



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

31. Oktober 2008

Energieforschungsprogramm Geothermie für die Jahre 2008–2012

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Biomasse
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Autoren:

Gunter Siddiqi
Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
gunter.siddiqi@bfe.admin.ch

Rudolf Minder
Minder Energy Consulting
8917 Oberlunkhofen
rudolf.minder@bluewin.ch

1. Einleitung

Unter den neuen erneuerbaren Energien hat die geothermische Energie einen besonderen Stellenwert, da sie unabhängig von der Jahres- und Tageszeit zur Verfügung steht. Die Geothermie erhält zunehmend Bedeutung im Rahmen der Strategie für einen diversifizierten, erneuerbaren Energiemix.

Bei der oberflächennahen Geothermie, insbesondere den Erdwärmesonden kann in den letzten Jahren ein starkes Marktwachstum festgestellt werden, stimuliert durch die hohen Preise fossiler Brennstoffe und das Bedürfnis der Kunden für saubere Energie. Der Forschungsbedarf in diesem Bereich konzentriert sich auf komplexe Systeme und spezielle Untersuchungen, beispielsweise an kombinierten Systemen zur Heizung und Kühlung. Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht auch bei der Bohrtechnik, wo Verfahren zur kostengünstigen und raschen Erstellung von Bohrlöchern beschränkter Tiefe die Wirtschaftlichkeit der Anlagen verbessern können.

Bei den hydrothermalen Quellen sind die möglichen Standortgebiete gegenüber den Erdwärmesonden wesentlich eingeschränkter. Hier besteht einerseits ein Bedürfnis nach vertieften Untersuchungen in Gebieten mit bekannten oder vermuteten Aquiferen und andererseits ein grosses Interesse an der Realisierung von Pilotanlagen mit begleitenden Forschungsarbeiten. Die Nutzung relativ tiefer Aquifere mit Wassertemperaturen von 100 - 130°C stellt mittelfristig die einzige Möglichkeit dar, neben der direkten Wärmenutzung auch Elektrizität aus geothermischen Ressourcen in der Schweiz zu gewinnen.

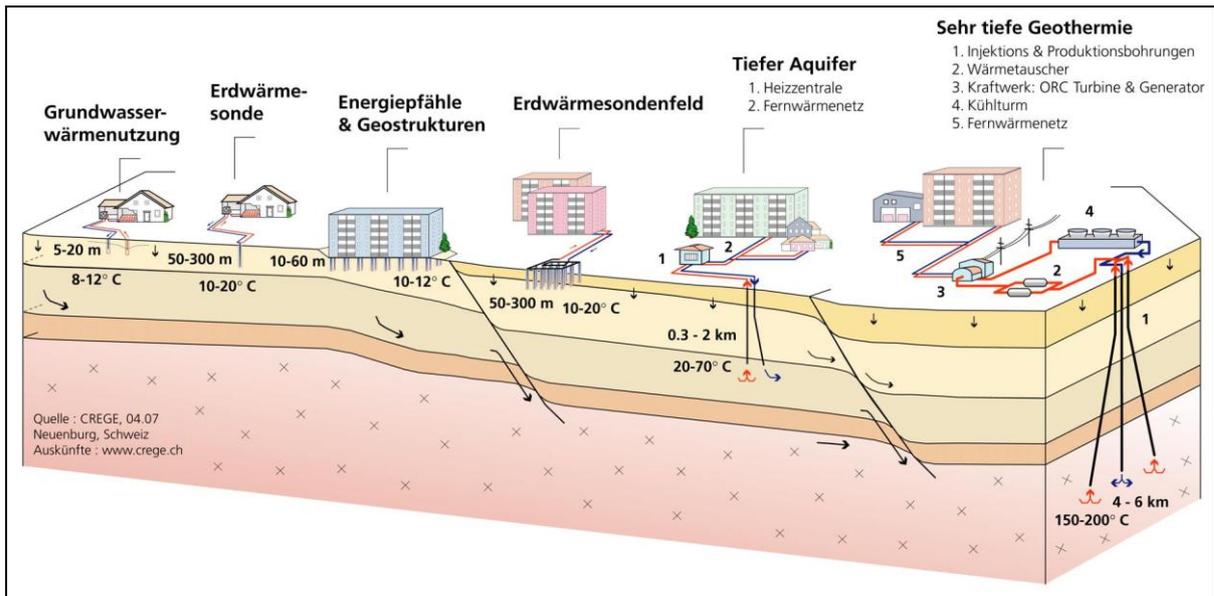
Langfristig liegt das grösste Potential zur Stromerzeugung in der Schweiz bei der tiefen Geothermie, den Enhanced Geothermal Systems (EGS). Sowohl die Erfahrungen mit dem derzeit sistierten Pilotprojekt Deep Heat Mining in Basel als auch mit ausländischen Projekten dieser Art zeigen, dass bei diesem Verfahren auch längerfristig noch ein grosser Forschungsbedarf besteht, welcher sowohl anwendungsorientierte („learning-by-doing“) als auch Grundlagenforschung umfasst. Die heutigen Kenntnisse der bei der Erzeugung eines mehrere 1000 m tief liegenden Reservoirs ablaufenden Prozesse sind für die Realisierung von Pilotanlagen noch ungenügend. Ein für die dichtbesiedelte Schweiz besonders wichtiger Aspekt ist die Frage der durch die Reservoirstimulation induzierten Seismizität. Im Gebiet der tiefen Geothermie ist – wegen des grossen Aufwands - die internationale Zusammenarbeit besonders wichtig und sinnvoll.

2. Geothermie – Ausgangslage

2.1 Übersicht

Der Begriff Geothermie umfasst in diesem Dokument die Gewinnung sowohl von Wärme als auch von Elektrizität aus im Erdboden gespeicherter thermischer Energie. Als Speichermedien werden dabei sowohl Gesteinsformationen als auch Wasser in flüssiger oder dampfförmiger Form betrachtet, der Wärmeaustausch kann dementsprechend sowohl durch Wärmeleitung, durch Konvektion oder durch Phasenänderung erfolgen.

Der Begriff Geothermie umfasst mehrere Ressourcentypen, welche sich bezüglich Tiefenbereich, Temperaturniveau, Nutzung und Entwicklungsstand stark unterscheiden. Die wichtigsten Nutzungsmöglichkeiten sind in Figur 1 dargestellt.



Figur 1: Geothermie-Nutzungsmöglichkeiten des Untergrundes in der Schweiz in unterschiedlichen Tiefenbereichen.

2.2 Das Potenzial der geothermischen Ressourcen

Das theoretische Potenzial ergibt sich aus dem Wärmegehalt der Erde, welche – für menschliche Verhältnisse unerschöpflich – nur eine sehr begrenzte Aussagekraft hat. Sinnvoller ist die Bestimmung des technischen Potenzials. Das technische Potenzial ist kleiner als das theoretische Potenzial, da zum Beispiel nur über einen bestimmten Zeitraum die Ressource genutzt wird. Schliesslich kann nur das technische Potenzial genutzt werden, welches zum einen ein technisches Nachfragepotenzial und ein wirtschaftliches Potenzial hat. Das wirtschaftliche Potenzial ist stark durch konkurrierende Energien, die geothermischen Gesteungskosten und sozioökonomische und politische Faktoren bestimmt.

Um die Bedeutung der Geothermie für die Schweiz darzustellen, soll nur überschlagsmässig auf das theoretische Potenzial eingegangen werden. Eine umfassende Studie zum Geothermie-Potenzial der Nord- und Westschweiz mit einer Untergliederung nach Reservoirtypen und Regionen ist seit 2005 in Bearbeitung [4]. In Tiefen von 200 bis 5'000 m der Nord- und Westschweiz lagern theoretisch 36 EJ (rund 10'000 TWh) sich erneuernde geothermische Energieressourcen. Eine technische und wirtschaftliche Erschliessung eines Bruchteils eines Prozent der theoretisch nutzbaren Ressourcen würde die Schweiz einen Schritt näher an die Erfüllung der Klimapolitikziele bringen.

