

Sind Bedenken gegenüber der Geothermie länderspezifisch? – Deutschland, die Schweiz und Japan im Vergleich

Robin Renoth^{1,2}, Elmar Buchner¹, Michael Drews², Manfred Plechaty¹ und Martin Schmieder¹

¹Hochschule für angewandte Wissenschaften Neu-Ulm, ²Technische Universität München

Keywords: soziale Akzeptanz, Akzeptanzfaktoren, Deutschland, Schweiz, Japan

Zusammenfassung

Die Geothermie kann einen entscheidenden Beitrag zur deutschen Energiewende leisten. Ihre Potenziale werden durch die Roadmap Tiefe Geothermie in Deutschland der Fraunhofer- und Helmholtz-Institute und dem Karlsruher Institut für Technologie (Februar 2022), das Eckpunktepapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (November 2022) und die Stellungnahme der Deutschen Industrie- und Handelskammer (Januar 2023) herausgestellt.

Die gesellschaftliche Akzeptanz spielt bei der Umsetzung von Geothermieprojekten eine entscheidende Rolle. Auf Grundlage einer globalen systematischen Literaturanalyse betrachten wir die gesellschaftlichen Akzeptanzfaktoren in Deutschland, der Schweiz und Japan. Das Beispiel Schweiz haben wir aufgrund der räumlichen und kulturellen Nähe und einem ähnlichen geothermischen Potenzial zum Vergleich herangezogen. Demgegenüber betrachten wir auch Japan mit seinen offensichtlichen und scheinbaren geologischen wie kulturellen Unterschieden. Die Lage Japans als Teil des pazifischen Feuerrings bedingt ein besonders hohes geothermisches Potenzial. Darüber hinaus können im asiatischen Raum Unterschiede in sozioökonomischer Hinsicht angenommen werden. Die identifizierten Akzeptanzfaktoren der einzelnen Länder werden gegenübergestellt, Unterschiede und Gemeinsamkeiten identifiziert. Daraus leiten wir ab, ob und wie sich die einzelnen Faktoren positiv (oder auch negativ) auf die Akzeptanz von Geothermieprojekten in der Gesellschaft auswirken.

In allen drei betrachteten Ländern sind die *Projektorganisation und Prozesse* sowie die *Umwelt* die zentralen Akzeptanzkategorien. In Japan sind vor allem politische Akzeptanzfaktoren entscheidend. Technologische Faktoren spielen dort keine wesentliche Rolle, im Gegensatz dazu sind sie in Deutschland und der Schweiz bedeutende Faktoren.

Zukünftig sollen unsere Erkenntnisse als neutrale und wissenschaftsbasierte Grundlage für Handlungsempfehlungen bei der Umsetzung von Geothermieprojekten dienen.

1. Aktualität der Akzeptanzfrage

Geothermieprojekte können ein bedeutender Baustein zur Energie- und vor allem zur Wärmewende sein. Die Grundlastfähigkeit dieser Energiegewinnungsmöglichkeit ist das grundlegende Alleinstellungsmerkmal gegenüber der Wind- und Solarenergie. Allerdings gibt es neben den Chancen auch Risiken, welche sich unter anderem in der sozialen Akzeptanz in Form von unterschiedlichsten Vorbehalten gegenüber der Geothermie widerspiegelt.

Es gab und gibt Bürgerinitiativen, welche sich im Rahmen von Geothermieprojekten engagieren und organisieren [1]. In Puchheim bei München konnte ein Geothermieprojekt im Jahr 2018 nicht umgesetzt werden, da sich in einem Bürgerentscheid die Mehrheit der Bevölkerung gegen den Bau eines Geothermiekraftwerks aussprachen [2].

Spätestens seit der Veröffentlichung der „Roadmap Tiefe Geothermie in Deutschland“ im Februar 2022 hat die Akzeptanz in der Planung und Umsetzung von Geothermieprojekten eine große Bedeutung bekommen [3]. Bei der Roadmap, welche von den Fraunhofer-Gesellschaften IEG, UMSICHT und IBP sowie dem GFZ, KIT und dem UFS Helmholtz-Institut erstellt wurde, wird das Thema Akzeptanz behandelt und eine wissenschaftliche Betrachtung dieses Faktors als notwendig eingeschätzt. Des Weiteren hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimawandel im November 2022 ein Eckpunktepapier für eine Erdwärmekampagne veröffentlicht, bei welchem die Akzeptanz eine Rolle zur Umsetzung der Geothermie als Technologie für die „Wärmewende“ aufgeführt wird [4]. Es kam neben weiteren Veröffentlichungen im Jahr 2023, wie beispielsweise der Stellungnahme der Deutschen Industrie- und Handelskammer, auch im deutschen Bundestag zu einer Plenardebatte hinsichtlich der Geothermienutzung [5, 6]. Aus der vermehrten Präsenz in der öffentlichen Debatte ist auf eine stetig zunehmende Bedeutung der gesellschaftlichen Akzeptanz bei der Umsetzung von Geothermieprojekten zu schließen.

