

Nutzung geothermischer Fluide als umweltfreundliche Lieferanten von Energie und wertvollen Rohstoffen

Zusammenfassung

Klimawandel und Ressourcenknappheit erfordern die Erkundung alternativer Quellen und Methoden um den Energie- und Rohstoffbedarf der wachsenden Bevölkerung zu decken. Geothermie kann nicht nur zur Strom- und Wärmeherzeugung genutzt werden, sondern birgt auch Potenzial für eine umweltfreundliche Rohstoffgewinnung. Denn die Tiefenwässer beinhalten oft hohe Konzentrationen gelöster Salze (wie Lithium-, Seltene Erden-, Zink- und Kupferionen), die von wirtschaftlichem Interesse sind.

Die Herausforderung für deren Gewinnung ist neben der Kenntnis der lokalen Geologie, die maßgeblich bestimmt, welche abbauwürdigen Elemente zu erwarten sind, die Entwicklung von verfahrenstechnischen Methoden, um diese Stoffe aus dem Thermalwasser zu extrahieren.

Funktionsweise geothermischer Anlagen

Die Geothermie ist eine – für menschliche Maßstäbe – unerschöpfliche Energiequelle und gehört damit zu den erneuerbaren Energien.

Bohrt man von der Erdoberfläche senkrecht in die Erde hinein, so nimmt im Durchschnitt die Temperatur um 3 Grad Celsius pro 100 Meter zu. Für die Tiefe Geothermie wird diese Erdwärme durch Bohrungen von ca. 400 bis 5000 Meter erschlossen. Diese Bohrungen reichen in Gesteinsformationen, in denen heißes Wasser durch Poren oder Klufthohlräume zirkuliert.

In den meisten geothermischen Anlagen wird das warme Wasser aus einer Bohrung gefördert, die Wärme dem Wasser dann obertägig entzogen und zur Wärme- oder Stromversorgung genutzt. Anschließend wird das abgekühlte, chemisch aber unveränderte Wasser über eine zweite Bohrung wieder in die geologische Formation versenkt.

Potenzial für Energiemix bisher wenig genutzt

Der große Vorteil der Geothermie gegenüber anderen erneuerbaren Energieformen (wie Photovoltaik oder Windkraftanlagen) ist, dass sie unabhängig von Tages- und Jahreszeiten, sowie von Sonne, Wind und Wetter genutzt werden kann. Ein weiterer Pluspunkt ist der geringe oberirdische Flächenbedarf.

Trotz dieser augenscheinlichen Vorteile, führt die Geothermie in den meisten Regionen dieser Welt – und so auch in Deutschland – noch ein Nischendasein im erneuerbaren Energiemix. So betrug 2017 der Anteil der Geothermie an der Wärmebereitstellung in Deutschland mit 0,7% (1,2Mrd. kWh) nur ein Bruchteil dessen, was z. B. aus Biomasse (119Mrd. kWh) bereitgestellt wurde (Agentur für Erneuerbare Energien e.V., 2018). Insgesamt gab es 2019 in Deutschland 37 tiefengeothermische Anlagen, die 336 MW_{therm} und 37 MW_{el} Leistung bereitstellten (Think Geoenergy Research, 2020).

Fündigkeitsrisiko

Ein wichtiger Grund, warum die Geothermie sich bisher wenig verbreitet hat, sind die teilweise geringen Kenntnisse hinsichtlich der geologischen Formationen, in die hineingebohrt wird. Nicht jede Gesteinsschicht eignet sich gleichermaßen für einen Einsatz der Geothermie. Die Formationen sollen nicht nur Wärme bereitstellen, sondern auch gut durchlässig sein, so dass über einen langen Zeitraum möglichst viel und konstant heißes Wasser gefördert werden kann. Obwohl in den meisten Regionen Deutschlands durch Bohrungen und geophysikalische Verfahren schon viel zur Lage und Mächtigkeit der Schichtabfolgen in große Tiefen bekannt ist, bestehen meist noch lokale Unsicherheiten darüber, ob eine gesuchte Formation tatsächlich durch eine Bohrung erschlossen werden kann. Wegen der hohen Kosten für Bohrungen ist dieses Fündigkeitsrisiko den Investoren häufig zu groß.



