

Eignet sich der Schweizer Untergrund zur geothermischen Stromproduktion?

Trotz guten Voraussetzungen steckt die Stromerzeugung mit Geothermie in der Schweiz noch in den Anfängen. Der Verein Geothermische Kraftwerke Aargau (VGKA) unternimmt grosse Anstrengungen um dies zu ändern.

Bis im Jahr 2020 soll ein erstes geothermisches Kraftwerk im Kanton Aargau realisiert werden.

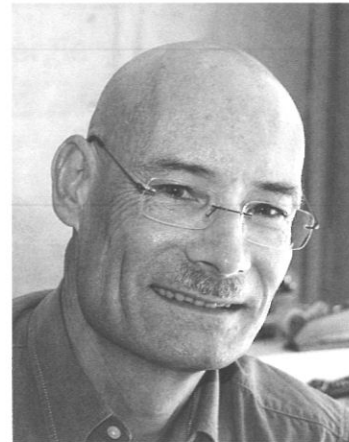
Geologisch-geothermische Verhältnisse in der Schweiz

Die Schweiz befindet sich im Wechselspiel zwischen zwei tektonischen Platten, wobei die im Norden gelegene europäische Platte unter die weiter südlich gelegene afrikanische Platte gedrückt und dabei im tiefen Untergrund infolge der hohen Temperaturen aufgeschmolzen wird. In der Kampfzone der zwei Platten wurden und wird das harte Gestein grossen Drücken ausgesetzt, sodass es an vielen Orten aufgerissen, gegen- oder sogar übereinander geschoben wird. Auffällige Zeichen dieses Kampfes sind unsere Alpen, die Höhenzüge des Faltenjuras sowie der im Westen der Schweiz gelegene Rhone- und der in östlicher Richtung versetzte, gegen Norden verlaufende Rheingraben. Im Bereich dieser Überschiebungs- (Alpen und Jura) und Schwächezonen (Grabensysteme) können heisse Tiefenwässer bis weit an die Oberfläche gelangen. Hier wurden sie schon von den Römern in Lostorf (SO) und Baden (AG) als Thermalbäder genutzt. In neuerer Zeit wurden

weitere Tiefenwässer mit bis 600 m tiefen Bohrungen erschlossen. So existieren heute Thermalbäder in Lostorf, Schinznach-Bad, Baden, Zurzach, Leukerbad sowie an weiteren Stellen der Schweiz.

Notwendige Voraussetzungen zur geothermischen Stromerzeugung

Die wichtigsten Voraussetzungen der geothermischen Stromerzeugung sind, dass das geförderte Tiefenwasser in ausreichender Menge vorhanden, sehr heiss und wenig mineralisiert ist. Temperaturen über 200°C wären ideal. Heute kann jedoch mittels der Kraft-Wärmekopplung schon ab relativ niedrigen Temperaturen ab 90°C ein Teil der Wärme in Strom umgewandelt und der Rest mittels Fernwärmenetzen für Wärmeszwecke verwendet werden. Je höher jedoch die Temperaturen sind, desto effizienter ist die Anlage. In Larderello (Toscana) z.B. werden schon in geringen Tiefen Temperaturen von 200°C erreicht. Hier kann aufgrund der idealen Vorausset-



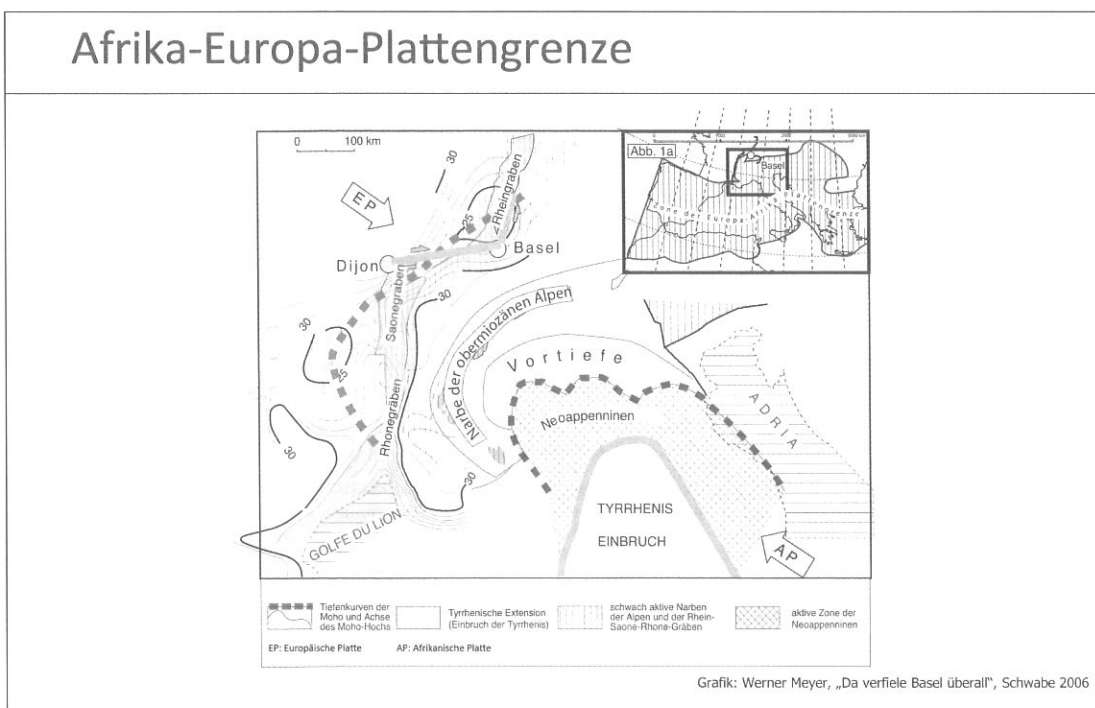
Dr. Mark Eberhard, Präsident VGKA (Verein Geothermische Kraftwerke Aargau)

