

GUNTER SIDDIQI¹

Geothermie in der Schweiz: direkte Nutzung für Strom und Wärme

Zusammenfassung des Vortrags vom 14.06.2016

Die Nutzung der tiefen Geothermie ist umweltfreundlich, jedoch ist sie nicht frei von Gefahren und Risiken. Die Risiken müssen auf ein so gering wie praktikabel mögliches Niveau gesenkt werden müssen. Verglichen mit anderen Formen erneuerbarer Energien benötigt die Geothermienutzung wenig Materialien, deren Abbau die Natur belastet. Auch der Ausstoss von CO₂ ist selbst dann minimal, 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 kann sowohl Bandenergie liefern, wie auch flexibel eingesetzt werden. Dies fällt umso mehr ins Gewicht, als es künftig darum gehen wird, unregelmässig anfallende Stromspitzen aus anderen erneuerbaren Energiequellen auszugleichen.

Strom aus einheimischer Geothermie wird generell als dezentraler Grundlaststromlieferant vorgesehen und geothermische Wärme kann direkt mit Fernwärmenetzen genutzt werden. Jedoch haben Fortschritte in der Kraftwerk- und Regelungstechnik von Geothermie-Stromanlagen dazu geführt, dass flexible Betriebsarten möglich geworden sind. So z.B. an der Puna Geothermieanlage in Hawaii, wo 8 der 38 MW von der Hawaii Electric Company kontrolliert werden und nach Bedarf schnell nieder- oder wiederangefahren werden, um systemrelevante Hilfsdienste zu leisten, wie die Netzstützung und Netzregulierung zu liefern, als rotierende und nicht-rotierende Reserven für die Strombereitstellung sowie als Ersatz- und zusätzliches Kraftwerk. Energie aus dem Erdinneren könnte auch in der Schweiz einen wichtigen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten und die Abhängigkeit von ausländischen Energielieferanten verringern. Gelingt es, die Wärme, die nicht zur Stromproduktion benötigt wird, in Fernwärmenetze einzuspeisen und zu verkaufen, werden auf Grund von zukünftiger Kenntnis- und Erfahrungsgewinn und Technologieentwicklung die Kosten für geothermisch erzeugte Elektrizität am Markt durchaus konkurrenzfähig und werden gar unter jenen der meisten anderen Formen erneuerbarer Energie liegen (HIRSCHBERG ET AL., 2015).

¹ Gunter Siddiqi, Bundesamt für Energie, 3003 Bern

Aber heute wird in der Schweiz kein Strom und nur sehr selten Wärme aus der tiefen Geothermie für Konsumentinnen und Konsumenten bereitgestellt – trotz des grossen Ressourcenpotenzials in der Schweiz (HIRSCHBERG ET AL., 2015). Die Gründe sind die hohen Fündigkeitsrisiken, um Ressourcen in nutzbare Geothermiereservoirs zu wandeln; selbst bei vorgefundenen nutzbaren Reservoirs bedarf die Erschliessung sehr hoher Vorlaufinvestitionen und schliesslich existieren nur sehr wenige industrielle Betriebe, die sich in dieses Geschäft wagen können.

Konventionelle geothermische oder hydrothermale Ressourcen bedingen das Zusammenspiel dreier Faktoren (*Abb. 1*):

1. Eine hohe Temperaturen im Untergrund.
2. Die Präsenz Wasser führender Gesteinsschichten oder geologischer Strukturen.
3. Eine genügend grosse Wasserwegsamkeit des Gesteins für eine wirtschaftlich nachhaltige Heisswasser Schüttung auf der Erdoberfläche.

