



KIT SCIENTIFIC REPORTS 7640

Chancen der Energiewende

Wissenschaftliche Beiträge des KIT

zur 1. Jahrestagung des KIT-Zentrums Energie, 19.06.2012

Dr. Wolfgang Breh

Dr. Katharina Schätzler (Hrsg.)

Hochdruckuntersuchungen für Geothermie und CCS

M. Huth**, S. Johnsen*, S. Michel*, G. Wiegand*

*Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Katalysatorforschung und -technologie (IKFT)
76131 Karlsruhe, Deutschland, E-mail: gabriele.wiegand@kit.edu, Telefon: +49(0)721/608-26194

**Deutsche METROHM GmbH & Co. KG, Filderstadt (Plattenhardt), Deutschland

1 Einleitung

Bei der Energieerzeugung aus alternativen Energieträgern werden grundlastfähige Quellen wie Geothermie zukünftig eine immer bedeutendere Rolle einnehmen. Gemäß einer BMU-Leitstudie [1] wird erwartet, dass sich die Wärmeenerzeugung auf der Basis von Tiefengeothermie im Zeitraum zwischen 2007 und 2020 mehr als versiebenfacht. Eine weitere Studie (Abb. 1) prognostiziert sogar eine weltweite Installation von Geothermiekraftwerken mit einer elektrischen Kapazität von ca. 140 GW_{el} bis zum Jahr 2050 [2]. Dies entspricht einer Produktionsleistung von ca. 1100 TWh / Jahr und somit einer Steigerung um etwa einen Faktor von 15. Auch hier würde die thermische Leistung um einen Faktor 10 höher liegen, also bei ca. 1500 GW_{th} .

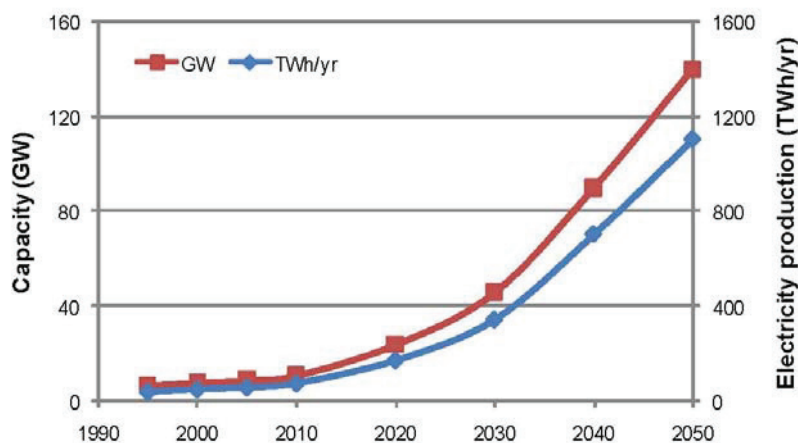


Abb. 1 Geothermie: Entwicklungs-Prognose bis 2050 [2]

Für die geothermische Gewinnung von elektrischem Strom wurde bisher weltweit eine Leistung von 10,7 GW_{el} in 24 Ländern installiert. Dies entspricht einer Produktionsleistung von 67,2 TWh / Jahr an geothermischem Strom. Der Wirkungsgrad eines Geothermiekraftwerks zur Stromgewinnung

liegt durchschnittlich bei ca. 10%. Die thermische Leistung liegt um einen Faktor 10 höher, entsprechend ca. $100 \text{ GW}_{\text{th}}$ in mehr als 500 Geothermiekraftwerken weltweit. Die standortabhängige, jedoch häufig übergreifende Problematik liegt darin, dass Mineralausfällungen und Ausgasungen auftreten können, die zu erheblichen Betriebsstörungen führen. Der erste Schritt zu dieser Problemlösung wäre ein online-Monitoring-Verfahren, das es ermöglicht, Salzausfällungen rechtzeitig zu erkennen und diesen präventiv entgegenzutreten, bevor es zu Betriebsausfällen kommt.

