Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung
Centre d'évaluation des choix technologiques
Centro per la valutazione delle scelte tecnologiche
Centre for Technology Assessment

Strom aus dem Untergrund

Kurzfassung der Studie von TA-SWISS «Energy from the earth: Deep geothermal as a resource for the future?»

www.ta-swiss.ch

Die hier vorliegende Kurzfassung basiert auf der TA-SWISS-Studie «Energy from the earth: Deep geothermal as a resource for the future?», die vom Bundesamt für Energie BFE, der Kommission für Technologie und Innovation KTI und der Schweizerischen Akademie der Technischen Wissenschaften SATW unterstützt wurde.

Stefan Hirschberg, Stefan Wiemer, Peter Burgherr (eds.)

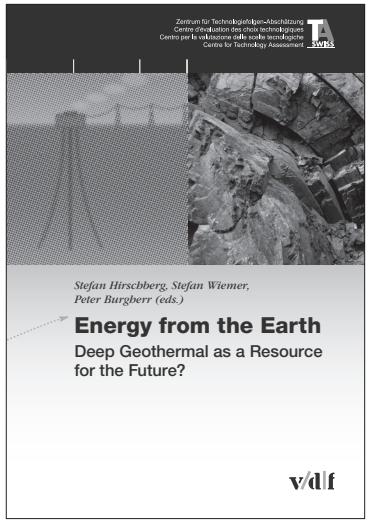
Energy from the earth: Deep geothermal as a resource for the future?

TA-SWISS, Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung (Hrsg.). vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, 2015.

ISBN 978-3-7281-3654-1

Die Studie steht als eBook zum freien Download bereit: www.vdf.ethz.ch

Auch die vorliegende Kurzfassung ist online verfügbar: www.ta-swiss.ch



Inhalt

Tiefengeothermie in aller Kürze ... 5
Ihre Chancen … ... 5
… ihre Risiken … ... 5
… und die wichtigsten Empfehlungen ... 5

Der Blaue Planet – ein dünnhäutiger Feuerball ... 7
Eine lange Tradition ... 7
Wasser für den Wärmetransport ... 7
Erste Erfahrungen waren erschütternd ... 8
Ein gewaltiges Energiepotenzial in Aussicht ... 8
Wissen, was unten ist ... 9

Hohe Kosten für einen grossen Gewinn ... 10
Wettbewerbsfähige Stromproduktion ... 10
Weniger Umweltbelastung dank mehr Leistung ... 10
Einzig die Wasserkraft reicht der Geothermie das Wasser ... 11
Die Ökobilanz ... 11

Abenteuerliches unter Tag ... 12
Folgen der Erschütterungen mindern ... 12
Der Untergrund als gefährdete Zone ... 13
Kein polarisiertes Meinungsbild ... 13

Komplizierter Parcours durch die Paragraphen ... 14
Wem gehört der Untergrund? ... 14
Eine Vielzahl von Bewilligungen sind erforderlich ... 14
Energiewende bringt Bewegung in die Planung ... 14

Für einen künftigen Schweizer Energiemix mit Geothermie ... 16
Den Untergrund erhellen ... 16
Die Technik erproben ... 16
Bewilligungsverfahren und Planungsgrundlagen vereinheitlichen ... 16
Lernen, mit dem Erdbebenrisiko umzugehen ... 16
Frühzeitig und offen kommunizieren ... 16

Tiefengeothermie in aller Kürze

In vier bis fünf Kilometern unter der Erdoberfläche erreicht der Untergrund Temperaturen von bis zu 150 Grad – ein gewaltiges Energiepotenzial. Im Prinzip würde es ausreichen, um ein Vielfaches des Schweizer Strom- und Wärmebedarfs zu decken.

Da in der Schweiz kaum Standorte bekannt sind, wo tief unter der Oberfläche liegendes heisses Wasser zur Stromgewinnung genutzt werden könnte, kommen hierzulande in erster Linie die heissen Gesteinsmassen selber als Energielieferanten in Frage. Dieser sogenannte petrothermale Ansatz, der darauf beruht, dem Fels Wärme zu entziehen, ist unter den Bezeichnungen Hot Dry Rock, Deep Heat Mining oder auch Enhanced Geothermal System (EGS) bekannt.

Ihre Chancen …

Die Tiefengeothermie ist umweltfreundlich. Verglichen mit anderen Formen erneuerbarer Energie benötigt sie weniger Materialien, deren Abbau die Natur belastet, und auch der Ausstoss von CO_2 ist minimal – selbst dann, wenn nicht nur der Betrieb, sondern auch der Bau betreffender Anlagen bei der Bilanzierung der Umweltfolgen berücksichtigt wird.

Als eine der wenigen «neuen» erneuerbaren Energiequellen hängt die Geothermie nicht von Witterungsbedingungen ab, sondern produziert stetige und berechenbare Bandenergie. Dies fällt umso mehr ins Gewicht, als es künftig darum gehen wird, unregelmässig anfallende Stromspitzen aus anderen erneuerbaren Energiequellen auszugleichen.

Energie aus dem Erdinnern könnte einen wichtigen Beitrag zur Versorgungssicherheit der Schweiz leisten und ihre Unabhängigkeit von ausländischen Energielieferanten stärken.

Gelingt es, die Wärme, die nicht zur Stromproduktion benötigt wird, in Fernwärmenetze einzuspeisen und zu verkaufen, sind die Kosten für geothermisch erzeugte Elektrizität am Markt durchaus konkurrenzfähig und liegen gar unter jenen der meisten anderen Formen erneuerbarer Energie.

… ihre Risiken …

Wenngleich es funktionierende petrothermale Anlagen gibt, sind sie doch noch nicht sehr erprobt. Insbesondere die Aufbereitung des unterirdischen «Wärmereservoirs» ist anspruchsvoll: Damit der heisse Fels als Wärmetauscher dienen kann, muss er aufgebrochen werden, indem Wasser unter hohem Druck in die Tiefe gepresst wird. Dieser Prozess kann spürbare Erdbeben hervorrufen.

Über die genaue Beschaffenheit des Untergrunds ist noch vieles unbekannt. Damit verbunden sind finanzielle Risiken – etwa, wenn sich herausstellt, dass ein mit grossem Aufwand untersuchter Standort doch nicht wirtschaftlich genutzt werden kann. Eine effiziente Erschliessung geothermischer Potenziale behindern auch die je nach Kanton unterschiedlichen Regulierungen.

Obschon das öffentliche Meinungsbild neutral bis verhalten wohlwollend ist, widerspiegelt es auch eine gewisse Ambivalenz. Das deutet darauf hin, dass die allgemeine Einstellung gegenüber der Geothermie rasch kippen könnte.

… und die wichtigsten Empfehlungen

Die Erforschung des tiefen Untergrunds ist weiter voranzutreiben.

Anhand von Pilotprojekten sollten weitere Erfahrungen für den Bau und den Betrieb geothermischer Anlagen gesammelt werden.

Es sind Modelle zu entwickeln, um den Parcours durch die kantonal unterschiedlichen Bewilligungsverfahren zu koordinieren und zu harmonisieren.