Wenn auch das Potenzial vorhanden ist, haben Tiefbohrungen in jüngerer Vergangenheit (Zürich Sonnengarten, St. Gallen) nicht die erwartete Fündigkeit gehabt. Das Zusammentreten aller drei erwähneter Faktoren ist relativ selten. Um sich von der natürlich vorgegebenen Fündigkeitswahrscheinlichkeit zu lösen, werden noch andere Nutzungskonzepte verfolgt. Nebst der hydrothermalen Geothermie stellt eben die petrothermale Geothermie, auch Engineered Geothermal Systems beziehungsweise EGS genannt, ein Nutzungsverfahren dar, welches lediglich eine genügend hohe Temperatur im tiefen Untergrund zur Nutzung bedingt (*Abb. 1*). Weil die Notwendigkeiten einer Heisswasser führenden Schicht oder geologischen Struktur mit genügend hoher Wasserdurchlässigkeit entfallen, ist EGS höchst attraktiv. Kaltes Wasser wird in einem quasi geschlossenen Kreislauf in den Untergrund gepresst, um eine mehrere Quadratkilometer grosse Wärmetauschfläche im heissen Gestein mittels hydraulischer (angedacht sind auch thermische oder chemische) Frakturierungs- und Stimulationsverfahren zu erschliessen. In der Produktionsphase dienen mindestens zwei Bohrlöcher der Zuführung von Wasser in das Reservoir und der zutage Förderung des Wassers, welches auf dem Weg durch das Reservoir dem Gestein die Wärme entzieht. Der Einsatz des EGS Konzepts erweitert das Potenzial der Geothermie, da die Ressourcen quasi unbegrenzt sind. Aber aufgrund der operativen und technischen Risiken ist die EGS Technologie zurzeit nicht marktreif. Seit rund zehn Jahren werden in Länder wie den USA, Island, Deutschland, Frankreich und Australien Fortschritte in der Technologieentwicklung erzielt. Selbstverständlich gibt es noch eine Reihe weiterer Nutzungs- oder Wärmeabbaukonzepte, die sich aber zumeist noch in einem technologischen Frühstadium befinden, im besten Fall pilotiert, aber noch nicht demonstriert wurden.

Für beide Nutzungskonzepte und in Anbetracht der erwarteten Temperaturen einheimischer Ressourcen, wird an der Oberfläche für Stromprojekte eine binäre Kraftwerkstechnologie eingesetzt. Dabei wird dem natürlichen Heisswasser mittels