Baden-Württemberg ist als Standort für den Betrieb von Tiefengeothermiekraftwerken prädestiniert aufgrund des hohen Temperaturgradienten entlang des Oberrheingrabens. Obwohl diese Standorte zu den besten in Deutschland gehören, sind die bei den bisherigen Bohrungen (z. B. in Bruchsal) gemessenen hohen Salzgehalte der geförderten Solen mit z. T. mehr als 100 g/l eine Herausforderung bei der wirtschaftlichen Umsetzung von Projekten zur effizienten Nutzung der hydrothermalen Tiefengeothermie im Oberrheingraben. Diese hohe Mineralisation bedingt eine Vielzahl von Problemen insbesondere durch Ausfällungsreaktionen der gelösten Komponenten in den Bohrlöchern sowie im Rohrleitungssystem des Kraftwerks. Darüber hinaus kann es zu Ausgasungen im gesamten System während der Förderung, Produktion und Verpressung kommen. Die Wirtschaftlichkeit eines Geothermie-Projekts hängt somit ganz wesentlich davon ab, wie gut die Betriebsparameter kontrolliert werden können, um Ablagerungen von Mineralien, Ausgasungen und Korrosion zu vermeiden. Bei Bohrungen im Oberrheingraben, z. B. in Bruchsal, sind diese Fragestellungen bereits deutlich geworden (Abb. 2).

Auch bei der Tiefspeicherung von CO_2 (CCS) ist mit einer ähnlichen Problematik zu rechnen, da das aus Abgasen abgetrennte CO_2 in einen potentiell ebenfalls salinen Aquifer bei entsprechenden Lagerstättenbedingungen, d.h. erhöhten Drücken und Temperaturen, zur Endlagerung eingespeist werden soll. Dies kann zu Ausfällungen und daraus resultierenden chemischen Reaktionen in der Tiefspeicherstätte führen. Eine wesentliche Problematik ist hierbei das Phasenverhalten von CO_2 unter Druck wie auch die Permeabilität des umgebenden Gesteins sowie die „Dichtigkeit“ der Lagerstätte, die gewährleisten soll, dass das CO_2 auch dort bleibt, wo es verpresst wurde, und nicht andernorts durch Migration erneut ausgast. Auf diese Problematik wird im EU-Projekt MUSTANG im Rahmen von Tiefspeicherexperimenten in Heletz/Israel konkret eingegangen [4].

Bei beiden Beispielen spielt die Kenntnis des Phasenverhaltens der jeweils relevanten Hydrothermalsysteme bei erhöhten Drücken und Temperaturen, teilweise bei hohen Salzgehalten, eine entscheidende Rolle, da hierdurch die Problematik Ausgasung, Ausfällung und Korrosion bestimmt werden.



Abb. 2 Auswirkungen von Mineralausfällungen bei der Nutzung der Tiefengeothermie in Bruchsal [3]

Insofern herrscht hier dringender Handlungsbedarf, dem mit dem vorhandenen Know-how hier unter anderem nachgekommen werden soll. Die Tiefengeothermie-Nutzung wird insgesamt dann erfolgreich sein, wenn es gelingt, in erster Linie Mineralausfällungen durch geeignete Monitoring-Methoden zu kontrollieren durch rechtzeitiges Erkennen von Schwierigkeiten und rechtzeitiges Eingreifen. Dieser Bedarf wurde auch auf allen einschlägigen Geothermie-Kongressen der letzten Jahre immer wieder betont. Daher stehen diesem hohen Erwartungswert noch zahlreiche anspruchsvolle Entwicklungsaufgaben gegenüber, die im Rahmen von Forschung und Entwicklung bearbeitet werden.

2 Experiment

Aufgrund des vorhandenen Know-how für Hochdruckuntersuchungen in den Themenbereichen Dichte komprimierter Fluide, statische und dynamische Phasengleichgewichte in Multikomponentensystemen, Verteilungsgleichgewichte, Salzeffekte, Grenzflächeneigenschaften und Gashydrate bei Drücken bis 1000 bar und Temperaturen bis 200°C. Verschiedene hochpräzise Methoden stehen für die Messung von Dichten [5] und Phasengleichgewichten zur Verfügung. Hier bestehen sowohl Probenahmesysteme für online-Analysen als auch für NIR-spektroskopische Messungen, die ursprünglich für den Einsatz in der industriellen Naturstoffextraktion entwickelt worden sind [6]. Weiterhin sind Resultate für Grenzflächenverhalten bei erhöhten Drücken und Temperaturen wie auch für Gashydratbildungen verfügbar [7-10]. Diese Kernkompetenzen aus der Hochdruckverfahrenstechnik und Thermophysik können direkt für die Bearbeitung hydrothormaler Fragestellungen in den Bereichen Geothermie und CO₂-Tiefspeicherung angewandt werden. In-situ-Bedingungen im Bohrloch entsprechen Temperaturen bis ca. 180°C und Drücken bis zu 500 bar (ca. 100 bar pro 1 km Tiefe). Im Geothermiekraftwerk erfolgt eine Absenkung der Temperatur auf derzeit ca. 70°C bei