Geothermische Ressourcen werden gemäss der genannten Potenzialstudie in 5 Klassen aufgeteilt:

1. Oberflächennahe Ressourcen bis zu 200 m Tiefe (genutzt zum Beispiel für den Grossteil der Erdwärmesonden)
2. Niedrig-Temperatur und hydrothermale Ressourcen ab Tiefen von 200m bis zu einer Temperatur von 100°C. Diese Ressourcen können zudem noch stimuliert werden können, um die Permeabilität zu erhöhen.
3. Hydrothermale Ressourcen, erschliessbar mit bestehender Technologie mit einer Temperatur von grösser als 100°C und einer Tiefe bis zu 5 km.
4. Hydrothermale Ressourcen, die mittelfristig erschliessbar sind, mit Temperaturen ab 80°C und in Tiefen bis zu 7 km. Diese Ressourcen können ebenfalls stimuliert werden, um die Permeabilität zu erhöhen.
5. Langfristig erschliessbare Ressourcen, zum Beispiel in Tiefen von bis zu 10 km und mit sehr geringer Permeabilität.

Es gibt in der Schweiz Daten aus rund 100 Bohrungen, welche das Potenzial der Ressourcenklassen 2 und 3 abschätzen lassen. In erster Linie konzentrieren sich die geothermischen Ressourcen auf folgende hydrologische Schichten:

- Obere Meeresmolasse (Tertiär)
- Oberer Malm
- Dogger
- Oberer Muschelkalk
- Top Kristallin/Permokarbondrog

In der Schweiz wird bis heute kein Strom aus der Geothermie gewonnen. Im Zuge der Einführung der kostendeckenden Einspeisevergütung¹, die in der Stromversorgungsverordnung vom 14. März 2008 verankert wurde, wurden Anschlussbedingungen für Geothermieanlagen und die Risikoabsicherung für Geothermieanlagen festgesetzt. Die Rahmenbedingungen - zusammen mit der Markteinführung und Geothermieforschung - sollen Anreize schaffen, die Nachfrage an Strom aus der Geothermie zu gewährleisten.

Es mangelt an der Durchführbarkeit solcher Projekte aus verschiedensterlei Gründen; den gut etablierten Stromerzeugungsunternehmen fehlen die Kernkompetenzen und es gibt bis anhin keine starke geothermische Industrie. Des Weiteren befinden sich die Ressourcen im „green field“ Zustand, weil der Untergrund kaum erschlossen ist. Es bedarf daher noch erheblichen Forschungsbedarf bezüglich des Auffindens thermischer Untergrundanomalien produktiver Heisswasser-Aquifere, der Erschliessung von geothermischen Ressourcen, der Produktion von Heisswasser und Dampf, der Energiewandlung in mechanische und elektrische Energie, dem Betrieb geothermischer Stromanlagen und der Entsorgung der produzierten Fluide.

2.3 Oberflächennahe Geothermie

Die oberflächennahe Geothermie umfasst Einrichtungen zur Wärmegewinnung aus Tiefen bis etwa 200m. Damit können – mit Ausnahme von Thermalquellen – nur Temperaturen bis zu etwa 20°C erzielt werden, deren Nutzung den Einsatz von Wärmepumpen voraussetzt. Die mit grossem Abstand am häufigsten eingesetzte Technik ist dabei die **Erdwärmesonde (EWS)**, ein in einem Bohrloch installierter, meist vertikaler Wärmetauscher (engl. borehole heat exchanger).

Die Technik der EWS ist heute ausgereift und die Systeme können sich am Markt sehr erfolgreich behaupten. Die durch die Ölpreisentwicklung stimulierte Nachfrage förderte den Markteintritt neuer Bohr- und Haustechnik-Unternehmen und führte auch zu Preisreduktionen. Damit ist die geothermische Wärmeproduktion in der Schweiz eine Erfolgsgeschichte – ungefähr 1.2 TWh Wärme werden pro Jahr erzeugt. Gemäss den statistischen Erhebungen der Fördergemeinschaft Wärmepumpe Schweiz (FWS) [3] wurden im Jahr 2007 mehr als 1'400 km Erdwärmesonden abgeteuft, wovon etwa ein Drittel als Ersatz für bestehende Ölheizungen. Jährliche Wachstumsraten über die letzten 7 Jahre waren im Schnitt 9.8%. Damit ist die Schweiz relativ zur Bodenfläche einer der führenden Nutzern der geothermischen Wärmeproduktion [1], [2].

Der Erfolg der EWS zeigt, dass sich die in den vergangenen Jahren unternommenen Forschungsanstrengungen gelohnt haben. Aus der heute starken Marktstellung der EWS zum Heizen von kleinen und mittleren Gebäuden ergibt sich aber auch, dass die Forschungsbedürfnisse dieser Technik zu einem grossen Teil abgedeckt sind. Anreize zu Verbesserungen und Kostensenkungen sind durch die Konkurrenzsituation gegeben.

Die grosse Nachfrage nach Erdwärmesondenanlagen und der Kostendruck birgt jedoch die Gefahr von mangelhafter Planung und Ausführung der Anlagen. Es müssen QS-Instrumente

¹ <http://www.bfe.admin.ch/themen/00612/02073/index.html?lang=de>

geschaffen und erprobt werden. Im Rahmen der EnergieSchweiz Aus- und Weiterbildungsprogramme werden diese Instrumente verbreitet und deren Anwendung gelehrt.

Trotz der vorhandenen Marktreife besteht im Bereich der EWS durchaus noch technisches und wirtschaftliches Verbesserungspotential. Mit steigender Stromknappheit und entsprechend steigenden Kosten ist die Verbesserung der Effizienz von EWS-Anlagen ein nach wie vor aktuelles Thema. Dabei ist jedoch eine umfassende Betrachtung notwendig, welche neben der eigentlichen Geothermie auch die Nutzung, d.h. Gebäude, Haustechnik und Betrieb umfasst.

Neben den EWS werden im Bereich der oberflächennahen Geothermie in wesentlich geringerem Ausmass auch andere Konzepte realisiert, insbesondere **Erdwärmekörbe** für Kleinanlagen oder **Energiepfähle bzw. Geostrukturen** bei Grossbauten. Bei letzteren werden ebenfalls **EWS-Felder** eingesetzt, wobei meist eine kombinierte Nutzung zur Wärme- und Kältengewinnung angestrebt wird.

Bei grossen und komplexen Anlagen, insbesondere für kombiniertes Heizen und Kühlen ist bisher noch wenig Erfahrung vorhanden. Die Resultate der ersten Anlagen zeigen, dass in diesen Bereichen noch erheblicher Forschungsbedarf besteht. Diese Forschungsaktivitäten betreffen in erster Linie die Entwicklung von Methoden zur Beurteilung von Anlagen, Messkampagnen zum langfristigen Verhalten und Untersuchung zur Steigerung der Effizienz und Wirtschaftlichkeit.

Zur oberflächennahen Geothermie gehört auch die energetische Nutzung von Grundwasser sowie von Tunnelwasser. Bei der Grundwassernutzung beschränken die Gewässerschutzauflagen häufig die Entwicklung dieser Nutzungsart, die auch in den vergangenen Jahren nur geringe Zuwachsraten aufwies. In diesem Bereich kann die Entwicklung und Erprobung von verbesserten Planungswerkzeugen mithelfen, die Interessensabwägung zwischen Gewässerschutz und energetischer Nutzung zu objektivieren.

Mit den hydrothermalen Quellen verwandt sind die Tunnelwässer, welche meist im Bereich von 10 bis 30°C liegen. Sie können mit Wärmepumpenanlagen oder direkt für Landwirtschafts- oder Aquakultur-Zwecke genutzt werden.

