

Studiengang Sustainable Energy Competence (SENCE)

Zusammenfassung des Projektberichtes

Forschungsprojekt <2>

„Potenzialanalyse über die Möglichkeiten der Stromerzeugung aus Geothermie in Entwicklungsländern“

Belén Benavent Rodríguez

SoSe12 HfT-Stuttgart

Mat-Nr: 650948

Betreuer Hochschule: Prof. Dr. Martin Brunotte

1. Einleitung

Die Geothermie untersucht die thermischen Phänomene, die im Innersten der Erde auftreten. Das Wort ‚Geothermie‘ wird auch benutzt, um die menschliche Nutzung der inneren Energie der Erde, egal ob thermisch oder elektrisch, zu bezeichnen. Diese geothermischen Ressourcen ermöglichen uns, Wärme oder Kälte zu versorgen sowie Strom zu erzeugen.

Der Vulkangürtel des Pazifischen Ozeans, auch als Feuergürtel bekannt, weist, aufgrund seiner hohen vulkanischen Aktivität, ein sehr hohes Potenzial der Geothermie zur Stromerzeugung auf. In solchen Ländern, in denen hochenergetische Energiequellen relativ nah an der Oberfläche zu finden sind, fallen keine großen Kosten durch Erkundungsbohrungen an. In anderen Ländern, in denen die Energiequellen sich erst in mehreren Kilometer Tiefe befinden, ist mit zusätzlichen Kosten von mehreren Millionen Euro zu rechnen. Deshalb ist die Geothermienutzung zur Stromerzeugung in vielen Entwicklungsländern ohne ausländische Finanzierung nicht denkbar.

Im Rahmen des zweitens Semesters des M.Sc. SENCE wurde diese Studie als zweite Projektarbeit angefertigt. Die Zielsetzung dieser Studie war es, für den Zeitraum bis 2020 eine Analyse des Potenzials sowie der Rahmenbedingungen in bestimmten Entwicklungsländern durchzuführen, um ausländischen Investoren einen Überblick zu verschaffen. Um glaubwürdige Ergebnisse liefern zu können, wurden mehreren Quellen zu Rate gezogen.

2. Grundlagen des Strommarktes

Um eine Potenzialanalyse über die Möglichkeiten der Stromerzeugung aus Geothermie in einem Land durchzuführen, muss man sich als erstes einen Überblick über den Strommarkt im Land verschaffen. Als Grundlage dienten die Studien der Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Und als Unterstützung wurden die Studien, die in den Internetseiten des Energieministeriums der jeweiligen Länder zu finden sind; sowie von Außenhandelskammern herangezogen und die *Country Profiles* aus der Internetseite ‚reegle‘¹ verwendet.

Entwicklungsländer, also Länder die sich auf dem Weg zu einer industrialisierten Gesellschaft befinden, verfügen über eine wachsende Wirtschaft und dementsprechend einen wachsenden Energiebedarf. Es wurden die aktuellen Werte der Strombedarfsentwicklung, installierte Kapazität, sowie Stromerzeugung und –verbrauch dargestellt.

¹ <http://www.reegle.info/countries>

3. Grundlagen der Geothermie zur Stromerzeugung

Das Wort ‚Geothermie‘ wird auch benutzt, um die menschliche Nutzung der inneren Energie der Erde, egal ob thermisch oder elektrisch, zu bezeichnen. Dies wird mithilfe einer der beiden Systeme realisiert:

- **Hydrothermale Systeme**, die das vorhandene Thermalwasser (20°C bis ca. 200°C) nutzen.
- **Petrothermale Systeme**, die von kristallinen Gesteinen wie Granit oder Gneisen abgespeicherte Wärme nutzen, indem kaltes Wasser in die Tiefe gepresst wird. Das Gestein erwärmt das Wasser, das sich ausdehnt und Hohlräume sprengt. Nun kann kaltes Wasser injiziert und nach der Erwärmung wieder gefördert werden. Das Verfahren wird als **Hot-Dry-Rock** bezeichnet.

