

Optimierungspotentiale im Thermalwasserkreislauf tiefer Geothermieranlagen

Andreas Utz, Thorsten Weimann

Fa. gec-co Global Engineering & Consulting – Company GmbH

Schlagwörter: tiefe Geothermie, Thermalwasserkreislauf, Nutzungsgrad, Lebensdauer, Systemoptimierung, Materialauswahl

Zusammenfassung

Die Exploration von tiefer Geothermie stellt hohe Anforderungen an die eingesetzten Systeme. Im Sinne eines hohen Nutzungsgrades und einer langen Lebensdauer der investitionsintensiven Komponenten, werden einige Konzepte zur optimierten Betriebsführung vorgestellt.

Konzept zum unterbrechungsfreien Betrieb der Förderpumpen: Beim Anfahren der Förderpumpen treten extrem hohe mechanische und thermische Belastungen der Pumpe auf, welche die Lebensdauer massiv beeinflussen. Ziel muss es daher sein, einen möglichst unterbrechungsfreien Betrieb der Pumpe zu gewährleisten. Der Temperaturwechsel in den Bohrungen durch Förderung und Stillstand führt zu Spannungen im Casing und somit langfristig zu Schäden an der Zementation. Wird hingegen ein Notkühlsystem installiert, um die Reinjektionsbohrung bei fehlender Wärmeabnahme und gleichzeitigem Weiterbetrieb der Pumpen nicht zu gefährden, kann die Betriebssituation der Zementation verbessert werden.

Konzept Druckhaltung: Um teilweise die Bildung von Ablagerungen (Scaling) und die Ausgasung von im Thermalwasser gelöstem CO₂, H₂S und CH₄ und anderen zu verhindern, ist es Stand der Technik den Thermalwasserkreislauf unter Überdruck zu betreiben. Wird von der Reinjektionsbohrung kein ausreichender Gegendruck aufgebaut, ist es notwendig ein Druckhalteventil zu installieren. Bei übertägiger Installation treten die oben genannten Probleme unmittelbar hinter dem Ventil bei geringerem Druck erneut auf. Aus diesem Grund wird derzeit ein Druckhalteventil zur Installation in der Reinjektionsbohrung entwickelt, um das Thermalwasser nicht gegen Umgebungsdruck, sondern hinreichend hohen hydrostatischen Druck in der Bohrung zu entspannen.

Konzept Materialteststrecke: Um Werkstoffe auf die Verwendbarkeit in Thermalwasser zu testen wird von uns eine Materialteststrecke geplant, in der Materialproben unter realen Bedingungen getestet werden können. Ziel der Untersuchung ist es Materialien auf ihre Beständigkeit zu prüfen und das verwendete Material der übertägigen Installation einem Korrosionsmonitoring zu unterziehen, ohne den Betrieb der Energieerzeugung zu beeinträchtigen. Der Aufbau der Teststrecke erfolgt in einem 20" Container, wodurch diese nach Abschluss der Untersuchungen an einer anderen Geothermieranlage verwendet werden kann.

Diskussion Materialauswahl: Je nach Zusammensetzung des Thermalwasser werden teilweise sehr hohe Anforderungen an das Material der Komponenten im Thermalwasserkreislauf gestellt. Dabei sind in den bisher realisierten Geothermieprojekten verschiedene Vorgehensweisen beobachtbar. Während einerseits auf hochwertige korrosionsbeständige Legierungen gesetzt wird, gibt es andererseits Tendenzen kostengünstige Standardmaterialien einzusetzen und einen flächigen Materialabtrag durch Korrosion in Kauf zu nehmen.

1. Einleitung

Der Thermalwasserkreislauf ist Kernbestandteil jeder Geothermieanlage. Je nach Qualität des geförderten Wassers werden hohe die Anforderungen an Material und Technik gestellt. Folgend sollen Konzepte und Ideen vorgestellt werden, die zu einer Erhöhung der Betriebssicherheit von tiefen Geothermieanlagen führen.