2.4 Tiefe Aquifere

Die hydrothermalen Quellen sind im Gegensatz zu den Erdwärmesonden bis anhin nur in speziellen Gebieten verfügbar, vorwiegend dort, wo thermale Wasser zu Tage treten. Je nach Temperatur des Wassers kann die Wärme direkt zu Heizzwecken genutzt werden, bei sehr günstigen Verhältnissen – d.h. Temperaturen ab etwa 80-100°C und Ergiebigkeit von 20 l/s - ist auch eine Stromproduktion möglich.

Die bestehenden Thermalquellen weisen Temperaturen von 20 – 68°C auf. Die Nutzung dieser Quellen erfolgt bis anhin vorwiegend durch Thermalbäder, nur eine Bohrung welche direkte Nutzung von Thermalwasser zu Heizzwecken erlaubt, existiert (Riehen, BS).

Wegen der geringen Zahl bisher realisierter hydrothermalen Projekte und des bescheidenen Kenntnisstands besteht für Forschung und Entwicklung ein Bedarf. Dies betrifft insbesondere die Entwicklung von Methoden zur Verbesserung der Prognosesicherheit für Bohrungen. Infolge der geologischen Komplexität und Kleinräumigkeit in der Schweiz ist das Bohren nach Thermalwasser mit grossen Fündigkeitsrisiken behaftet, selbst in Regionen mit bekannt hohem Potential. Es bedarf deshalb noch grosser Forschungsanstrengungen im Bereich der Prospektionsmethoden sowie auch für die Entwicklung von ersten Pilotprojekten zur Stromerzeugung aus hydrothermalen Ressourcen.

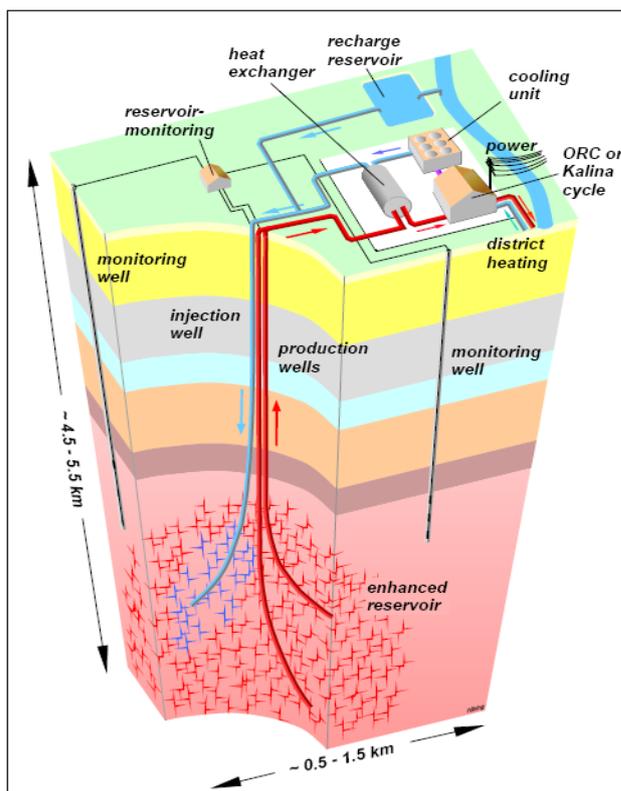
2.5 Enhanced Geothermal Systems (EGS)

Mit Enhanced Geothermal Systems (EGS, früher oft „Hot Dry/Wet Rock“ genannt) wird die Technik bezeichnet, welche es erlaubt auch in Gebieten ohne vulkanische Aktivitäten Wärme hoher Temperatur aus der Erdkruste zu gewinnen. EGS-Anlagen haben in der Schweiz ein

grosses Potenzial, da in grossen Teilen des Landes von der Geologie her der Bau solcher Kraftwerke denkbar wäre [7]. Das PSI schätzt das nutzbare Potential in Jahr 2035 auf 1 – 2 TWh/a [4], Axpo rechnet mit einem langfristig realisierbaren Stromerzeugungspotential von 17.5 TWh/a, was etwa 28% des Landesverbrauchs 2007 entspricht [5]. Weltweit ist das Potenzial riesig, was es erlauben würde, Schweizer Know-how und Technologie zu exportieren. Ansätze dazu sind erkennbar; Schweizer Geothermiefirmen sind aktiv im Ausland tätig unter anderem im Bereich der EGS Technologie im momentanen boomenden australischen Geothermie-Sektor. Auf Grund des grossen Potentials wird bereits seit langem in diesem Bereich geforscht, was schliesslich zu einem ersten Pilotprojekt in Basel-Stadt geführt hat.

Obwohl das „Deep heat Mining“-Projekt in Basel infolge der bei der Stimulation des Reservoirs aufgetretenen Erdstösse vorläufig sistiert ist, bietet es ein weltweit einzigartiges Potential zur Gewinnung von wichtigen Erkenntnissen. Verschiedene Forschungsaktivitäten befassen sich denn auch mit der Auswertung der umfangreichen Messreihen, unter anderem auch das neue multidisziplinäre Vorhaben „Geotherm“ der ETH.

Die Erfahrungen mit dem Projekt Basel [8], aber auch mit dem europäischen Forschungsprojekt in Soultz (F) [9] bei dem Schweizer Forscher massgeblich mitwirken zeigen, dass die Entwicklung der EGS-Technologie noch am Anfang steht. Die Erschliessung von geothermischen Ressourcen zur Stromerzeugung in mindestens 5 km Tiefe ist eine grosse Herausforderung für ein breites Spektrum an Disziplinen, wofür ein grosser Forschungsbedarf existiert [10, 11].



Figur 2:
Konzept des Projekts
Deep Heat Mining, Basel
(Bild M. Häring)

3. Bisherige Nutzung der geothermischen Energie

Jährlich wird im Auftrag des Bundesamtes für Energie von GEOTHERMIE.CH eine Statistik zur geothermischen Energieproduktion in der Schweiz erstellt [12]. Sie ist Bestandteil der Statistik der Erneuerbaren Energien des BFE. Grundlage für die statistischen Erhebungen sind das Berechnungsschema für die Elektro-Wärmepumpenstatistik des BFE sowie Betriebsdaten von Anlagebetreibern.

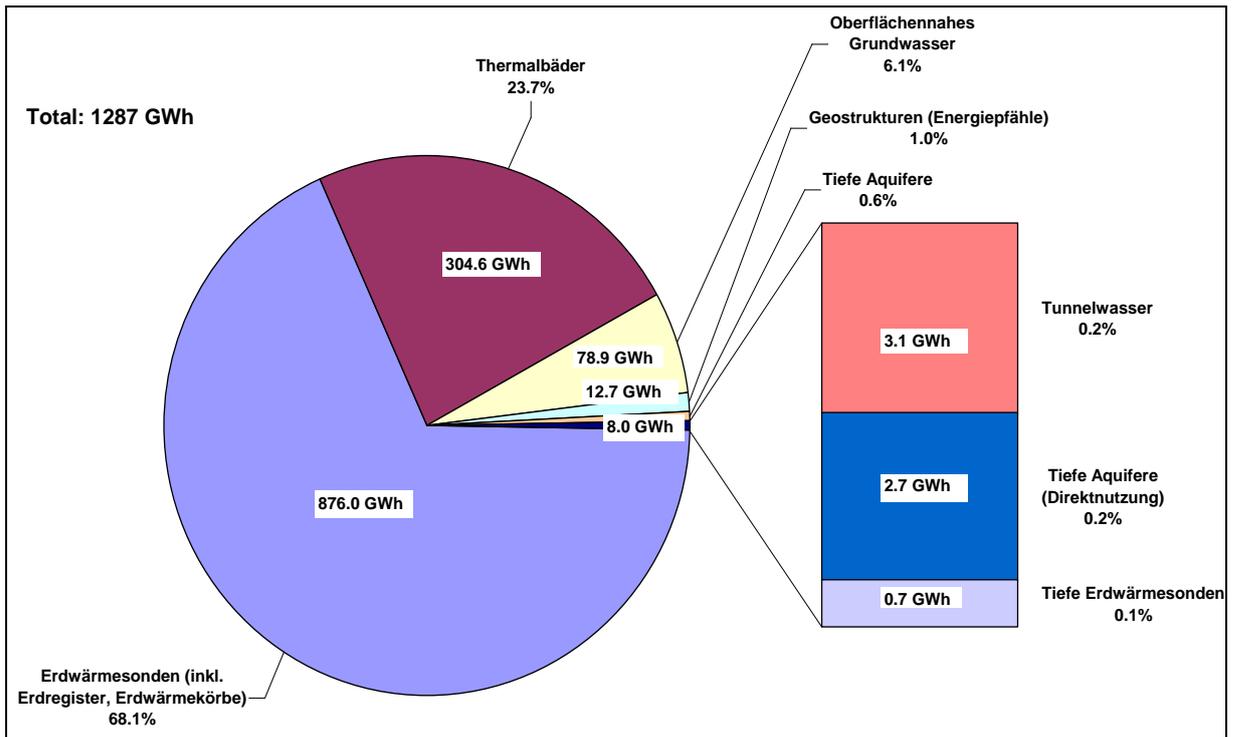
Die aus geothermischen Ressourcen erzeugte Heizenergie betrug 2007 über 1.7 TWh, mit einem Anteil an erneuerbarer geothermischer Energie von rund 1.3 TWh. Im Jahr 2007 stieg die geothermische Energieproduktion um fast 10 % gegenüber dem Vorjahr an.