Aufgrund dieser Entwicklungen erachten wir die gesellschaftliche Akzeptanz als relevanten Aspekt bei der Umsetzung von Geothermieprojekten. Auf Grundlage der bisherigen Forschung ziehen wir im Folgenden einen Vergleich zwischen den drei Ländern Deutschland, Schweiz und Japan, um dabei die Frage zu beantworten, ob Bedenken gegenüber der Geothermie länderspezifisch sind und, wenn dies so ist, welche Faktoren in den drei untersuchten Regionen die Hauptrolle spielen.

2. Grundlagen zur gesellschaftlichen Akzeptanz

Bei der Erfassung von Bedenken gegenüber der Geothermie haben wir den Fokus auf die gesellschaftliche Akzeptanz dieser Energieform gelegt [7]. Renoth et al. (2023) entwickelten ein Modell, in dem die unterschiedlichen Akzeptanzfaktoren in Zusammenhang mit Geothermieprojekten in thematisch verwandte Kategorien eingeteilt wurden (Abbildung 1). Es basiert auf dem Dreieck zur sozialen Akzeptanz für Innovationen im Bereich der erneuerbaren Energien von Wüstenhagen et al. (2007) und Veröffentlichungen von Linnerud et al. (2018) und Leiren et al. (2020) zur Akzeptanz der Windenergie [7–10].

Die zwei übergreifenden Kategorien sind allgemeine und projektspezifische Kategorien. Zu den projektspezifischen Kategorien gehören die Akzeptanzkategorien *Politik*, *Projektorganisation und Prozesse* und *Gesellschaft*. Diese drei Akzeptanzkategorien stehen in direktem Zusammenhang mit dem jeweiligen Geothermieprojekt, während die Akzeptanzkategorien *Technologie* und *Umwelt* Akzeptanzfaktoren umfassen, die allgemein auf Geothermieprojekte zutreffen.

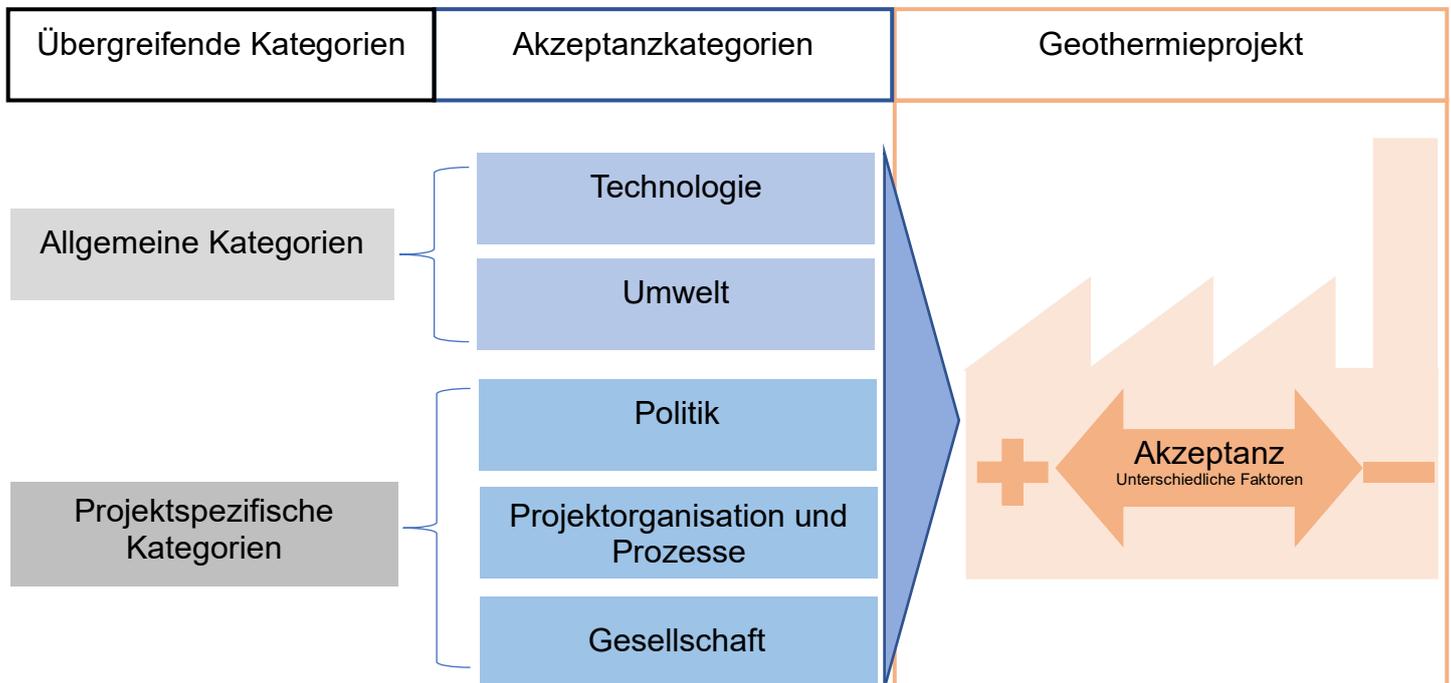


Abbildung 1: Zusammenhang von Akzeptanzkategorien und Geothermieprojekten auf Grundlage von Renoth et. al (2023).

Das Kategorienmodell von Renoth et al. (2023) wird als Grundlage für die Kategorisierung und den Vergleich im Folgenden genutzt [7].