2. Anforderungen an die Technik

Die Tiefe Geothermie stellt hohe Anforderungen an die Maschinentechnik. Für eine Wirtschaftlichkeit der Geothermieanlage müssen hohe Verfügbarkeiten gewährleistet sein. Neben einer sorgfältigen Auswahl der Materialien und Komponenten müssen an entscheidenden Stellen Redundanz und Sicherungssysteme installiert werden, um eine möglichst große Betriebssicherheit und somit Verfügbarkeit zu gewährleisten.

2.1 Thermalwasser

Je nach Region und Geologie enthält das Thermalwasser verschiedene Bestandteile. Während mancherorts annähernd Trinkwasserqualität erreicht wird, herrschen anderswo bis an die Sättigungsgrenze reichende Salzfrachten, Kohlenwasserstoffe und saure Gase wie CO_2 und H_2S vor. Kommt es bei lokalem Druckabfall zu Ausgasungen aus dem Thermalwasser liegt mit den oftmals enthaltenen Feststoffpartikeln ein Drei- Phasen- Gemisch vor, welches höchste Anforderungen an die Anlage stellt.

2.2 Nutzungsgrad

Für die optimale Wirtschaftlichkeit einer Geothermieanlage muss eine möglichst unterbrechungsfreie Nutzung gewährleistet sein. Im Falle eines Stillstands fallen bei einer Verstromung die Einnahmen für die Dauer des Stillstands aus. Ist jedoch, wie in den meisten Projekten ein Fernwärmenetz angeschlossen, muss der Ausfall mit anderer Energie, üblicherweise fossilem Brennstoff, substituiert werden. Neben den unerwünschten Emissionen sind damit natürlich hohe Kosten verbunden. Es muss daher Ziel sein, die Betriebssicherheit zu optimieren und kalkulierte Stillstandszeiten zu Wartungszwecken möglichst in eine Zeit geringer Wärmeabnahme außerhalb der Heizperiode zu legen.

3 Förderpumpen

Die Förderpumpen für das Geothermalwasser müssen höchsten Anforderungen genügen. Es werden hauptsächlich Unterwassertauchpumpen (folgend ESP, Electric Submersible Pump, abgekürzt). Die Pumpen sind mehrstufig ausgeführt und am unteren Ende des Förderstrangs verschraubt. Der Elektromotor sitzt unterhalb der Pumpe und wird vom Thermalwasser umströmt und somit gekühlt. Der Motor ist üblicherweise ölfüllt um ein Eindringen von Wasser zu verhindern und die Wärmeabfuhr zu verbessern.

3.1 Betriebsbedingungen

Durch die Einbaulage müssen die Pumpen extremen Bedingungen standhalten. Die hohen Temperaturen und die teilweise hohe Korrosivität im Thermalwasser stellen extreme Anforderungen. Erschwerend kommt hinzu, dass durch die Einbaulage mehrere hundert Meter untertage bei einem Ausfall eine längere Betriebsunterbrechung verursacht, da die Pumpe samt Förderstrang erst geborgen werden muss.

3.2 Einflüsse auf die Lebensdauer

Der Lebensdauer des Pumpenmotors ist es am ehesten zuträglich, wenn ein möglichst unterbrechungsfreier Betrieb gewährleistet ist. Das Öl zur Schmierung und Wärmeabfuhr wird auf optimale Schmierfähigkeit bei Betriebstemperatur ausgelegt. Bei einem Kaltstart ist somit nicht die optimale Schmierung gewährleistet. Zudem ist beim Anfahren der Pumpe die mechanische Belastung am größten, da die Wassersäule in der Bohrung erst beschleunigt werden muss. Bei einem Heißstart besteht die Gefahr einer Überhitzung des Motors. Bei hoher mechanischer Belastung durch den Anfahrvorgang ist durch die anfänglich geringe Strömungsgeschwindigkeit des Thermalwassers eine ausreichende Kühlung unter Umständen nicht sichergestellt. Es kann daher nötig sein, bei einer Betriebsunterbrechung, beispielsweise durch eine Störung der Stromversorgung, einige Stunden mit dem Neustart zu warten bis die die Motoreinheit der Förderpumpe abgekühlt ist.