Geothermiekraftwerke

Bei dem Direktdampfnutzungs-System muss das Tiefenthalwasser wenig flüssig Dampf beinhalten und hohe Temperaturen (über 180°C und ca. 0,85 MPa) aufweisen. Aus dem Dampf werden die festen Partikel und die nicht kondensierbaren Gase entzogen. Anschließend wird der Dampf direkt die Turbine antreiben. (1)

Flash-Kraftwerke werden in Thermalwasserquellen eingesetzt, in denen höhere Anteile an flüssigförmigem Wasser im Wasserdampf (über 155-165°C und ca. 0,55 MPa) zu finden sind. Hier wird zuerst das unter Druck vorhandene Thermalwasser durch Expansion verdampft. Der Wasserdampf wird durch einen Separator und einen Tropfenabscheider vom Restwasser getrennt. Die Sole wird wieder in das Aquifer geführt und der Dampf zum Antreiben der Turbine geleitet. Der Dampf wird wie bei dem Direktdampfnutzungs-System kondensiert und wieder in die Erde verpresst. Es gibt auch den sogenannten Double-Flash-Prozess, der den Wirkungsgrad der Anlage geringfügig erhöht, indem die Expansion in zwei Stufen hintereinander geschaltet wird. (1)

Die o.g. Kraftwerksarten funktionieren nach dem Clausius-Rankine-Prozess, für den Temperaturen von über 150°C nötig sind. Für Temperaturbereiche ab 80°C wird durch den

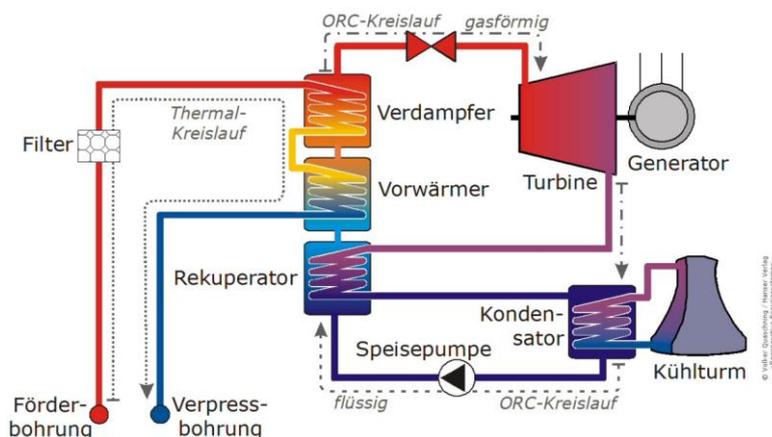


Abbildung 1: Prinzip von einem geothermischen ORC Kraftwerk (Quelle (2))

Organic Rankine Cycle (ORC-Prozesse, siehe Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.) die Stromerzeugung möglich. Da die Arbeitstemperatur zu niedrig ist, um durch die Verdichtung höhere Drücke zu erreichen, wird die Wärmequelle eingesetzt um ein Arbeitsmedium (das bereits mit Umgebungsdruck bei 30°C

gasförmig ist) in dem geschlossenen System zu verdichten. Das verdampfte Arbeitsmedium treibt die Turbine an und nach der Kühlung kann erneut wieder verdichtet und erwärmt werden. (2)

Eine Untergruppe des ORC-Prozesses ist der **Kalina-Prozess**. Dieser benutzt als Arbeitsmittel ein Zweistoffgemisch aus Wasser und Ammoniak. Nach dem Wärmetausch mit dem Thermalwasser entsteht eine flüssige- und eine gasförmige Phase. Das Gemisch wird in einem Separator abgetrennt. Der konzentrierte Dampf wird die Turbine antreiben und die verdünnte Restflüssigkeit wird dem Dampf aus dem Kondensator hinzugefügt. Nach dem Abkühlen, Verdichtung und Erwärmungsprozess, kann die Lösung im Verdampfer wiederverwendet werden.