Die Schweiz befindet sich im Wechselspiel zwischen zwei tektonischen Platten, wobei die im Norden gelegene europäische Platte unter die weiter südlich gelegene afrikanische Platte gedrückt und dabei im tiefen Untergrund infolge der hohen Temperaturen aufgeschmolzen wird.

Im Bereich dieser Überschiebungs- (Alpen und Jura) und Schwächezonen (Grabensysteme) können heisse Tiefenwässer bis weit an die Oberfläche gelangen.

Die wichtigsten Voraussetzungen der geothermischen Stromerzeugung sind, dass das geförderte Tiefenwasser in ausreichender Menge vorhanden, sehr heiss und wenig mineralisiert ist.

Je höher jedoch die Temperaturen sind, desto effizienter ist die Anlage.





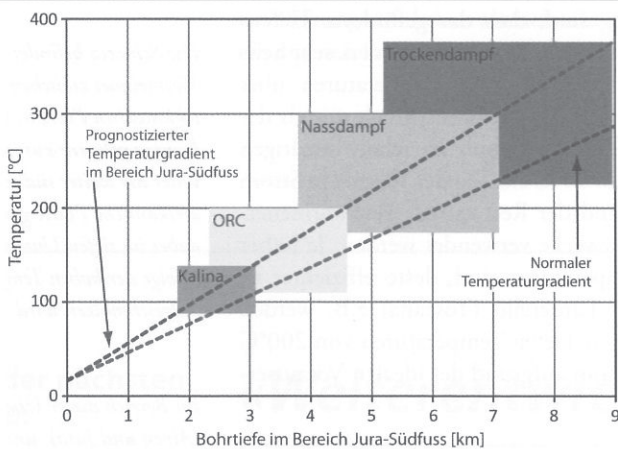
zungen der Trockendampf (Dampf ohne Wassertröpfchen) direkt auf die Turbine geleitet und mit dem Generator Strom erzeugt werden. Bei niedrigeren Temperaturen wird Nassdampf gefördert, bei welchem vor die Turbine ein Separator geschaltet werden muss, welcher die korrosiven Wassertröpfchen separiert und der Dampf erst nach dieser «Reinigung» auf die Turbine geleitet wird. Bei noch niedrigeren Temperaturen muss wie bei einer Wärmepumpe ein Wärmetauscher eingebaut werden, bei welchem die Wärme an ein niedriger siedendes Medium wie Isobutan oder Isopentan (ORC-Anlage) oder an ein Ammoniak-Wasser-Gemisch (Kalina-Anlage) übergeben wird, welche alsdann die Turbine und den Generator antreiben.

Dies bedeutet, dass der Kanton Aargau im Vergleich zur Gesamtschweiz eine um 50% höhere Wärmestromdichte aufweist.

