

Mineralneubildungen und Partikeltransport im Thermalwasserkreislauf geothermischer Anlagen Deutschlands

New Mineral Formations And Transport Of Particles In The Thermal Water Loop Of Geothermal Plants In Germany

MARKUS WOLFGRAMM, KERSTIN RAUPPACH & KIRSTEN THORWART (Neubrandenburg)

Key words: Scaling, Korrosion, Geothermie, Partikel, Isotope, Inhibitor, Säuerung, Scaling, corrosion, geothermics, particles, isotopes, inhibitor, acidizing

Zusammenfassung

Deutschlandweit wurden mehr als 200 Filter-, Kratz- und Sumpfpfproben aus 18 Geothermieranlagen in Deutschland sowie Proben aus Polen und Litauen untersucht, welche sich aus 1–2000 μm großen Partikeln und Scalebruchstücken zusammensetzen. Neben „technischen“ Partikeln der Bohrungen und Anlagen sowie detritischen Bestandteilen des jeweils genutzten Grundwasserleiters wurden vor allem die während des Anlagenbetriebes neu gebildeten Calcite, Aragonite, Siderite, Baryto-Cölestine, Gipse, Pyrite, Pyrrhotine, Chalkopyrite, Chalkosine, Galenite, Lepidokrokit sowie gediegenes Kupfer, Blei und Schwefel beobachtet, die sich deutschlandweit fünf Paragenesetypen und einem weiteren in Litauen zuordnen lassen. In geothermischen Anlagen des Molassebeckens (MB), deren Bohrungen die Kalk- und Dolomitsteine des Malm erschlossen haben, ist dies der Karbonattyp, wobei Calcit den Hauptbestandteil der Feststoffe bildet. An Geothermiestandorten, welche Wässer der ca. 350–1800 m tiefen meso- und paläozoischen Sandsteinaquifere des Norddeutschen Beckens (NDB) und Oberrheingrabens (ORG) nutzen, werden überwiegend Pyrit und Pyrrhotin (Eisensulfidtyp) gebildet, welche für Anlagen mit Aquifertiefen > 1800 m paragenetisch um Galenit, Baryt sowie gediegenes Blei und Kupfer ergänzt werden (Blei/Galenit-Baryttyp). Die teilweise beobachteten Eisenhydroxide und Kupfersulfate werden überwiegend als sekundäre Bildungen interpretiert, welche nach der Probenahme entstanden sind. Für die känozoischen, oberflächennahen Lockergesteinsaquifere sind der Verockerungs- und „Sinter“-Typ nachgewiesen worden, welche durch massive Eisenhydroxid- bzw. Calcitbildungen charakterisiert sind.

Die Hauptursachen der Mineralneubildungen sind CO_2 -Entgasung (Calcit-, Aragonit und Sideritbildung), Übersättigung in Folge der Abkühlung (Baryto-Cölestin, Gips) bzw. Erwärmung (Calcit-Sinter) des Fluids während der Thermalwasserförderung, elektrochemische Prozesse (gediegenes Blei und Kupfer, Bleisulfide), mikrobielle Aktivitäten (Eisensulfide und -hydroxide) sowie chemische Fällungsreaktionen (Eisen- und Kupfersulfide, Schwefel).

Im MB sind im Thermalwasserstrom Partikelkonzentrationen von 10–1000 $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{Fluid}}$ nachgewiesen worden, wobei der überwiegende Anteil der Partikel Größen von 50–100 μm aufweist. In den meso- und paläozoischen Sandsteinaquiferen des NDB sind Partikelkonzentrationen im Thermalwasser von ca. 10–100 $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{Fluid}}$ in Ausnahmefällen auch > 1000 mg/m^3 mit Kristallitgrößen von 1–20 μm nachgewiesen worden, während die flachen känozoischen Aquifere bei Konzentrationen von 1–25 $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{Fluid}}$ Mineralneubildungen mit Kristallitgrößen von 1–100 μm enthalten. Bei Anfahrprozessen der Anlagen sind die Konzentrationen teils drastisch höher (um das Zehnfache). Die Mineralneubildungen und Korrosion sind für Schädigungen von Anlagenteilen sowie für Einschränkungen im Anlagenbetrieb verantwortlich. Aus diesem Grunde müssen die jeweils zu erwartenden Prozesse bereits bei der Planung der Anlage berücksichtigt werden. Weiterhin sollte der Betrieb geothermischer Anlagen durch ein geeignetes Monitoring begleitet werden, um rechtzeitig auf entsprechende Prozesse reagieren zu können, wobei auch der Einsatz von Inhibitoren und Säure diskutiert wird.

Summary

More than 200 filter, scratch and sump samples taken from 18 geothermal plants in Germany and samples from Poland and Lithuania have been investigated which contain particles and scale fragments with sizes ranging from 1–2000 μm . Along with „technical“

particles in the wells and plants as well as detrital components of the aquifer concerned, mainly calcite, aragonite, siderite, barytocelestine, gypsum, pyrite, pyrrhotine, chalcopyrite, chalcosine, galenite, lepidocrocite, as well as free copper, lead and sulphur have been observed which can be assigned to five paragenetic types throughout Germany and another one in Lithuania. It is the carbonate type in geothermal plants in the Molasse Basin (MB) with calcite forming the main component of the solids. Predominantly pyrite and pyrrhotine (iron-sulphide type) are formed at geothermal sites exploiting waters of the approx. 350–1800 deep Meso- and Paleozoic sandstone aquifers in the North German Basin (NGB) and the Upper Rhine Graben (URG) which are supplemented paragenetically by galenite, baryte as well as free lead and copper (lead/galenite-baryte type) for plants with aquifer depths > 1800 m. The partly observed iron hydroxides and copper sulphates are interpreted mainly as secondary formations which formed after sampling. The ochre forming and the “sinter” types which are characterised by massive iron hydroxide or calcite formations were proven in the shallow unconsolidated Cenozoic rock aquifers.

New mineral formations are mainly caused by degassing of CO₂ (calcite, aragonite and siderite), oversaturation due to cooling (barytocelestine, gypsum) or heating (calcite-sinter) of the fluid during thermal water production, electrochemical processes (free lead and copper, lead sulphides), microbial activities (iron sulphides and hydroxides) as well as chemical precipitation reactions (iron and copper sulphides, sulphur).

Particle concentrations ranging from 10–1000 mg/m³_{fluid} were proven in the thermal water flow in the MB with grain sizes ranging mainly from 50–100 μm. In the Meso- and Paleozoic sandstone aquifers in the NGB, particle concentrations between approx. 10 and 100 mg/m³_{fluid}, in exceptional cases even > 1000 mg/m³ with crystallite sizes from 1–20 μm, whereas the shallow Cenozoic aquifers contain new mineral formations with crystallite sizes from 1–100 μm with concentrations between 1 and 25 mg/m³_{fluid}. Partly, the concentrations are drastically higher in start-up processes (by 10 times). The new mineral formations and corrosion cause damages to plant components and restrictions in the operation. For this reason, the processes to be expected, respectively, must be considered already when designing the plant. Moreover, the operation of geothermal plants should be accompanied by adequate monitoring to be able to react to such processes in time – here, the application of inhibitors and acid has to be discussed as well.