Technisches Potenzial der Geothermie in den jeweiligen Ländern

Um das technische Potenzial für die ausgewählten Länder zu erfassen, wurden die Daten aus den unterschiedlichen Quellen in einer Tabelle zusammengestellt und ausgewertet. Nach Betrachtung aller für ein Land zu Verfügung stehenden Informationsquellen, wurde durch Vergleich der Glaubwürdigkeit der Quellenverfasser abgewogen, welche Quelle verwendet wurde. Die Quellen aus der Internetseite ‚reegle‘ wurden als nicht vertraulich eingestuft, da die Daten sehr von den anderen Quellen abwichen. Außerdem wurden die neueren Publikationen als wichtiger eingestuft. Die Daten aus Internetseiten von Ministerien waren, in der Regel, zusammen mit den Daten der dena-Länderprofile und der LFRE (3) am ähnlichsten, und deshalb wurden sie als vertrauenswürdig eingeschätzt.

In vielen Ländern hat die wissenschaftliche Erforschung dieser Potentiale noch nicht stattgefunden, oder die Erforschungen sind noch nicht so weit, dass man ein technisches Potenzial ausschließen kann. In anderen Ländern ist die Geothermie aufgrund vieler Ressourcen aus anderen wirtschaftlicheren Energiequellen, nicht attraktiv. Solche Länder werden in dieser Studie nicht weiter betrachtet. Da diese Studie einen Überblick verschaffen soll, um in bestimmten Ländern/Projekte zu investieren, ist es aus dieser Sicht angebracht, optimistische Schätzungen vorzunehmen.

4. Analysemethode

4.1. Bedarfspotenzial

Um das Bedarfspotenzial in den jeweiligen Ländern bis ca. 2020 untersuchen und klassifizieren zu können, wurden mehrere Faktoren betrachtet. Diese werden nach Bedeutsamkeit gewichtet:

- 1) Die Ziele des Landes. In dem Fall, dass ein Land Ziele für das Jahr 2020 verfolgt.
- 2) Die im Land aktuell geplante Kapazität. Der Bau einer Geothermieanlage zur Stromerzeugung dauert in der Regel länger als 5 Jahre, zwischen 7 und 10 Jahren,

wenn man die Erkundungsbohrungen miteinbezieht. Deshalb kann die aktuell geplante Kapazität als Bedarfspotential betrachtet werden.

- 3) In dem Fall, dass weder Ziele noch geplante Kapazität in einem Land zu ermitteln sind, wurden die Projekte herangezogen, die zurzeit am Laufen sind.
- 4) Das Stadium der Erkundungsbohrungen im Land. In manchen Ländern ist kein Bedarfspotential bis 2020 zu ermitteln, da Erkundungen und Projekte im Verzug sind und höchst wahrscheinlich bis zu diesem Jahr keine funktionierende Anlage ans Netz gehen kann.

Die CO₂ Emissionen die durch den Bau neuer Anlagen vermieden werden könnten, werden auch betrachtet. Die vermiedenen Emissionen werden mithilfe dieser Gleichung berechnet: (1)

Indem:
VE: Vermiedene Emissionen (Tsd. tCO₂/a)
: Stromerzeugung (GWh/a)
Combined margin emission factor (tCO₂/MWh)

Der *combined margin factor* (CMF) ist für jedes Land spezifisch. Der CM Faktor verdeutlicht, wie viele Tonnen CO₂ per erzeugte MWh im Land ausgestoßen werden. Basierend auf Richtlinien (4) für CDM Projekte (*Clean Development Mechanism*) der UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*), wird der CM Faktor aus einem Mittelwert aus der *Built Margin*(BM) und der *Operating Margin*(OM) ermittelt. Der CM Faktor wird aus der Gleichung berechnet: (2)

indem w_x die Gewichtung der *operating* oder der *built margin* darstellt. Die Summe beider Gewichtungen muss immer gleich 1 bleiben.

Für diese Studie wurden die CM Faktoren für jedes Land aus der Datenbank der IGES (*Institute for Global Environmental Strategies*) (5) übernommen.