Die geothermische Heizenergie stammt hauptsächlich aus Wärmepumpensystemen zu Heizzwecken (1.4 TWh). Davon entfällt 89 % auf Erdwärmesondensysteme. Der Rest teilt sich auf in die Nutzung von oberflächennahem Grundwasser (~8 %), auf Tiefe Erdwärmesonden, Geostrukturen und Tunnelwasser. Nicht wärmepumpenabhängige Geothermie-Nutzungen sind mehrheitlich Thermalbad-Anwendungen (>300 GWh). Ihr Beitrag ist seit einigen Jahren ungefähr konstant. Ausserdem produziert die Anlage Riehen (Tiefen-Aquifer) teilweise ohne Wärmepumpe (2.7 GWh).

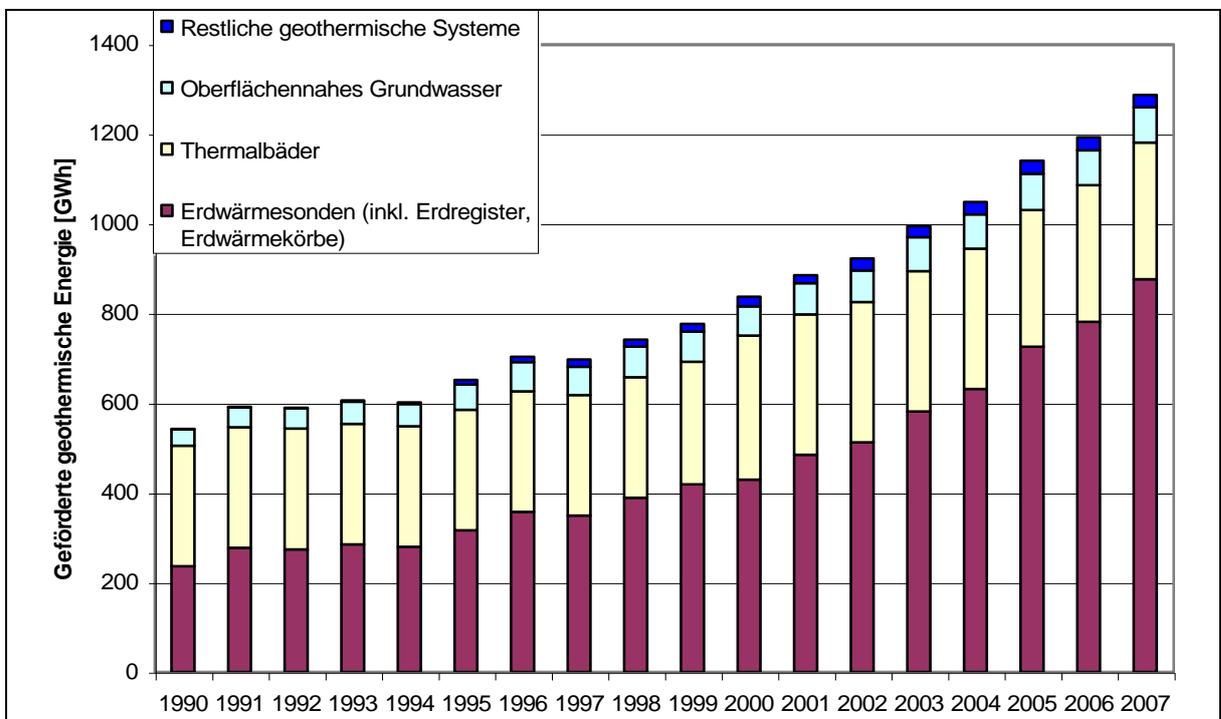
Die folgenden aus [12] entnommenen Tabellen und Grafiken geben eine Zusammenfassung des aktuellen Standes der Geothermie-Nutzung in der Schweiz.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2007 (%)
Erdwärmesonden (inkl. Erdregister, Erdwärmekörbe)	428.7	484.5	512.4	581.3	631.2	725.5	781	876	68.1%
Geostrukturen (Energiepfähle)	5.1	6.1	8.8	9.2	10.1	11.3	12.3	12.7	1.0%
Tiefe Erdwärmesonden	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.05%
Oberflächennahes Grundwasser und Tunnelwasser	67.9	71.8	72.7	78.4	79.6	83.8	81	82	6.4%
Thermalbäder	321.1	312.7	312.7	312.7	312.7	304.6	304.6	304.6	23.7%
Tiefe Aquifere	13.8	9.1	15.3	12.1	13.9	14.1	13.3	10.7	0.8%
Total	837.2	884.8	922.6	994.4	1048.2	1140	1192.9	1286.7	100%

Tabelle 1: Geförderte geothermische Energie [GWh], aufgeschlüsselt nach geothermischen Systemen für die Jahre 2000 bis 2007. Bei Nicht-WP-Systemen entspricht die geothermische Energie der Heizenergie.



Figur 3: Anteile der geothermischen (erneuerbaren) Energie aller geothermischen Systeme im Jahr 2007.

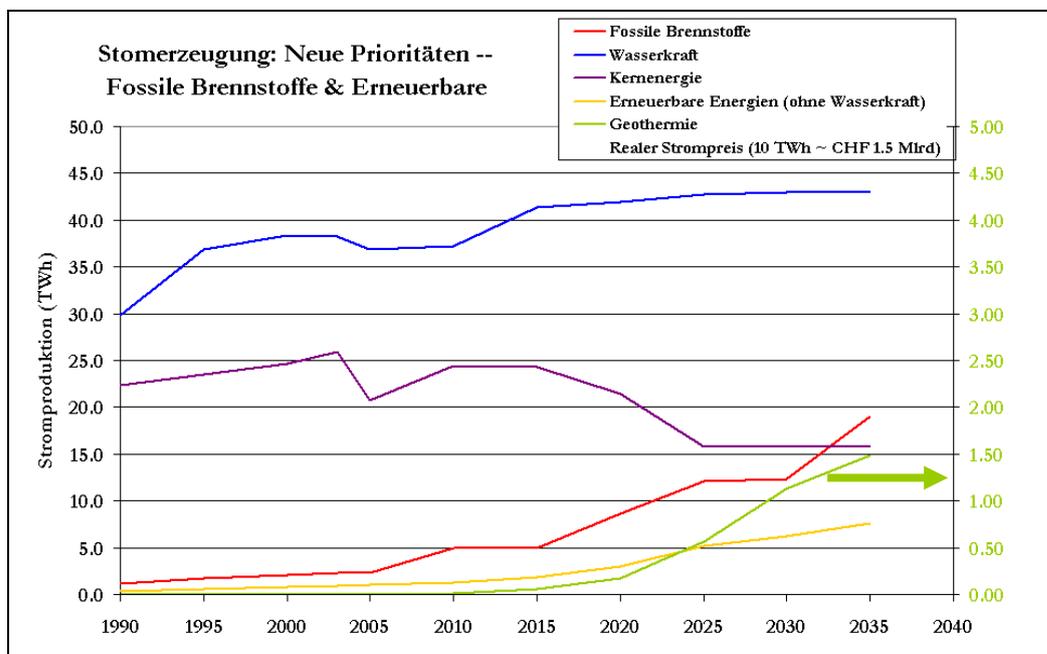


Figur 4: Geothermische (erneuerbare) Energie aller geothermischen Systeme seit 1990

