

Einsatz und Bedarf von Sensorik in der Geothermie

Einleitung

Die Geothermie kann einen bedeutenden Beitrag zur Energieversorgung in Deutschland leisten. Für den Ausbau der Nutzung dieser heimischen Energieresource wird ein besseres Verständnis von Prozessen benötigt, die sich im untertägigen Reservoir, im Bohrloch und bei der Interaktion zwischen Thermalwasser und obertägiger Anlage abspielen. Dies kann durch die verbesserte Überwachung eines geothermischen Systems mittels geeigneter Sensoren erzielt werden. Besonders die tiefe Geothermie stellt dabei erhöhte Anforderungen an die hierfür einzusetzende Sensorik. In Deutschland ist dies neben Temperaturen von bis zu 150 °C und Drücken bis zu 600 bar vor allem die chemische Zusammensetzung der Thermalwässer, die zum Teil sehr salzhaltig und korrosiv sein können. Weltweit gibt es darüber hinaus Anstrengungen zur Nutzung so genannter superkritischer Reservoirs, die auch in Europa eine Option zum Ausbau der Geothermie darstellen. Hierbei sollen Thermalwässer bei Temperatur- und Druckbedingungen oberhalb des kritischen Punktes von Wasser genutzt werden. Zur Entwicklung verlässlicher und effizienter geothermischer Technologien führt das Internationale Geothermiezentrum (ICGR), angesiedelt am Deutschen GeoForschungsZentrum (GFZ), daher Untersuchungen zur geothermisch angewandten Grundlagenforschung durch.

Tiefe geothermische Anlagen nutzen Thermalwasservorkommen, die in heißen Gesteinsschichten gespeichert sind und aufgrund der natürlichen Durchlässigkeit der Gesteine oder künstlich erzeugter Riss-Systeme über Bohrlöcher zur Oberfläche gefördert werden können. Für einen verlässlichen Betrieb einer geothermischen Anlage ist es wichtig, das Verhalten des sogenannten geothermischen Reservoirs während der Nutzung zu verstehen. Weiterhin ist es wichtig, die Zusammensetzung der Fluide genau zu kennen, um chemische und physikalische Wechselwirkungen zwischen Fluid und Anlage besser abschätzen zu können. Diese werden z.B. durch sinkende Temperaturen und Drücke auf dem Weg vom Reservoir zur obertägigen Anlage sowie die Wärmeentnahme beeinflusst.

Als Modellstandort zur Erforschung der geothermischen Energiegewinnung im Norddeutschen Becken dient das Forschungslabor Groß Schönebeck. Hier können Untersuchungen zu Prozessen im Untergrund als auch in der obertägigen Anlage während

der Nutzung eines geothermischen Reservoirs durchgeführt und verschiedene Sensoren unter in-situ-Bedingungen eingesetzt und bewertet werden.

In-situ-Geothermielabor Groß Schönebeck

Groß Schönebeck liegt etwa 50 km nordöstlich von Berlin im südlichen Randbereich des norddeutschen Beckens. Eine ehemalige Erdgas-Explorationsbohrung wurde dort 2001 auf 4309 m vertieft. 2007 folgte eine zweite Bohrung mit 4400 m Teufe. Durch die Ablenkung der zweiten Bohrung beträgt der Abstand obertägig 28 m und 475 m in der Tiefe. Sie bilden eine geothermische Dublette mit einer Förderbohrung, in der das warme Thermalwasser mit einer Pumpe in 1200 m Tiefe an die Oberfläche gepumpt wird (*Abbildung 1*). Nach der geplanten Wärmeentnahme wird das Thermalwasser über eine zweite, obertägig installierte, Pumpe und die Injektionsbohrung wieder in das Reservoir zurück geleitet. Messinstrumente in den Bohrungen und in der obertägigen Anlage erfassen Veränderungen im Thermalwasser, aus denen Rückschlüsse auf die Bedingungen im Reservoir und zu Korrosions- und Fällungsprozessen gezogen werden können.

Für die Erschließung der Lagerstätte wurde eine hydraulische Stimulation durchgeführt, bei der Wasser unter hohem Druck in das Gestein eingepresst wurde. Es bildete sich ein unterirdisches Riss-System aus, welches nun als geologischer Wärmeübertrager genutzt werden kann. Die geförderten Fluide haben einen Lösungsinhalt von 265 g/l und einen pH-Wert von 5,7, die Temperatur in der Tiefe liegt bei 150 °C. Das obertägige System wird zum Schutz vor Entgasung, Fluidverdampfung und dem Eindringen von Luftsauerstoff unter einem Druck von ca. 10 bar gehalten.