Betriebsdrücken von maximal 30 bar im Wärmetauscher. Abhängig vom Standort können extrem hohe Salzgehalte bis 300 g/l im Aquifer bzw. den verwendeten Hydrothermalwässern vorhanden sein. Deshalb wurde eine Hochdruckapparatur zur Untersuchung von Löslichkeiten in Hydrothermalphasen bis ca. 200°C und 500 bar erfolgreich aufgebaut und in Betrieb genommen.

3 Ergebnis und Ausblick

Die hier angewandte Messmethode lässt sich jedoch nicht nur im Zusammenhang mit CCS-Fragestellungen einsetzen, sondern ganz allgemein, um Aussagen über das Phasenverhalten von Mehrkomponentensystemen unter Druck und Temperatur auch bei hohen Salzkonzentrationen sowie in Anwesenheit von CO₂ oder anderen Gasen treffen zu können. Dies gilt insbesondere für Themen im Kontext Erdölprospektion wie auch für geothermische Verfahren zur Gewinnung von Erdwärme. Mit diesem Versuchsaufbau kann man feststellen, welche Stoffe bei welchen Bedingungen ausfallen bzw. wo demzufolge Störungen im Kraftwerksbetrieb zu erwarten sind. Grobe Abschätzung der Korrosivität der jeweiligen Hydrothermallösungen und Bewertung im Hinblick auf die Korrosion von Bohrlochverrohrungen und Aggregaten, die bei der CO₂-Tiefspeicherung und der Geothermienutzung zum Einsatz kommen, sind ebenfalls so möglich.

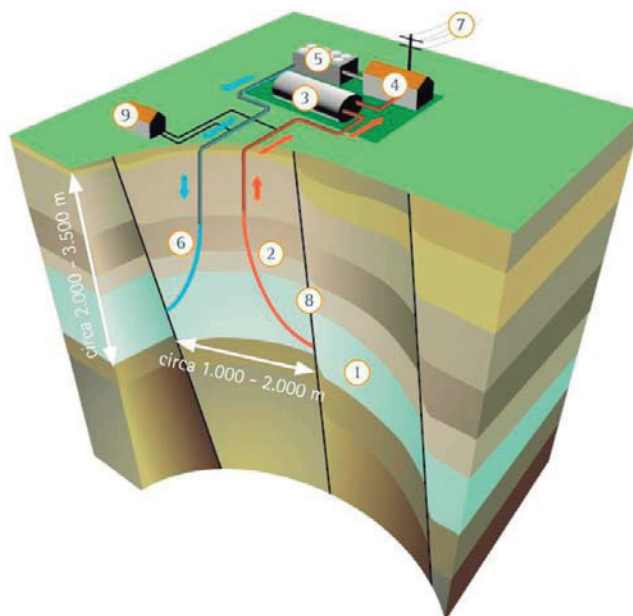


Abb. 3 Schema eines Geothermiekraftwerks. Quelle: Fa. 360plus Consult, Karlsruhe

Das Grundprinzip eines Geothermiekraftwerks ist in Abb. 3 dargestellt. Der Wasserkreislauf, der für das vorliegende Projekt von Bedeutung ist, sieht folgendermaßen aus: Aus einer Tiefe von bis zu 3500 m (1) wird über die Förderbohrung (2) Thermalwasser aus einem Aquifer (8) in den Wärmetauscher des Geothermiekraftwerks (3) gefördert und danach wieder über die Rückspeisebohrung (6) in den Aquifer zurückgeleitet.

Im Kraftwerksbereich herrschen üblicherweise Temperaturen von $>60^{\circ}\text{C}$ und Drücke bis ca. 30 bar, im Förderbohrloch und im Rückspeiseloche bis zu 350 bar und mehr, abhängig von der Tiefe. Die Temperaturen in der Förderbohrung können bis zu ca. 180°C betragen.

