

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie

Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel

Band: 57 (2016)

Heft: 3

Artikel: Geothermie : eine Bestandesaufnahme

Autor: Gonzalez, Ramon

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088227>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Geothermie – eine Bestandesaufnahme

Ramon Gonzalez

Zusammenfassung

Geothermie ist eine Energiequelle aus dem Erdinneren. Die Geothermie hat ein enormes Entwicklungspotenzial, das heute kaum erfüllt ist. Sie kann – in der näheren Zukunft – als unerschöpfliche Energiequelle betrachtet werden. Trotz der vielfachen Vorteile gegenüber anderen erneuerbaren Energiequellen (klimaneutral, kontinuierlich, unabhängig, optisch unauffällig), hat die Geothermie aufgrund zahlreicher Nachteile (hohe Anfangskosten, eine Zahl möglicher Schäden während der Stimulation der Gesteins, Fündigkeitsrisiko) einen schweren Stand. Im vorliegenden Artikel wird versucht, die gegenwärtige Sachlage der Geothermie zusammenzufassen und deren Möglichkeiten und Gefahren offenzulegen. Bei Planung und Bau neuer Anlagen erscheint dabei der Einbezug der Öffentlichkeit wichtig, um Ängste und Vorbehalte zu minimieren.

1 Einleitung

In Anbetracht der Tatsache, dass sich bisher benutzte fossile Energiequellen als problematisch erweisen oder vorhandene Vorräte von Rohstoffen zur Energiegewinnung zur Neige gehen, stellt sich zunehmend die Frage nach Alternativen. In Frage kommen eine ganze Reihe von Energiequellen, wie Photovoltaik, Windenergie, Biomasse oder Geothermie (z. B. Kleemann & Meliss 2013; Gehrer 2011; Andersson et al. 2011).

Durch den Zerfall radioaktiver Stoffe herrschen im Erdinneren Temperaturen von mehreren tausend Grad Celsius. Diese Wärmenergie aus der Erde wird bereits seit vielen tausend Jahren benutzt (Stober & Bucher 2014). Während in der Vergangenheit vor allem an die Oberfläche tretentes warmes Wasser opportunistisch verwendet wurde (z. B. in Thermalbädern), ist der Bereich der Anwendungen – aufgrund der technologischen Verbesserungen in der Erkennung von Warmwasservorkommen in der Tiefe, der Bohrtechnik und anderen Innovationen – heute viel breiter, insbesondere bei der Gewinnung von Wärme für Heizungen und zur Stromgewinnung (●). Die prognostizierte Bandbreite der energetischen Nutzung der Geothermie zur Stromgewinnung im Jahr 2050 liegt zwischen 0 und 8 TWh (Andersson et al. 2011). Dass die Abschätzung so breit streut, deutet auf die Problematik der geothermischen Nutzung hin.

Im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen, die in der Schweiz kaum in wirtschaftlich förderbaren Mengen vorhanden sind, ist sie aufgrund der geologischen Gegebenheiten für eine geothermische Nutzung durchaus günstig gelegen: Besonders geeignet für eine solche Nutzung sind Gebiete mit hohem Wärmegradienten – Gebiete, in denen die Wärme des Gesteins mit der Tiefe zunimmt (z. B. 2). Während dieser Gradient im globalen Durchschnitt mit etwa 3 Kelvin/100 m Tiefe zunimmt, liegt er in einigen Gebieten (tektonisch oder vulkanisch bedingt) deutlich höher (Häfner et al. 2015, 2). So beträgt der Wärmegradient in der Region Basel etwa 4 Kelvin/100 m (Hauber 1991 & 1993), was die Region für eine geothermische Exploration im Prinzip besonders geeignet macht. Trotzdem “steckt die Geothermie in der Schweiz noch in den Kinderschuhen” (EWZ 2014). Verschiedene Projekte sind bereits realisiert, viele sind in Planung, mehrere Projekte müssen allerdings auch bereits wieder aufgegeben werden (1). In diesem Artikel sollen die Hintergründe der verschiedenen Arten geothermischer Exploration skizziert und vor allem auch die Vor- und Nachteile dieser Technologie beleuchtet werden.