3.3 System zum unterbrechungsfreien Betrieb

Die Punkte 3.1 und 3.2 legen nahe, den Betrieb der Pumpen möglichst unterbrechungsfrei zu gestalten. Bei einem kurzfristigen Ausfall der Wärmeabnahme durch Fernwärme oder Kraftwerk können die Pumpen jedoch nicht ohne weiteres weiterbetrieben werden.

Die Temperatur in der Reinjektionsbohrung liegt bei Betrieb des Kraftwerks bei etwa 50 bis 70 °C, bei Stillstand es Kraftwerkes darunter. Wird die Bohrung beim Anfahren oder im Betrieb schlagartig der hohen Fördertemperatur von 130 °C oder mehr ausgesetzt, besteht durch die auftretenden Spannungen im Casing die Gefahr einer Schädigung der Zementierung.

Aus diesem Grund wird ein Notkühlsystem vorgesehen. Dieses soll die Wärme des Thermalwassers teilweise abnehmen und somit den Weiterbetrieb der Pumpen mit reduzierter Leistung erlauben.

Die Rückkühlung erfolgt idealerweise mit vorhandenen Kühlsystemen. Das heißt bei wassergekühlten Kraftwerken mit dem zur Kondensation vorhandenen Kühlkreislauf. Bei luftgekühlten Kraftwerken muss eine zusätzliche Kühleinheit installiert werden.