3. Länderbetrachtung

Die Betrachtung der drei ausgewählten Länder Deutschland, Schweiz und Japan stützt sich auf die detaillierte und globale Datenerhebung zur Akzeptanz der Geothermie von Renoth et al. (2023). Die Auswahl dieser Regionen für einen Vergleich bietet sich aufgrund eines gewissen Schwerpunkts bei den in der Studie von Renoth et al. (2023) betrachteten Publikationen zu den drei Ländern an. Zudem ähneln die geologischen und kulturellen Gegebenheiten aus der Perspektive Deutschlands denen der Schweiz, wohingegen Japan sich von Deutschland in diesen beiden Merkmalen stark unterscheidet. Die drei Länder werden zunächst getrennt betrachtet, um in einem zweiten Schritt den Ländervergleich zu ziehen.

3.1 Deutschland

Deutschland liegt mit drei großen Regionen, welche derzeit als geothermiefreundlich ausgewiesen sind, im Zentrum Europas. Diese sind das Norddeutsche Becken, der Oberrheingraben und das nordalpine Vorlandbecken („Molassebecken“) [11]. In Deutschland sind laut Bundesverband Geothermie im Jahr 2023 insgesamt 30 Wärmekraftwerke, zehn Strom-Wärmekraftwerke und zwei Stromkraftwerke aktiv [12]. Im Jahr 2022 kam es zu einer Wärmeproduktion von 8.094 Gigawattstunden und einer installierten Kapazität von 5.100 Megawatt [12, 13]. Die Stromproduktion 2022 lag bei 165 Gigawattstunden pro Jahr und einer installierten Kapazität von 46 Megawatt [12, 14].

Es wurden für die Akzeptanzfaktorbetachtung von Deutschland vier Publikationen in der Literatur identifiziert, welche im Folgenden näher betrachtet werden und deren Ergebnisse in Abbildung 2

dargestellt sind [1, 15–17]. Es wird deutlich, dass die Kategorie *Projektorganisation und Prozesse* in den untersuchten Publikationen am häufigsten thematisiert wird. Der Akzeptanzfaktor Verteilung von Kosten und Nutzen unter den Akteuren wurde mit drei Nennungen am häufigsten betrachtet. Im Detail werden die Aufteilungen der Investitionskosten [16], die ungleiche Beteiligung an finanziellen Vorteilen [1] und mögliche Vorteile für ortsansässige Bürger [1] genannt. Der Akzeptanzfaktor Seismizität wurde zweimal aufgeführt. Die Angst vor durch Bohrungen ausgelöste Erdbeben und damit einhergehende Schäden an Gebäuden durch seismische Aktivitäten sind die Hintergründe dieser Nennungen [1, 15].