2 Methoden der geothermischen Nutzung

Je nach Tiefe der Wärmequelle wird die geothermische Nutzung in einen untiefen, mitteltiefen (hydrothermalen) und tiefen (petrothermalen) Bereich differenziert (Abb. 1).

Die *untiefe Nutzung* liegt im Bereich der Oberflächennutzung bis in Tiefen von mehreren hundert Metern. Dabei sind die Wassertemperaturen je nach Region variabel. So hat das Wasser in Thermalbädern an der Oberfläche eine Temperatur von mehr als 20 °C (3). Diese warmen Quellen entstammen im Allgemeinen aus wärmeren tiefen Erdgeschichten und fliesst durch günstige geologische Verhältnisse an die Oberfläche. Etwas tiefer gelegene, wärmere Wasserquellen werden auch über Erdwärmesonden angezapft, beispielsweise zur Heizung von Ein- und Mehrfamilienhäusern (z. B. Eugster 1991).

Die *hydrothermale Geothermie* nutzt vor allem warmes, bereits im Erdinnern vorhandenes Wasser in Aquiferen (d. h. wasserleitenden Gesteinen) in grösserer Tiefe. Solches Wasser hat aufgrund der Lage eine deutlich höhere Temperatur als oberflächennahes Wasser und kann darum nicht nur für die Erzeugung von Wärme, sondern auch zur Erzeugung von Strom genutzt werden. Ein typisches Beispiel ist die Nutzung der Warmwasservorräte in Riehen (BS): Hier wird seit 1994 Wasser mit einer Temperatur von 65 °C aus dem Oberen Muschelkalk in 1'547 m Tiefe gefördert und das abgekühlte Wasser in einem Abstand von 960 m wieder in die gleichen Schichten auf 1'247 m zurück gepumpt (wobei die natürliche Neigung der Sedimente ausgenutzt wird; Abb. 1); die Förderrate ist 18 l/s. Pläne für eine Erhöhung dieser Förderrate auf 22–23 l/s bestehen (Klingler et al. 2010; 4). Dabei soll das Fernwärmennetz von 26 GWh/a auf 54 GWh/a und die produzierte Wärmemenge von 10–12 GWh/a auf 20–25 GWh/a erhöht werden. Mit einer solchen Steigerung würde die Reduktion des CO₂-Ausstosses von heute 3'500 t/a auf zukünftig 6'000–7'000 t/a erhöht (durch das Wegfallen von Ölheizungen in den betroffenen Haushalten).

Erst durch wichtige ingenieurtechnische Neuerungen ist die tiefste Form der Geothermie möglich – die *petrothermale Geothermie* –, bei der Oberflächenwasser in die Tiefe gepumpt wird, um es dort in nicht von vorne herein wasserführenden Gesteinslagen (meistens Granite und Granitoide) aufzuheizen (Bracke 2014; 1). Dabei wird in der Regel mehrere Kilometer tief gebohrt (Abb. 2). Da das Gestein um die Bohrstelle dicht und homogen ist, muss dieses stimuliert werden, d. h. es werden Risse im Tiefengestein erzeugt, die das Gestein in der Folge wasser durchlässig machen. Im Allgemeinen wird das erreicht, indem Wasser (unter Zusatz von Chemikalien) unter hohem Druck in das Gestein gepresst wird (sogenanntes “Fracking”; vgl. Bracke 2014).