GFZ

Dr. Simona Regensburg
simona.regensburg@
gfz-potsdam.de

Dr. Harald Milsch
harald.milsch@gfz-potsdam.de

KIT

Dr. Elisabeth Eiche
elisabeth.eiche@kit.edu

Klemens Slunitschek
klemens.slunitschek@kit.edu

Universität Miskolc

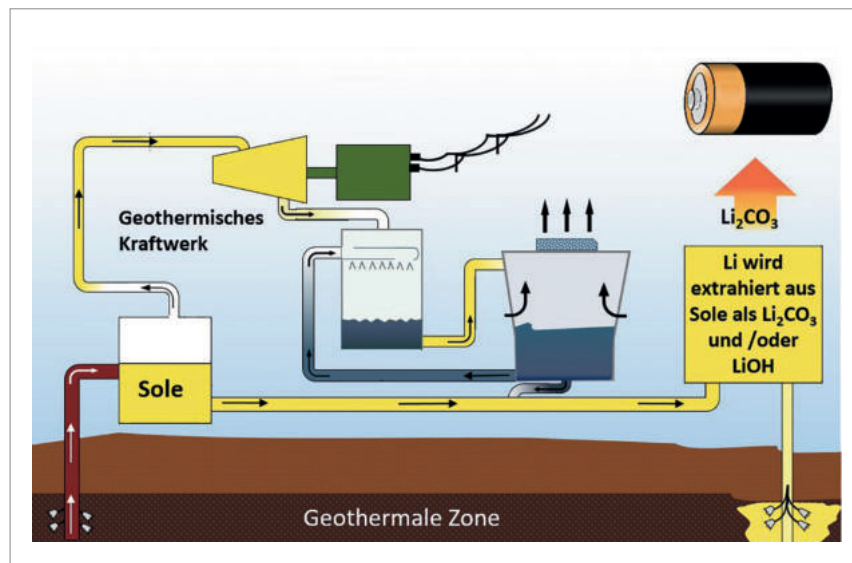
Prof. Dr. Tamas Madaraz
hgmt@uni-miskolc.hu

Prof. Dr. Eva Hartai
foldshe@uni-miskolc.hu

Pfalzwerke Geofuture

Jörg Uhde
joerg.uhde@
pfalzwerke-geofuture.de

Abbildung 1
Co-Nutzung von Thermalwasser
 für geothermische Stromerzeugung und Lithiumextraktion
 (Quelle: nach Paranthaman, et al., 2017)



Fluidinhaltsstoffe

Die heterogenen Eigenschaften der geologischen Formationen spiegeln sich auch in der Zusammensetzung der Tiefenwässer wider.

Das Thermalwasser (Fluid), das aus großen Tiefen stammt, ist in der Regel kein brauchbares Trinkwasser, da es durch vielerlei Wasser-Gestein-Wechselwirkungen über die Jahrmillionen einen hohen Anteil gelöster Salze und Gase angereichert hat. In Abhängigkeit der Art der geologischen Formation, des Alters, und potenzieller Vermischungen unterschiedlicher Fluide variiert die Zusammensetzung dieser Wässer stark. Insbesondere reichern sich Ionen leichtlöslicher Salze wie Natrium, Calcium oder Chlorid im Wasser an. Jedoch können, in Abhängigkeit von der Lokation, praktisch alle natürlichen Elemente des Periodensystems in diesen Fluiden in teilweise beachtlichen Konzentrationen gefunden werden.

Da einige dieser Elemente zu den strategisch wichtigen oder kritischen Rohstoffen gehören, stellt sich die Frage, ob diese Elemente während der Thermalwasserproduktion gewonnen werden können, d. h. ob eine Co-Nutzung der Thermalfluide zur Rohstoffgewinnung technisch machbar und wirtschaftlich ist.

Zu den wirtschaftlich interessanten Inhaltsstoffen von Thermalfluiden zählt insbesondere Lithium, das in salinaren Lösungen mit Konzentrationen von mehreren hundert mg/L vorkommen kann. Lithium wird zunehmend für die Herstellung von Lithiumbatterien benötigt, die für den Weg in die Elektromobilität unerlässlich sind.

Doch auch die Nutzung von Metallen wie Kupfer, Zink, Mangan, Strontium sowie von Gasen wie Helium oder Methan weist ein hohes Potenzial auf. Noch sehr wenig untersucht hinsichtlich ihres Vorkommens in Thermalwässern aber von großem wirtschaftlichem Interesse sind die Rohstoffe Hafnium, Germanium, Gallium und die Metalle der Seltenen Erden, die schon in geringen Mengen großen Wert erzielen.