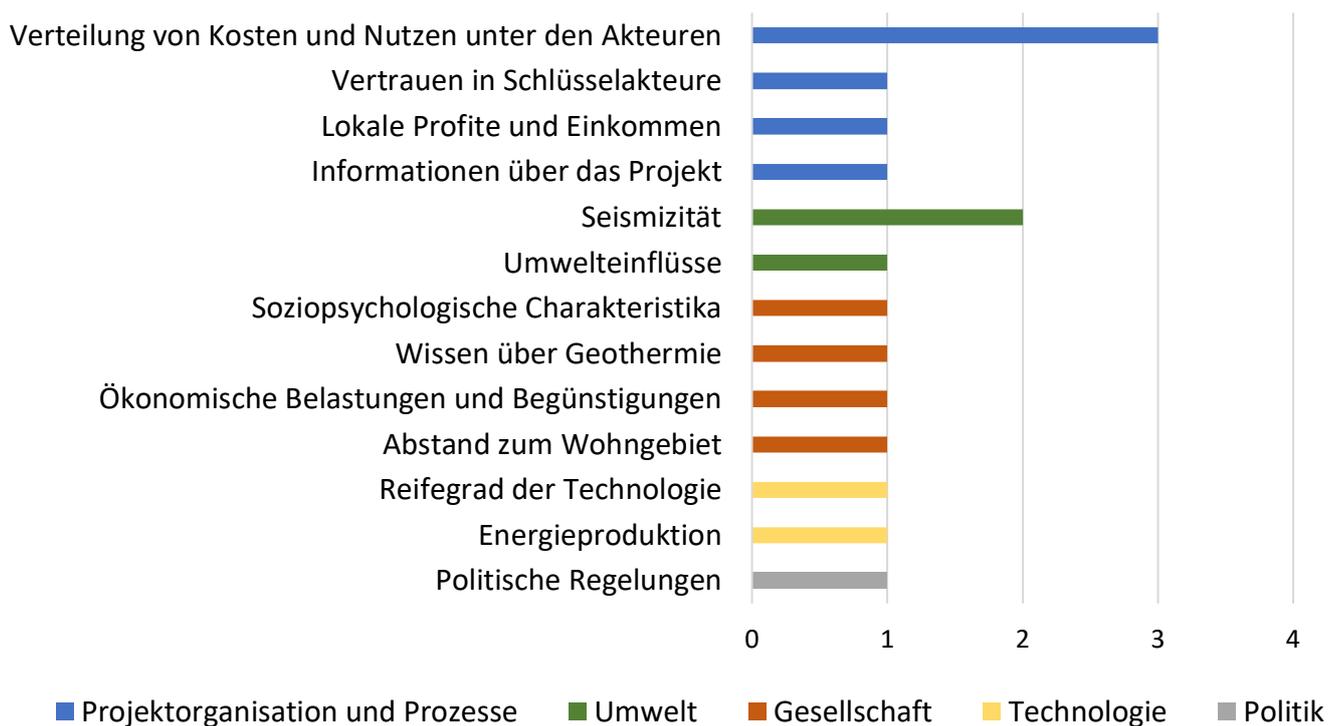


Abbildung 2: Akzeptanzfaktoren für die gesellschaftliche Akzeptanz von Geothermie in Deutschland geordnet nach Akzeptanzkategorien auf Grundlage von vier Publikationen.

3.2 Schweiz

Die Lage der Schweiz zentral in den Alpen hat vor allem im Städtedreieck Koblenz, Baden und Bad Zurzach eine hohe Wärmestromdichte. Zudem ist eine hohe Wärmestromdichte in der Region um Basel erkennbar, welche an den Oberrheingraben angrenzt [18].

In dieser Region wurden bei Bohrungen für Geothermieprojekte im Jahr 2006 in Bern (Magnitude 3,5) und im Jahr 2013 in St. Gallen Erschütterungen mit einer Magnitude von 3,4 auf der Richterskala ausgelöst. Dies waren die bis zum Jahr 2023 einzigen Projekte, welche der Stromgenerierung dienen sollten. Da beide Projekte nach den induzierten seismischen Erschütterungen eingestellt wurden, wird in der Schweiz bis heute die Geothermie ausschließlich zur Wärmegewinnung genutzt [14, 19, 20]. Die Geothermie wird dort somit für die Wärmeproduktion über Erdwärmesonden bis zu 500 m Bohrtiefe verwendet [21]. Insgesamt kam es 2022 zu einer Wärmeproduktion von jährlich 4.009 Gigawattstunden bei einer installierten Kapazität von 2.365 Megawatt [20].

Die Betrachtung der Akzeptanzfaktoren der Geothermienutzung in der Schweiz basiert auf sieben Publikationen, deren Ergebnisse in Abbildung 3 veranschaulicht werden [15, 22–27]. Die Akzeptanzkategorien *Umwelt* mit sieben Nennungen und die Akzeptanzkategorie *Projektorganisation und Prozesse* mit sechs Nennungen sind dabei die meistgenannten Kategorien. Auffällig ist, dass neben dem Akzeptanzfaktor Seismizität auch der Akzeptanzfaktor Reifegrad der Technologie mit am häufigsten genannt wurde. Bezüglich des Reifegrads werden in den einzelnen Veröffentlichungen Zweifel gegenüber der Verlässlichkeit der verwendeten Technologie [23, 27] und die fehlende Vertrautheit [22] mit der für Geothermieprojekte verwendeten Technologie genannt. Der Akzeptanzfaktor Seismizität wird durch Bedenken gegenüber induzierter Seismizität getragen [15, 23, 24].