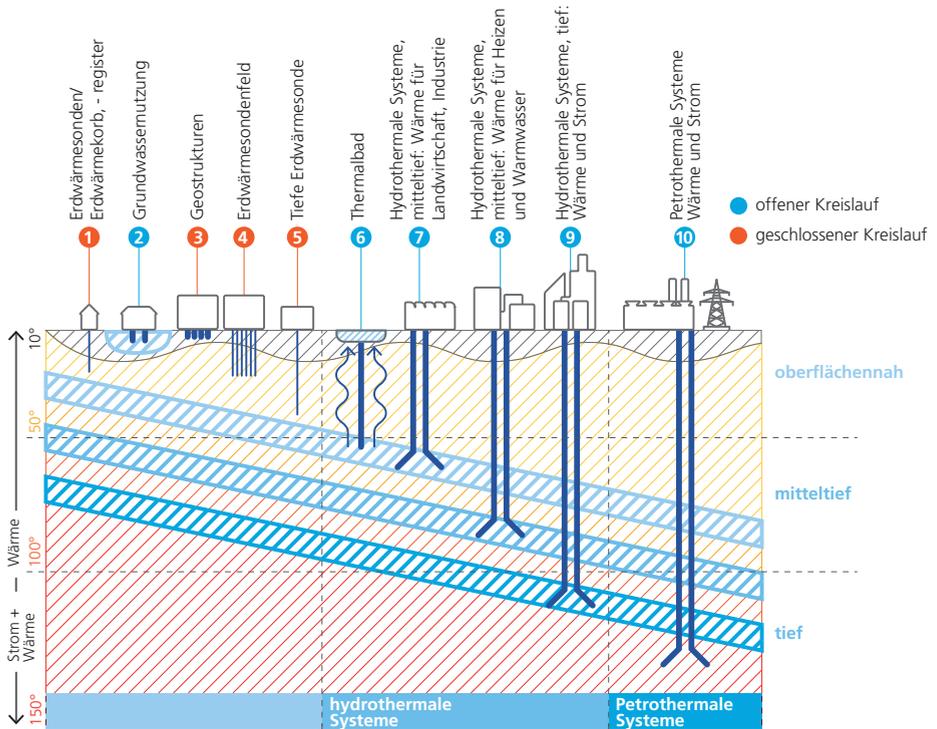


Abb. 1: Die Geothermie hat viele Nutzungsmöglichkeiten (1–6 sind in der Schweiz zum Teil sehr weit verbreitet). Die direkte Nutzung der hydrothermalen Geothermie in der Agrar- und Landwirtschaft wird derzeit im thurgauischen Schlattingen mit neuen Bohrkonzepten erprobt – Nutzungstyp 7. Das Geothermieprojekt in Riehen (BS) stellt bereits seit über 20 Jahren Wärme für Haushalte und Grosskunden bereit – ein in der Schweiz einzigartiges Projekt (Nutzungskonzept 8). Weitere Versuche in der jüngeren Vergangenheit natürlich vorkommende Heisswasser-Aquifere zu nutzen (wie zum Beispiel in Zürich) sind auf Grund mangelnder Fündigkeit gescheitert. Manchmal wird sogar anstatt des erwarteten Heisswassers für die Strom- und Wärmebereitstellung Erdgas gefunden (wie in St. Gallen – Nutzungstyp 9). Schliesslich kann es bei der Erschliessung von petrothermalen Ressourcen, wie das Pionierprojekt in Basel 2006 gezeigt hat, zu spürbaren Erdbeben kommen, die für eine Bevölkerung inakzeptabel sein kann (Nutzungstyp 10).

eines zweiten anorganischen (z.B. ein Ammoniak-Wassergemisch) oder organischen (z.B. Pentan) Arbeitsmediums die Wärme entzogen und in der Kraftwerksanlage Strom produziert. Dem Heisswasser kann danach noch weitere Wärme entzogen werden für den Absatz nützlicher Wärme mittels existierender Wärmenetze. Das so gekühlte Heisswasser wird nun wieder in das unterirdische Reservoir rückgeführt und die Zirkulation und Erwärmung des gekühlten Wassers beginnt von neuem.

Die Energiestrategie 2050 des Bundesrats begleitet seit dem Jahr 2011 die schweizerische Bevölkerung. Mit dem Störfall in einem Kernkraftwerk im japanischen Fukushima infolge eines durch ein Erdbeben verursachten Tsunamis, hat der Bun-

desrat einer Vielzahl von Tendenzen Rechnung getragen, um Szenarien für die Energiezukunft der Schweiz zu entwickeln. Die Trends sind die zunehmende Wichtigkeit einer nachhaltigen, mit der Klimapolitik kongruenten Energiewirtschaft; signifikante Kostenreduktion in der Nutzung erneuerbarer Energien; politische Instabilitäten in Nordafrika und im Mittleren Osten; Aspekte der Versorgungssicherheit und letztendlich neue Märkte, die mittels schweizerischer Technologie bedient werden können.

Der Bundesrat sieht mit der Energiestrategie 2050 Potenzial für die langfristige Nutzung der Geothermie (Abb. 2). Theoretisch ist das Potenzial sehr gross: in vier bis fünf Kilometern unter der Erdoberfläche lagert so viel Erdwärme, dass sie ein Vielfaches des Schweizer Strom- und Wärmebedarfs decken könnte. In Realität wird vermutlich nur ein kleiner Teil dessen wirtschaftlich genutzt werden können. Die Haupthemmnisse, die zum heutigen Mangel an realisierten Projekten führen, sind primär die im Vorfeld hohen Investitionskosten und das hohe Risiko der Nichtfündigkeit. Letzteres hängt eng mit dem geringen Wissensstand über den einheimischen Untergrund zusammen. Aus diesem Grund strebt der Bundesrat unter anderem einen signifikanten Zubau von Strom- und Wärmebereitstellung aus neuen erneuerbaren Energien wie der Geothermie an.