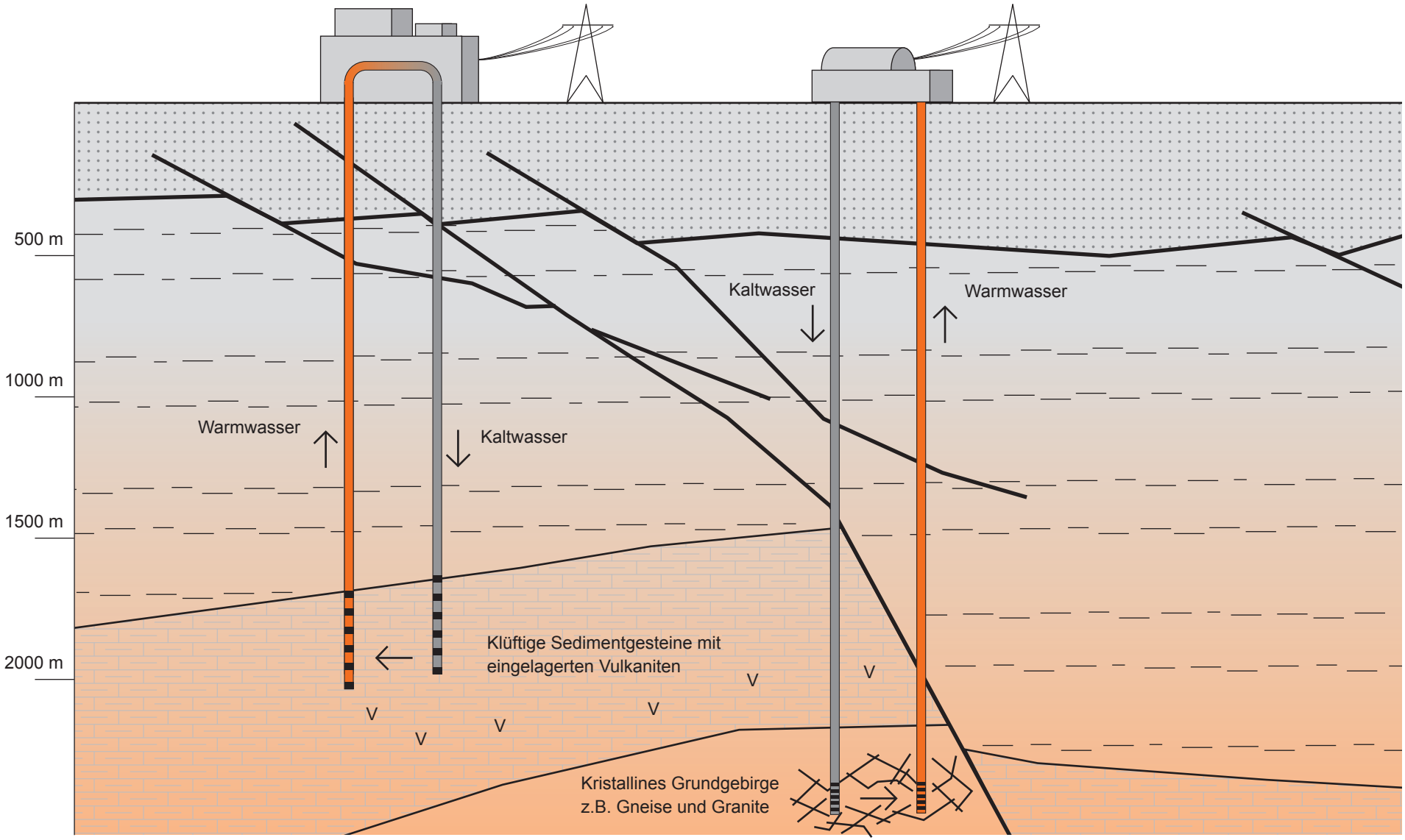
Zu erwägen wäre, Konzessionen zur Exploration und Nutzung von Geothermie an die Bedingung zu knüpfen, die von den Konzessionären erhobenen geologischen Daten öffentlich zugänglich zu machen.

Der gesamte Prozess der Planung, Standortwahl und Umsetzung von Geothermieprojekten ist eng zu begleiten, indem alle betroffenen Interessensgruppen und die Öffentlichkeit eingebunden werden. Auch gilt es, jede Etappe des Prozesses sorgfältig zu planen, fortlaufend zu überwachen und genau zu evaluieren.

Die Studie «Energy from the earth» entstand unter der Leitung von Stefan Hirschberg vom Paul Scherrer-Institut. Er koordinierte für diese umfassende Untersuchung, die in einen über 450-seitigen Bericht mündete, die Arbeit von insgesamt 32 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus dem Paul Scherrer-Institut (PSI), der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ), der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW) und dem Institut Dialogik. Die Analysen gehen nicht nur auf die geologischen Rahmenbedingungen und die technischen, ökonomischen und ökologischen Aspekte der Geothermie ein, sondern befassen sich auch mit dem rechtlichen Rahmen und der gesellschaftlichen Beurteilung der neuartigen Energieproduktion.

Hydrothermale Systeme
Direkte Wärmenutzung (Thermalwasser) aus klüftig-porösen oder zerütteten Gesteinsschichten zur Erzeugung von Wärme (>20°C) oder Strom (>100°C)

Petrothermale Systeme (HDR, EGS)
Wärme- und Stromerzeugung aus heissem, überwiegend trockenen Gesteinen über induzierten Wasserkreislauf nach künstlicher Schaffung von Rissystemen



Der Blaue Planet – ein dünnhäutiger Feuerball

Seit Urzeiten nutzt der Mensch die Wärme aus dem Erdinnern. Will er sich indes nicht mit den Energiequellen begnügen, die ohne sein Zutun an die Oberfläche treten, muss er sein ganzes wissenschaftliches und technisches Rüstzeug mobilisieren. Gelingt es, die noch bestehenden Hindernisse zu überwinden, steht eine nahezu unerschöpfliche Ressource für die umweltfreundliche Energiegewinnung in Aussicht. Die Schweiz würde damit von Strom- und Brennstofflieferungen aus dem Ausland unabhängiger.

Unsere Erde ist nur beschränkt wohnlich. Insbesondere im Boden werden die Verhältnisse rasch unwirtlich: In einem bis zwei Metern Tiefe tummeln sich noch Amöben und andere Kleinstlebewesen, die mit wenig Sauerstoff auskommen. Das anstehende Gestein hingegen gilt als unfruchtbar – und bohrt man noch tiefer, sorgen steigende Temperaturen für zunehmend schwierige Verhältnisse. Nicht von ungefähr wähnten unsere Ahnen die Hölle im Untergrund.

Aus heutiger Sicht ist der feurige Kern unseres Planeten weniger ein Grund für theologisch eingeflüsterte Befürchtungen als vielmehr eine zukunftsträchtige Verheissung: Die Hitze aus dem Erdinnern könnte dazu dienen, den fortlaufend steigenden Bedarf an Energie auf nachhaltige Weise zu decken. Der Fachausdruck für diese Form der Energiegewinnung lautet Geothermie, wörtlich übersetzt also: Erdwärme. Ab etwa zehn Metern Tiefe, wenn sich witterungsbedingte Einflüsse auf den Untergrund verlieren, erhöht sich die Temperatur pro hundert Meter um etwa drei Grad. In der Schweiz werden in vier bis fünf Kilometern Tiefe bis zu 150 Grad erreicht. Das ist heiss genug, um mit den heutigen technischen Möglichkeiten wirkungsvoll Anlagen zur geothermischen Energiegewinnung zu betreiben.

Eine lange Tradition

Schon in prähistorischen Zeiten dürften sich die Urmenschen mit Bädern in Thermalquellen erquickt haben, und schriftliche Urkunden wie auch archäologische Funde bezeugen, dass die Menschen im alten China und im römischen Reich heisses Wasser aus dem Erdinnern nutzten, um Häuser zu beheizen und um zu baden. An die Tradition römischer Heizsysteme knüpften die USA im späten 19. Jahrhundert wieder an: 1892 errichtete man in Boise, der Hauptstadt von Idaho, mehrere Stadthäuser, die mit Fernwärme aus der nahen Geothermalquelle von Warm Springs beheizt wurden. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts gaben sich die Ingenieure indes nicht mehr mit dem zufrieden, was der Untergrund von sich aus an Hitze spendet. In Portland, Oregon (USA), kamen im Jahr 1946 zum ersten Mal Pumpen zum Einsatz, um mit der Wärme aus einigen hundert Metern Tiefe das neu errichtete Equitable Building (heute Commonwealth Building genannt) zu beheizen.

Der industrielle Einsatz der Geothermie wiederum erhielt seine Initialzündung in Italien, in der Provinz Pisa. Um 1830 bohrte der französische Adelige und Industrielle François de Larderel bei Castelnuovo ein erstes Bohrloch, um die bodennahen Dampflagerstätten des alten vulkanischen Gebiets zu erschliessen. Prinz Piero Ginori Conti gelang es dann im Jahr 1904, fünf Glühbirnen mit einem Dynamo anzuzünden, der vom Vulkandampf angetrieben wurde. Es dauerte allerdings noch weitere zehn Jahre, bis zum ersten Mal geothermisch erzeugter Strom aus Larderello – so hiess die mittlerweile entstandene Anlage – ins öffentliche Netz eingespeist werden konnte.

In der Schweiz wurden bis jetzt in erster Linie mit der sogenannten «untiefen Geothermie» Erfahrungen gesammelt. Mit der Wärme aus oberflächennahen Erdschichten bis 400 Meter Tiefe werden nämlich auch hierzulande seit einigen Jahrzehnten immer mehr Privathäuser und öffentliche Gebäude beheizt. Diese Form der Erdwärmenutzung bleibt von der Studie von TA-SWISS allerdings ausgeklammert. Im Blickpunkt der hier zusammengefassten Untersuchung steht die Tiefengeothermie, d.h. die Energiegewinnung ab 400 Metern Tiefe. Mit ihr wurde in der Schweiz bisher erst wenig Erfahrung gesammelt. Der Fokus der Studie liegt auf der Stromgewinnung, wobei die zusätzliche Nutzung von Wärme in die Betrachtung einbezogen wird.