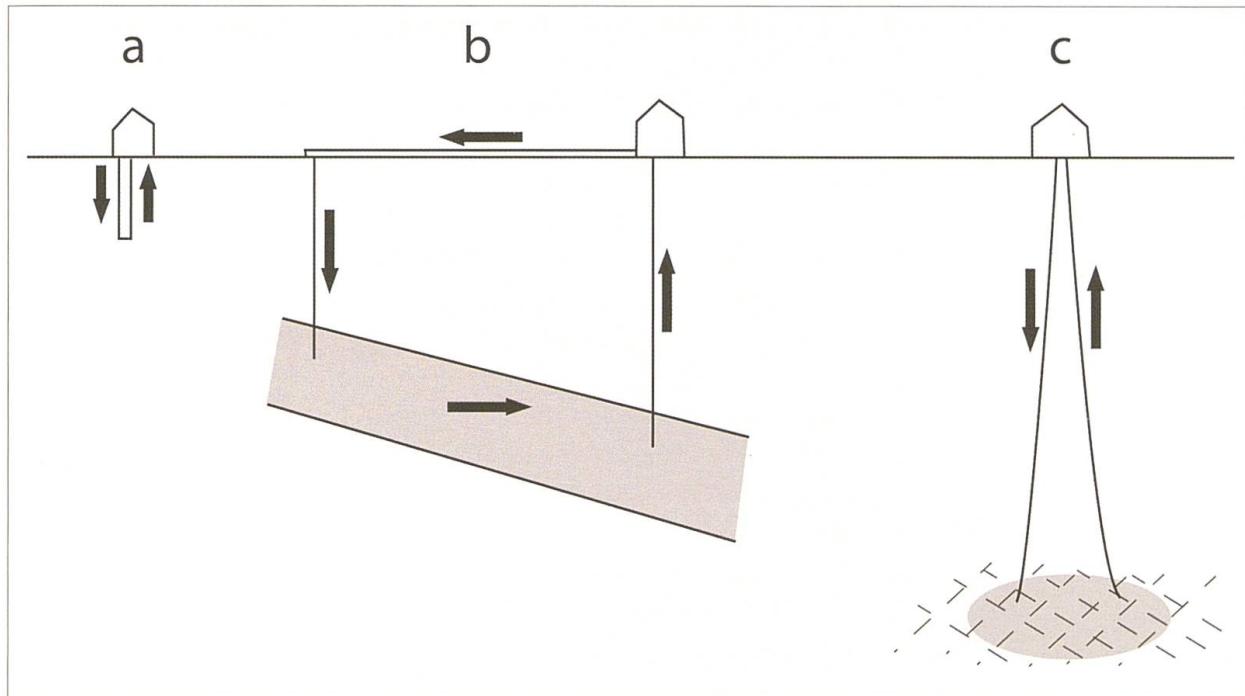


Abb. 1 Grundsätzlich kann die Geothermie in drei Typen differenziert werden. a) Untiefen Geothermie: Dabei wird kühles Wasser in die Tiefe gepumpt (mehrere hundert Meter), damit es erwärmt wieder hochgepumpt werden kann. Das Wasser wird zum Heizen von Ein- oder Mehrfamilienhäusern verwendet. Die Lebensdauer einer solchen Anlage (die dem Gestein Wärme entzieht) beträgt in der Regel einige Jahrzehnte. b) Hydrothermale Anlage: Wasser wird einer wasserführenden Schicht entzogen und an der Oberfläche zur Energiegewinnung und Heizung von mehreren hundert Häusern verwendet – eine Anlage, wie sie z. B. in Riesen (BS) besteht. Das abgekühlte Wasser wird wieder in die gleichen Sedimente zurückgeführt. c) Petrothermale Anlage: Das ursprünglich nicht wasserführende Gestein in der Tiefe wird bei der Stimulierung mit Brüchen durchsetzt und kann nun als Aquifer dienen. Durch ein Bohrloch in die Tiefe gepumptes Wasser kann durch ein zweites Bohrloch wieder – erwärmt – entnommen werden. An der Oberfläche dient es zur Energiegewinnung und Heizung.