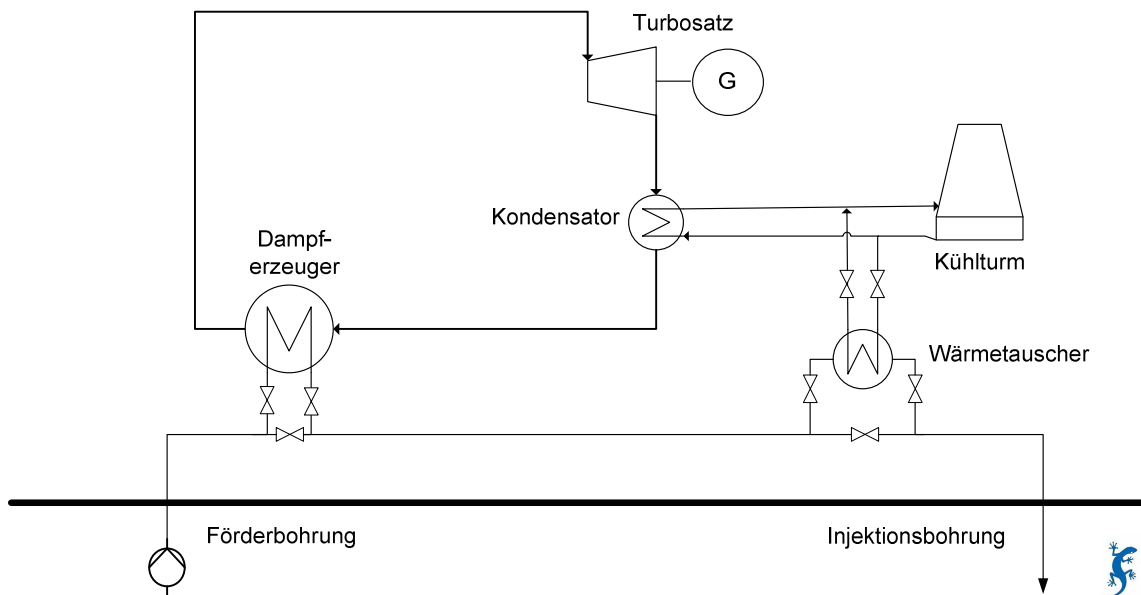


Abb.1: Schema Notkühlung

4. Druckhaltung

Um das Ausgasungen aus dem Thermalwasser und die Bildung von Scaling zu verhindern wird der Thermalwasserkreislauf in der Regel unter erhöhtem Überdruck von 10 bis 20 bar betrieben. Bei unzureichender Druckhaltung können sich im Thermalwasserkreislauf Gaspolster bilden, die in mehrererlei Hinsicht schädlich sind. Die Ansammlungen von Gasen können Druckschläge verursachen und behindern in Wärmeübertragern den Wärmeübergang. Zudem entsteht an der Phasengrenzfläche flüssig/gasförmig an den Bauteilen ein erhöhtes Korrosionspotenzial. Baut die Reinjektionsbohrung keinen Gegendruck auf, ist es nötig ein Druckhalteventil zu installieren. Dadurch wird der Thermalwasserkreislauf unter Druck gehalten und die oben genannten Effekte werden vermindert.

4.1 Druckhalteventil untertage

Um Ausgasungen und teilweise Ausfällungen in der Verrohrung und der Reinjektionsbohrung zu vermeiden, sollte unter dem Wasserspiegel der Bohrung das Druckhalteventil installiert werden. Dadurch wird erreicht, dass nicht gegen die Atmosphäre, sondern gegen einen hinreichend hohen hydrostatischen Druck entspannt wird.

Die Idee dabei ist, ein regelbares Ventil zu installieren, womit der Druck und Durchfluss optimiert und somit die eingesetzte Pumpenarbeit so weit wie möglich reduziert werden kann. Darüber hinaus muss das Ventil eine wegen der Einbaulage hohe Sicherheit gegen Versagen und die Möglichkeit der Redundanz aufweisen.

Druckhalteventile gibt es in den unterschiedlichsten Bauformen. Die Mehrzahl ist weder für den Einbau in Casings unter Wasser mit hohem Umgebungsdruck, noch für höhere Temperaturen oder als einstellbares Regelventil geeignet.

Bei einigen Geothermieprojekten wurden bereits Druckhalteventile mit unterschiedlichem Erfolg eingebaut. Zum Teil kommen umgebaute Eckventile, zum Teil Wasser Re-Injektionsventile aus der Erdöltechnik zum Einsatz. Bei beiden Ventiltypen strömt das Wasser radial aus und erhöht den Druck auf das umgebende Casing. Werden zusätzlich feste Bestandteile mit verpresst, so kommt eine entsprechende Verschleißwirkung am Casing hinzu. Im Bereich Erdöltechnik wird ein radiales Ausströmen gefordert, um das geförderte Thermalwasser besser wieder in die vorgesehene Formation zu bringen.

Weiterhin konnte keiner der verwendeten Ventiltypen bisher redundant eingebaut werden, so dass beim Ausfall des Ventils die Anlage still zu legen und ein Austausch unumgänglich ist. Bei einigen Ventiltypen ist der Einbau von Filtern vor dem Ventil erforderlich, damit es nicht zu Blockaden kommen kann.

Die Ventile aus dem Bereich der Erdöltechnik sind für erheblich kleinere Mengen ausgelegt, als für Geothermieprojekte benötigt werden. Die maximale Durchflussmenge der bekannten Ventile liegt im Bereich von wenigen Litern pro Sekunde

4.2 Konzeption

Zur Erhöhung der Verfügbarkeit der Geothermieprojekte ist eine bisher nicht erreichte Redundanz für das Druckhalteventil geplant. Dies wird erreicht, indem ein Ventiltyp entwickelt wird, der sowohl axial ein-, wie ausströmt. Dadurch ist der Aufbau mehrerer Ventile übereinander möglich. Beim Ausfall des untersten Ventils wird dieses komplett aufgesteuert oder per Federkraft vollständig geöffnet und das darüber sitzende Ventil übernimmt die Regelungsaufgabe. Ein solcher Aufbau wurde bisher noch nicht realisiert.

Regelbare Ventilsysteme mit einem Durchfluss im Bereich von 50 bis 150 l/s wurden bisher nicht in Casings der Größenordnung 9 – 18" eingebaut.