4. Beitrag der geothermischen Energie für die zukünftige Energieversorgung und den Klimaschutz

Im Rahmen der Klimapolitik² und der Energieperspektiven³ hat sich die Schweiz ehrgeizige Ziele für die Nutzung erneuerbarer Energien gesteckt, um die nachhaltige Entwicklung zu gewährleisten und die internationalen Verpflichtungen zu erfüllen. Im erneuerbaren Energiemix wird je nach Szenario erwartet, dass die Nachfrage nach der Strom- und Wärmenutzung aus geothermischen Ressourcen stark zunehmen wird. Für den Fall, dass der politische und gesellschaftliche Konsens dazu führen soll die CO₂ - Emissionen im Jahr 2035 um 25-40% im Vergleich zum Jahr 2000 zu senken, soll die Geothermie gemäss den Szenarien mit Schwerpunkt erneuerbare Energien einen signifikanten Beitrag leisten. Die angestrebten Anteile liegen bei rund 1.5 TWh (26% CO₂ Reduktion) beziehungsweise 2.2 TWh (41% CO₂ Reduktion) falls der Energiemix noch zu Lasten der fossilen Brennstoffe und zu Gunsten der Erneuerbaren Energien verteilt werden soll.

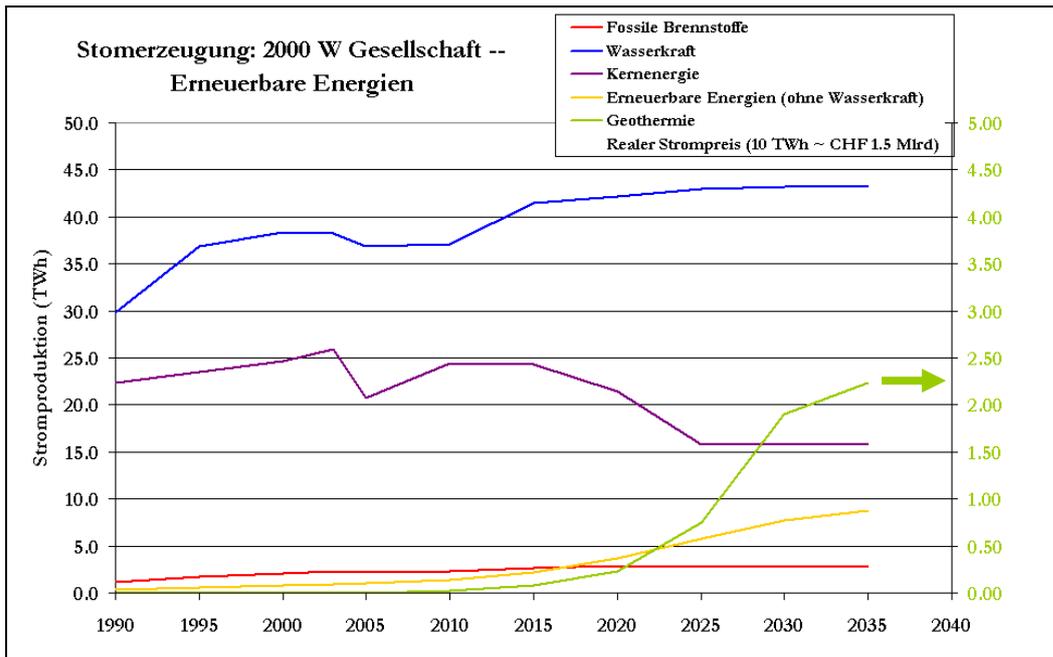
Die Rolle der geothermischen Energie in den beiden Szenarien „Neue Prioritäten“ bzw. „Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft“ ist in den folgenden Figuren 5 und 6 dargestellt.



Figur 5: Anteil der geothermischen Stromerzeugung im Szenarium „Neue Prioritäten“ der BFE-Energieperspektiven. Die rechte Skala, eine Grössenordnung kleiner als die linke Skala, bezieht sich auf den Beitrag, den Geothermie-Strom zum nationalen Stromerzeugungsportfolio leisten kann. 1.5 TWh Stromproduktion pro Jahr würden den Bau von 50 Anlagen mit einer installierten Leistung von je 3-5 MW_e erfordern.

² <http://www.uvek.admin.ch/dokumentation/00655/00895/01380/index.html?lang=de>

³ <http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00538/index.html?lang=de>



Figur 6: Anteil der geothermischen Stromerzeugung im Szenarium „Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft“ der BFE-Energieperspektiven. Die rechte Skala, eine Grössenordnung kleiner als die linke Skala, bezieht sich auf den Beitrag, den Geothermie-Strom zum nationalen Stromerzeugungsportfolio leisten kann.

Die in den Energieperspektiven anvisierten substantiellen Beiträge setzen eine intensive Weiterentwicklung der geothermischen Technologien – insbesondere im Bereich EGS – voraus. Dies bedeutet, dass sowohl im Bereich Forschung und Entwicklung als auch im Bereich Pilot- und Demonstrationsanlagen intensive Anstrengungen notwendig sind.

Gefördert durch eine Bohr-Risikogarantie des Bundes, wurden in den Jahren 1987 bis 1998 12 Geothermische Tiefbohrungen in der Schweiz abgeteuft. Insgesamt gab es fünf Erfolge, einen Teilerfolg und sechs Misserfolge im Sinne der Risikogarantie – das heisst "trockene" Bohrungen oder zu geringe Wasserförderung. Eine Bohrung aus den sechs „Misserfolgen“ konnte dennoch einer geothermischen Nutzung zugeführt werden: die Bohrung in Weissbad (Appenzell) wurde als "tiefe" Erdwärmesonde ausgebaut. Man kann durchaus von einem grossen Erfolg der Bohr-Risikogarantie sprechen, betrug doch eine Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Bohrung mehr als 40%. Im Vergleich dazu beträgt die konventionelle Erfolgswahrscheinlichkeit in der Petroleumexploration nur etwa 15%.

Bis anhin gab es nur eine sehr begrenzte Forschungsförderung von Seiten des Bundes. Im Schnitt betragen die jährlichen Budgets etwa CHF 1-1.5 Mio. inklusive der Mittel für Pilot- und Demonstrationsprojekte.

Im Dezember 2006 wurde die Motion Theiler (Nationalrat G. Theiler, Luzern) eingereicht, nicht zuletzt im Blick auf das langfristig grosse Potenzial für Stromerzeugung aus der Geothermie in der Schweiz mit Hilfe von Enhanced/Engineered Geothermal Systems. Der Bundesrat wurde in den Sommer- und Herbstsessionen 2007 von den National- und Ständeräten aufgefordert, einen Gesamtkredit von CHF 40-60 Millionen über 4 Jahre bereitzustellen (Motion Theiler – 06.3835 vom Dezember 2006). Auch wurde der Forschungsbedarf in der Botschaft über die Förderung von Bildung, Forschung und Innovation in den Jahren 2008–2011 vom 24. Januar 2007 (Seite 1412) des Staatssekretariats für Bildung und Forschung des Eidgenössischen Departements des Innern erkannt. Diese Aufforderungen und Entscheide werden nun schrittweise über die BFE Ressortforschung und andere Quellen in die Realität umgesetzt.