Wasser für den Wärmetransport

Um die Wärme aus dem Untergrund an die Erdoberfläche zu holen, braucht es ein Transportmedium. Typischerweise ist das Wasser. Ältere Geothermieanlagen sind dort angelegt, wo es in grosser Tiefe wasserführende Gesteinsschichten gibt und wo der Untergrund durchlässig genug ist, damit das heisse Wasser effizient an die Oberfläche befördert werden kann. Operiert die Tiefengeothermie mit natürlich vorhandenen heissen Wasservorkommen, spricht man vom hydrothermalen Ansatz. In der Schweiz sind die Voraussetzungen für diese Form der Erdwärmenutzung allerdings selten anzutreffen.

Die Alternative besteht darin, kaltes Wasser in den Untergrund zu pressen, dort das glühendheisse Gestein aufzubrechen und so auf mehreren Quadratkilometern eine Fläche als «Wärmetauscher» zu erschliessen. Sodann wird Wasser im Kreislauf durch dieses «Wärmereservoir aus Stein» geführt: Kaltes Wasser wird nach unten geleitet, damit es dem aufgebrochenen Gestein die Wärme entziehen und erhitzt nach oben gepumpt werden kann. Dort dient es zur Gewinnung

von Energie. Das abgekühlte Wasser wird anschliessend wieder in die Tiefe befördert, und die Zirkulation beginnt von neuem. Für diesen petrothermalen Ansatz braucht es keine heisswasserführenden Gesteinsschichten, und es ist auch nicht unbedingt erforderlich, dass wasserdurchlässige geologische Strukturen vorliegen. Es reicht die Hitze aus dem Untergrund – eine potenziell unbeschränkte Ressource. Daher ist aus Sicht der Fachleute dieses Verfahren, das auch unter den Bezeichnungen «Hot Dry Rock», «Deep Heat Mining» oder «Enhanced Geothermal System (EGS)» bekannt ist, langfristig das eigentliche Ziel der schweizerischen Geothermieentwicklung. Noch ist diese Technik nicht marktreif. Aber die Fortschritte, die seit dem Jahr 2006 in anderen Ländern wie etwa Deutschland, Frankreich, Australien und den USA erzielt wurden, stimmen zuversichtlich. In Europa sind zwei geothermische Grossanlagen in Betrieb, und zwar seit 2001 die Forschungsplattform Gross Schönebeck, rund 50 Kilometer nordöstlich von Berlin, und seit 2008 eine Anlage im Oberrheingraben nahe dem elsässischen Soultz-sous-Forêt.

Erste Erfahrungen waren erschütternd

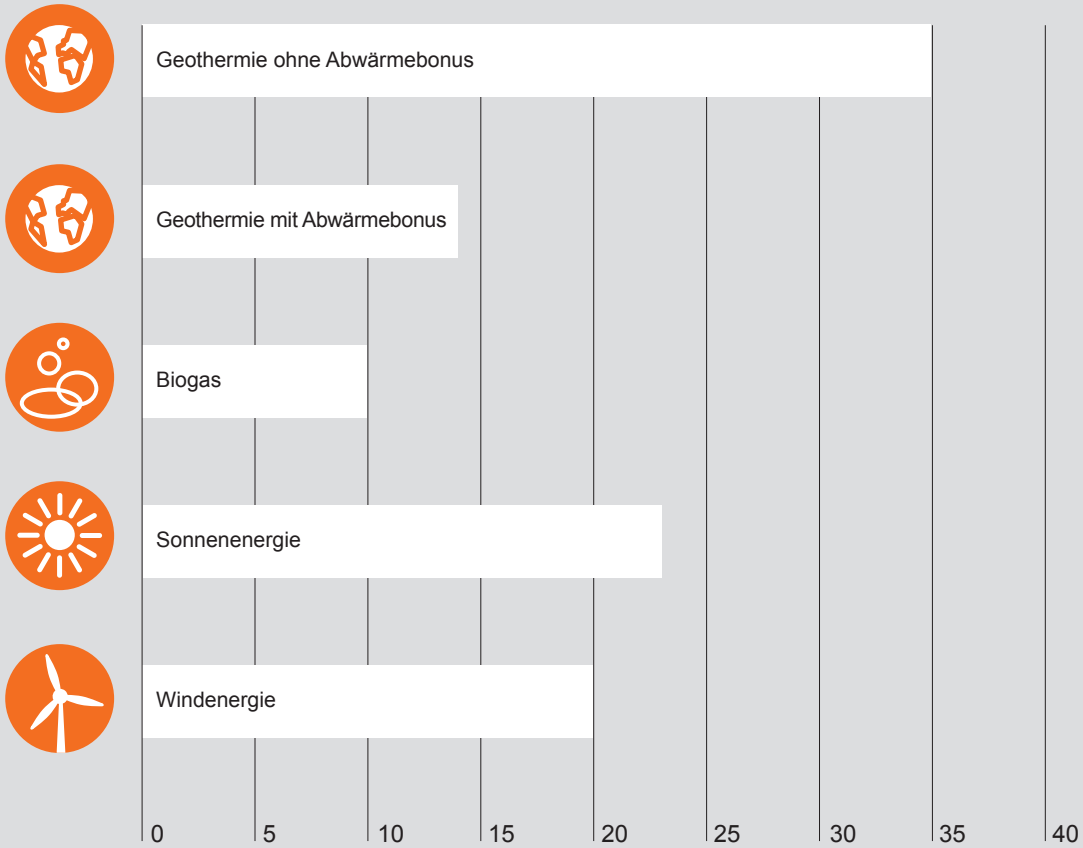
In der Schweiz haben in den vergangenen Jahren zwei tiefengeothermische Projekte für Schlagzeilen gesorgt. Im Sittertobel bei St. Gallen, wo der hydrothermale Ansatz gewählt wurde, schoss im Juli 2013 statt des erwünschten heissen Wassers plötzlich Gas ins Bohrloch. Um dieses zu stabilisieren, wurde eine sogenannte schwere Bohrspülung – typischerweise eine Mischung aus Wasser, Ton, Schwerspat und anderen Materialien – ins Loch gepumpt, was zu schwachen Erdstössen (von Stärken bis zu 3,5 auf der Richterskala) führte. Zwar konnte die Probebohrung trotz dieses Zwischenfalls zu Ende geführt werden. Es zeigte sich aber, dass die Förderrate von 6 Litern pro Sekunde für eine wirtschaftliche geothermische Nutzung des gut 140-grädigen Wassers bei weitem nicht ausreichte; dazu wären mindestens 50 Liter pro Sekunde erforderlich gewesen. Das Gasvorkommen erwies sich dafür als überraschend ergiebig, sodass zurzeit abgeklärt wird, ob sich allenfalls diese Ressource längerfristig nutzen liesse.

Auch einem früheren Vorhaben war kein wirtschaftlicher Erfolg beschieden. In Basel wurde im Jahr 2006 mit der ersten geothermischen Bohrung in der Schweiz überhaupt begonnen; zur Anwendung kam das petrothermale Verfahren. Doch als im Untergrund das heisse Gestein unter hohem Druck zum Bersten gebracht wurde, bebte in der Nordwestschweiz die Erde. Wenige Wochen später kam es zum zweiten Mal zu Erdstössen. Nach umfassenden Risikoanalysen beschloss der Regierungsrat im Jahr 2009, das Projekt in der vorgesehenen Form aufzugeben – wobei die Fachleute hervorheben, dass die geologischen Umstände aus dem Basler Deep-Heat-Mining-Projekt nicht auf andere Standorte übertragbar sind.

Ein gewaltiges Energiepotenzial in Aussicht

Tatsächlich lassen sich die Erfolgsaussichten der Tiefengeothermie nur mit detaillierten geologischen Kenntnissen zuverlässig abschätzen. In der Schweiz sind die Verhältnisse im Untergrund vor allem dort gut bekannt, wo Tunnels gebohrt wurden – im kristallinen Fels der Alpen. Dieser eignet sich allerdings vergleichsweise schlecht für eine tiefengeothermische Erschliessung, weil das Wasser dort nicht so gut zirkuliert. Diesbezüglich bessere Bedingungen bieten die tiefen Permokarbontröge, die den alpinen Granit durchsetzen; ihre genaue Lage ist jedoch nicht bekannt. Günstigere geologische Voraussetzungen für geothermische Vorhaben böte auch das Molassebecken des Mittellandes. Da im Schweizer Untergrund noch kaum nach Gas oder Erdöl gebohrt wurde, gibt es nur wenige Daten über die geologischen Verhältnisse in grosser Tiefe. Daher stützen sich Abschätzungen des hiesigen geothermischen Potenzials auf internationale Erfahrungen. Diese Zahlen stellen der Schweiz ein gewaltiges unterirdisches Energiepotenzial in Aussicht: In einer Tiefe zwischen 3 und 10 Kilometern speichern die Felsmassen Hitze in einer Grössenordnung von 28 Millionen Terawattstunden (oder 28 Milliarden Gigawattstunden); dies entspräche dem 100 000-fachen Energieverbrauch der Schweiz aus dem Jahr 2013. Die an der Realisierbarkeit ausgerichteten Schätzungen des Bundesamtes für Energie sind hier weit bescheidener: Seinen Berechnungen zufolge könnten bis 2050 jährlich 4 bis 5 Terawattstunden Strom geothermisch gewonnen werden. Das wären immerhin knapp 10 Prozent des Jahresbedarfs.