Die Stromerzeugung wird aus der Gleichung berechnet: — (3)

Indem:
P: Kapazität (MW)
: Volllaststunden (h)

Die Volllaststunden werden mit Hilfe der Gleichung (2), aus der installierten Kapazität eines Landes und der Stromerzeugung berechnet. Die Daten sollen für das jeweilige Jahr aus der gleichen Quelle stammen. Für den Fall, dass ein Land noch keine installierte Kapazität besitzt, werden 6.000² Stunden als Volllaststunden eingesetzt.

² 6.000 Stunden ist eine nicht sehr optimistische Schätzung. Eine Anlage kann bis zu ca. 8.500 h jährlich im Betrieb sein.

4.2. Investitionsklima

Ein weiterer Parameter um das Potential eines Landes zu schätzen ist die Untersuchung des Investitionsklimas. Damit werden u.a. die politische Stabilität, sowie die rechtlichen und institutionellen Rahmenbedingungen abgewogen. Da die verschiedenen Rating-Indizes nicht alle für diese Studie erforderlichen Parameter enthalten, oder Faktoren berücksichtigen, die für die Ermittlung des Investitionsklimas nur von geringer Bedeutung sind, wurden im Rahmen dieser Studie mehrere Indizes zu Rate gezogen.

Die normierten Daten wurden in einem Wertbereich zwischen 0 und 100 klassifiziert, wobei 100 das optimale Investitionsklima darstellt. Aus den vereinheitlichten Werten wurde ein Durchschnitt berechnet.

4.3. Rechtliche Rahmenbedingungen

Eine der Barrieren bei dem Ausbau von erneuerbaren Energien in den jeweiligen Ländern ist der Mangel an Förderungsmechanismen für die Geothermie zur Stromerzeugung. Ein Land, in dem gute Bedingungen für den Bau neuer Geothermiekraftwerke vorhanden sind, soll: In den nächsten Punkten wird länderweise bewertet, inwieweit förderliche Bedingungen für den Einsatz der Geothermie vorliegen.

Netzzugang

Geothermische Kraftwerke sind an ganz bestimmten Orten angebunden. Aus diesem Grund ist der Netzausbau dieser meist abgelegenen Orte ein wichtiger Faktor zur Bewertung von rechtlichen Rahmenbedingungen. Ein gut entwickeltes Verteilungsnetz und eine für alle möglichen Marktakteure offene und unabhängige Netzorganisation besitzen.

Energiemarkt

Über einen Energiemarkt verfügen, der vorzugsweise bereits Erfahrungen mit der Technik aufweist. Wünschenswert wäre die Vertretung von unabhängigen Stromproduzenten (IPP) und von einem Spotmarkt.

Ein weiterer Punkt in den Rahmenbedingungen der Geothermie eines Landes ist die Entwicklung und Öffnung des Energiemarktes. Ein gesunder, liberalisierter Markt, ohne Wettbewerbsbeschränkungen, wird durch das Auftreten von unabhängigen Stromproduzenten und Energiebörsen charakterisiert. Ein großer Vorteil besteht wenn die Technologie bereits im jeweiligen Land eingeführt worden ist.

Förderungsmaßnahmen

EE-Gesetze, so wie Förderprogramme, Einspeisevergütung, Steueranreize bereits verabschiedet haben.

Letztendlich werden die Förderungsmaßnahmen der erneuerbaren Energien, beziehungsweise Geothermie, auf die Geothermie gezielt, bewertet. Zur dieser Beurteilung werden nicht die landesspezifischen Fördergesetze herangezogen, da (bis auf Mexiko) alle Länder

Fördermaßnahmen für den Bau geothermischer Anlagen ergreifen. Stattdessen wird bewertet, inwieweit in jedem Land die Umsetzung dieser Förderungsmaßnahmen zweckmäßig ist.

Dafür werden vier Punkte untersucht und gleichbedeutend (25 Punkte) bewertet: vorhandene installierte Kapazität; Geplanter Bau von Geothermieanlagen; vergangene Ziele; und zukünftige Ziele.