Bohrlochmessungen

Zur Bestimmung natürlicher und künstlich induzierter Strömungsprozesse im Untergrund können Messungen von Druck, Temperatur und Fließrate entlang einer durchströmten Bohrung genutzt werden. Hierfür wurde am ICGR ein hybrides Bohrlochmesssystem (*Abbildung 2*) entwickelt und getestet, welches den simultanen Einsatz von elektronischen und faseroptischen Sensoren ermöglicht. Es konnten hiermit

*Internationales
Geothermiezentrum
ICGR am
GFZ Potsdam –
Deutsches
GeoForschungszentrum*

*Jan Henniges
janhen@gfz-potsdam.de*

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

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

*Thomas Reinsch
thomas.reinsch@gfz-potsdam.de*

*Prof. Dr. Ernst Huenges
huenges@gfz-potsdam.de*

Abbildung 1
Schematische Darstellung des Thermalwasserkreislaufs in einer geothermischen Anlage.

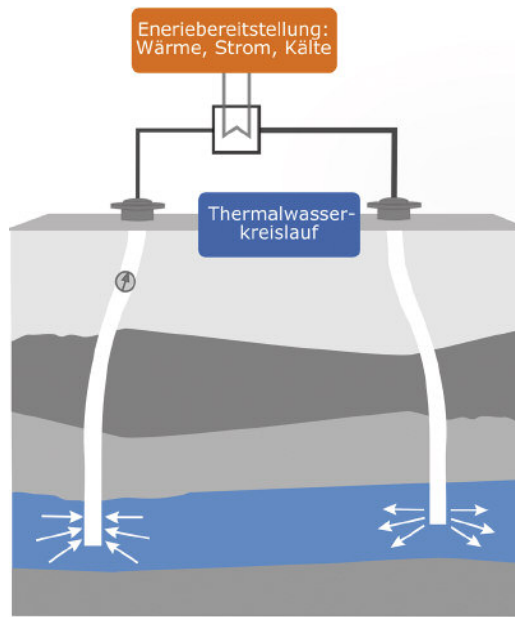


Abbildung 2
Hybrides Bohrlochmesssystem zur Durchführung von kombinierter Messung mit elektrischen und faseroptischen Sensoren.



bereits erfolgreich kombinierte Messungen von Druck, Temperatur, Fließgeschwindigkeit und natürlicher Radioaktivität, zusammen mit ortsverteilter Temperaturmessungen (DTS) entlang des Bohrlochs während Förder- und Injektionsbetriebs in der Geothermieanlage in Groß Schönebeck durchgeführt werden [Henninges et al., 2012].

Neben den ortsverteilter Temperaturmessungen ist auch die Integration weiterer faseroptischer Sensoren geplant. Ein Druck- und Temperatursensor wurde dafür erfolgreich im Labor getestet [Bremer et al., 2010; Reinsch et al., 2012]. Bisher fehlen allerdings Sensoren oder Methoden zur Bestimmung chemischer Parameter der Fluide im Reservoir, die zur Quantifizierung von Fällungs- und Korrosionsprozessen benötigt werden. Interessant sind hierbei vor allem der pH-Wert und das Redoxpotenzial (Eh). Die Brechzahl des Fluids kann wichtige Informationen über die Phasenzusammensetzung liefern.

Auch akustische Messungen, wie zum Beispiel ortsverteilter akustische Messungen (DAS, siehe z.B. [Mestayer et al., 2011]) können zur Charakterisierung

der geothermischen Lagerstätte oder die Überwachung des Fließverhaltens in der Bohrung genutzt werden.

Neben Sensoren für den Temperaturbereich bis 150 °C werden am ICGR auch Monitoringverfahren zur Überwachung von Hochtemperaturreservoirs entwickelt [Reinsch et al., 2013].

Messungen in der obertägigen Anlage

Geothermische Fluide sind komplexe Mehrstoffsysteme, deren Zusammensetzung u. a. vom Gestein und den Fließwegen in der Tiefe abhängen. An den Anlagenteilen, die mit dem Thermalwasser in Berührung kommen, beeinflussen eine Vielzahl von Inhaltsstoffen und Parametern die Fluid-Material-Wechselwirkungen: der Salzgehalt insgesamt und der Anteil einzelner Ionen, der Sauerstoffgehalt, die gelösten Gase, der Gehalt an festen Partikeln, deren Korngröße und mineralogische Zusammensetzung, sowie Temperatur, pH-Wert, Dichte, Druck, das Redoxpotenzial, der Volumenstrom und die Leitfähigkeit. Betriebsbedingt sind einige dieser Größen Schwankungen unterworfen, welche wiederum Einfluss auf Fällungs- und Korrosionsbedingungen in der Anlage haben.

