und lassen die Geothermie dementsprechend weit hinter sich. Hier ist zurzeit eine Trendumkehr kaum vorstellbar, denn Zukunftsprognosen wie z.B. IEA (2011) sehen für die Geothermie bloß 200 GWe installierte Kapazität im Jahre 2050 voraus – dies hat die Windenergie bereits in 2010 erreicht.

Ausgehend von der heutigen Situation sind vor allem die folgenden Entwicklungstendenzen möglich:

- 1) Errichtung von konventionellen Geothermie-Kraftwerken in geologisch besonders geeigneten Gebieten („Hydrothermale Ressourcen“), vor allem in Entwicklungsländern wie Indonesien und Philippinen;
- 2) Verbreitung von Erdwärmepumpen-Systemen in Ländern, die diese bewährte Technologie noch nicht eingesetzt haben;

- 3) Zukunftsträchtige Technologien wie die Enhanced Geothermal Systems („Petrothermale Systeme“, bzw. EGS (MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2006) für Wärme-Kraft-Kopplung könnten sich weltweit rasch verbreiten, sofern die hohen Erwartungen durch Betriebserfahrungen bestätigt werden.

Quantitative Wachstumstrends in kommenden Jahrzehnten können nur geschätzt werden (FRIDLEIFSSON et al., 2008). Voraussichtlich kann bis 2050 die weltweite geothermische Stromproduktionsleistung von gegenwärtigen 10 GW<sub>e</sub> auf 70 GW<sub>e</sub> mittels konventioneller Technologie gesteigert werden, mit innovativer Technologie (mit Enhanced Geothermal Systems, EGS) auf 150–200 GW<sub>e</sub>.

### **Umweltvorteile dank Einsparung von CO<sub>2</sub> Emission**

Geothermische Technologien arbeiten ohne Verbrennung und verursachen damit wenig bis keine Treibhausgas-Emission. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß heutiger Geothermie-Kraftwerke liegt um 120 g/kWh; es wird erwartet, dass dieser mit verbesserter Technologie auf 10 g/kWh reduziert werden kann. Die in FRIDLEIFSSON et al., (2008) für 2050 geschätzte Stromproduktion von 1000 TWh/Jahr könnte die Emissionen von mehreren Hundert Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr einsparen, je nach dem, was substituiert wird.

Wärmeproduzierende Erdwärmepumpen-Anlagen, deren Wärmepumpen mit Elektrizität aus fossil-befeuerten Kraftwerken betrieben werden, reduzieren – verglichen mit Ölbrennern – die CO<sub>2</sub> Emissionen um 50%. Falls der Wärmepumpen-Strom aus erneuerbaren Quellen wie Wasserkraft stammt, beträgt die Reduktion 100%. Aufgrund des erwarteten Wachstums der Direktnutzung (inkl. Erdwärmepumpen) beträgt die Emissionsvermeidung über 300 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr (FRIDLEIFSSON et al., 2008).

### **Schlussfolgerungen**

Elektrische Bandenergie wird in 24 Ländern aus geothermischen Quellen produziert; in fünf dieser Länder sichert die Geothermie 15 bis 22% der Landesversorgung. Die weltweite geothermische Stromproduktion beläuft sich heute auf rund 70 TWh/Jahr; die Kraftwerk-Investitionskosten betragen 2 bis 4.5 Millionen €/MWe und die Produktionskosten 40 bis 100 €/MWh.

Seit 2007 wächst die Stromproduktion aus Windkraftwerken, Photovoltaik und Solarkraftwerken (mit 25 bis 50% pro Jahr) wesentlich stärker als bei der Geothermie (bloß etwa 5% pro Jahr). Hier sind noch gewaltige Anstrengungen vonnöten, um einigermaßen Schritt zu halten.

Über geothermische Direktnutzung (für Raumheizung, Landwirtschaft, Thermalbäder usw.) wird aus 72 Ländern berichtet. Die weltweite Direktnutzung beläuft sich gegenwärtig auf rund 500 PJ/Jahr, aus einer Kapazität von rund 60 GW<sub>th</sub>. Die höchsten Zuwachsraten weisen Erdwärmepumpen-Systeme auf; ihre weltweite Wärmeproduktion (in PJ/Jahr) nimmt rasch zu: 14.6 in 1995, 23.3 in 2000, 87.5 in 2005, 257 in 2011.

Geothermische Technologien arbeiten ohne Verbrennung und verursachen damit wenig bis keine Treibhausgas-Emissionen. Die Stromproduktion wie auch die Direktnutzung trägt bereits zur Verminderung der CO<sub>2</sub> Emissionen bei. Der weitere Vormarsch der Geothermie

kann – je nach dem, was substituiert wird – die CO<sub>2</sub> Emissionen noch signifikanter reduzieren.

Voraussichtlich kann bis 2050 die weltweite geothermische Stromproduktionsleistung von gegenwärtigen 10 GW<sub>e</sub> auf 70 GW<sub>e</sub> mittels konventioneller Technologie gesteigert werden, mit innovativer Technologie (mit Enhanced Geothermal Systems, EGS) auf 150–200 GW<sub>e</sub>. Die Produktion der Direktnutzung in 2050 wird auf 5.1 EJ/Jahr veranschlagt, davon der Erdwärmepumpen-Beitrag von 4.2 EJ/Jahr.

Geothermische Energie ist rund um die Uhr verfügbar und kann andere, intermittierend produzierende erneuerbare Energiequellen ergänzen.

## Quellen

FRIDLEIFSSON, I.B., BERTANI, R., HUENGES, E., LUND, J., RAGNARSSON, A. & RYBACH, L. (2008): The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change. – In: HOHMEYER, O. & TRITTIN, T.: (Eds.): IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources, Proceedings, Luebeck, Germany, 20.–25. January 2008, p. 59–80.

IEA (2007): Renewables for Heating and Cooling – Untapped Potential. – International Energy Agency, 209 p., Paris. [www.iea.org/publications](http://www.iea.org/publications).

IEA (2011): Technology Roadmap – Geothermal Heat and Power. – International Energy Agency, 72 pp., Paris. [www.iea.org/publications](http://www.iea.org/publications).

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (2006): The Future of Geothermal Energy – Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21<sup>st</sup> Century – 372 p., Cambridge, MA, USA. Available on:  
[http://www1.eere.energy.gov/7B14F1E2-2B11-49F7-BB27-60067812C100/FinalDownload/DownloadId-5446883A8D8159ACA7408F65A7514D40/7B14F1E2-2B11-49F7-BB27-60067812C100/geothermal/pdfs/future\\_geo\\_energy.pdf](http://www1.eere.energy.gov/7B14F1E2-2B11-49F7-BB27-60067812C100/FinalDownload/DownloadId-5446883A8D8159ACA7408F65A7514D40/7B14F1E2-2B11-49F7-BB27-60067812C100/geothermal/pdfs/future_geo_energy.pdf)

REN21 (2012): Renewables 2012 – Global Status Report, 172 p. Available on:  
[www.ren21.net](http://www.ren21.net)

WEA (2000): World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability. – United Nations Development Programme / UN-DESA / World Energy Council, 508 p., New York.

WEA (2004): World Energy Assessment: Overview 2004 Update. – United Nations Development Programme / UN-DESA / World Energy Council., 85 p., New York.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Geologischen Bundesanstalt](#)

Jahr/Year: 2012

Band/Volume: [92](#)

Autor(en)/Author(s): Rybach Ladislaus

Artikel/Article: [Die Bedeutung der Geothermie im globalen Kontext und bei den Erneuerbaren Energien. 7-10](#)