5. Diskussion. Länderranking

Zuletzt wird aus den Bewertungen des Investitionsklimas, der rechtlichen Rahmenbedingungen (Netzzugang, Energiemarkt und Förderungsmaßnahmen), der Potenziale (technisches und Nachfragepotenzial) und den möglichen vermiedenen Emissionen ein Investitionsindex zusammengestellt. Die Bewertung wird zwischen 0 und 100 Punkte benotet. Aus der Investitionsindex wird ein Länderindex gewichtet: mit über 80 Punkten wird die Note 1, zwischen 60 und 80 Punkten die Note 2, zwischen 40 und 60 Punkten die Note 3, zwischen 20 und 40 Punkten die Note 4 und unter 20 Punkte die Note 5 vergeben.

Aus der Gewichtung lässt sich erkennen, dass kein Land die beste Note erhalten hat. Das ist nicht verwunderlich, da diese Studie sich mit Entwicklungs-/ Schwellenländer befasst. Die ersten drei Länder haben eine gute Note bekommen. Da sie sowohl sehr gute Vorkommen an geothermischen Quellen, als auch gute Rahmenbedingungen aufweisen.

Im Mittelfeld des Rankings befinden sich drei weitere Länder die auch größere Geothermievorkommen aufweisen, aber deren Rahmenbedingungen noch einige Probleme zeigen. Trotz der verbesserten Lage, stellen Korruption und bürokratische Verzögerungen weiterhin Hindernisse für Investoren dar.

Mit Ausreichend wurden zwei weitere Länder bewertet. Die rechtliche Lage beider Länder hat noch große Mängel, die wahrscheinlich nur mit internationaler Hilfe zu beheben sind. Vor allem eine bessere Organisation in der Verwaltungsebene, sowie eine transparente und wirtschaftlichere amtliche Struktur muss noch geschaffen werden, um Interesse privater Unternehmen an Projektfinanzierungen zu erwecken.

Letztendlich schneidet ein Land mit Note 5 ab. Abgesehen von einem freieren, unabhängigen Energiesektor, muss das Land die gesetzlichen Rahmenbedingungen für den Ausbau von erneuerbaren Energien transparenter und zugänglicher machen, damit es für ausländische Investoren an Attraktivität gewinnt.

6. Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieser Untersuchung haben gezeigt, dass in jedem Land noch mehr oder weniger umfangreiche Maßnahmen ergriffen werden sollten, um die Finanzierung von Geothermieprojekten im Land interessanter zu machen. Nach einer ersten Aussortierung der

Ländern, in denen heutzutage die Geothermie zur Stromerzeugung, verglichen mit anderen erneuerbaren Energiequellen, nicht wirtschaftlich wäre, wurden die Rahmenbedingungen der restlichen 9 Ländern analysiert und bewertet. Aus dem Ranking lassen sich 3 Ländergruppen erkennen: eine erste Gruppe von Ländern, mit besseren Noten; eine zweite Gruppe mit durchschnittlichen Noten und eine dritte Gruppe mit schlechten bis sehr schlechten Noten.

Aus dieser Untersuchung geht hervor, dass die Finanzierung von Geothermieprojekten in der ersten Ländergruppe mit sicheren Investitionsklima durchführbar ist.

Die Länder in der zweiten Gruppe verfügen auch über einen liberalisierten Energiemarkt, und außerdem werden Fördermaßnahmen ergriffen. Diese Umstände würden auch diese Länder zu möglichen Ziele ausländischer Investitionen werden lassen. Aber die noch junge Liberalisierung des Energiesektors, zusammen mit der teilweise korrupten Verwaltungsebene dieser Länder bieten ausländischen Investoren keine umfassende Sicherheit über die getätigten Investitionen.

Letztendlich würden sich vor allem die Länder der dritten Gruppe als Zielländer für Entwicklungsprogramme von internationalen Förderorganisationen anbieten, da der Energiemarkt und das Investitionsklima, die von korrupten Strukturen geprägt sind, in diesen Ländern keine Sicherheit zur ausländischen Investitionen bieten können. Dank Hilfe von großen Fördermechanismen aus dem Ausland, und Bestrebungen aller Gesellschaftschichten, könnten in diesen Entwicklungsländern die Lebensverhältnisse ihrer Bewohner verbessert werden.