Die traditionelle Rohstoffgewinnung ist meist sehr umweltschädlich und verbraucht enorme Mengen CO₂. So werden beispielsweise für den mineralischen Lithiumabbau große Flächen im Tagebau zerstört, indem zunächst die lithiumführenden Gesteine abgebaut werden, bzw. die lithiumreichen Minerale (z. B. Spodumen) separiert werden. Anschließend werden diese bei etwa 1100°C geröstet, um das Lithiummineral in eine besser lösliche Kristallform zu überführen. Die geröstete Mineralmischung wird in Säure gelöst und anschließend Lithium als reines Lithiumkarbonat oder als Lithiumhydroxid wieder ausgefällt (Bibienne et al., 2020).

Im Gegensatz dazu würde bei einer Produktion von Lithium aus Thermalsole das Lithium bereits in gelöster Form vorliegen und muss nur noch aus dem Wasser extrahiert und in die Handelsform gefällt werden (Bowell et al., 2020).

Es gibt mehrere Verfahren, mit denen Lithium direkt aus Thermalwasser gewonnen und für die – abgesehen von einem "Filtermaterial" – kein weiterer Stoff zugesetzt werden muss. Diese Verfahren bezeichnet man mit dem Überbegriff „Direkte Lithium-Extraktion“ (DLE).

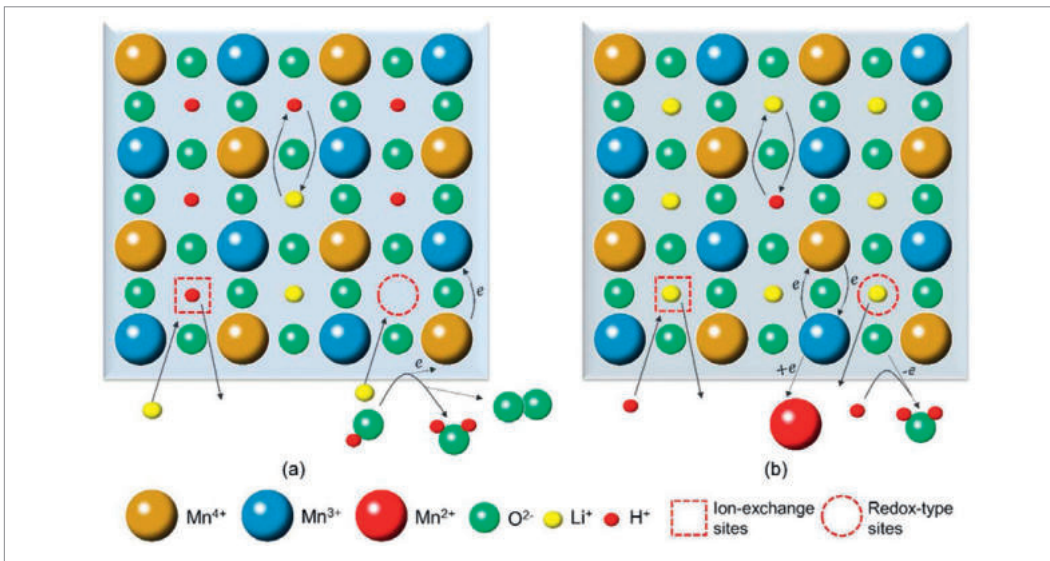


Abbildung 2
Prinzip des Ionensiebs zur Lithiumextraktion an Manganoxiden
(Quelle: Liu et al., 2019)

Rohstoffextraktion aus Thermalwasser: Stand von Wissen und Technik

Die Lithiumgewinnung aus geothermischen Fluiden wird in Deutschland bereits in großem Stil erforscht. Insbesondere in der Region des Oberrheingrabens, in der es vergleichsweise viele geothermische Kraftwerke gibt, liegen die Lithiumkonzentrationen mit 150–200 mg/L relativ hoch.

Diverse Forschungsprojekte laufen derzeit, wie beispielsweise eine von den Anlagenbetreibern des Geothermiekraftwerkes Insheim (Pfalzwerke Geofuture) und der Vulkan Energy Ltd. durchgeführte Machbarkeitsstudie zur Lithiumextraktion. In der Anlage wird 165 °C warmes Tiefenwasser für die Gewinnung von Strom (4.0 MW_{el}) und Wärme (10 MW_{th}) genutzt. Dieses Wasser enthält etwa 180 mg/L Lithium. Die Pfalzwerke Geofuture stellen für eine Studie Thermalsole für eine Verfahrensentwicklung zur direkten Lithium-Extraktion zur Verfügung. Ziel der Studie ist eine CO₂-freie Produktion von Lithium (jährlich ca. 2.000 Tonnen Lithiumhydroxid).