5. Nationale Akteure

Die Schweizer Geothermie umfasst folgende nationale Akteure:

Forschungsinstitute:

- Centre d'Hydrogéologie (CHYN) und Institut de Géologie et d'Hydrogéologie (IGH), Univ. de Neuchâtel
- Centre de recherche en géothermie (CREGE), Neuchâtel
- Energy Center - EPFL, Lausanne,
- Institut de Géophysique, Université de Lausanne, Lausanne,
- Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud (heig-vd), Yverdon-les-Bains,
- Institut Systèmes Industriels (ISI, HES-SO Valais), Sion
- Istituto di Sostenibilità Applicata all'Ambiente Costruito (ISAAC, DACD, SUPSI), Canobbio
- ETH-Z, Institut für Geophysik,
- Schweizerischer Erdbebendienst
- Deep Heat Mining Association (DHMA) bestehend aus CREGE, Häring GeoProject, Polydynamics Engineering, ETHZ, Keith Evans Consulting, Geowatt AG

Projektgesellschaften:

- Geopower AG, Basel
- AGEPP, Lavey-les-bains
- GP Côte Lémanique
- PG Brig-Glis

Industrie:

- Bohrindustrie
- Geräte und Maschinen (Bohrgeräte, Bohrlocheinbauten, Instrumentierung...)
- Engineering/Consulting

Elektrizitätswirtschaft und lokale Versorgungsunternehmen

Verbände:

- geothermie.ch/SVG
- Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz FWS

Bund :

- Bundesamt für Energie BFE / EnergieSchweiz
- Bundesamt für Umwelt / BAFU (Sektion Hydrologie),
- ETH- Bereich : Competence Center Environment and Sustainability

Kantone:

- Universitäten, Fachhochschulen,
- Kantonale Energiefachstellen

Gemeinden:

- Industrielle Betriebe, Energiefachstellen

Forschungsfonds:

- SwisselectricResearch

5. Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit verfolgt das Ziel, die Schweizerische Geothermie-Forschung mit entsprechenden Aktivitäten zu vernetzen. Von besonderer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang:

- EU Rahmenprogramm FP7, Bereich Energie
- EGS Pilot Plant, Soultz-sous-Forêts
- Internationale Energie Agentur – Geothermal Implementing Agreement

Im **7. Forschungs-Rahmenprogramm der EU** ist die Förderung von Projekten aus dem EGS-Bereich vorgesehen, mit besonderer Erwähnung der Problematik der induzierten Seismizität.

EGS Pilot Plant, Soultz: Seit 1987 wird das Verfahren der Gewinnung von Energie aus heißen, trockenen Tiefengesteinen in elsässischen Soultz-sous-Forêts entwickelt. Der 50 Kilometer nördlich von Straßburg gelegene Standort befindet sich im Zentrum einer der größten Wärmeanomalien Mitteleuropas. Dort werden bereits in 5.000 Meter Tiefe Temperaturen von 200°C angetroffen. Die geologischen Bedingungen in Soultz sind exemplarisch auch für andere Standorte im Oberrheingraben. Ein internationales Team von Forschern, Ingenieuren und Energiefachleuten aus ganz Europa arbeitete länger als ein Jahr-zehnt an diesem wegweisenden Projekt.

Betrieben wird das Kraftwerk in Soultz durch Europäische Wirtschaftliche Interessenvereinigung "Wärmebergbau" (EWIV). Diese entstand 1996 als gemeinsames Unternehmen der Pfalzwerke in Landau und der Electricité de Strasbourg. Seither haben sich dem Projekt weitere europäische Firmen als aktive Mitglieder angeschlossen. Ziel der EWIV ist es, mit dem Projekt Erfahrungen über Management und Langzeitverhalten eines Wärmetauschers im tiefen Untergrund zu sammeln. Im Juni 2008 konnte in Soultz weltweit erstmals mit einem EGS-Kraftwerk Strom produziert werden. Die in Soultz installierte Anlage verfügt über eine installierte Leistung von 1,5 MW_e. Die Energiequelle der Anlage liegt in 4000 – 5000 m Tiefe in einem künstlich erzeugten Wärmeaustauscher.

Geothermal Implementing Agreement (GIA) der IEA [6]: Mit der Teilnahme im Geothermal Implementing Agreement (GIA) der IEA kann die Schweiz regel-mässigen Kontakt mit führenden Geothermie-Ländern pflegen, was den Weg zu sonst schwer zugänglichen Informationen öffnet. Zugleich lassen sich Schweizer F&E-Resultate international positionieren und durch die Kanäle der IEA verbreiten. Die Schweiz wird im Executive Committee durch das BFE und einem Vertreter aus dem Beratungsbereich vertreten. Derzeit sind folgende Arbeitsbereiche („Annexes“) aktiv:

- Annex I: Environmental Impacts of Geothermal Energy (mit Schweizer Teilnahme)
- Annex III: Enhanced Geothermal Systems (EGS) (mit Schweizer Teilnahme)
- Annex VII: Advanced Geothermal Drilling Techniques (ohne Schweizer Teilnahme)
- Annex VIII: Direct Use of Geothermal Energy (mit Schweizer Teilnahme)

6. Technische und wirtschaftliche Zielsetzungen

Markterfolg und Kostendruck bei den EWS bedingen Instrumente zur Qualitätssicherung. Bei komplexen EWS-Anlagen zum Heizen und Kühlen sind Verbesserungen der Effizienz und Wirtschaftlichkeit ein wichtiges Ziel.

Bei hydrothermalen Quellen soll eine Verbesserung der Datengrundlage zu einer Reduktion des Fündigkeitsrisikos führen. Neue Nutzungsprojekte sollen die Erfahrungen erweitern. Bei der Stromproduktion aus geothermischer Niedertemperatur-Wärme birgt die Umwandlungstechnologie ein grosses Optimierungspotenzial bezüglich Effizienz und Wirtschaftlichkeit.

Unter den vielen Herausforderungen der EGS-Technologie ist Reservoir-Engineering zentral. Dazu gehören Modellierung, Stimulation und Analyse der Mikroseismik. Dieses Know-How soll international koordiniert erarbeitet werden.

	2008	2025	2050
Bohrkosten für untiefe EWS [CHF/m]	70	50	35
Stromgestehungskosten EGS [Rp/kWh]	n.a.	15	<10
(Pilot)anlagen EGS und hydrothermal [-]	(1) im Bau [2] in Planung	15 [6]	100 [12]
Stromproduktion aus EGS und hydrothermal[GWh/a]	0	800	10'000
Status EGS Technologie	F+E, P+D-Anlagen	Markteinführung	Grossanlagen

Tabelle: Angestrebte Entwicklung der Geothermie

Schwerpunkte der Forschung 2008 bis 2011

Erdwärmesonden und Geostrukturen:

- Verfahren zur Beurteilung von Anlagen (z.B. response tests, Validierung von Modellen)
- Untersuchungen über langfristiges Verhalten von EWS, Betriebserfahrungen, Erfolgskontrollen
- Unterstützende Untersuchungen zur Verbesserung von Effizienz und Wirtschaftlichkeit von Anlagen

Hydrothermale Quellen und Tunnelwässer:

- Bestandesaufnahme und Analyse von verfügbaren Daten über Aquifere mit geothermischem Potential
- Evaluation möglicher Projektstandorte
- Optimierung von Niedertemperatur-Prozessen für die Stromerzeugung

- Untersuchen neuer Nutzungsmöglichkeiten von Tieftemperatur-Wärme (z.B. Tunnelwasser)
- Auswertung von Betriebserfahrungen

Enhanced/Engineered Geothermal Systems (EGS):

- Reservoir-Engineering: Stimulationsverfahren, Verbesserung des Massenflusses, Analyseverfahren (Mikroseismik), Reservoir-Modellierung
- Wissenschaftliche Auswertung von Messergebnissen des Pilotprojekts DHM Basel
- Systemtechnik: optimierte thermodynamische Prozesse, Kombi- und Hybridsysteme, innovative, effiziente Pumpverfahren
- Hochtemperatur-Messinstrumente
- Prozesse mit direkter Wärmenutzung
- Evaluation zukünftiger Anlagestandorte

7. 7. Mitteleinsatz für die Geothermie-Forschung und Pilot- und Demonstrationsprojekte

Öffentliche Hand (CHF Mio - Zahlen von 2004/2005)

BFE	ETH-Rat	SNF	KTI	SBF	EU	Div.	Kantone/ Gemeinden	Total
0.86	0.08	-	-	0.39	0	0.02	0.5	1.9

Ungefähre prozentuale Aufteilung der 2008 Mittel aus der Ressortforschung des BFE für die Hauptbereiche des Forschungsprogramm Geothermie (Gesamtmittel der öffentlichen Hand). Die Gesamtmittel für Forschung- und Entwicklung beliefen sich auf CHF 1.0 Mio und für Pilot und Demonstrationsprojekte im hydrothermalen Bereich CHF 0.2 Mio.