Mögliche Standorte solcher Kraftwerke in der Schweiz

Ausgehend von der Wärmestromkarte der Schweiz sind die Regionen Aargau, Solothurn, Basel, der nördliche Teil des Kantons Jura und Zürich sowie die Regionen Thurgau, St.Gallen, Appenzell Inner- und Ausserrhoden besonders interessant. Hierbei sticht der Kanton Aargau mit einer mittleren Wärmestromdichte von 114 mW/m^2 gegenüber einer solchen der Schweiz von 77 mW/m^2 besonders heraus. Dies bedeutet, dass der Kanton Aargau im Vergleich zur Gesamtschweiz eine um 50% höhere Wärmestromdichte aufweist. Die idealsten Regionen für ein geothermisches Kraftwerk sind generell Zonen, an welchen heisse Wässer in Störungszonen bis weit an die Oberfläche gelangen können und dabei nicht mit kühleren Oberflächenwässern vermischt werden. Innerhalb der Kantone Aargau, Solothurn und Basel befinden sich solche Zonen einerseits entlang des Jura-Südfusses, wo das Mittelland an den Faltenjura stösst und andererseits im Bereich der südlichen Verlängerung des Rheingrabens sowie im Randbereich des Permokarbontrages, einer Grabenstruktur im Kontaktbereich Falten-, Tafeljura und kristallinem Sockel. Weitere solche, von mächtigen Sedimenten bedeckten Grabenstrukturen werden sowohl im südlichen, westlichen und östlichen Mittelland bis hin zum Alpenrand vermutet. Im Bereich von Thurgau bis St. Gallen sind solche Zonen vor allem auf die südlichen Ausläufer der südbadischen Hegau-Vulkane und der damit verbundenen Störungen und Grabensysteme im kristallinen Untergrund konzentriert. Insgesamt kann man somit aussagen, dass vor allem der Nordrand, das Mittelland und die Südwestschweiz aus heutiger Sicht bevorzugte Zonen für die Realisierung von geothermischen Kraftwerken sind.

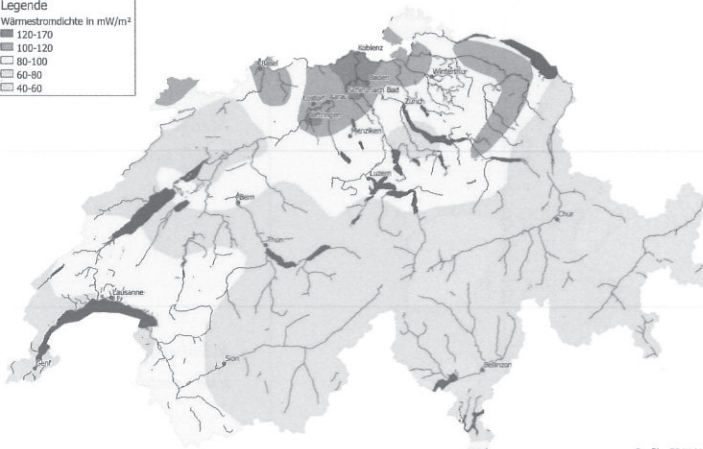
Temperaturgradient und Kraftwerktypen Anlagentypen



Grafik: EBERHARD & Partner AG

Geothermische Kraftwerktypen

Terrestrische Wärmestromdichte Schweiz



Grafik: EBERHARD & Partner AG

Terrestrische Wärmestromdichte in der Schweiz

Herausforderungen, Erfolgchancen und Risiken

Im Zuge der Suche nach Erdöl- und Erdgasvorkommen wurden in Deutschland unzählige Bohrungen bis in Tiefen von 7 km und mehr realisiert. Im Vergleich dazu existieren in der Schweiz nur gerade neun Bohrungen, welche tiefer als 3 km reichen. Die Untergrundverhältnisse in der Schweiz sind dementsprechend nicht sehr gut bekannt. Falls die geothermische Stromversorgung in nächster Zeit tatsächlich einen namhaften Anteil der Stromversorgung der Schweiz abdecken soll, gilt es nun die Standortsuche zu eröffnen, Grundlagenstudien und seismische Untersuchungen vorzunehmen, in der Folge gezielt Bohrungen zu realisieren und geothermische Kraftwerke zu erstellen. Die grössten Herausforderungen beginnen mit den Bohrungen, da



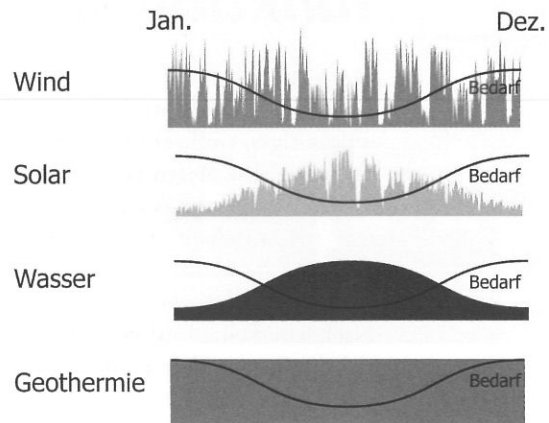
auch nach erfolgten oberirdischen Abklärungen immer noch nicht sicher ist, ob in den evaluierten unterirdischen Störungszonen auch genügend heisses Tiefenwasser für ein geothermisches Kraftwerk vorliegt. Erst mit den realisierten Bohrungen und den nachfolgenden Auslauffests, bei welchen festgestellt wird wie viel und wie heiss das Tiefenwasser effektiv ist, sinkt das Risiko von Fehlinvestitionen praktisch auf Null ab. Rund Dreiviertel der Kosten für die Erstellung eines solchen Kraftwerks sind dann verbraucht. Die Chancen für die erfolgreiche Realisation von geothermischen Kraftwerken in der Schweiz sind trotz der nur wenigen Tiefenbohrungen jedoch relativ hoch, da wie eingangs schon geschildert sich die Schweiz im Bereich von Grabenstrukturen befindet, an deren Randbereichen heisse Wässer oft bis weit an die Oberfläche aufsteigen.