Doch auch in anderen Teilen Europas und der Welt wird an dem Thema geforscht: So plant die britische Firma Cornish Lithium mehrere Projekte in Cornwall, darunter eine Kooperation mit der Geothermal Engineering Limited, bei der an der gerade gebohrten Geothermieanlage von United Downs DLE angewandt werden soll.

An der zweitgrößten Geothermieanlage der Vereinigten Staaten (Salton Sea) wird schon seit vielen Jahren an der Umsetzung von Extraktionsverfahren gearbeitet. Hier ist geplant, bis 2023 im großen Maßstab Lithium (17.000 t Li₂CO₃) zu extrahieren (LA Times, 2020). (► [Abbildung 1](#))

Einen etwas anderen Ansatz verfolgt das EU Horizon 2020 geförderte Projekt CHPM 2030 (Combined Heat, Power and Metal Extraction). Hier sollen aus besonders tief liegenden Erzlagerstätten geothermische Fluide gewonnen werden, die zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie zur Metallgewinnung genutzt werden. In dem 2019 abgeschlossenen Projekt wurde eine umfangreiche, europaweite Exploration durchgeführt und es wurden diverse Metalleextraktionsmethoden (insbesondere elektrometallurgische) entwickelt (Hartai et al., 2017). Laut einer im Projekt erarbeiteten Roadmap ist geplant, bis 2030 eine Demonstrationsanlage dafür zu bauen.

Methoden der Extraktion

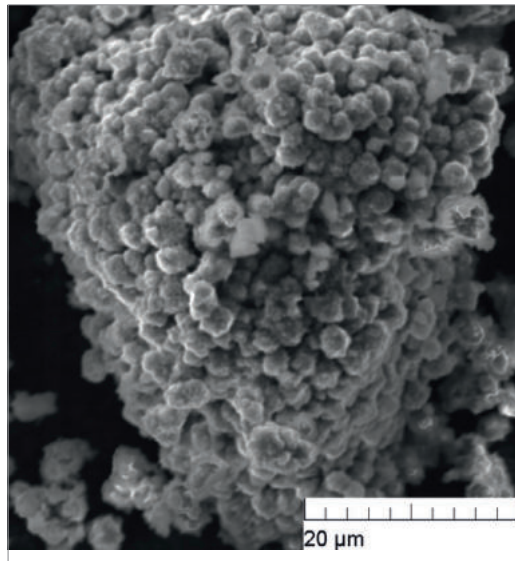
Obwohl die theoretischen Potenziale für die Rohstoffgewinnung aus Thermalsole sehr hoch sind, werden weltweit derzeit noch in kaum einer Anlage nennenswert Rohstoffe gewonnen.

Die Herausforderung liegt insbesondere darin, geeignete Methoden zur selektiven Gewinnung der Wertelemente zu finden: aus einer komplexen, salinaren Lösung mit einem möglichst hohen Reinheitsgrad, sowie bei gleichzeitigem Betrieb einer geothermischen Anlage, also mit hoher Effizienz und in hoher Geschwindigkeit.

Insbesondere für die Lithiumgewinnung gibt es eine Vielzahl von Methoden, die zumindest im Labormaßstab ein hohes Potenzial andeuten (Liu et al., 2019):

- Fällung
- Adsorption (Bindung an der Oberfläche eines Materials)

Abbildung 3
**Manganoxid
 Nanopartikel im
 Labor synthetisiert**



- Ionenaustausch / Ionensiebe
 (Beim Ionenaustausch wird Lithium durch ein anderes Element im Filtermaterial ausgetauscht. Auch Ionensiebe wirken so, wobei hier die Größe des Ions entscheidend ist: Das kleine Li^+ passt in Kristallzwischenräume, wird aber hier durch ein anderes Ion ausgetauscht.)
- elektrochemische Methoden
- Membrantechnologien

Die Ionensiebe gehören zu den DLE-Verfahren und werden als besonders effiziente Methode eingeschätzt (Liu et al., 2019). Dabei stehen Manganoxid-Sorbenten als Adsorptionsmittel im Fokus, da diese Partikel aus einer porösen Kristallstruktur mit primär Mn(IV) und Mn(III) bestehen. In die vorhandenen Hohlräume im Kristallgitter kann Lithium eindringen, an den inneren Oberflächen der Hohlräume adsorbieren und nur durch Protonen (H^+) wieder herausgelöst werden (► *Abbildung 2*).