Durchschnittliche Stromerzeugungskosten (Rp./kWh) in der Schweiz



Wissen, was unten ist

Die hochauflösende Reflexionsseismik ist das Mittel der Wahl, um ausgedehnte Areale geologisch zu untersuchen. Sie misst, wie sich die Wellen künstlich erzeugter Erdstösse an den Übergängen zwischen verschiedenen Gesteinsschichten brechen. Diese Methode liefert Karten der geologischen Schicht- und Faltenstruktur eines Landstrichs. Um den seismischen Atlas des Schweizer Mittellandes zu erstellen, wurden die Daten von über 1200 Kilometern seismischer Reflexionsprofile ausgewertet.

Elektromagnetische Messungen wiederum werden angewendet, um Temperatur und Durchlässigkeit von Gesteinsschichten zu analysieren, und wieder andere Verfahren messen die Spannungsunterschiede an der Erdoberfläche, um damit auf die Beschaffenheit des Untergrunds zu schliessen.

Am präzisesten Aufschluss über die geologischen Verhältnisse vor Ort geben allerdings Bohrungen; insbesondere um Informationen über die unterirdischen Wärmeverhältnisse zu erlangen, sind sie unerlässlich. Was heute über den Wärmefluss im Untergrund der Schweiz bekannt ist, beruht auf den Informationen aus 150 Bohrlöchern; im Wallis und in den Ostalpen gibt es allerdings keine solchen Messpunkte. Alle verfügbaren Daten fliessen schliesslich in ein dreidimensionales Modell des Untergrunds ein. Ein solches ist Voraussetzung für jedes tiefengeothermische Vorhaben – denn es bündelt Angaben über die örtlichen Gesteinsschichten, unterirdische Wasservorkommen und Temperaturverhältnisse und gestattet es auch, die Auswirkungen eines geothermischen Projekts auf das Umland abzuschätzen.

Hohe Kosten für einen grossen Gewinn

Die Geothermie verlangt nach beträchtlichen Investitionen. Dafür stellt sie tragbare Energiekosten und Vorteile für die Umwelt in Aussicht. Angesichts der zunehmenden Bedeutung von Solar- und Windenergie, die abhängig von den Witterungsbedingungen unregelmässige Erträge liefern, besticht die Geothermie zudem durch eine gleichmässige Leistung.

Um in einer Tiefe von rund 2,5 Kilometern im Granitfels Hitze zu fördern, ist allein für die erforderlichen Bohrungen im Durchschnitt mit Kosten von gut 10 Millionen Franken zu rechnen. Dies jedenfalls sagen Schätzungen von Fachleuten voraus, die sich darin einig sind, dass die Ausgaben für die Bohrungen einer geothermischen Anlage am stärksten – bis zu 70 Prozent der Gesamtkosten – ins Gewicht fallen.

Diese Schätzungen gehen von den Erfahrungswerten aus, die bei der Öl- und Gasförderung gesammelt wurden. Allerdings sind geothermische Bohrungen technisch anspruchsvoller und somit teurer: So finden sie oft im harten Granit statt, was den Bohrköpfen zusetzt. Die hohen Temperaturen wiederum erfordern spezielle Kabel und Schutzvorrichtungen für die elektronischen Apparaturen. Ausserdem beträgt der Durchmesser eines Geothermiebohrlochs zwischen knapp 22 und 34 cm, während für die Gas- und Ölförderung weniger als 20 cm üblich sind. Mithin müssen bei der Geothermie auch leistungsfähigere Pumpen zum Einsatz kommen als bei der Gewinnung von Gas oder Erdöl.

Die Lebensdauer einer geothermischen Anlage als solcher hängt davon ab, wie lange dem unterirdischen Energiespeicher auf effiziente Weise Wärme entzogen werden kann. Zwar fliesst aus der Tiefe ständig Hitze nach, aber die Erfahrung zeigt, dass mit der Zeit der Wirkungsrad auf ein ökonomisch ineffizientes Niveau absinkt. Fachleute gehen davon aus, dass die Nutzungsperiode einer Anlage in der Schweiz etwa 30 Jahre betragen dürfte. Danach muss man den Energiespeicher wieder für längere Zeit ruhen lassen, damit er sich regenerieren kann.

Wettbewerbsfähige Stromproduktion

Aufgrund der Investitionen für geothermische Anlagen modelliert die Studie von TA-SWISS die Kosten des erzeugten Stroms. Für den durchschnittlichen Referenzfall belaufen sich die geschätzten Kosten auf durchschnittlich 35 Rappen pro Kilowattstunde. Die Bandbreite zwischen dem besten und dem schlechtesten Fall schwankt allerdings zwischen Kosten von 18 und 61 Rappen pro Kilowattstunde. Diese beträchtliche Spannweite hängt damit zusammen, dass verschiedene Fallbeispiele mit unterschiedlich vorteilhaften Bedingungen berechnet wurden: So ist beispielsweise mit höheren Kosten zu rechnen, je tiefer gebohrt werden muss und je weniger lange eine Anlage genutzt werden kann. Auch wenn eine höhere Rendite angestrebt wird, verteuert das die Energie.

Wäre es möglich, neben dem Strom auch die Restwärme zu verkaufen, die nicht zur Elektrizitätsproduktion verwendet wird, würden sich die Kosten reduzieren: Jene des Basisreferenzfalls sänken von 35 auf 14 Rappen pro Kilowattstunde. In diesem Fall wäre der Strom aus dem Erdinnern gegenüber anderen Formen von erneuerbaren Energien wettbewerbsfähig: Denn für eine Kilowattstunde Solarstrom dürften 23 Rappen und für die gleiche Menge Windkraft 20 (im Landesinnern) bzw. 14 (an der Küste) Rappen an Aufwendungen anfallen. Einzig bei mit Biogas betriebenen Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen fallen die Kosten mit 10 Rappen günstiger aus als beim geothermischen Basismodell. Die ökonomische Analyse fokussiert auf die neuen Formen erneuerbarer Energie und verzichtet darauf, die Wasserkraft in die Betrachtungen mit einzubeziehen. Dies unter anderem, weil die Investitionen in die entsprechenden Anlagen teilweise schon ganz amortisiert sind, sodass sich ihre wirtschaftlichen Bedingungen mit jenen neu errichteter Anlagen kaum vergleichen lassen. Mit Blick auf die Zukunft gilt es ausserdem zu bedenken, dass dem weiteren Ausbau dieser Energiequelle Grenzen gesetzt sind.

Die Nutzung der geothermischen Abwärme führt allerdings zu einem Zielkonflikt. Wenn sie effizient erfolgen soll, muss zum einen ein Fernwärmenetz existieren, und zum anderen sollte die betreffende Anlage möglichst nahe beim Abnehmer stehen, sprich: in unmittelbarer Nachbarschaft von Siedlungen oder Gewerbegebieten. Auch wäre eine über das ganze Jahr gleichmässige Nachfrage nach Wärme von Vorteil, sodass insbesondere die Industrie für die Geothermie zur interessanten Partnerin würde. Diese Ansprüche vertragen sich allerdings schlecht mit dem Risiko von Erdstössen, die von geothermischen Einrichtungen ausgehen können und die es gebieten, sie möglichst weit weg von grösseren Ortschaften und teuren Infrastrukturen zu bauen.

Weniger Umweltbelastung dank mehr Leistung

Die Auswirkungen der Geothermie auf die Umwelt wurden mit einer Ökobilanz ermittelt (s. Kasten S. 11). Diese ist mit den ökonomischen Berechnungen insofern verknüpft, als viele Kenngrössen in beide Untersuchungen einfliessen: So gelten etwa die Annahmen über die Anzahl benötigter Bohrlöcher und deren Tiefe oder die vorausgesetzte Lebensdauer der Anlagen für beide Modellierungen gleichermassen. Damit wird es möglich, die wirtschaftliche und die ökologische Betrachtung miteinander zu verbinden.