Als Beispiel kann die (Forschungs-)Anlage im oberrheinischen Soultz-sous-Forêts (F) angeführt werden, die – in einem von der EU, Frankreich, Deutschland und anfänglich Großbritannien finanzierten Projekt – seit 2008 Strom produziert (Bracke 2014, 252). Hier wird Wasser in eine Tiefe von 5'000 m gepumpt und auf ca. 200 °C erhitzt. Das erwärmte Wasser wird über andere Bohrlöcher wieder an die Oberfläche gebracht und bei einer Temperatur von ca. 180 °C zur Stromerzeugung genutzt (Bracke 2014, 252).

3 Diskussion – Argumente Pro und Contra Geothermie

3.1 Pro Geothermie

Klima: Die Geothermie wird als klimafreundlich angesehen, da im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen kein zusätzliches CO₂ in die Atmosphäre entlassen wird (vgl. Lacirignola & Blanc 2013, die die Umweltverträglichkeit ähnlich anderen erneuerbaren Energien einstufen). Die durch die Produktion zusätzlich aus der Tiefe an die Erdoberfläche und somit in die Atmosphäre aufsteigende Wärme kann vernachlässigt werden (z. B. im Vergleich mit der global durch vulkanische Aktivität in die Atmosphäre entlassene Wärme).

Erneuerbar: Obwohl die Geothermie als erneuerbare Energie angesehen wird, ist dies nur bedingt richtig (z. B. Rybach 2003, Ungemach et al. 2007). Eine langfristige Wärmenutzung (vor allem in der untiefen Geothermie) kühlt die lokale Temperatur im Gestein ab, eine Regeneration des Temperaturfeldes erfolgt in einem Zeitraum von mehreren hundert bis tausend Jahren (Häfner et al. 2015). Analysen zeigen allerdings auch, dass eine anhaltende Nutzung möglich ist, wenn beispielsweise die Förderung eine kritische Kapazität nicht überschreitet. So können sich Temperaturfelder sogar wieder erholen (Sanyal 2005; Axelsson 2010). Die Lebensdauer eines gut genutzten Kraftwerkes kann somit bei mehreren hundert Jahren liegen. Die Energieproduktion in einer solchen Anlage kann dann aber auch *unterhalb einer wirtschaftlich wünschenswerten Grenze liegen*.

Kontinuität: Einer der grossen Vorteile der Geothermie gegenüber anderen erneuerbaren Energieformen (z. B. Sonnen- und Windenergie) ist die kontinuierlich mögliche Gewinnung von Energie, unabhängig von externen Faktoren.

Unabhängigkeit: Im Gegensatz zu fossilen Energiequellen kann geothermale Energie an vielen Orten der Welt (insbesondere auch in der Schweiz) lokal gewonnen werden und ist somit unabhängig von Rohstoffpreisen und Zulieferländern. Hier spielt allerdings eine Rolle, ob der Untergrund eine wirtschaftlich tragbare Gewinnung erlaubt.

Optische Unauffälligkeit: Geothermale Anlagen sind in der Regel – einmal fertiggestellt – klein und stören das Landschaftsbild nicht.

3.2 Contra Geothermie

Hohe Anfangskosten: Bevor eine geothermische Anlage überhaupt in Betrieb genommen werden kann, fallen (im Gegensatz zu anderen Arten von erneuerbaren Energien) vergleichsweise hohe Kosten an. So lag der anfänglich bewilligte Kredit für eine Bohrung im Zürcher Triemli-Quartier bei 19.9 Millionen CHF. Weitere Gelder in ähnlicher Höhe wurden bewilligt, aber nicht genutzt weil die Bohrung nicht fündig wurde (EWZ 2014). Ähnlich wurden in die Bohrung St. Gallen (🌐7) etwa 45 Millionen CHF investiert. Auch dieses Projekt wurde abgebrochen. Es ist nicht erstaunlich, dass sich in Bezug auf derartige (als verschwendet empfundene) Summen ein Unmut in der Bevölkerung breitmacht, wie Kommentare zu Zeitungsartikeln regelmässig zeigen (z. B. Schneberger 2014)

Niedriger Wirkungsgrad: Die Geothermie hat einen niedrigen Wirkungsgrad (darunter wird “das Verhältnis der erzeugten nutzbaren Energie zur eingesetzten Energie” verstanden; 🌐8). So haben etwa Kohlekraftwerke Wirkungsgrade um 40 % und moderne Gas-und-Dampf-Kombikraftwerke sogar 50–60 %, während der Wirkungsgrad bei der Geothermie bei lediglich 5–15 % liegt (Zahoransky et al. 2010).