Zur kontinuierlichen Aufrechterhaltung des Drucks innerhalb der gesamten Installation ist es erforderlich, das Ventil soweit unter dem Wasserspiegel einzubauen, dass der Umgebungsdruck dem geforderten Mindestdruck entspricht. Wird hierbei beispielsweise ein Ruhewasserspiegel von 300 m unter Geländeoberkante angenommen und der erforderliche Überdruck beträgt 10 bar aufgrund der Hydrochemie, so muss das Ventil in 400 m plus Reserve eingebaut werden.

Die Zentrierung der Ventileinheit ist so zu gestalten, dass einerseits das Schlagen des Endes des Rohrstrangs innerhalb des Casing verhindert wird und andererseits ein leichter Ein- und Ausbau möglich ist. Weiterhin muss das Ventil oder Ventilverbund so gestaltet werden, dass ein Einbau auch in bereits abgelenkten bzw. gerichteten Bereichen möglich ist.

In Geothermieprojekten hat sich gezeigt, dass der Ruhewasserspiegel sowohl in der Förder-, wie auch in der Re-Injektionsbohrung stark schwanken kann. Das Ventil muss so entwickelt werden, dass der Außendruck keine Rückwirkung auf die Druckregelung hat.

Das Ziel der strömungsmechanischen Optimierung ist nicht nur die Verringerung der Fließwiderstände, sondern auch die Vermeidung von Ablagerungen innerhalb der Ventile, soweit diese auf Druckunterschiede zurückzuführen sind.

5 Materialteststrecke

Das Fördern von Thermalwässern mit Temperaturen bis 200°C erfordert hohe Ansprüche an das verwendete Material. Aufgrund der Temperaturen, der Salinität und etwaiger gelöster Gase im Thermalwasser wirken verschiedene Korrosionsmechanismen an der Verrohrung.

5.1 Idee

Ziel der Anlage ist es, eine Möglichkeit zu schaffen, unter realen Bedingungen die Eignung verschiedener Materialien für den Einsatz in geothermalen Wässern zu testen. Darüber hinaus soll ein Monitoring der bestehenden Installation ohne Beeinflussung des Regelbetriebs möglich sein. Die Anlage wird separat zur Kraftwerksanlage installiert und darf diese nicht beeinflussen.

Die Versuchsanlage soll keine negativen Auswirkungen auf die Wärmeausbeute der Thermalquelle und somit die Nutzenergie haben. Aus diesem Grund wird nur ein Teilstrom durch den Bypass geleitet, um die Druck und Wärmeverluste des Hauptstromes möglichst gering zu halten.

5.2 Konzeption

Thermalwasser wird zunächst aus der Hauptleitung entnommen. Es erfolgt die Messung von Druck und Temperatur. In einer Verteilerschiene erfolgt die Aufteilung des Stromes für die verschiedenen Messstrecken. In jeder einzelnen parallel geschalteten Messstrecke wird der Durchfluss gemessen. Einzelne Strecken können separat abgesperrt und entlüftet werden, so dass bei der Arbeit an einer Probe die anderen unbeeinflusst bleiben. Sie sind vertikal angeordnet um eine Bildung von Gaspolstern zu vermeiden. Um einen Sauerstoffeintrag ins System auszuschließen, ist eine Gasfalle installiert in der durch Arbeiten eingetragene Luft abgeschieden wird. Das Wasser wird mittels einer Pumpe wieder in den Kreislauf geleitet. Vor dem Eintritt in das System ist ein, mittels Druck überwachter, Sicherheitsfilter (Polzeifilter) installiert, der durch den Betrieb der Messstrecke verursachte Verunreinigungen nicht in den Thermalwasserkreislauf gelangen lässt. Die Messstrecke ist mittels zwei Absperrarmaturen vollständig vom Thermalwasserkreislauf abtrennbar.

In einer Messstrecke sollen mittels Gasanalytik die Gasbestandteile des Thermalwassers kontinuierlich überwacht und aufgezeichnet werden.

In den übrigen Strecken können Auslagerungstests verschiedener Materialproben unter realen, das heißt durchströmten Bedingungen durchgeführt werden. Es wird darauf geachtet die

Strömungsbedingungen in den einzelnen Messstrecken trotz des geringeren Durchmessers der Strömung in der Hauptleitung nachzubilden.