Wie bei den Kosten, schlägt auch in der Umweltbelastung das Erstellen der Bohrlöcher am stärksten zu Buche. Egal, ob etwa die Auswirkungen auf den Klimawandel, der Verbrauch von Wasser, der Ausstoss von Feinstaub oder auch der Einsatz giftiger Substanzen in den Blick genommen werden: Die Bohrlöcher verursachen bei weitem die grössten Belastungen, weit mehr als das Aufbereiten des unterirdischen Wärmetauschers oder der Bau der oberirdischen Installationen. Je nachdem, wie leistungsfähig die geothermischen Anlagen sind, ist über ihren ganzen Lebenszyklus mit einer Umweltbelastung zwischen 8 bis 46 Gramm CO_2-Äquivalenten pro erzeugter Kilowattstunde zu rechnen; das heisst, dass geothermisch erzeugter Strom praktisch kein CO_2 verursacht.

Leistungsfähige Anlagen belasten gemessen an ihrem Ertrag die Umwelt weit weniger als solche mit geringer Kapazität: Der Wirkungsgrad einer geothermischen Einrichtung hängt nämlich direkt vom Wärmegradienten im Erdinnern ab. Je langsamer die Temperatur in der Tiefe zunimmt, desto tiefer muss gebohrt werden – mit den entsprechenden Folgen für Material- und Energieverbrauch. Auch eine längere Lebensdauer der Bohrlöcher wirkt sich günstig aus. Wie viel heisses Wasser gefördert werden kann, hat ebenfalls ökologische Folgen: Denn wenn mehr Wasser gefördert wird als das Optimum, brauchen die Pumpen mehr Energie, und bei einem zu geringen Durchfluss sinkt die Leistungsfähigkeit der Anlage.

Einzig die Wasserkraft reicht der Geothermie das Wasser

Im Vergleich mit den meisten anderen Formen erneuerbarer Energie schneidet die Geothermie deutlich besser ab. Einzig die Wasserkraft belastet die Natur noch etwas weniger als die Energie aus dem Erdinnern. Beim Strom aus Photovoltaikanlagen hingegen schlägt negativ zu Buche, dass grosse Mengen an Metall verbraucht und vergleichsweise viele stark giftige Substanzen wie etwa Cadmium verwendet werden; Biogas wiederum belastet die Luft mit Feinstaub, ist mithin weniger klimafreundlich als die Geothermie. Bei der Windenergie sticht der hohe Bedarf an Metall hervor (siehe Abbildung Seite 12).

Mindestens so sehr wie durch ihre Umweltfreundlichkeit vermag die Geothermie die übrigen erneuerbaren Energieformen durch eine andere Eigenschaft auszustechen: Neben der Wasserkraft und der Erzeugung von Energie mit Biomasse liefert sie als einzige gleichmässig anfallende Bandenergie. Für die künftige Stromversorgung der Schweiz ein gewaltiges Plus – denn Sonne und Wind produzieren abhängig von den Witterungsbedingungen und somit unregelmässige Erträge. Umso mehr braucht es Energiequellen mit zuverlässiger und berechenbarer Leistung.

Die Ökobilanz

Die Ökobilanz, synonym auch als Lebenszyklusanalyse bekannt (LCA für: Life Cycle Assessment), untersucht den Werdegang eines Produktes oder einer Anlage von der Herstellung bis zur Entsorgung bzw. Stilllegung. Die LCA unterscheidet verschiedene «Lebensabschnitte» und ermittelt die dabei anfallenden Umweltbelastungen, d.h. es wird insbesondere geprüft, welche Materialien und wie viel Energie bei der Produktion, im Betrieb und zur Beseitigung eines Gutes benötigt werden. Im Fall der Geothermie nimmt die Vorbereitungs- und Bauphase breiten Raum ein, weil in diesem Zeitraum grosse Mengen an Energie und Material erforderlich sind. Dagegen fällt die Betriebsphase kaum ins Gewicht – funktioniert doch eine solche Anlage ohne Treibstoff und stösst entsprechend kaum Schadstoffe aus. Der Rückbau einer Einrichtung am Ende der Lebensphase belastet die Umwelt wiederum mehr.

Abenteuerliches unter Tag

Erdbeben sind die spektakulärsten, aber keineswegs einzigen negativen Folgen, die mit der Geothermie einhergehen können. Aus der Erfahrung mit der Erdöl- und Gasförderung lassen sich Vorkehrungen ableiten, um vielen Risiken vorzubeugen. Das Meinungsbild der Öffentlichkeit ist zwiespältig, wobei der neuen Energiequelle zugestanden wird, dass sie einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten könnte.

In der Schweiz sind die bisherigen Erfahrungen mit der Geothermie ernüchternd ausgefallen. Insbesondere die künstlich hervorgerufenen Erdbeben gaben in der Öffentlichkeit viel zu reden. Diese Erschütterungen stellen hierzulande ein neuartiges Risiko dar; in traditionellen Bergbaugebieten dagegen müssen die Menschen seit jeher mit ihnen leben. Während Erdstösse beim Abbau von Kohle, Kalisalz oder anderen Ressourcen im Boden unerwünschte Begleiterscheinungen sind, stellen sie beim Bau petrothermaler Anlagen allerdings ein unverzichtbares Arbeitsmittel dar: Künstlich erzeugte starke Vibrationen dienen dazu, den Fels aufzubrechen und seine Durchlässigkeit so zu erhöhen, dass er zum wirkungsvollen Wärmetauscher wird.

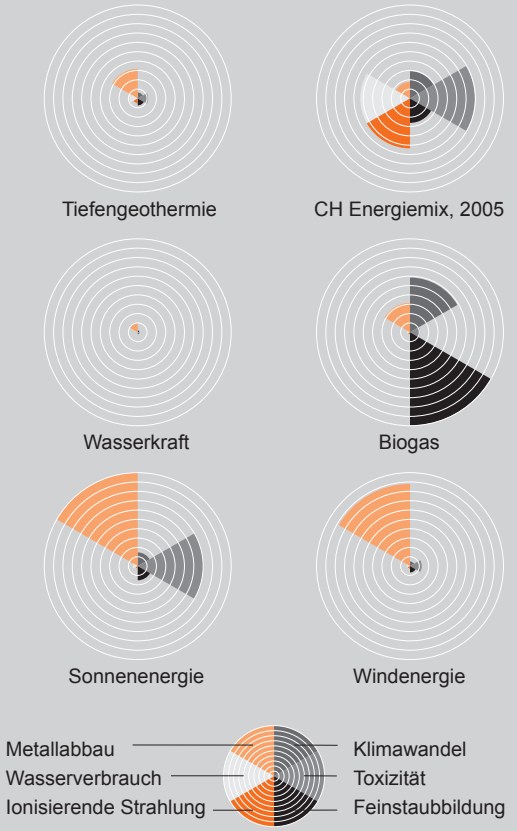
Folgen der Erschütterungen mindern

Erdbeben gehören zu den traumatischsten Naturerlebnissen schlechthin. Wer den festen Boden unter den Füssen verliert, fühlt sich buchstäblich im Innersten erschüttert. «Natürliche» Beben, die meistens auf plattentektonische Verschiebungen zurückzuführen sind, entziehen sich der menschlichen Einflussnahme. Den Betroffenen bleibt allenfalls die Flucht. Im Unterschied dazu sind die künstlichen Erschütterungen bis zu einem bestimmten Grad «steuerbar», denn die Fachwelt vermag ansatzweise vorauszusehen, wie der Untergrund auf Eingriffe durch den Menschen reagieren wird. So nimmt etwa das Erdbebenrisiko tendenziell zu, je tiefer gebohrt wird und je grösser das Volumen der Felsmasse ist, die als Wärmetauscher aufbereitet wird. Auch neigt harter kristalliner Granit eher zu Erschütterungen als vergleichsweise weicheres geschichtetes Ablagerungsgestein wie etwa Schiefer. Die Erfahrung zeigt zudem, dass geothermale Einrichtungen eher während des Baus Erschütterungen hervorrufen können, wogegen bei hydrothermalen Anlagen die Betriebsphase kritischer ist.

Indes bleibt vieles unberechenbar, insbesondere, weil die natürliche unterirdische Spannung vor Ort Überraschungen bergen kann und sich nie genau abschätzen lässt, wie weit sich die Brüche und Spalten im Erdinnern ausdehnen. Daher spielen neben der Früherkennung auch Massnahmen zur Minderung und Bewältigung von Schäden eine entscheidende Rolle. Für das integrale Risikomanagement wurden sogenannte «Ampelsysteme» entwickelt und mittlerweile zum Standard erhoben: So lange die Ampel auf grün steht, kann der Ausbau oder Betrieb einer Anlage plangemäss voranschreiten. Werden aber bestimmte Schwellen erreicht, schaltet die Ampel auf gelb oder gar auf rot; es ist dann zwingend, die Arbeiten abzubremsen – etwa, indem die Pumpen abgestellt werden – oder gar ganz zu beenden und gegebenenfalls die Anlage zu stabilisieren, indem Flüssigkeit aus dem Bohrloch gepumpt wird. Im Fall der hydrothermalen Anlage in St. Gallen war es beispielsweise ein schwaches Beben der Stärke 1,6, das die Ampel von grün auf gelb wechseln liess.