Fracking: Ein grosser Teil der Kontroverse um die Geothermie betrifft nicht die Geothermie selber, sondern das zur Stimulation des Gesteines verwendete Fracking. Diese Technologie ist sehr umstritten und in einigen Ländern (z. B. Frankreich, Bulgarien) derzeit nicht erlaubt (Habrich-Böcker et al. 2014). Zu den Gefahren des Frackings gehören vor allem während der Stimulationsphase unkontrolliert entstehende Erdbeben (Abb. 2) und die Verseuchung des Grundwassers (nebst einer langen Reihe von anderen Gründen; z. B. Ewers 2012; Eftekharzadeh 2013).

Kosten durch Schäden: Vor allem petrothermale geothermale Anlagen in tektonisch aktiven Zonen können auch nach Beendigung des Frackings, insbesondere auch nach der Inbetriebnahme der Anlage, langfristig zu (schwachen) seismischen Ereignissen führen. Modellrechnungen im Falle des sistierten “Deep Heat Mining”-Projektes in Basel zeigen wahrscheinliche Schäden im Bereich von ca. 6 Millionen CHF pro Jahr auf (Baisch et al. 2009).



Abb. 2 Installationsplatz und Bohrturm des St. Galler Geothermie-Projekts im Sittertobel (vgl. auch). Durch die Arbeiten im Bohrloch ist ein Erdbeben der Stärke 3.5 ausgelöst worden (aus: Schneeberger 2014).

Fündigkeitsrisiko: Das sogenannte Fündigkeitsrisiko ist das Risiko, trotz mehrfacher Bohrungen kein qualitativ oder quantitativ geeignetes geothermisches Reservoir zu finden (). Als Beispiel kann das Projekt im Zürcher Triemli-Quartier genannt werden (EWZ 2014), das durch die nur gering vorhandene Wasserführung in den angepeilten Gesteinen zum grossen Teil aufgegeben wurde (eine stark reduzierte Nutzung über eine Tiefenwärmesonde zur Lieferung von Wärme und Warmwasser für 200 Wohnungen war möglich).

3.3 Die öffentliche Wahrnehmung

Trotz der offensichtlichen Argumente für eine Ausweitung der geothermischen Nutzung ist eine breite Ausschöpfung der Möglichkeiten heute fraglich. Grund ist unter anderem die skeptische Haltung der Bevölkerung gegenüber der Geothermie (vgl. Andersson et al. 2011). Ähnlich wie bei mehreren anderen Typen der Energienutzung sind auch bei der Geothermie Aberglauben und Fehlinformationen weit verbreitet. So tauchen bei Führungen zur Geothermie oft Fragen auf, ob denn tiefe Bohrungen in die Erdkruste nicht Magmalausflüsse verursachen könnten oder ob beim Fracking erzeugte Erdbeben nicht ein verstärktes Auseinanderdriften von tektonischen Platten verursachen könnte (bis hin zur Öffnung von neuen Ozeanen). So abwegig solche Meinungen auch erscheinen mögen, sie sind – selbst in der allgemein gut informierten Schweizer Bevölkerung – weit verbreitet und erstaunlich hartnäckig.