Das Hauptproblem beim Kraftwerksbetrieb liegt darin, dass Störungen oder hohe Ausfallquoten auftreten können durch Ausfällungen, Ausgasungen und daraus resultierende Korrosion. Daher wäre es ideal, mit einem geeigneten Verfahren im Förder- und Rückspeisebereich des Geothermiekraftwerks Änderungen des Salzgehaltes rechtzeitig zu erkennen, gegen die damit im Zusammenhang stehenden Ausfällungen rechtzeitig Maßnahmen zu ergreifen und somit zumindest Ausfällungen mit Verstopfungsgefahr sowie teilweise auch Korrosion zu unterbinden und so für einen störungsfreien Kraftwerksbereich zu leisten. Die Grundproblematik ist an allen Standorten dieselbe, die Stärke der Auswirkungen hängt jedoch von der Art und Menge der gelösten Salze ab, die insbesondere im Oberrheingraben und in der Norddeutschen Tiefebene besonders groß sind. Deshalb wird in einem Technologietransferprojekt zwischen KIT und der Fa. Deutsche Metrohm GmbH und Co KG ein online-Monitoring-Verfahren zur Analyse hochsalinärer Wässer mittels Ionenanalytik für den Einsatz in Geothermiekraftwerken entwickelt, um hier gezielt einzugreifen. Bei erfolgreicher Entwicklung ist ein Einsatz in Geothermiekraftwerken gegeben, da dadurch die Betriebssicherheit wesentlich erhöht werden würde. Weiterhin können so präventive Methoden, angepasst an die jeweiligen Gegebenheiten der Lokation, entwickelt und implementiert werden. Insgesamt hat die geplante Entwicklung das Potential, ein Standardmodul für salinares Monitoring zu werden (Abb. 4).

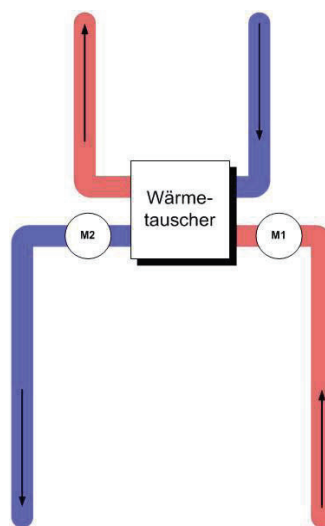


Abb. 4 Schema für online-Monitoring im Geothermiekraftwerk

Literaturverzeichnis

- [1] www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2008.pdf
- [2] I.B. Fridleifsson et al. In: O. Hohmeyer and T. Trittin (Eds.) IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources, Proceedings, Luebeck, Germany, 20-25 January 2008, 59-80.
- [3] I. Stober, Geowissenschaftliche Basisdaten zur Qualitätssicherung bei der Tiefengeothermie. GeoTHERM Messe Offenburg, 28.02.2008: Vortrag, 24 Folien.
- [4] S. Johnsen, S. Michel, G. Wiegand, A. Niemi, J. Bear, J. Bensabat, P. Gouze, M. Sauter, MUSTANG – A multiple space and time scale approach for the qualification of deep saline formations for CO₂ storage. JSF, invited paper, submitted
- [5] A. Hebach, N. Dahmen, A. Oberhof, J. Chem.Eng. Data 49 (2004) 950-953
- [6] G. Wiegand, S. Johnsen, B. Zehnder, CITplus, Vol. 7/8, 2009, p. 41.
- [7] Wesch, A.; Dahmen, N.; Ebert, K.; Schön, J., Chemie Ingenieur Technik, 69 (1997) S.942-46
- [8] Hebach, A.; Oberhof, A.; Dahmen, N.; Kögel, A.; Ederer, H.; Dinjus, E. Journal of Chemical and Engineering Data, 47 (2002) S.1540-46
- [9] G. Wiegand & E.U. Franck, Ber. Bunsenges. Phys. Chem., 98, 809-817 (1994)
- [10] A. Hebach, A. Oberhof, N. Dahmen, G. Wiegand, Prep. Pap.-Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem., Vol. 55, 2010, p. 88

Danksagung

Das vorliegende Projekt wird durch das Helmholtz-Gemeinschaft POF 2 Programm innerhalb KIT sowie den KIT Seed Fond für Technologietransferprojekte finanziell unterstützt.

Die Autoren danken der Fa. 360plus Consult, Karlsruhe, für die Zuverfügungstellung von Abb. 3.