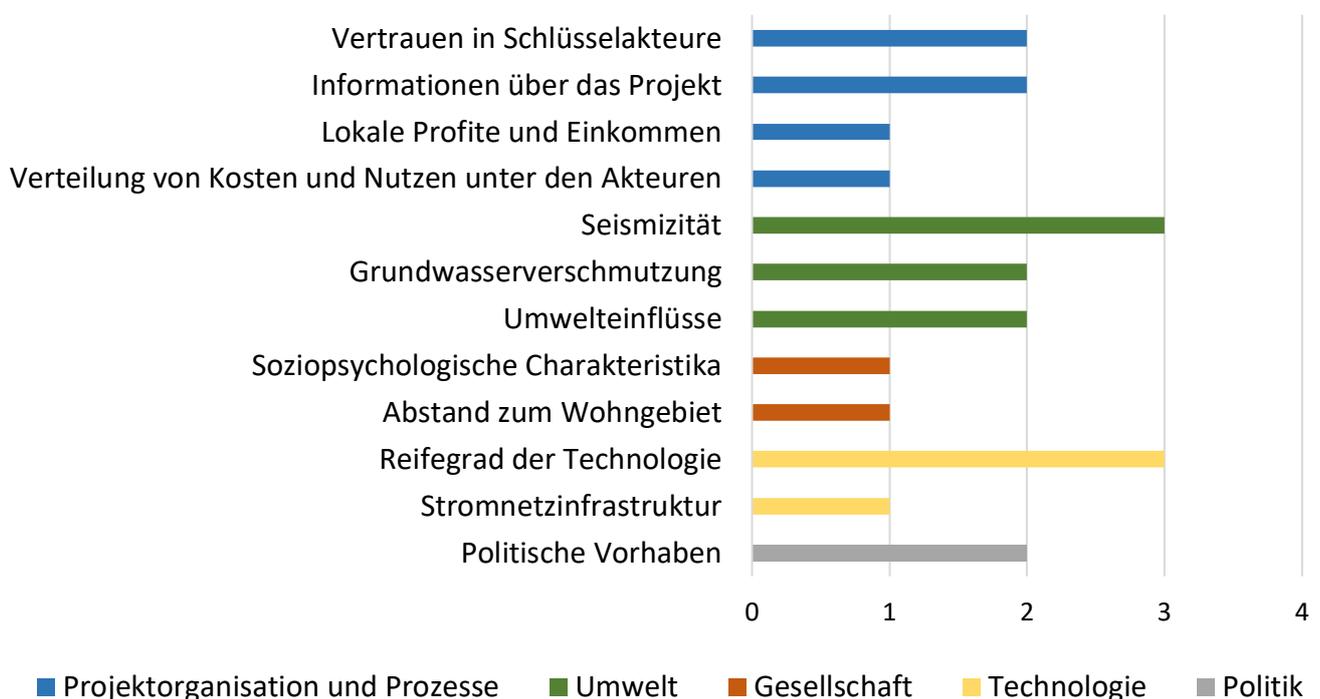


Abbildung 3: Akzeptanzfaktoren für die gesellschaftliche Akzeptanz von Geothermie in der Schweiz geordnet nach Akzeptanzkategorien auf Grundlage von sieben Publikationen.

3.3 Japan

Die Japanischen Inseln liegen auf dem pazifischen Feuerring, welcher seinen Namen aufgrund der hohen vulkanischen Aktivitäten in dieser Region hat. Bei Japan konvergieren die pazifischen, die philippinischen, die nordamerikanischen und die eurasischen Plattenränder [28]. Diese Bedingungen führen zu einem hohen geothermischen Gradienten aus dem Untergrund und damit zu günstigen Bedingungen für die geothermische Nutzung [29].

Diese günstigen Voraussetzungen in Japan führten im Jahr 2020 zur Nutzung der Geothermie in 105 Wärmekraftwerken [30] und 12 Stromkraftwerken [31]. Die Kapazitäts- und Produktionsdaten beliefen sich auf eine Wärmeproduktion von 8.534 Gigawattstunden pro Jahr bei einer Kapazität von 2.407 Megawatt. Die Stromproduktion im selben Jahr lag bei 2.409 Gigawattstunden pro Jahr bei einer Kapazität von 550 Megawatt [13, 32].

Die Untersuchung der Akzeptanzfaktoren in Japan stützt sich auf fünf Publikationen, in denen die gesellschaftliche Akzeptanz bei Geothermieprojekten untersucht wurde und in Abbildung 4 zusammengefasst ist [33–37].

Die Akzeptanzkategorie *Projektorganisation und Prozesse* wird bei den betrachteten Publikationen am intensivsten thematisiert. Dabei ist das Vertrauen in Schlüsselakteure mit drei Nennungen der am häufigsten betrachtete Akzeptanzfaktor [33, 34, 37]. Hierbei wird auf das Vertrauen zwischen der lokalen Gemeinschaft und den operativen Unternehmen und Investoren eingegangen [33, 34]. Zudem wird das Vertrauen in kommunale Entscheidungsträger analysiert, welches aufgrund des politischen Umgangs mit dem Unfall im Atomkraftwerk Fukushima als wenig vertrauenswürdig eingeschätzt wird [36].

Der Akzeptanzfaktor Politische Vorhaben in der Akzeptanzkategorie *Politik* ist mit vier Nennungen am häufigsten vertreten [33–36]. Darunter fällt die zentrale Bedeutung der heißen Quellen (auch genannt Onsen) im japanischen Alltag, welche durch diese kulturelle Verankerung eine hohe politische Stellung in Japan innehaben. Geothermiekraftwerke werden in diesem Zusammenhang als Wärmekonkurrenten gesehen, welche durch Nutzung der thermischen Wässer den Betrieb der heißen Quellen gefährden können [33, 34]. Der Einfluss von kommunalpolitischen Entscheidungsträgern und der landesweiten energiepolitischen Vorhaben werden in diesem Akzeptanzfaktor ebenfalls genannt. So erschweren die politischen Entscheidungen das Umsetzen von Geothermiekraftwerken in vielen Fällen [35, 36].