Viel problematischer sind im Zusammenhang mit der Geothermie verursachte Schäden (durch “seismische Ereignisse und schwer einschätzbare Risiken”; vgl. Frey 2014), die eine starke Ablehnung in weiten Teilen der Bevölkerung festigen (z. B. Frey 2014; Kunze & Hertel 2015). Dabei spielt auch der Eindruck einer Ohnmacht gegenüber Grossprojekten eine Rolle, was als Reaktion

einen erbitterten Widerstand gegen solche Projekte verursachen kann (Guckelberger 2014). Was wenig Beachtung findet, aber in gewissem Masse auch keine Rolle spielt, ist die Tatsache, dass natürliche Erdbeben viel häufiger auftreten als künstlich erzeugte (vgl. ). Von Gewicht ist letztlich lediglich der öffentliche Eindruck, dass geothermische Exploration Erdbeben erzeugt. Auch wird von der Bevölkerung nur wenig zwischen den verschiedenen Typen von Geothermie differenziert. Dass Erdbeben primär im Zusammenhang mit petrothermalen Projekten auftreten (vor allem bei der Stimulierung – aber auch nachher; vgl. Baisch et al. 2009) und ausserdem stark von lokalen Bedingungen abhängen (z. B. dem tektonischen Aufbau des Untergrunds; vgl. Fritschen & Rütter 2010; Kunze & Hertel 2015), ist kaum bekannt.

Interessant ist in diesem Zusammenhang der Verlauf der Bohrung St. Gallen, die nach einem Gaseinbruch und im Anschluss stattfindenden Erschütterungen des Untergrunds abgebrochen werden musste (). Hier zeigt sich, dass “schwer einschätzbare Risiken” (Frey 2014) auch bei gut geplanten hydrothermalen Geothermie-Projekten auftreten können.

4 Fazit

Die in den vorhergehenden Abschnitten aufgeführten Punkte könnten im Satz “Lohnt es sich überhaupt?” zusammengefasst werden. Eine Bohrung zur geothermalen Exploration muss nicht a priori zu einer erfolgreich funktionierenden Anlage führen. Damit steht die Geothermie in starkem Kontrast zu anderen Arten der nachhaltigen Energiegewinnung. Bei Anlagen, die das Potenzial der Sonne, des Winds oder des Wassers nutzen, rechnet man damit, dass diese auch einmal erfolgreich Strom (oder Wärme) ans Netz liefern werden. Damit steht die Geothermie viel näher bei der Erdöl- und Erdgasindustrie, die mit ähnlich hohen Risiken belastet ist. Nicht jede Bohrung liefert genügend Öl, um eine ökonomisch rentable Förderung zu ermöglichen.

Es erscheint nicht nur wichtig sondern sogar unumgänglich, bei der Geothermie von Anfang an solide Öffentlichkeitsarbeit zu leisten. In den Vordergrund sollten auch unbedingt erfolgreiche Anlagen gestellt werden – wie diejenige in Riehen (BS) –, die seit Jahren problemlos Strom und Wärme liefern. Dass die Geothermie in der Schweiz vielleicht besonders kritisch gesehen wird, liegt wahrscheinlich daran, dass hier keine Tradition der Erdöl- und Gasförderung existiert, mit der die Bevölkerung die Geothermie vergleichen könnte. Auch führt die besonders hohe Bevölkerungsdichte, gerade in den für die Geothermie besonders geeigneten Zonen des Mittellands sicherlich zu Spannungen, insbesondere wenn vor allem die Energiegewinnung über Sonnen- und Wasserkraftwerke erprobt, unproblematisch und effizient ist.

Die Geothermie liegt wirtschaftlich gesehen in einem komplexen Spannungsfeld zwischen langfristiger Investition in saubere Energien, dem Risiko von Schäden an Gebäuden, Infrastruktur und Bevölkerung, den hohen Kosten der Exploration und dem Nutzen, den die Investition letztlich bringt. Dabei dürfen aber auch die äusserst geringen Auswirkungen der Geothermie auf die Umwelt nicht vernachlässigt werden: Ist eine Anlage einmal in Betrieb, so wird diese auf lange Zeit verlässlich saubere Energie liefern. Dass eine solche Anlage auch landschaftlich kaum ins Auge fällt, ist – im Gegensatz z. B. zu Windkraftwerken oder grossen Wasserkraftwerken in der alpinen Landschaft – ein zusätzlicher Bonus.