Zur Bestimmung der Auswirkung betriebsbedingter Änderungen im Fluid wurde am ICGR ein mobiles Fluidmonitoringsystem (FluMo, Abbildung 3) entwickelt, das die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Thermalwassers erfasst und einatznah speichert [Feldbusch et al., 2013; Milsch et al., 2013]. FluMo kann an unterschiedlichen Punkten der obertägigen Anlage angeschlossen werden und ermöglicht so die Überwachung von Fällungs- und Korrosionsprozessen. Darüber hinaus ermöglicht dieses Monitoringsystem eine sauerstofffreie Fluidprobenahme unter in situ Anlagenbedingungen für eine spätere chemische Analytik.

Zusammenfassung und Ausblick

Ein zentrales Ziel der Forschung im Bereich der geothermischen Energiegewinnung ist es, die Zuverlässigkeit, Sicherheit und Effizienz von Geothermieanlagen zu verbessern. Das Monitoring relevanter physikalischer und chemischer Parameter in der geothermischen Anlage ist essentiell zum Verständnis komplexer hydraulischer und chemischer Prozesse in der untergägigen Lagerstätte, den Bohrungen und der obertägigen Anlage. Durch ein verbessertes Prozessverständnis wird eine aktive Steuerung der Anlage zur Erhöhung der Zuverlässigkeit, Sicherheit und Effizienz ermöglicht. Darüber hinaus können Umweltauswirkungen überwacht und kontrolliert werden.

Für ein verbessertes Prozessverständnis besteht Entwicklungsbedarf für Sensoren zur Ermittlung von Zustandsbedingungen (Druck und Temperatur), physikochemischen Parametern (z. B. pH, Eh, Sauerstoffgehalt, elektrische Leitfähigkeit, ionenspezifische Aktivitäten) und akustischen Emissionen (Beschleunigungssensoren). Die Einsatzbedingungen können dabei, je nach Standort, sehr rau sein (Druck bis 1000 bar, Temperaturen bis 400 °C und eine stark korrosive Umgebung). Die unterschiedlichen geometrischen Einbaubedingungen (z. B. Bohrloch, Pumpe, Rohrleitung, Durchströmungsarmaturen) erfordern darüber hinaus flexible konstruktive Lösungen. Für spezifische Forschungsfragestellungen, z. B. für physikochemische Messungen direkt im Porenraum von Gesteinen im Rahmen von komplementären gesteinsphysikalischen Experimenten, sind des Weiteren miniaturisierte Sensorkonzepte von großem Interesse. Technische Lösungen auf Basis faseroptischer Messtechnik sind hierfür besonders vielversprechend.

Weiterführende Informationen über die Forschungsarbeiten zu Korrosionsprozessen in geothermischen Anlagen sind enthalten in BINE Projektinfo „Korrosion in geothermischen Anlagen“ (6/2012)

http://www.bine.info/fileadmin/content/Presse/Projektinfos_2012/Projekt_06-2012/ProjektInfo_0612_internetx.pdf

Referenzen

Bremer, K., E. Lewis, G. Leen, B. Moss, S. Lochmann, I. Mueller, T. Reinsch, and J. Schroetter (2010), Fibre Optic Pressure and Temperature Sensor for Geothermal Wells, in 2010 IEEE Sensors, edited, pp. 538-541, IEEE, New York.

Feldbusch, E., S. Regenspurg, J. Banks, H. Milsch, and A. Saadat (2013), Alteration of fluid properties during the initial operation of a geothermal plant: results from in situ measurements in Groß Schönebeck, Environmental Earth Sciences, 1-12, doi: 10.1007/s12665-013-2409-9.

Henninges, J., W. Brandt, K. Erbas, I. Moeck, A. Saadat, T. Reinsch, and G. Zimmermann (2012), Downhole monitoring during hydraulic experiments at the In-situ Geothermal Lab Groß Schönebeck, in Proceedings, 37th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering (CD-ROM), edited, pp. 51-56, Stanford, USA.

Mestayer, J., et al. (2011), Field trials of distributed acoustic sensing for geophysical monitoring, in SEG Technical Program Expanded Abstracts 2011, edited, pp. 4253-4257.



Abbildung 3
Das mobile FluidMonitoringssystem (FluMo).

Milsch, H., R. Giese, M. Poser, S. Kranz, E. Feldbusch, and S. Regenspurg (2013), FluMo – a mobile fluid-chemical monitoring unit for geothermal plants, Environmental Earth Sciences, 1-5, doi: 10.1007/s12665-013-2408-x.

Reinsch, T., J. Henninges, and R. Ásmundsson (2013), Thermal, mechanical and chemical influences on the performance of optical fibres for distributed temperature sensing in a hot geothermal well, Environmental Earth Sciences, 1-16, doi: 10.1007/s12665-013-2248-8.

Reinsch, T., G. Blöcher, H. Milsch, K. Bremer, E. Lewis, G. Leen, and S. Lochmann (2012), A fibre optic sensor for the in situ determination of rock physical properties, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 55, 55-62, doi: DOI 10.1016/j.ijrmms.2012.06.011.