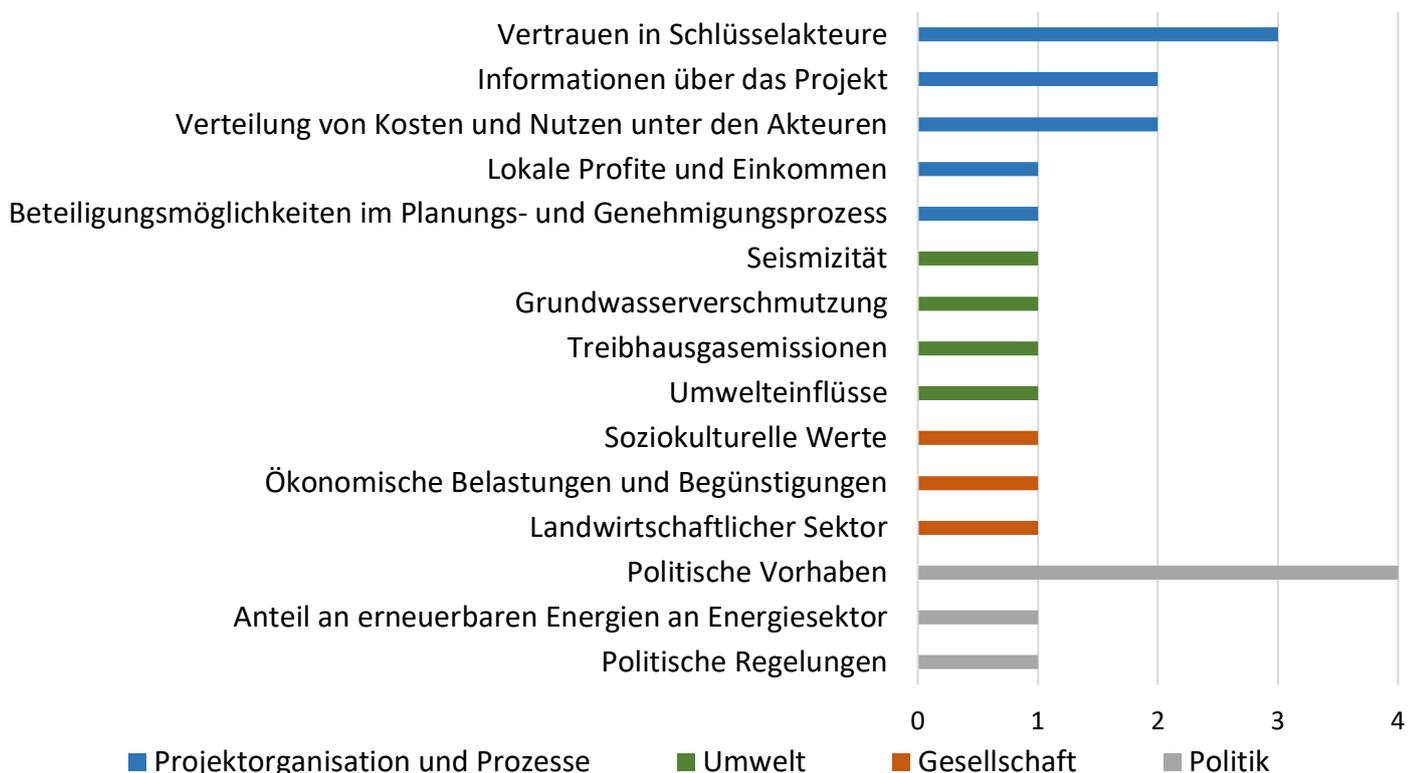


Abbildung 4: Akzeptanzfaktoren für die gesellschaftliche Akzeptanz von Geothermie in Japan geordnet nach Akzeptanzkategorien auf Grundlage von fünf Publikationen.

4. Ländervergleich

Im Akzeptanzkategorienvergleich der drei Länder wird deutlich, dass die Kategorien *Projektorganisation und Prozesse* sowie *Umwelt* zentrale Rollen für die gesellschaftliche Akzeptanz von Geothermie spielen. Durch den erheblichen Aufwand bei der Planung, Errichtung und dem Betreiben von Geothermiekraftwerken, haben die Akzeptanzfaktoren in der Kategorie *Projektorganisation und Prozesse* eine länderübergreifend hohe Präsenz.

Die Akzeptanzfaktoren im Bereich *Umwelt* lassen sich in allen drei Ländern vor allem als Vorbehalte gegenüber Erdbebenschäden beschreiben, da hier induzierte Seismizität (als Auswirkung von Geothermiebohrungen in der Bauphase von Kraftwerken) genannt werden, die im Vergleich zu anderen Formen der Energiegewinnung insbesondere Geothermieprojekten zugeschrieben werden [23, 24, 35, 37]. Zudem werden aber auch positive Umwelteffekte genannt, wie beispielsweise Geothermie als emissionsfreie Form der Energiegewinnung oder die Reduzierung von Treibhausgasen durch die Geothermienutzung [23, 37].

Auffällig ist zudem, dass in Japan (im Vergleich zu Deutschland und der Schweiz) die politischen Rahmenbedingungen für die Geothermienutzung sehr oft aufgeführt werden. Das kann daran liegen, dass die Nutzung der Geothermie in Japan vergleichsweise umfangreich ist, was nicht zuletzt am größeren geothermischen Potenzial liegt. Dadurch sind politische Regelungen und Rahmenbedingungen ein zentraler Umsetzungsfaktor, während in Deutschland und der Schweiz noch kein großer Handlungsbedarf zur Regelung politischer Rahmenbedingungen gesehen wird, da es deutlich weniger Geothermieprojekte und politische Regelungen gibt.