Wenn auch die wachsende Erfahrung mit der Geothermie und darauf gründende Verfahrensrichtlinien dazu beitragen können, die Folgen künstlich erzeugter Erdbeben zu mindern, so besteht in der Fachwelt doch Einigkeit darin, dass diese sich nie ganz ausschliessen lassen. Diesen Umstand gilt es in der Politik und in der Gesellschaft offen zu diskutieren. Klar ist auch: Am ehesten lassen sich Schäden aus künstlich erzeugten Erdbeben begrenzen, indem die entsprechenden Anlagen möglichst weit weg von dicht besiedelten Gebieten oder teuren Infrastrukturen errichtet werden. Das allerdings erschwert es, die Wärme, die nicht zur Energiegewinnung genutzt wird, in ein Fernwärmenetz einzuspeisen.

Umweltauswirkungen nach Technologie



Der Untergrund als gefährdete Zone

Erdbeben sind indes nicht die einzigen Risiken, die mit der Geothermie einhergehen. Vielmehr teilt sie eine Reihe von Gefahren mit der Öl- und Gasförderung. Beispielsweise kann aus Gesteinsformationen, die unter Druck stehen, Methan ins Bohrloch austreten; in der Fachwelt spricht man in solchen Fällen von einem «Kick». Gelingt es nicht, ihn zu kontrollieren, droht gar der Kontrollverlust über das Bohrloch, indem das Gemisch von Gas und Wasser an die Oberfläche schiesst und dort unkontrolliert in die Atmosphäre entweicht («Blowout»). Die Technik kennt eine Reihe von Gegenmassnahmen, die auf einem ausgeklügelten System von Absperrvorrichtungen und Ventilen beruht, welche direkt über dem Bohrloch angebracht sind. Diese Art von Störfällen wiegt insofern besonders schwer, als sie Leib und Leben von Menschen unmittelbar gefährden.

Auch weniger dramatische Ereignisse vermögen die Umwelt und die Gesundheit von Menschen zu beeinträchtigen. So kommen in grosser Tiefe salzhaltige Grundwasserleiter vor; denn insbesondere im porösen Gestein vermag Heisswasser weit in den Untergrund zu dringen und auf dem Weg dorthin Salze aus den Mineralien zu lösen. Unsachgemäss durchgeführte Bohrungen oder schadhafte Auskleidungen der Bohrlöcher können dazu führen, dass diese Salzlösung nach oben dringt und höher gelegene Grundwasserleiter oder gar Trinkwasser verunreinigt.

Schäden können zudem entstehen, wenn Pannen im Umgang mit bestimmten Chemikalien geschehen, die in der Betriebsphase gewisser geothermischer Anlagen benötigt werden: Es gibt nämlich Modelle, deren Funktionsprinzip darauf beruht, mit dem heissen Wasser aus der Tiefe eine Flüssigkeit in einem anderen, vollständig getrennten Zyklus im Kraftwerk aufzuheizen. Hier kommen etwa Benzol, Toluol oder Isopentan zum Einsatz, die bei tieferen Temperaturen als Wasser zu sieden beginnen. Sie liefern damit auf effiziente Weise den Dampf, der die Turbinen zur Stromgewinnung antreibt. Entweichen diese Chemikalien in die Umwelt, reizen sie Haut und Schleimhaut, bewirken Übelkeit und führen, wenn man ihnen über längere Zeit exponiert ist, zu schweren Krankheiten wie Leukämie oder Leber- und Nierenschäden. Problematisch ist schliesslich auch Ätznatron, das gelegentlich der Bohrflüssigkeit zugegeben wird. Wie schon der Name sagt, greift es organisches Material und Metalle stark an.

Für den Umgang mit diesen Chemikalien, die in vielen Industriezweigen eingesetzt werden, existieren Vorgaben und Richtlinien, und die zuständigen Behörden verfügen über viel Erfahrung bei der Kontrolle. Dennoch sind Unfälle beim Transport und der Lagerung solcher Stoffe nie ausgeschlossen, sodass auch von ihnen ein Risiko ausgeht, dem es Rechnung zu tragen gilt.

Kein polarisiertes Meinungsbild

Ob eine neue Technik eingesetzt werden kann, hängt nicht zuletzt davon ab, ob sie in der Öffentlichkeit auf Akzeptanz stösst. Die Sozialwissenschaft kennt Verfahren, um der Bevölkerung den Puls zu fühlen: In der Studie von TA-SWISS wurden zum einen mit Fokusgruppen Argumentationsmuster rund um die Geothermie ermittelt. Zum anderen liess eine Analyse des sozialen Netzwerkes Twitter – das in der Schweiz immerhin rund eine halbe Million Nutzerinnen und Nutzer hat – Rückschlüsse auf das Meinungsbild zur Energie aus dem Untergrund zu.

Obschon den beiden Schweizer Versuchen mit Geothermie kein Erfolg beschieden war und die mediale Berichterstattung entsprechend kritisch ausfiel, zeichneten die sozialwissenschaftlichen Analysen der öffentlichen Wahrnehmung eine überraschende Gelassenheit im Umgang mit dem Thema auf. Die zwischen April 2013 und August 2014 in Europa verbreiteten Tweets äusserten sich mehrheitlich neutral bis leicht positiv über die neue Form der Energiegewinnung. Dabei stammten im Schnitt weniger als ein Achtel der aufgezeichneten Tweets aus der Schweiz – ein Indiz dafür, dass es sich hierzulande bei der Geothermie nicht um ein kontroverses und heiss diskutiertes Thema handelt.

Inhaltlich mehr in die Tiefe drangen die insgesamt fünf Fokusgruppen. Sie bestätigen, dass sich in der Schweizer Bevölkerung keine harten Fronten zwischen Befürwortern und Gegnern der Geothermie gebildet haben. Vielmehr sind sich viele Menschen in ihrer zwiespältigen Haltung einig: Sie erkennen Potenziale und Vorteile der neuen Energieform, wägen aber auch die Risiken ab. «Unerschöpfliche Energiequelle», «vielversprechender Beitrag zur Energiewende» und «Umweltfreundlichkeit» sind positive Assoziationen, die mit der Geothermie verbunden sind. Auf der Negativseite stehen dagegen «finanzielle Risiken, wenn das Wasser aus der Tiefe nicht heiss genug ist und sich eine Anlage als zu wenig wirtschaftlich erweist», dazu «Forschungslücken mit Blick auf technische und ökologische Risiken» und schliesslich «die Gefahr, dass Gebäude und Infrastrukturanlagen beschädigt werden». Dass das öffentliche Meinungsbild zurzeit weitgehend frei von Polarisierung ist, bildet aus Sicht der Sozialwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler eine gute Ausgangslage für eine faktengestützte und besonnene Auseinandersetzung mit der neuen Technik. Allerdings ist die weit verbreitete Ambivalenz dem Thema gegenüber auch ein Hinweis darauf, dass das Meinungsbild rasch umschlagen könnte.

Komplizierter Parcours durch die Paragraphen

In der Schweiz bestimmen die Kantone, wie ihr Grund und Boden genutzt wird. Zwar legt die Bundesverfassung gewisse übergeordnete Prinzipien für Raumplanung, Wassernutzung und Energietransport fest; in der konkreten Ausgestaltung dieser Leitlinien sind die Kantone indes souverän. Das führt dazu, dass zurzeit das Vorgehen bei der Planung und einem allfälligen Betrieb von Geothermieanlagen in der Schweiz uneinheitlich ist.

Besitzverhältnisse regelt das Zivilgesetzbuch (ZGB), und Abgrenzungen von Privateigentum in der Fläche sind rechtlich weitgehend unproblematisch. Doch wie weit erstreckt sich das Recht am Eigentum in der vertikalen Dimension, das heisst: in die Höhe und in die Tiefe?

Wem gehört der Untergrund?