Elemente mit höherer Ordnungszahl als Lithium können nicht in die Tunnel migrieren, wodurch sich ein Ionensiebeffekt bildet. Aufgrund der selektiven Adsorption von Lithium eignen sich Manganoxid-Sorbenten besonders für den Einsatz in hochsalinaren Fluiden (► *Abbildung 3*).

Für andere Metalle sowie für Seltene Erden werden hingegen eher Methoden der galvanischen Abscheidung oder der Bioextraktion vorgeschlagen (Lo et al., 2014; Dominguez-Benetton, 2018).

Der Prozess des „Ionensiebes“ hat sich als schnell und effizient erwiesen, doch sind noch nicht alle Fragen beantwortet, z. B. ob eine pH-Wert-Pufferung notwendig ist oder ob sich Kompositmaterialien (inerte Trägermaterialien, auf denen das Adsorptionsmittel aufgebracht wird) für den großtechnischen

Einsatz eignen. Derzeit wird u.a. am KIT intensiv an den Ionensieben geforscht. Erste Ergebnisse zeigten, dass aufgrund der schnellen Kinetik des Austauschprozesses ein Einsatz im Durchfluss möglich erscheint und damit auch eine gute Eingliederung in ein laufendes Kraftwerk.

Fazit

Alle Extraktionsmethoden wurden bisher fast ausschließlich auf der Laborskala untersucht. Die entwickelten Methoden müssen sich aber auch unter Realbedingungen bewähren. Daher wird eine repräsentative geothermische Demonstrationsanlage benötigt, die es erlaubt, heiße Thermalsole zu fördern und gleichzeitig die unterschiedlichen Methoden der Rohstoffgewinnung (Direktlithiumextraktion, galvanische Metallabscheidung, Bioextraktion, Gasseparation) weiter zu entwickeln, zu testen und zu optimieren. Nur so kann geothermische Rohstoffgewinnung zu einem Standardverfahren werden.

Somit kann die Geothermie eine umweltfreundliche Methode der Rohstoff- und Energiegewinnung darstellen und die hohen Investitionskosten können über mehrere Wege wieder ersetzt werden.

Referenzen

- Bibienne, T., Magnan, J.F., Rupp, A. and Laroche, N., 2020. From Mine to Mind and Mobiles: Society's Increasing Dependence on Lithium. *Elements: An International Magazine of Mineralogy, Geochemistry, and Petrology*, 16(4), pp.265–270.
- Howell, R.J., Lagos, L., de los Hoyos, C.R. and Declercq, J., 2020. Classification and characteristics of natural lithium resources. *Elements: An International Magazine of Mineralogy, Geochemistry, and Petrology*, 16(4), pp.259–264.
- Dominguez-Benetton, X., Varia, J.C., Pozo, G., Modin, O., Ter Heijne, A., Fransaeer, J. and Rabaey, K., 2018. Metal recovery by microbial electro-metallurgy. *Progress in Materials Science*, 94, pp.435–461.
- Hartai, É., Bodosi, B., Madarász, T., Földessy, J., Németh, N., Tóth, A., Szücs, P., Szanyi, J., Osvald, M. and CHPM2030, T., 2017. Combining energy production and mineral extraction – The CHPM2030 project. *EUROPEAN GEOLOGIST*, (43), pp.6–9.
- LA Times, 2020: <https://www.latimes.com/environment/story/2020-03-16/lithium-startup-lilac-solutions-bill-gates-salton-sea>.
- Lo, Y.C., Cheng, C.L., Han, Y.L., Chen, B.Y. and Chang, J.S., 2014. Recovery of high-value metals from geothermal sites by biosorption and bioaccumulation. *Bioresource technology*, 160, pp.182–190.
- Liu, G., Zhao, Z. and Ghahreman, A., 2019. Novel approaches for lithium extraction from salt-lake brines: A review. *Hydrometallurgy*, 187, pp.81–100. Paranthaman, et al., (2017). Recovery of lithium from geothermal brine with lithium–aluminum layered double hydroxide chloride sorbents. *Environmental science & technology*, 51(22), pp.13481-13486.
- Think Geoenergy Research, 2020: <https://www.thinkgeoenergy.com/>