Erdwärmesonden und Tunnelwässer	Hydrothermale Quellen	Engineered/Enhanced Geothermal Systems	Administration, Projektbegleitung	Total
31%	35%	19%	15%	100% (CHF 1.2 Mio)

Mittelbedarf bis 2011

Das Potenzial der geothermischen Energie muss mit Hilfe von Pilotanlagen verifiziert werden. Für Vor- und Machbarkeitsstudien sowie für die wissenschaftliche Begleitung dieser Pilotanlagen sind die Forschungsmittel von heute rund 2 Mio Fr. pro Jahr beizubehalten und die Mittel für P+D-Projekte wieder auf 2 Mio. Franken jährlich auszubauen.

8. Forschungsschwerpunkte in den Jahren 2008-2011

8.1 Themen und Teilziele für den Bereich Erdwärmesonden, Geostrukturen und /Tunnelwässer

Unterbereich	Thema	Ziele 2011	Hauptakteure
Verfahren zur Beurteilung von Anlagen	Thermal response tests, Validierung von Modellen) Verfahren z. Qualitätskontrolle	Kostengünstige Testmethoden, Qualitätsverbesserungen	FH, Industrie, Verbände
Untersuchungen über langfristiges Verhalten von EWS, Betriebserfahrungen, Erfolgskontrollen	Langzeitmessungen, Statistische Erhebungen, Analyse von Schadenfällen	Verbesserte Planungswerkzeuge Qualitätsverbesserungen	FH, Industrie, Verbände
Verhalten von komplexen Anlagen (Sondenfelder, Geostrukturen)	Messkampagnen (Kurzzeit- und Langzeitmessungen) Untersuchungen an grossen Pilotanlagen	Verbesserte Planungswerkzeuge „success stories“	Grosse Bauherren, Kantone, Gemeinden FH, Industrie,
Unterstützende Untersuchungen zur Verbesserung von Effizienz und Wirtschaftlichkeit	Modellrechnungen, Untersuchungen an neuen Anlagen, Messungen an Pilotanlagen mit alternativen Konzepten Kombinierte Systeme mit andern Wärmequellen	Statistisch relevante Verbesserung der Energienutzung	FH, Univ., Industrie
Tunnelwässer	Untersuchen neuer Nutzungsmöglichkeiten von Tieftemperatur-Wärme (z.B. Tunnelwasser)	Pilotanlagen mit Erfolgsnachweis	Kantone, Gemeinden FH, Industrie

8.2 Themen und Teilziele für den Bereich Hydrothermale Quellen

Unterbereich	Thema	Ziele 2011	Hauptakteure
Exploration	Untiefe Bohrungen zur Bestimmung von Temperaturgradienten, physikalische Explorationsmethoden (Magnetotellurik, Seismik)	Aussagen über Eignung der Methode verfügbar Methodik an potenziellen Schweizer Standorten	Universitäten, FH, Projektgesellschaften, Service-Industrie
Evaluation möglicher Projektstandorte	Technische, kommerzielle, betriebswirtschaftliche, operative und politisch-gesellschaftliche Analysen zu Projektstandorten	Identifikation geeigneter Gebiete in verschiedenen Regionen der Schweiz	Projektgesellschaften, Service-Industrie
Projektentwicklung	Unterstützung von Machbarkeitsstudien und Vorabklärungen für konkrete Projekte	Mehrere Projekte in der „pipeline“, mindestens ein Projekt im Bau	Projektgesellschaften
Projektbau	Entwicklung der ‚how-to‘ Kompetenz der Projektgesellschaften	Schaffung eines Kommunikationskanal für ‚best practice‘ Sharing	Projektgesellschaften, Ausbildungsstätten (Unis, Master-Studiengänge)
Betrieb hydrothormaler Projekte	Reservoirbeobachtung, In- und Outflow von Produktions- und Injektionsbohrungen, Ablagerungen und Korrosion, Prozesse und deren Abläufe (ausser Turbinen)	Schaffen von Grundlagen für die Planung und Operation erster Pilotanlagen	Projektgesellschaften, Industrie und Anlagenbauer, Uni NE ETH-L, ETH-Z, FH
Nutzung und Optimierung von Niedertemperatur-Prozessen für die Stromerzeugung	Verbesserte thermodynamische Kreisläufe (ORC, Wasser-Ammoniak...) Thermoelektrizität und andere neuartige Konversionsmethoden	Schaffen von Grundlagen für die Planung erster Pilotanlagen	Projektgesellschaften, Industrie (Anlagenbauer) ETH-L, ETH-Z, FH

8.3 Themen und Teilziele für den Bereich Engineered/Enhanced Geothermal Systems

Unterbereich	Thema	Ziele 2011	Hauptakteure
Bohrtechnologie	Thermal Spallation Drilling Neue Bohrtechnologie (Game Changing)	Entscheidung ob Labor-Experimente eine Weiterentwicklung (Feld-Test) zulassen	ETHZ
Produktions- und Reservoir-Engineering	Stimulationsverfahren (hydraulisch, chemisch, thermisch), Verbesserung des Massenflusses, Analyseverfahren (Mikroseismik), Tracer-Tests und andere Monitoring-Techniken (zum Beispiel, passive geophysikalische Methoden, Verformungsmessungen)	Physikalisches Verständnis der Verbesserung der Bohrloch Inflow-Performance, und der Permeabilitätssteigerung des Reservoirs. Implementierung von Modellbeschreibungen in kommerziell verfügbarer Software und/oder neuer Software.	Uni NE, CREGE, ETH-Bereich, Universitäten, Projektbetreiber, CH-Erdbebendienst
Analyse von Bohrlöchern	Hochtemperatur-Messinstrumente Neuartige Mess- und Analysemethoden	Fähigkeit Routine Bohrlochmessungen durchzuführen und zu interpretieren	Projektgesellschaften/-betreiber, ETHZ, Uni NE, Service Industrie
Systemtechnik:	Optimierte thermodynamische Prozesse, Kombi- und Hybridsysteme, innovative, effiziente Pumpverfahren	Angebot planerischer Hilfsleistungen an Projektgesellschaften	EPFL, ETHZ
Prozesse mit direkter Wärmenutzung	Kälteerzeugung Prozesswärmeerzeugung	Beiträge zum Ausbau der Direktnutzungsanlage Riehen (BS)	Gemeinde Riehen, Gruneko und andere beratende Ingenieurfirmen
Stimulationsverfahren, induzierte Seismizität	Auswertung von Messergebnissen des Pilotprojekts DHM Basel	Umfassende Datenanalyse und Interpretationen der hydraulischen Stimulation und induzierter Seismizität in Basel	„Geotherm“ Initiative des ETH Bereich, Uni NE, CREGE, Geopower
Potenzielle Standortevaluationen	Auswertung bestehender Seismiklinien in Bezug auf EGS	Optimale Nutzung der Seismik in der EGS-Standortevaluation	ETHZ, Ingenieur/Geophysik-Büros
Betrieb EGS Projekt Soultz	Reservoirbeobachtung, In- und Outflow von Produktions- und Injektionsbohrungen, Ablagerungen und Korrosion, Prozesse und deren Abläufe (ausser Turbinen)	Operative Erfahrung in der weltweit einzigen, Stromproduzierenden EGS Anlage	CREGE und Deep Heat Mining Association

9. Projektliste

Nachfolgend sind die wichtigsten aktuellen und kürzlich abgeschlossenen Projekte aufgelistet. Die zugehörigen Berichte sind in der Datenbank Energieforschung unter den angegebenen Projektnummern zu finden.