Im Zusammenhang mit der Luftfahrt sah sich der Gesetzgeber gezwungen, sich dieser Frage zuzuwenden. Ausschlaggebend ist dabei das Interesse des Eigentümers, einen Raum selber zu nutzen. Im Hinblick auf den Ausbau von Flughäfen stellte sich verschiedentlich die Frage, inwiefern überfliegende Flugzeuge das Eigentumsrecht der Grundherren verletzen. Dabei lehnte es das Bundesgericht stets ab, generell zu bestimmen, ab welcher Höhe Flugzeuge in die Interessensphäre des Eigentümers und damit in seinen Privatbesitz eindringen. Es bestätigte allerdings für zwei Parzellen, die nahe an einer Piste liegen und regelmässig von grösseren Flugzeugen in einer Höhe von 75 bis 100 Metern überflogen wurden, dass ein Eingriff in das Eigentum vorlag.

Analoge Überlegungen gibt es auch für den Untergrund. Weil immer mehr Gebäude mit Erdsonden beheizt werden, hat das Bedürfnis der Eigentümer, den Untergrund zu nutzen, erheblich zugenommen. Somit kann sich ihr schutzwürdiges Interesse mehrere hundert Meter in die Tiefe erstrecken. Sie können davon allerdings nicht ableiten, dass das gesamte unter ihrem Grundstück liegende Erdreich in ihr Eigentum übergeht; vielmehr gehört ihnen nur der Teil des Bodens, welcher durch die Erdwärmesonden tatsächlich belegt wird. Das Recht behandelt die privaten Eigentumsrechte am Untergrund eher restriktiver als jene am Luftraum – nicht zuletzt, um damit den Bau von Infrastrukturanlagen wie etwa Tunnel, die für das Gemeinwesen wichtig sind, nicht übermässig zu erschweren. So entschied das Bundesgericht bei einer landwirtschaftlichen Parzelle, dass bereits ab einer Tiefe von 5 Metern der Boden zum herrenlosen und damit der Hoheit des Staates unterstehenden Untergrund gehört.

Eine Vielzahl von Bewilligungen sind erforderlich

Den Abbau von Bodenschätzen wie Metallen oder fossilen Brennstoffen regelt das sogenannte Bergregal. Das Regalienrecht geht auf das Mittelalter zurück; es bestimmte, wie weltliche und geistliche Herrscher die Nutzung begrenzter Güter – neben Bodenschätzen waren dies auch Wild oder Fische – mittels Konzessionen auf die Gemeinschaft verteilten. Die Schweiz kennt das Salz- und das Bergregal, und beide stehen in der Zuständigkeit der Kantone. Im Unterschied zu seltenen Naturprodukten fällt der Abbau weit verbreiteter Materialien wie Kies oder Sand in der Regel nicht unter ein Regal. Für den rechtlichen Umgang mit der Erdwärmeproduktion gibt es also Spielraum.

Die Rechtslage unterscheidet sich von Kanton zu Kanton. Einzelne von ihnen haben das Bergregal an die Gemeinden delegiert und selber keine rechtlichen Regelungen erlassen, bei anderen stehen bergrechtliche Bestimmungen im kantonalen Einführungsgesetz zum Zivilgesetzbuch, während zahlreiche Kantone über eine eigentliche Bergregalgesetzgebung verfügen. Diese wurde schliesslich teilweise so erweitert, dass ihr auch die Nutzung der Erdwärme untersteht.

Bei der Planung und dem Bau einer Geothermieanlage gilt es neben den Bestimmungen für die Nutzung der Erdwärme allerdings noch zahlreiche weitere Vorschriften zu beachten, deren Ausgestaltung sich ebenfalls von Kanton zu Kanton unterscheidet: So braucht es eine Bewilligung zur Wasserentnahme oder zur Grundwassernutzung, eventuell müssen Waldrodungen genehmigt werden, auch muss die geplante Anlage mit dem Natur- und Heimatschutzgesetz konform gehen und dem kantonalen Richtplan gemäss Raumplanungsgesetz entsprechen. Schliesslich muss auch die vom Umweltschutzgesetz geforderte Umweltverträglichkeitsprüfung positiv ausfallen.

Wenn es allerdings darum geht, vorabklärend zu erkunden, ob sich der Untergrund für eine geothermische Nutzung eignet, sind die gesetzlichen Hürden etwas tiefer als für die eigentliche Planung einer Anlage. So reicht für Probebohrungen bereits eine Bewilligung, während für den Betrieb eine Konzession erforderlich ist. Stossend ist aus rechtlicher Sicht, dass aus einer solchen Explorationsbewilligung kein automatischer Anspruch auf eine anschliessende Nutzungskonzession erwächst. Damit wird der Inhaber der Explorationsbewilligung benachteiligt, der in die Abklärungen investiert hat und fündig geworden ist, aber unter Umständen keinen Nutzen aus seinem Erfolg ziehen kann.

Energiewende bringt Bewegung in die Planung

Die anfangs September 2013 vom Bundesrat verabschiedete Botschaft zum ersten Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 verlangt von den Kantonen,

ein Konzept für den Ausbau erneuerbarer Energien auszuarbeiten. Sie scheiden dazu Gebiete aus, die sich grundsätzlich für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen eignen und bezeichnen gegebenenfalls auch jene Landstriche, die dafür nicht in Frage kommen. Die Energieplanung wird damit zum integralen Bestandteil der Raumplanung.

Ausserdem werden die Kantone dazu angehalten, beim Bau von Anlagen für die Nutzung erneuerbarer Energien rasche Bewilligungen vorzusehen – keine leichte Aufgabe angesichts der Vielzahl von Regelungen und Vorschriften, die es zu beachten gilt. Diese Schwierigkeit wird entschärft durch ein Vorgehen im «Koordinationsmodell», bei dem die Kantone eine Behörde bezeichnen, die die verschiedenen Bewilligungsverfahren aufeinander abstimmt und für einen möglichst reibungslosen Ablauf sorgt. Weiter geht das sogenannte Konzentrationsmodell: Hier beschränkt sich die zuständige Behörde nicht nur darauf, den Genehmigungsprozess möglichst problemlos zu gestalten; vielmehr konzentriert sich auch die Entscheidungsbefugnis an einer einzigen Stelle, d.h. diese erlässt eine Verfügung, die alle übrigen Vorgaben ersetzt. Die meisten Kantone wenden heute das Koordinationsmodell an. Aus Sicht von Rechtsfachleuten könnte der Bund bei der künftigen Planung der Geothermie eine wichtige Rolle spielen, indem er eine Plattform schaffen würde, um die Kantone bei Umsetzung und Vollzug ihrer jeweiligen Massnahmen, Verordnungen und Richtlinien zu unterstützen.

Koordinations- vs. Konzentrationsmodell

Koordinationsmodell: Die verschiedenen Amtsstellen bleiben zuständig, die Genehmigungsverfahren laufen parallel. Eine der Stellen ist aber für die Koordination der Verfahren zuständig.

Konzentrationsmodell: Alle notwendigen Bewilligungen werden von einer Stelle erteilt. Dieses Modell konzentriert die Entscheidbefugnis bei einer einzigen Behörde. Sie ist zugleich Leitbehörde und verfügende Instanz.

Für einen künftigen Schweizer Energiemix mit Geothermie

Viele Gründe sprechen dafür, dass die Geothermie in der künftigen Energieversorgung der Schweiz eine wichtige Rolle spielen könnte. Allerdings muss dazu erheblich in Forschung und Entwicklung investiert werden. Auch gilt es, den komplizierten Genehmigungsprozess für Planung und Bau geothermischer Anlagen übersichtlicher und effizienter zu gestalten. Wichtig wird es zudem sein, die Öffentlichkeit frühzeitig einzubinden, wenn eine verstärkte Nutzung der Geothermie erwogen werden sollte.

Im Unterschied zu den anderen «neuen» Formen erneuerbarer Energie hängt die Geothermie nicht von der Witterung ab; vielmehr ist ihre Leistung beständig und berechenbar. Damit kommt sie als eine der wenigen «neuen» erneuerbaren Optionen in Frage, um am Strommarkt die Grundlastversorgung zu decken und damit wesentlich zur Versorgungssicherheit beizutragen. Auch handelt es sich um eine umweltfreundliche Energiequelle, die praktisch kein Treibhausgas ausstösst. Allerdings braucht es noch erhebliche Vorarbeit, um dieses vielversprechende Energiepotenzial zu erschliessen.

Den Untergrund erhellen

Vorliegende Abschätzungen des geothermischen Potenzials beruhen im Wesentlichen auf Erhebungen des oberflächlichen Wärmestroms. Viele unterirdische Einflussfaktoren – etwa die Durchlässigkeit von Gesteinsschichten, das Volumen bestimmter Felsformationen und auch die genauen Temperaturverhältnisse in grösserer Tiefe – sind allerdings unbekannt. Wissenschaftliche Erhebungen sind unabdingbar, um genauere geologische Modelle zu berechnen. Eine Politik, die den öffentlichen Zugang zu Daten über den Untergrund gewährleistet, könnte den Zuwachs an geologischem Wissen entscheidend fördern. Denkbar wäre ein Ansatz wie in Australien, wo Nutzungskonzessionen an die Bedingung geknüpft werden, dass die konzessionierten Betriebe ihre Daten nach einer gewissen Zeit veröffentlichen.

