



Robuste Pumpen für die Geothermie entwickeln

Modifizierte Tauchkreiselpumpen arbeiten effizienter und halten mineralischen Ablagerungen länger stand



Anlagen zur Nutzung der tiefen Geothermie brauchen spezielle Pumpensysteme. Diese sind bis zu 36 Meter lang und acht Tonnen schwer. Sie müssen hohen Temperaturen und Fördermengen sowie mineralreichen Wässern standhalten. Pumpen für die Geothermie wurden während eines Feldtests und auf dem weltweit größten Hochtemperatur-Teststand erprobt und konnten deutlich verbessert werden. Die Prototypen erfüllen die Entwicklungsziele bereits weitgehend. Bis 2017 werden zentrale Komponenten zur Serienreife weiterentwickelt.

Für geothermische Kraftwerke und Wärmenetze zählen neben den Bohrungen vor allem die Pumpen zu den entscheidenden Kostenfaktoren. Verbesserte, speziell auf die Anforderungen der tiefen Geothermie ausgelegte Tauchkreiselpumpen sollen dazu beitragen, die Kosten zu senken. Bisher kamen die meisten in Geothermieanlagen eingesetzten Pumpen ursprünglich aus der Erdölfördertechnik. Die unterscheidet sich aber gravierend von der Geothermie. Bei der Förderung von heißem Wasser aus der Tiefe sind die Temperaturen höher, die Volumina größer, die Thermalwässer enthalten Kalk und Salze und die Pumpen laufen mit wechselnden Lasten. Verglichen mit dem Erdölsektor arbeiten Pumpen in der Geothermie bisher wenig effizient und verschleifen frühzeitig.

Die Firma Baker Hughes aus Celle entwickelt spezielle Geothermiepumpen. Dafür errichtete sie auf ihrem Gelände einen Hochtemperatur-Teststand, auf dem komplette Pumpensysteme unter praxisähnlichen Bedingungen erprobt werden. Feldtests erbrachten weitere Erkenntnisse über konstruktive Schwachstellen bisheriger Aggregate. Dazu haben die Wissenschaftler defekte Pumpen aus deutschen Geothermieanlagen geborgen, in die Einzelteile zerlegt und die Fehlerquellen analysiert. Auf Grundlage dieser Daten entwickelten sie dann modifizierte Prototypen, die einen deutlich höheren Wirkungsgrad und eine längere Lebensdauer

versprechen. Dabei konzentrieren sich die Entwickler auf die Bedingungen, wie sie in den hydrothermalen Anlagen in Süddeutschland vorherrschen. Dort liegen die Temperaturen des Thermalwassers zwischen 120 und 140 °C und es ist sehr kalkhaltig. Die Arbeiten erfolgten in Zusammenarbeit mit den Geothermieanlagen in Oberhaching, Dürrnhaar, Sauerlach, Grünwald und vor allem der Anlage in Unterhaching.

Den geologischen Bedingungen standhalten

Zu Beginn legten die Entwickler fest, für welche Bedingungen Geothermiepumpen ausgelegt sein müssen und analysierten, wo bisher die konstruktiven Schwächen waren. Die Pumpen arbeiten in einigen hundert Metern Tiefe direkt im Thermalwasser. Mit Antriebsmotor sind sie 36 m lang, haben eine Leistung von 2.800 PS und wiegen bis zu acht Tonnen. Das Fördervolumen an einer Anlage kann bis zu 200 l/s erreichen und die Förderhöhe bis zu 700 m. Thermalwasser bietet kaum Schmiereigenschaften und enthält in Süddeutschland gelösten Kalk. Der schlägt sich an allen Komponenten nieder, insbesondere den Lagern. Die Ablagerungen erschweren deren Schmierung und Kühlung, was dann zur Zerstörung der Pumpenwelle führt. Außerdem dämmt und behindert eine Kalkschicht auf dem Gehäuse des Motors den Wärmeabtransport. Die beim Betrieb entstehende Wärme muss an die Umgebung abgegeben werden, um ein Überhitzen zu vermeiden. Dafür steht in den Anlagen ohnehin nur das heiße Thermalwasser zur Verfügung. Die hohen absoluten Wassertemperaturen und die zyklischen Temperatur- und Druckschwankungen, die entstehen, wenn die Anlage stillsteht oder mit verminderter Leistung arbeitet, stellen für Pumpenlager, Dichtungen und die Isolation des Motors eine Belastung dar. Thermalwasser enthält gelöste Gase. Diese diffundieren im Laufe der Zeit in das Öl, mit dem der Motor gefüllt ist. Bei Druckabfall vergrößert sich das Volumen der Gase und verdrängt das Öl aus dem Motor.