Vergleich mit anderen Stromerzeugungsarten, Anlagegrösse

Ein Vergleich mit anderen alternativen Stromerzeugern wie Wind, Solar und Wasser zeigt, dass die Geothermie ohne Speicherung auskommt und nach Bedarf und nicht nach Angebot Strom liefern kann. Geothermie produziert somit Bandenergie. Sie ist zudem eine CO₂-neutrale Energiequelle, welche trotz dauernder Nutzung nachhaltig ist und nah beim Verbraucher produziert werden kann. Da der grösste Teil der Anlage zudem unterirdisch ausgelegt und die Bohrungen bis 5 km vom oberirdischen Kraftwerkstandort in alle Richtungen abgelenkt werden können, braucht sie wenig Platz und kann umweltschonend in die Landschaft integriert werden.

Die Grösse einer solchen Anlage ist abhängig von der Reservoirgrösse im Untergrund, d.h. von der Wassermenge, welche nachgeliefert wird und von den vorliegenden Temperaturen bzw. Wärmehalten. In einem ersten Schritt wird eine Entnahme- und eine Rückgabeebohrung realisiert, denn das abgekühlte Wasser muss wieder ins System zurückgeführt werden, sodass sich das Reservoir nicht mit der Zeit erschöpft. Mit einer solchen Anfangskonstellation wird mit einer Stromproduktion von rund 6 MW und einer Wärmeproduktion von ca. 60 MW gerechnet. Um den Zugriff auf einen möglichst grossen Teil des Reservoirs zu ermöglichen, werden weitere Bohrungen realisiert. Hierbei können von einer Stelle aus Cluster- oder Fächerbohrungen ausgeführt werden, indem vom Bohrstandort aus diese vorerst senkrecht in den Boden und in einer gewissen Tiefe abgelenkt in verschiedene Richtungen ausgeführt werden. Die Grösse der Anlage kann so sukzessive vergrössert werden, sodass man von ursprünglich 6 auf 60, 100 MW ...

Tiefengeothermie liefert Bandenergie



Grafik: EBERHARD & Partner AG

Tiefengeothermie liefert Bandenergie

Stromerzeugung gelangt. Mit dieser kontinuierlich gesteigerten Strom- & Wärmeproduktion erreicht man schlussendlich die Grösse von kleinen AKWs und diese verteilt an diversen Standorten der Schweiz können uns in Zukunft einen namhaften Teil unserer Strom- und Wärmeversorgung liefern.

Geothermisches Potenzial in der Schweiz, Kostenanalyse

Nach einer Studie des Paul Scherrer Instituts im Jahre 2005 liegt das theoretische geothermische Strompotenzial in der Schweiz in 3 bis 7 Kilometer Tiefe bei rund 64'000 TWhe. Bei einem Stromverbrauch der Schweiz pro Jahr von 59 TWhe könnte die Schweiz somit rund 1'000 Jahre hiermit versorgt werden (ohne Berücksichtigung des Wärmenachschubes vom Erdmittelpunkt her).

Die Kosten für die Erstellung eines geothermischen Kraftwerkes mit einem Entnahme- und Rückgabeebrunnen inklusive Voruntersuchungen und dem oberirdischen Kraftwerkbau betragen je nach Tiefe der Bohrungen minimal 80 bis 100 Millionen Franken. Die Stromgestehungskosten liegen nach heutigen Berechnungen zwischen 7 und 22 Rappen pro kWh und der Endkundenpreis mit diesen Stromgestehungskosten zwischen 14 und 29 Rappen pro kWh.

Im Zuge der Suche nach Erdöl- und Erdgasvorkommen wurden in Deutschland unzählige Bohrungen bis in Tiefen von 7 km und mehr realisiert. Im Vergleich dazu existieren in der Schweiz nur gerade neun Bohrungen, welche tiefer als 3 km reichen.

Ein Vergleich mit anderen alternativen Stromerzeugern wie Wind, Solar und Wasser zeigt, dass die Geothermie ohne Speicherung auskommt und nach Bedarf und nicht nach Angebot Strom liefern kann. Geothermie produziert somit Bandenergie.

Die Kosten für die Erstellung eines geothermischen Kraftwerkes mit einem Entnahme- und Rückgabeebrunnen inklusive Voruntersuchungen und dem oberirdischen Kraftwerkbau betragen je nach Tiefe der Bohrungen minimal 80 bis 100 Millionen Franken.