Die Technik erproben

Der für die Schweiz in Frage kommende petrothermale Ansatz ist in verschiedener Hinsicht noch nicht ausreichend erprobt. Eine grosse Herausforderung liegt darin, dass diese Technik in besonders enger Wechselwirkung zu den geologischen Strukturen steht. Insbesondere bei der Erschliessung des Wärmereservoirs ist es schwierig, das Verhalten des Fels vorherzusehen, zumal seine Reaktion auf das mit grossem Druck eingepresste Wasser nicht direkt beobachtet werden kann. Hier müssten Methoden entwickelt werden, um die innere Beschaffenheit von Felsmassen zu ermitteln. Auch muss der Wärmefluss innerhalb des Wärmereservoirs besser verstanden werden. Zudem gilt es, die aus der Öl- und Gasförderung bekannten Bohrmethoden im Hinblick auf ihren Einsatz in hartem Granitfels weiter zu entwickeln.

Die erheblichen Unsicherheiten, mit denen der petrothermale Ansatz behaftet ist, lassen sich nur mit Pilotprojekten ausräumen. Es wäre eine umfangreiche Forschungsinitiative mit Demonstrationsanlagen erforderlich, um den Bau eines petrothermalen Systems zu ermöglichen, das wirtschaftlichen Leistungsanforderungen genügt.

Bewilligungsverfahren und Planungsgrundlagen vereinheitlichen

Die Nutzung des Untergrundes fällt in die Zuständigkeit der Kantone, und uneinheitliche Regelungen erschweren Planung und Bau von Geothermieanlagen. Würden die Zuständigkeiten bei einer einzigen Behörde gebündelt, könnte dies zur Vereinfachung und Beschleunigung der Verfahren beitragen. Das sogenannte Konzentrationsmodell, das von verschiedenen Kantonen bereits angewandt wird, könnte eine wirkungsvolle und praktische Lösung darstellen.

In der Raumnutzung treffen die – teilweise widersprüchlichen – Interessen verschiedenster Anspruchsgruppen aufeinander. Ein geographisches Informationssystem, das Gebiete mit geothermischem Potenzial auswiese, mit der politischen Regulierung und den Anliegen der Bevölkerung in Beziehung brächte und mit einem ökonomischen Modell verbände, könnte ein hilfreiches Instrument darstellen: Es würde dazu dienen, die Kosten der geothermalen Energieproduktion präziser zu kalkulieren und transparent die Standorte mit dem grössten geothermischen Potenzial darzustellen.

Lernen, mit dem Erdbebenrisiko umzugehen

In den letzten Jahren wurden die Verfahren, um künstlich erzeugte Erdstösse vorauszusagen, erheblich verbessert. Diese Methoden gilt es weiter zu verfeinern. Obschon aber Erdbeben damit besser zu kontrollieren sind, werden sie sich auch in Zukunft weder völlig ausschliessen noch über längere Frist vorhersagen lassen. Die wirtschaftliche Umsetzung und der Erfolg der Geothermie hängt daher wesentlich davon ab, welches seismische Risiko die Gesellschaft zu tragen bereit ist. Diese Diskussion ist frühzeitig und unvoreingenommen zu führen.

Frühzeitig und offen kommunizieren

Die Bevölkerung legt gegenüber der Geothermie eine neutrale bis verhaltend wohlwollende Haltung an den

Tag. Allerdings neigen die Massenmedien dazu, spektakuläre Ereignisse wie etwa künstlich hervorgerufene Erdbeben in den Blickpunkt zu nehmen. Dies bleibt nicht ohne Einfluss auf die öffentliche Wahrnehmung. Eine frühzeitige Information und Beteiligung der Bevölkerung ist das beste Mittel, um dem Misstrauen zu begegnen. Dabei sollten interessierte Firmen transparent auch über allfällige Risiken ihrer Vorhaben aufklären, während die Wissenschaft, die sich zurzeit gerne kritisch äussert, auch die Chancen der Geothermie zur Sprache bringen sollte. Wichtig ist jedenfalls, dass klar, verständlich und ausgewogen informiert wird.

Studie «Energy from the earth: Deep geothermal as a resource for the future»

Begleitgruppe

Gunter Siddiqi, Vorsitzender der Begleitgruppe, Bundesamt für Energie BFE, Bern

Jürg Balmer, Bundesamt für Bevölkerungsschutz – BABS, Bern

Willy R. Gehrer, Siemens Schweiz AG, Electrosuisse, Zürich, Delegierter der SATW

Monika Gisler, Unternehmen Geschichte & Entrepreneurial Risks, ETH, Zürich

Elmar Grosse Ruse, WWF Schweiz, Zürich

Rolf Hügli, Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften SATW, Zürich

Peter Meier, Geo-Energie Suisse AG, Zürich

Thomas Müller, Redaktor Schweizer Radio SRF, Bern; Leitungsausschuss TA-SWISS

Kurt Nyffenegger, Sektion Grundwasser & Wasserversorgung, AWEL, Zürich

Etienne Poltier, Rechtsfakulät, Universität Lausanne

Katharina Prelicz-Huber, Verband des Personals Öffentlicher Dienste VPOD, Zürich; Leitungsausschuss TA-SWISS

Berthold Schmidt, Delegierter KTI, Bern

Jörg Uhde, Axpo Power AG | Neue Energien, Glattbrugg

Pascal Vinard, BKW Energie AG (bis April 2014), Geospace Experts GmbH

Felix Würsten, Wissenschaftsjournalist, Zürich

Roland Wyss, GEOTHERMIE.CH, Schweizerische Vereinigung für Geothermie SVG - SSG, Frauenfeld

Olivier Zingg, Geo-Energie Suisse AG, Zürich

Projektgruppe TA-SWISS

Sergio Bellucci, Geschäftsführer TA-SWISS, Bern

Christina Tobler, Projektverantwortliche TA-SWISS, Bern (ab August 2013)

Emiliano Feresin, Projektverantwortlicher TA-SWISS, Bern (bis Juli 2013)

Impressum

TA-SWISS (Hrsg.) Strom aus dem Untergrund.
Kurzfassung der Studie «Energy from the earth: Deep geothermal as a resource for the future?»,
TA-SWISS, Bern 2015.
TA 62A/2015
Autorin: Lucienne Rey, TA-SWISS, Bern
Produktion: Christine D'Anna-Huber, TA-SWISS, Bern
Gestaltung, Foto und Illustrationen: Hannes Saxer, Bern
Druck: Jordi AG – Das Medienhaus, Belp

TA-SWISS – Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung

Neue Technologien bieten oftmals entscheidende Verbesserungen für die Lebensqualität. Zugleich bergen sie mitunter aber auch neuartige Risiken, deren Folgen sich nicht immer von vornherein absehen lassen. Das Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung TA-SWISS untersucht die Chancen und Risiken neuer technologischer Entwicklungen in den Bereichen «Biotechnologie und Medizin», «Informationsgesellschaft», «Nanotechnologien» und «Mobilität/Energie/Klima». Seine Studien richten sich sowohl an die Entscheidungstragenden in Politik und Wirtschaft als auch an die breite Öffentlichkeit. Ausserdem fördert TA-SWISS den Informations- und Meinungsaustausch zwischen Fachleuten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und der breiten Bevölkerung durch Mitwirkungsverfahren (zum Beispiel PubliForen und publifocus). Die Studien von TA-SWISS sollen möglichst sachliche, unabhängige und breit abgestützte Informationen zu den Chancen und Risiken neuer Technologien vermitteln. Deshalb werden sie in Absprache mit themenspezifisch zusammengesetzten Expertengruppen erarbeitet. Durch die Fachkompetenz ihrer Mitglieder decken diese sogenannten Begleitgruppen eine breite Palette von Aspekten der untersuchten Thematik ab.

TA-SWISS ist ein Kompetenzzentrum der Akademien der Wissenschaften Schweiz.

TA-SWISS
Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung
Brunngasse 36
CH-3011 Bern
info@ta-swiss.ch
www.ta-swiss.ch

Ein Kompetenzzentrum der
Akademien der Wissenschaften Schweiz

SATW
Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
Académie suisse des sciences techniques
Accademia svizzera delle scienze tecniche
Swiss Academy of Engineering Sciences

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN
Ufficio federale dell'energia UFE
Swiss Federal Office of Energy SFOE

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Kommission für Technologie und Innovation KTI
Förderagentur für Innovation