<http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/energieforschung/index.html?lang=de>

9.1 Liste der F+E-Projekte

Proj. Nr.	Name	E-Mail	Organisation	Ort	Projekttitel
41'661	L. Rybach	(mege@geowatt.ch)	GEOWATT AG	Zürich	Teilnahme am Geothermal Implementing Agreement der IEA
100'022	S. Signorelli	(signorelli@geowatt.ch)	SCHWEIZ. GEOPHYSIKALISCHE KOMMISSION (SGPK)	Zürich	Erarbeitung und Bewertung des geothermischen Potentials der Schweiz
100'528	F.-D. Vuataz	(francois.vuataz@unine.ch)	DEEP HEAT MINING ASSOCIATION	Steinmaur	FP6 Strep EGS Pilot Plant. European Geothermal Project for the Construction of a Scientific Pilot Plant based on enhanced Geothermal System
101'012	M. Eberhard	(service@eberhard-partner.ch)	EBERHARD UND PARTNER AG	Aarau	Erfolgskontrolle GW-Rückgabe-Turbinierung
101'289	U. Schärli	(ueli.schaerli@geophysik.ch)	DR. U. SCHÄRLI GEOLOGIE + GEOPHYSIK	Zürich	Thermische Leitfähigkeit: Eichung von in-situ Messungen mit Laborbestimmungen als Grundlage für die geothermische Kartierung des Kantons ZH bzw. der umliegenden Kantone
101'291	D. Pahud	(daniel.pahud@dct.supsi.ch)	LEEE - SUPSI	Canobbio	Etude du potentiel d'utilisation du "géo-cooling" d'une installation avec sondes géothermiques verticales appliqué à un bâtiment administratif Minergie® à Chiasso
101'295	D. Pahud	(daniel.pahud@dct.supsi.ch)	LEEE - SUPSI	Canobbio	Manuel pour le refroidissement de bâtiments par "géo-cooling" sur sondes géothermiques verticales
101'690	J. Poppei	(POJ@colenco.ch)	ARGE TRT c/o Colenco Power Engineering AG	Baden-Dättwil	Innovative Improvements of Thermal Response Tests, Assessment and Validation of hydraulic testing methods
101'824	F.-D. Vuataz	(francois.vuataz@unine.ch)	CREGE	Neuchâtel	Base de données des fluides géothermiques de la Suisse (BDFGeotherm)
102'111	A. Huber	(huber@hetag.ch)	HUBER ENERGIETECHNIK AG	Zürich	EWSDruck, Aufdatierung eines Excel-Tools zur Auslegung von Erdwärmesonden
102'141	E. Rohner	(rohner@geowatt.ch)	GEOWATT AG	Zürich	Erfahrungsbericht Heizen/Kühlen mit Erdwärmekörpern
102'187	F.-D. Vuataz	(francois.vuataz@unine.ch)	DEEP HEAT MINING ASSOCIATION	Steinmaur	EGS Pilot Plant Extension 2007-2009
102'203	F.-D. Vuataz	(francois.vuataz@unine.ch)	CREGE	Neuchâtel	Programme général de développement de la géothermie PROGEOTHERM
102'304	D. Jenne	(terra.dj@bluewin.ch)	Terra AG	Brittnau	Entwicklung leichtes Bohrgerät für EWS-Bohrungen
102'461	M. Eberhard	(service@eberhard-partner.ch)	EBERHARD UND PARTNER AG	Aarau	Erfolgskontrolle Heizen-Kühlen Aarau
102'603	A. Huber	(huber@hetag.ch)	HUBER ENERGIETECHNIK AG	Zürich	Expertise über Thermosyphon-Effekt bei tiefen EWS

9.2 Liste der P+D-Projekte

37'373	M. Hubbuch	m.hubbuch@hswzfh.ch	ZAHW	Wädenswil	Energiepfehlanlage Dock Midfield, Zürich Flughafen
100'878	B. Sigg	(info@doldergrand.ch)	DOLDER GRAND HOTEL	Zürich	Erfolgskontrolle und Planungsinstrumente für EWS- Feld Hotel Dolder Zürich
102'130	M. Narbel	jmnarbel@hotmail.com	CESLA SA	Lavey-les-B.	AGEPP : Projet de géothermie profonde à Lavey-les-bains, étude de faisabilité
102'304	D. Jenne	(terra.dj@bluewin.ch)	TERRA AG	Brittnau	Entwicklung eines Vertikal-Bohrgeräts
102'505	M. Buser	(marcos.buser@bluewin.ch)	Planergemeinschaft Brig-Glis	Brig	Tiefe Geothermie Brig-Glis Phase I
102'635	M. Huwiler	(Marco.Huwiler@stadt.sg.ch)	Stadt St. Gallen	St. Gallen	Machbarkeitsstudie Tiefen-Geothermie Stadt St.Gallen

Weitere P+D-Projekte befinden sich im Vorbereitungsstadium, insbesondere die hydrothermalen Projekte

- Geothermie profonde La Côte, Etoy/Aubonne
- Thônex, GE
- Stadtspital Triemli, Zürich

10. Referenzen

- [1] Rybach und Xu, 2008, How to advance geothermal heat pumps? The examples of Switzerland and the HYY single well system in China, Presented at the Workshop for Decision Makers on Direct Heating Use of Geothermal Resources in Asia, Tianjin, China, 11-18 May 2008
- [2] Fridleifsson et al, 2008, The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change, IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources).
- [3] www.fws.ch
- [4] PSI, Energie-Spiegel Nr. 14/Okttober 2005
- [5] <http://www.axpo.ch/internet/axpo/de/medien/perspektiven/stromerzeugung/geothermie.html>
- [6] International Energy Agency, Implementing Agreement for a Co-operative Programme on Geothermal Energy Research and Technology End-of-Term Report 2002-2007 and Plans for 2007-2012:
- [7] Markus O. Häring (haring@geothermal.ch), Geothermal Explorers Ltd Geothermische Stromproduktion aus Enhanced Geothermal Systems (EGS): Stand der Technik (Bericht im Auftrag des EWZ, download: <http://www.geothermal.ch/downloads/egs061207.pdf>)
www.iea-gia.org/documents/GIAEoTReport2002-2007FinalVer30October0623May07.pdf
- [8] Markus O. Häring (haring@geothermal.ch), Geothermal Explorers Ltd: DEEP HEAT MINING Basel, Preliminary Results, European Geothermal Congress EGC 2007, Unterhaching, Germany (http://www.geothermal.ch/downloads/dhm_egc300507.pdf)
- [9] www.soultz.net
- [10] E. Majer, R. Baria, M. Stark, B. Smith, S. Oates, J. Bommer, and H. Asanuma: Induced Seismicity Associated with Enhanced Geothermal Systems
www.iea-gia.org/documents/ISWPf1MajerWebsecure20Sep06_000.doc)
- [11] S. P. Hunt, C. Morelli, Cooper Basin HDR hazard evaluation: Predictive modeling of local stress changes due to HFR geothermal energy operations in South Australia, The University of Adelaide, October 2006
- [12] Sarah Signorelli et al., Statistik der geothermischen Nutzung in der Schweiz, Ausgabe 2007, EnergieSchweiz, BFE, Mai 2008