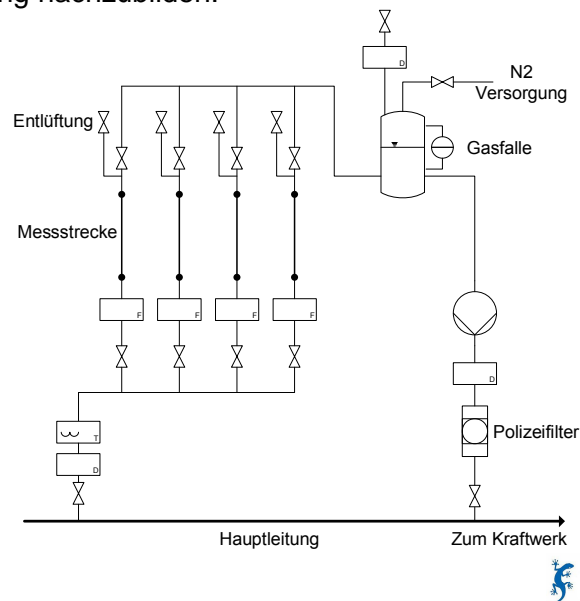


Abb. 2: R&I Materialteststrecke

Um den Betrieb des Kraftwerkes nicht zu behindern und nach abgeschlossener Untersuchung die Installation an anderen Standorten einzusetzen soll die Messstrecke in einem 20“ Container installiert werden. Der Container wird im Außenbereich aufgestellt und soll unabhängig vom Kraftwerk zu betreiben sein.

6 Diskussion Materialauswahl

Je nach Zusammensetzung des Thermalwasser werden teilweise sehr hohe Anforderungen an das Material der Komponenten im Thermalwasserkreislauf gestellt. Dabei sind in den bisher realisierten Geothermieprojekten verschiedene Vorgehensweisen beobachtbar.

Während einerseits auf hochwertige korrosionsbeständige Legierungen gesetzt wird gibt es andererseits Tendenzen kostengünstige Standardmaterialien einzusetzen und einen flächigen Materialabtrag durch Korrosion in Kauf zu nehmen. Letztere Überlegung ist vor allem der Tatsache geschuldet, dass viele hochwertige Stahllegierungen die gute Korrosionsbeständigkeit aufweisen, unter bestimmten Bedingungen, beispielsweise bei Anwesenheit von Schwefelwasserstoff, auf Spannungsriss und Spaltkorrosion anfällig sind. Diese Korrosionsart ist im laufenden Betrieb kaum überwachbar, kann jedoch zu plötzlichem Bauteilversagen führen. Schwarzstahl hingegen korrodiert flächig, ist somit einem dauernden aber messbarem Verschleiß unterworfen.

Eine Weitere Möglichkeit bietet der Einsatz von Beschichtungen oder Plattierungen. Derartige Systeme werden vielfach in der Chemie- und Erdölindustrie eingesetzt. Problematisch sind lediglich die Armaturen, an deren Dichtflächen Plattierungen und Beschichtungen nicht möglich, bzw. erschwert sind.

Kunststoffrohre sind zwar unempfindlich gegen Wasserinhaltsstoffe, jedoch sind die vorherrschenden Temperaturen von teilweise deutlich über 100 °C für einen Einsatz zu hoch.

7 Fazit

Die Themenstellung im Thermalwasserkreislauf ist vielfältig, wobei die Zusammensetzung des Thermalwassers hauptsächlich die Anforderungen an Material und Technik bestimmt. Das System von der Förderpumpe bis zur Reinjektion erfordert gesamtheitliche Lösungsansätze zur Gewährleistung eines störungsfreien Betriebs und einer guten Wirtschaftlichkeit der Anlage.

gec-co Global Engineering & Consulting – Company GmbH; Bgm.-Wegele- Str. 6; 86167 Augsburg
andreas.utz@gec-co.de ; thorsten.weimann@gec-co.de