Literatur

- Andersson G., Boulouchos K. & Bretschger L. 2011. *Energiezukunft Schweiz*. Zürich, 1–48. Online verfügbar: www.ethlife.ethz.ch/archive_articles/111114_energiestudie_rok/energiestudie_def [Eingesehen am 27.9.2016].
- Axelsson G. 2010. Sustainable geothermal utilization – Case histories; definitions; research issues and modelling. *Geothermics* 39/4: 283–291.
- Baisch S., Carbon D., Dannwolf U., Delacou B., Devaux M., Dunand F., Jung R., Koller M., Martin C., Sartori M., Secanell R. & Vörös R. 2009. *Deep Heat Mining Basel – Seismische Risikoanalyse. Kurzfassung*. Bern, 1–27. Online verfügbar: www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file=00000010350.pdf&name=000000290173 [Eingesehen am 27.9.2016].
- Bracke R. 2014. Petrothermale Nutzung und Stimulationsoptionen. In: Bauer M., Freeden W., Jacobi H. & Neu T. (Hrsg.): *Handbuch tiefe Geothermie. Prospektion, Exploration, Realisierung, Nutzung*. Berlin, 245–273.
- Eftekarzadeh P. 2013. Was spricht gegen Fracking? – eine Stellungnahme. Mit einem Exkurs zum Fracking in den USA und Grossbritannien. *Natur und Recht* 35/10: 704–708.
- Eugster W.J. 1991. *Erdwärmesonden – Funktionsweise und Wechselwirkung mit dem geologischen Untergrund. Feldmessungen und Modellsimulation*. Dissertation. Zürich, 1–139. Online verfügbar: http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:38536/e_th-38536-02.pdf [Eingesehen am 27.9.2016].
- Ewers U. 2012. Toxikologische Bewertung der beim hydraulischen Fracking eingesetzten Stoffe. *Ge sundheitswesen* 53: 74.
- EWZ 2014. *Erkundungsbohrung Sonnengarten im Triemli-Quartier Zürich. Schlussbericht*. Elektrizitätswerk der Stadt Zürich, Zürich, 1–44. Online verfügbar: <https://www.ewz.ch/content/dam/ewz/services/dokumentencenter/ueber-ewz/dokumente/schlussbericht-erkundungsbohrung-sonnengarten-low.pdf> [Eingesehen am 27.9.2016].
- Frey M. 2014. Kommunikation und Akzeptanz. In: Bauer M., Freeden W., Jacobi H. & Neu T. (Hrsg.): *Handbuch Tiefe Geothermie. Prospektion, Exploration, Realisierung, Nutzung*. Berlin, 739–764.
- Fritschen R. & Rütter H. 2010. *Induzierte Seismizität – Ein Problem der tiefen Geothermie?* Essen, 1–15. Online verfügbar: www.geo.phys.uni-stuttgart.de/agis/images/pdf/induzierte.seis.fritschen.rueter.pdf [Eingesehen am 27.9.2016].
- Gehrer W. 2011. Powervision 2040. Vor- und Nachteile der neuen erneuerbaren Energien im Zusammenhang mit der Substitution von fossilthermischen oder kerntechnischen Anlagen. *Elektrotechnik und Informationstechnik* 128/9: 306–308.
- Guckelberger A. 2014. *Gutachten zu der Frage, wie betroffene Bürgerinnen und Bürger in die Lage versetzt werden können, über das „Ob“ eines Vorhabens der tiefen Geothermie mitentscheiden zu können. Erstattet im Auftrag des Landes Rheinland-Pfalz, vertreten durch das Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz*. Saarbrücken, 1–297.
- Habrich-Böcker C., Kirchner B.C. & Weissenberg P. 2014. Die Argumente der Gegner unter der Lupe. In: Habrich-Böcker C., Kirchner B.C. & Weissenberg P. (Hrsg.): *Fracking, die neue Produktionsgeografie*. Berlin, 81–106.
- Häfner F., Wagner R.-M. & Meusel L. 2015. Der Wärmeaushalt der Erdkruste bei der Erdwärmegewinnung. In: Häfner F., Wagner R.-M. & Meusel L. (Hrsg.): *Bau und Berechnung von Erdwärmeanlagen. Einführung mit praktischen Beispielen*. Berlin, 1–5.
- Hauber L. 1991. Ergebnisse der Geothermiebohrungen Riehen 1 und 2 sowie Reinach 2 im Südosten des Rheingrabens. *Geol. Jb.* 48: 167–184.
- Hauber L. 1993. Der südliche Rheingraben und seine geothermische Situation. *Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. Ing.* 60/137: 53–69.
- Kleemann M. & Meliss M. 2013. *Regenerative Energiequellen*. Berlin, 1–344.
- Klingler P., Schill E. & Goldscheider N. 2010. *Charakterisierung des geothermischen Reservoirs Riehen: 3D Struktur und Tracer Test*. Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Geothermie, Bern, 1–114. Online verfügbar: <http://www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file=00000011136.pdf&name=000000290896> [Eingesehen am 27.9.2016].
- Kunze C. & Hertel M. 2015. Tiefe Geothermie – von hohen Erwartungen zur Risikotechnologie. *GAIA* 24/3: 169–173.
- Lacirignola M. & Blanc I. 2013. Environmental analysis of practical design options for enhanced geothermal systems (EGS) through life-cycle assessment. *Renewable Energy* 50: 901–914.
- Rybach L. 2003. Geothermal energy: sustainability and the environment. *Geothermics* 32/4–6: 463–470.
- Sanyal S.K. 2005. *Sustainability and Renewability of Geothermal Power Capacity*. Proceedings World Geothermal Congress, 24.–29. April 2005, Antalya, 1–13. Online verfügbar: http://repository.usgin.org/sites/default/files/dlio/files/2011/u19/sustainability_renewability_of_geothermal_power_capacity.pdf [Eingesehen am 27.9.2016].