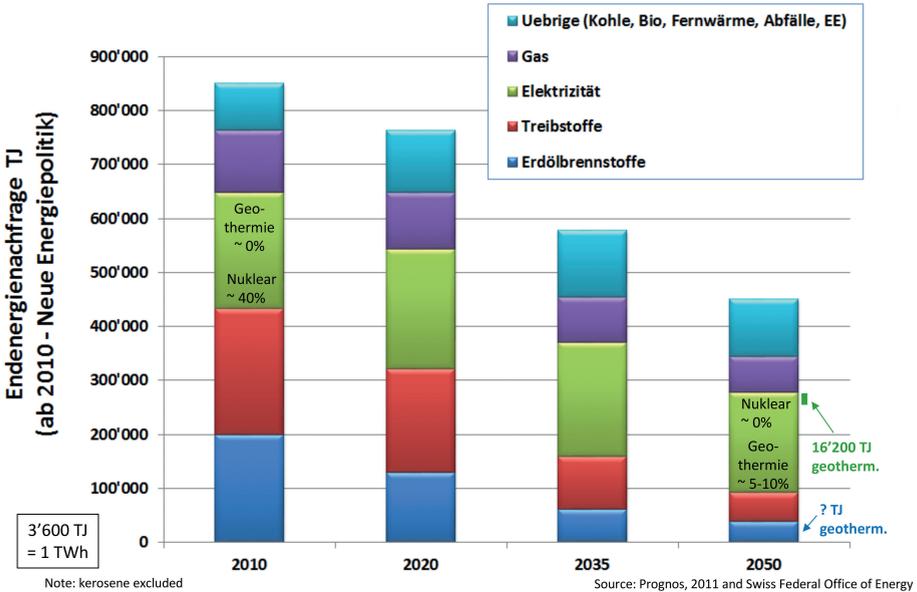


Abb. 2: Die Geothermie im Planungsszenario Neue Energiepolitik innerhalb der Energiestrategie 2050 der Schweiz. Die Stossrichtungen umfassen (1) Energieeffizienz und -sparen, (2) erhöhte Nutzung der Wasserkraft, neuer Erneuerbarer und Wärme-Kraft-Kopplung, (3) Importe, (4) Erneuerung der Netzinfrastruktur und (5) ein Ausbau der Energieforschung (PROGNOS, 2011).

Auf der anderen Seite zielt die Klimapolitik der Schweiz auf eine weitgehende Dekarbonisierung des Energiesektors ab. In der Energiestrategie 2050 zählt die Geothermie daher zu den förderbaren Technologien. Diese Ziele verfolgen auch die drei vom Parlament überwiesenen Motionen 11.3562 («Tiefe Geothermie. Offensive»), 11.3563 («Tiefe Geothermie. Schweizweite geologische Erkundung») und 11.4027 («Aktionsplan für die Geothermie»), die den Bundesrat beauftragen, über besondere Massnahmen die Nutzung der tiefen Geothermie zu fördern. Die Motionen betreffen Risiken in der Technik, Ökonomie, und Gesellschaftspolitik, die mittels einer Reihe von Massnahmen reduziert werden sollen.

Im Rahmen der am 30. September 2016 vom Parlament beschlossenen Totalrevision des Energie-Gesetzes (EnG) und der Teilrevision des CO₂-Gesetzes sowie den damit einhergehenden Revisionen der Energieverordnung (EnV) und der Verordnung über die Reduktion der CO₂-Emission (CO₂-Verordnung), sollen wesentliche Elemente der parlamentarischen Aufträge umgesetzt werden: Im total revidierten Energiegesetz sind drei Förderinstrumente (Geothermie-Erkundungsbeiträge, Geothermie-Garantie, Einspeiseprämien) für Geothermie-Stromprojekte verankert. Im neu teil-revidierten CO₂-Gesetz ist das Förderinstrument (Investitionsbeitrag) zur Unterstützung von Projekten zur direkten Nutzung der Geothermie für die Wärmebereitstellung verankert. Mit der geplanten Einführung und dem Ausbau der Instrumente (i) Erkundungsbeiträge und (ii) Geothermie-Garantie für Geothermie-Stromprojekte und (iii) Beiträge zur direkten Nutzung der Geothermie durch einen Teil der CO₂-Abgabe, die noch unter dem Vorbehalt des Referendums stehen, haben Parlament und Bundesrat den Anliegen der Motionäre 11.3563 und 11.4027 durch eine pragmatische, subsidiäre, projekt-orientierte Förderung, die zudem zeitlich terminiert ist, Rechnung getragen. Die Koordination für eine geordnete Umsetzung obliegt dem BFE, swisstopo und den Standortkantonen.