5. Schlussfolgerungen und weiterführende Forschung

Aus dem Vergleich der drei Länder Deutschland, Schweiz und Japan schließen wir, dass gesellschaftliche Bedenken bzw. Akzeptanz gegenüber der Geothermie grundsätzlich nicht länderspezifisch sind. In allen drei Ländern wurden ähnliche Akzeptanzfaktoren und Bedenken, wie Ängste vor induzierter Seismizität oder mangelndes Vertrauen in Schlüsselakteure identifiziert. Die Ausprägungen können jedoch länderspezifisch unterschiedlich sein. In Deutschland und der Schweiz spielt der Akzeptanzfaktor induzierte Seismizität die Hauptrolle. Das dürfte sich durch die negativen Erfahrungen mit ausgelösten Beben durch Geothermieprojekte in beiden Ländern in der Vergangenheit begründen lassen. Zudem ist der Akzeptanzfaktor Vertrauen in die Schlüsselakteure in allen drei Ländern dominant. Allerdings steht er in Japan im Vordergrund, was sich durch negative Erfahrungen mit politischen Akteuren, vor allem mit dem Fukushima-Unfall [36], erklären lässt. Als weiterer Einflussfaktor auf die Ausprägung der Akzeptanzfaktoren können die politischen Rahmenbedingungen angesehen werden. Die Akzeptanzkategorie *Politik* spielt in Japan im Vergleich zu Deutschland und der Schweiz eine große Rolle. Hintergrund ist die länderspezifische Nutzung der Geothermie in Japan, welche schon weiter vorangeschritten ist als in den Vergleichsländern. Durch diese stärkere Nutzung der Geothermie wurden in Japan bereits einige politische Rahmenbedingungen festgelegt. Diese betreffen den Schutz der heißen Quellen vor möglichen negativen Einflüssen durch die Umsetzung von Geothermieprojekten. Dieser Aspekt spielt in Deutschland und der Schweiz derzeit keine entscheidende Rolle.

Weiterhin beeinflussen die kulturellen und gesellschaftlichen Charakteristika die Ausprägung der Bedenken und Akzeptanzfaktoren. Beispielsweise spielen technologische Bedenken oder Akzeptanzfaktoren in Japan keine Rolle, da dort ganz allgemein ein höheres Vertrauen in Technologie und ihre Verwendung vorherrscht. In Deutschland und der Schweiz herrscht dagegen eher eine kritische Haltung gegenüber der Technologie Geothermie vor, welche einerseits aus den negativen Erfahrungen mit dieser Technologie, aber auch aus einer Technik-kritischen Grundhaltung resultiert.

Da es offenbar keine grundsätzlichen länderspezifischen Unterschiede bei der Akzeptanz der Geothermie gibt, sehen wir weiterführende, vielversprechende Forschungsansätze in der vertieften Identifikation und der Analyse der regional unterschiedlichen Ausprägung der Akzeptanzfaktoren.

Robin Renoth

Postadresse: Hochschule für angewandte Wissenschaften Neu-Ulm, Wileystraße 1, 89231 Neu-Ulm
E-Mail-Adresse: robin.renoth@hnu.de

Literaturverzeichnis

- 1 Kunze C, Hertel M (2017) Contested deep geothermal energy in Germany—The emergence of an environmental protest movement. *Energy Research & Social Science*. doi:10.1016/j.erss.2016.11.007.
- 2 Flechtner F, Loewer M, Keim M (2019) Bürgerentscheid gegen Geothermie - Fallstudie Puchheim. Unpublished.
- 3 Acksel D, Amann F, Bremer J, Bruhn D, Budt M, Bussmann G, Görke U-J, Grün G, Hahn F, Hanßke A, Kohl T, Kolditz O, Regensburg S, Reinsch T, Rink K, Sass I, Schill E, Schneider C, Shao H, Teza D, Thien L, Utri M, Will H (2022) Roadmap Tiefengeothermie für Deutschland. Handlungsempfehlungen für Politik, Wirtschaft und Wissenschaft für eine erfolgreiche Wärmewende. Fraunhofer-Gesellschaft.
- 4 Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022) Eckpunktepapier für eine Erdwärmekampagne. Geothermie für die Wärmewende.
- 5 Deutsche Industrie- und Handelskammer (2023) Stellungnahme zum Eckpunktepapier für eine Erdwärmekampagne geothermie für die Wärmewende an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.
- 6 Deutscher Bundestag (2023) Debatte - Potenziale der Geothermie nutzen. Hürden abbauen, Risiken minimieren, Stromsektor entlasten.
- 7 Renoth R, Buchner E, Schmieder M, Keim M, Plechaty M, Drews M (2023) Social acceptance of geothermal technology on a global view: a systematic review. *Energy, Sustainability and Society*. doi:10.1186/s13705-023-00432-1.

- 8 Leiren MD, Aakre S, Linnerud K, Julsrud TE, Di Nucci M-R, Krug M (2020) Community Acceptance of Wind Energy Developments: Experience from Wind Energy Scarce Regions in Europe. Sustainability (Switzerland). doi:10.3390/su12051754.
- 9 Linnerud K, Aakre S, Leiren MD Deliverable 2.2: Conceptual framework for analysing social acceptance barriers and drivers.
- 10 Wüstenhagen R, Wolsink M, Bürer MJ (2007) Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. Energy Policy. doi:10.1016/j.enpol.2006.12.001.
- 11 Stober I, Bucher K (2020) Geothermie. 3. Aufl. Springer Spektrum, Berlin.
- 12 Bundesverband Geothermie (2023) Geothermie in Zahlen. www.geothermie.de/geothermie/geothermie-in-zahlen.html. Accessed 29 Sep 2023.
- 13 Lund JW, Toth AN (2020) Direct Utilization of Geothermal Energy 2020 Worldwide Review. In: World Geothermal Congress 2020:1–39.
- 14 Hutterer GW (2020) Geothermal Power Generation in the World 2015-2020 Update Report. In: World Geothermal Congress 2020.
- 15 Knoblauch TA, Trutnevyte E, Stauffacher M (2019) Siting deep geothermal energy: Acceptance of various risk and benefit scenarios in a Swiss-German cross-national study. Energy Policy. doi:10.1016/j.enpol.2019.01.019.
- 16 Zaunbrecher BS, Kluge J, Ziefle M (2018) Exploring Mental Models of Geothermal Energy among Laypeople in Germany as Hidden Drivers for Acceptance. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. doi:10.13044/j.sdewes.d5.0192.
- 17 Trevisan B, Erassme D, Jakobs E-M (2013) Web Comment-based Trend Analysis on Deep Geothermal Energy. In: IEEE Interantional Professional Communication Conference(IPCC) 2013.
- 18 Verein Geothermische Kraftwerke Aargau (2023) Geothermie in der Schweiz. vgka.ch/informationen-zur-geothermine/geothermie-in-der-schweiz/. Accessed 29 Sep 2023.
- 19 EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE (2017) Geothermie in der Schweiz. Eine vielseitig nutzbare Energiequelle.