- Schneeberger V. 2014. *Hier wurden 45 Millionen verlocht*. Blick vom 14.5.2014. Online verfügbar: www.blick.ch/news/schweiz/ost_schweiz/st-galler-geothermie-projekt-gescheitert-hier-wurden-45-mil-lionen-verlocht-id2851215.html [Eingesehen am 27.9.2016].
- Stober I. & Bucher K. 2014. Geschichte geothermischer Energienutzung. In: Stober I. & Bucher K. (Hrsg.): *Geothermie*. Berlin, 19–28.
- Ungemach P., Papachristou M. & Antics M. 2007. *Renewability versus sustainability. A reservoir management approach*. Proceedings European Geothermal Congress 30. Mai–1. Juni 2007, Unterhaching, 1–13. Online verfügbar: www.geoproduction.fr/archives/UNGEMACH_EGC2007paper.pdf [Eingesehen am 27.9.2016].
- Zahoransky R., Allelein H.-J., Bollen E., Oehler H. & Schelling U. 2010. Geothermie. *Energietechnik*: 350–367.

Internetquellen

- ① <http://geothermie-schweiz.ch/>
- ② www.geothermie.de/wissenswelt/geothermie/einstieg-in-die-geothermie/ursprung-geothermischer-energie-und-geothermischer-gradient.html
- ③ www.swisstherme.ch/thermalbaeder.html
- ④ www.tiefegeothermie.de/projekte/riehen-ch
- ⑤ www.bine.info/publikationen/publikation/geothermische-stromerzeugung-in-soultz-sous-forets/
- ⑥ www.bestec-for-nature.com/j2510m/index.php/projekte-de/soultz-de
- ⑦ www.geothermie.stadt.sg.ch/aktuell/uebersicht.html
- ⑧ www.energie-lexikon.info/wirkungsgrad.html?s=ak
- ⑨ www.geothermie.de/wissenswelt/glossar-lexikon/f/fuendigkeitsrisiko.html