Mit diesen Instrumenten für die Erkundung der Schweiz nach geothermischen Ressourcen im Untergrund und einer Nutzung durch Strom- und Wärmeprojekte werden die Rahmenbedingungen beträchtlich verbessert. Ökonomische Barrieren werden sich konsequenterweise auch senken, da sich Beiträge und Garantien positiv auf Projekt-Cashflows niederschlagen. Weiter ist angedacht, den höheren Kosten für die Erschliessung petrothermaler Ressourcen dadurch Rechnung zu tragen, dass petrothermale Geothermie-Stromprojekte, zusätzlich zu den Einspeisevergütungen für Strom aus hydrothermalen Geothermieanlagen, 7,5 Rp./kWh Elektrizität erhalten könnten. Eine effiziente Anreizsetzung über Steuern und Abgaben erfolgt in zunehmend mehr Kantonen der Schweiz über die kantonalen Gesetze zur Nutzung des Untergrunds. Dort wird meistens auf Konzessionsgebühren für die Geothermie verzichtet oder sie werden sehr tief gehalten. Weitere Steueranreize sind auf Grund der ohnehin geringen Steuerlast nicht empfehlenswert; daher werden weitere Steuervergünstigungen oder -Rabatte nicht verfolgt.

Die Förderinstrumente könnten am 1. Januar 2018 in Kraft treten, gegen das Energiegesetz war aber das Referendum zustande gekommen: Die Volksabstimmung fand am 21. Mai 2017 statt. Die Stimmbürgerinnen und Stimmbürger haben

das erste Massnahmenpaket angenommen, und so werden die geplanten Massnahmen ab dem 1. Januar umgesetzt.

Der Bundesrat hat seit Annahme der Motionen die schweizerische Energieforschungslandschaft im Bereich der tiefen Geothermie nachhaltig gestärkt und damit neue Perspektiven für die internationale Forschungszusammenarbeit geschaffen. Seit 2013 hat die Kommission für Technologie und Innovation KTI im Rahmen des Aktionsplanes «Koordinierte Energieforschung Schweiz» den Auftrag, Aufbau und Betrieb von interuniversitär vernetzten Forschungskompetenzzentren, den Swiss Competence Centers for Energy Research (SCCER) zu finanzieren und steuern. Dies geschieht durch den Aufbau personeller und institutioneller Kapazitäten. Forschung und Innovation im Bereich der tiefen Geothermie werden durch das SCCER–Supply of Electricity SCCER-SoE abgedeckt, mit der ETH Zürich als Leading House und im Verbund mit 30 Organisationen aus Forschung und Wissenschaft, der Industrie und der Verwaltung. Wenn auch zu Anfang auf die Strombereitstellung mittels Geothermie (und Wasserkraft) ausgerichtet, wurde für die Periode 2017–2020 das Aufgabenfeld auf die direkte Nutzung der Geothermie für Wärme und Energiespeicherung ausgedehnt. Konzeptionell sind die Geothermie und Geo-Energieforschungsthemen einerseits im Konzept der Energieforschung 2017–2020 des Bundes verankert, welches durch die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE ausgearbeitet wurden. Andererseits hat auch das SCCER-SoE eine Roadmap erstellt, die die offenen Fragen zwischen Potenzial und dessen Realisierung und Umsetzung beleuchtet. Gemäss der Eidgenössischen Forschungskommission CORE sind die folgenden Themenbereiche von grosser Wichtigkeit:

- Physikalische, chemische und mechanische Eigenschaften von Gestein und Fluiden
- Erhalt der Integrität von Deckgestein, aber ebenso die Erzeugung von Durchlässigkeit in Reservoir-Gesteinsformationen
- Hoch-auflösende Erkundungsmethoden zur Auffindung und Evaluation von Ressourcen und damit verbundener Störungsarchitekturen
- Integrierte numerische Simulationsmethoden für dynamische Fließprozesse im Untergrund;
- Neue Methoden die Gesteinspermeabilität zu erhöhen, um optimale Wärmetauscher und Geothermiereservoirs her zustellen
- Planbare, zuverlässige und kostengünstige Erschliessungs- und Nutzungsmethoden (auch obertägiger Natur) von Geothermiereservoirs
- Methoden für die Risikoeinschätzung, Überwachung, Vermeidung induzierter Seismizität und Minderung allfälliger Konsequenzen von Schadenbeben
- Testen und Validierung von Technologien, Prozessen und Verfahrensabläufen in in-situ Bedingungen im Untergrund und Einrichtung einer entsprechenden nationalen Forschungsinfrastruktur für Geothermieforschung im Untergrund
- Nationale Pilot- und Demonstrationsprojekte für tiefe Geothermie, CO₂- und andere Gasspeicher.