- 20 Link K, Minnig C (2022) Geothermal Energy Use, Country Update for Switzerland. In: European Geothermal Congress 2022. Berlin.
- 21 Titz S (2022) Wärme für den Winter: Die Geothermie könnte der Schweiz riesige Mengen Energie liefern. www.nzz.ch/wissenschaft/geothermie-koennte-der-schweiz-viel-mehr-waerme-liefern-als-bisher-ld.1705597. Accessed 29 Sep 2023.
- 22 Blumer YB, Braunreiter L, Kachi A, Lordan-Perret R, Oeri F (2018) A two-level analysis of public support: Exploring the role of beliefs in opinions about the Swiss energy strategy. *Energy Research & Social Science*. doi:10.1016/j.erss.2018.05.024.
- 23 Cousse J, Trutnevyte E, Hahnel UJ (2021) Tell me how you feel about geothermal energy: Affect as a revealing factor of the role of seismic risk on public acceptance. *Energy Policy*. doi:10.1016/j.enpol.2021.112547.
- 24 Cuppen E, Ejderyan O, Pesch U, Spruit S, van de Grift E, Correlje A, Taebi B (2020) When controversies cascade: Analysing the dynamics of public engagement and conflict in the Netherlands and Switzerland through “controversy spillover”. *Energy Research & Social Science*. doi:10.1016/j.erss.2020.101593.
- 25 Ejderyan O, Ruef F, Stauffacher M (2019) Geothermal Energy in Switzerland: Highlighting the Role of Context. In: Manzella A, Allansdottir A, Pellizzone A (eds) *Geothermal Energy and Society*. Springer International Publishing, Cham:239–257.
- 26 Ruef F, Stauffacher M, Ejderyan O (2020) Blind spots of participation: How differently do geothermal energy managers and residents understand participation? *Energy Reports*. doi:10.1016/j.egyr.2020.07.003.
- 27 Stauffacher M, Muggli N, Scolobig A, Moser C (2015) Framing deep geothermal energy in mass media: the case of Switzerland. *Technological Forecasting and Social Change*. doi:10.1016/j.techfore.2015.05.018.
- 28 Barnes G (2003) Origins of the Japanese Islands: The New “Big Picture”. *Japan Review* 15.
- 29 Tanaka A, Yamano M, Yano Y, Sasada M (2004) Geothermal gradient and heat flow data in and around Japan (I): Appraisal of heat flow from geothermal gradient data. *Earth, Planets and Space*. doi:10.1186/BF03353339.
- 30 Renewable Energy Institute (2021) Trends of Annual Installed Geothermal Heat Pump System. www.renewable-ei.org/en/statistics/energy/?cat=heat. Accessed 29 Sep 2023.

- 31 Ministry of Economy, Trade and Industry (2023) Number of geothermal power plants in Japan from 2020 to 2023.
www.enecho.meti.go.jp/statistics/electric_power/ep002/xls/2022/1-2-2022.xlsx.
 Accessed 29 Sep 2023.
- 32 Yasukawa K, Nishikawa N, Sasada M, Okumura T (2020) Country Update of Japan. In: World Geothermal Congress 2020:1–7.
- 33 Hymans JE, Uchikoshi F (2021) To drill or not to drill: determinants of geothermal energy project siting in Japan. *Environmental Politics*.
 doi:10.1080/09644016.2021.1918493.
- 34 Hymans JEC (2021) Losing Steam: Why Does Japan Produce so Little Geothermal Power? *Social Science Japan Journal*. doi:10.1093/ssjj/jyaa040.
- 35 Kubota H, Hondo H, Hienuki S, Kaieda H (2013) Determining barriers to developing geothermal power generation in Japan: Societal acceptance by stakeholders involved in hot springs. *Energy Policy*. doi:10.1016/j.enpol.2013.05.084.
- 36 Yasukawa K (2019) Issues Around Geothermal Energy and Society in Japan. In: Manzella A, Allansdottir A, Pellizzone A (eds) *Geothermal Energy and Society*:179–191.
- 37 Yasukawa K, Kubota H, Soma N, Noda T (2018) Integration of natural and social environment in the implementation of geothermal projects. *Geothermics*.
 doi:10.1016/j.geothermics.2017.09.011.