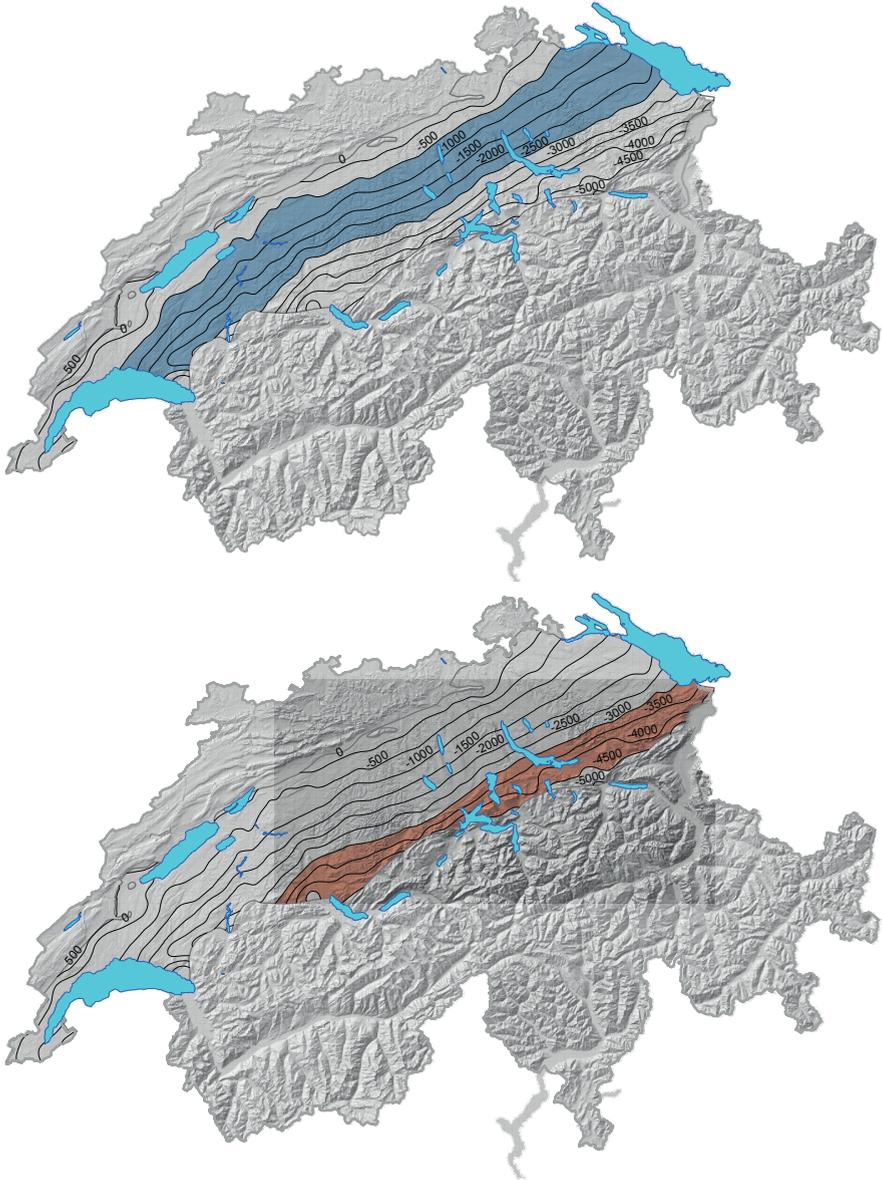


Abb. 3a+b (Karten): Es gibt einige Hinweise, dass z.B. die Oberfläche des Mesozoikums, meist in Zusammenhang mit geologischen Störungen, eine vielversprechende geologische Anordnung zur geothermischen Nutzung darstellen kann. Die Karten zeigen, wo in der Schweiz das theoretische Potenzial besteht, dass für dieses Gestein die richtigen Bedingungen bezüglich Wärmequelle, dem Wärme-Migrationsweg, den Speicherbedingungen sowie die technischen und ökonomischen Möglichkeiten für eine direkte Wärmenutzung (Abb. 3a)/für eine Nutzung zur Stromproduktion (Abb. 3b) bestehen. Ob das Potenzial realisiert werden kann, muss eine Reihe von Erkundungsprojekten aufzeigen, (Quelle: swisstopo 2017, in Vorbereitung /swisstopo nach SOMMARUGA ET AL. 2012).

Die letzten beiden Themen erfolgen im Bereich der Forschungsinfrastrukturen, wo einheimische Forschungsinfrastrukturen ausgebaut werden sollen und international über die Teilnahme am European Plate Observatory System EPOS, einer European Strategic Forum Research Infrastructure positioniert werden sollen. Diese Einrichtungen eröffnen weitere Möglichkeiten für die Realisierung internationaler Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprojekte. Die Beteiligung an europäischen Forschungsrahmenabkommen wird – entsprechend den politischen Gegebenheiten – so weit wie möglich verstärkt. Die Beteiligung am Geothermal Technology Collaboration Program der Internationalen Energieagentur IEA Geothermal TCP, sowie an der International Partnership for Geothermal Technology IPGT eröffnet den Zugang zu und eine aktive Beteiligung an Projekten ausserhalb Europas, soweit es verfügbare Finanzmittel der Schweiz zulassen.

Die Kompetenz der Regelung über die Nutzung des Untergrunds liegt weitgehend bei den Kantonen, die ihrerseits die Nutzung des Untergrundes an die Gemeinden delegieren können. In der Bundesverfassung gibt es keine explizite Regelung über die Nutzung des Untergrundes. Nichtsdestoweniger unterstützt der Bund, wie im Postulatsbericht Riklin 11.3229 detailliert, die Bestrebungen der Kantone. Konkret erarbeitet der Bund zusammen mit den Bewilligungs-, Vollzugs- und Aufsichtsbehörden der Kantone, Richtlinien für Tiefbohrungen und assoziierten Arbeiten, und mit dem Schweizerischen Erdbebendienst Richtlinien zur Überwachung des Risikos der induzierten Seismizität.

Die schweizerische Energiepolitik und Energieforschungspolitik hat somit einen weit umfassenden Rahmen bereitgestellt, von Forschungs- und Innovationsanreizen über die finanzielle Unterstützung von projektorientierter Erkundung nach Geothermiereservoirs für die Wärme- und Strombereitstellung, bis hin zur Gewährung attraktiver Einspeisetarife für «geothermischen» Strom. Gestützt durch attraktive kantonale Bedingungen hinsichtlich Abgaben und Gebühren werden somit gute Voraussetzungen für die wohl wichtigsten Akteure geschaffen: die Industrie, welche lediglich mit den sehr viel tieferen Risiken umgehen muss, um Projekte realisieren zu können.

Referenzen

STEFAN HIRSCHBERG, STEFAN WIEMER and PETER BURGHER, 2015: Energy from the earth. Deep geothermal as a resource for the future? TA-SWISS Study TA/CD 62/2015, vdf Hochschulverlag AG, 524 Seiten, ISBN 978-3-7281-3654-1 (Buch) / Download open access (TA 62/2015 e)