Die Förderleistung von Pumpen in Geothermieanlagen variiert je nach dem aktuellen Wärmebedarf von Kraftwerk und Wärmenetz. Dadurch unterliegen die Pumpen häufigen Start- und Stoppvorgängen bzw. Phasen mit reduzierter Leistung. Die hieraus folgenden wechselnden Drehzahlen des Motors sowie die Schwankungen von Motortemperatur und Druck belasten die Aggregate. Um die Pumpen in der Tiefe überwachen und Wartungsmaßnahmen rechtzeitig einleiten zu können, bedarf es hochtemperaturfähiger Messsensoren, die eine Vielzahl von Messgrößen mit einer hohen Datenübertragungsrate liefern.

Prototypen auf dem Teststand

Die Entwickler konzipierten und errichteten einen Hochtemperatur-Teststand (Hot Loop) für wechselnde Pumpen, der in fünf miteinander verbundenen Containern untergebracht ist (Abb. 2). Während der Tests können einzelne Parameter kontrolliert überhöht werden, um eine vorzeitige Alterung zentraler Komponenten herbeizuführen und konstruktive Schwachstellen schneller zu identifizieren. Teilweise setzten die Entwickler Bauteile mehrfach ein, um dadurch Komponenten mit möglichst hohen Einsatzzeiten testen zu können. Der Teststand arbeitet mit normalem Trinkwasser, d. h. ohne erhöhte Kalk- oder Salzkonzentrationen. Untersuchungen dazu waren Teil der Feldtests. Neben einem Hochtemperaturtest mit 163 °C heißem Wasser, lag der Schwerpunkt



Abb. 1 Pumpenprototypen für unterschiedliche Förderraten (links: bis 100 l/s, rechts: bis 200 l/s)

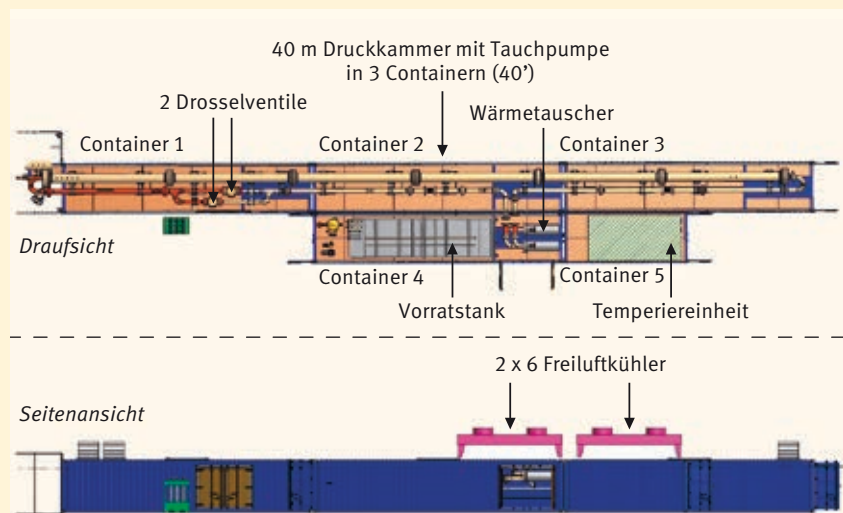


Abb. 2 Der Teststand besteht aus einer Zuführeinheit für die tonnenschweren Pumpen, einer Temperiereinheit, einem Vorratstank für Wasser, einer Druckkammer, einem Wärmetauscher mit Freiluftkühlern und Drosselventilen für den kontrollierten Druckabbau. Die Anlage wird von einem 2,5 MW Frequenzumrichter mit Strom versorgt und von einem separaten Kontrollraum gesteuert.

der Untersuchungen auf zyklischen Tests (Abb. 3). Alle Start- und Stoppvorgänge verursachen eine Abkühlung und Wiedererwärmung der Pumpenkomponenten. Dabei dehnen sich die einzelnen Materialien unterschiedlich aus. Weiterhin wurden die Isolations- und Wicklungswiderstände des Motors gemessen. Die Entwickler führten auch einen Langzeittest über 30 Tage und einen Kombitest durch, der eine Hochtemperaturphase mit zyklischen Temperaturschwankungen verband.

Im Feldtest Fehlerquellen finden

Mehrere defekte Pumpen aus der Geothermieanlage Unterhaching wurden geborgen und in Celle untersucht. Die Analyse zeigte, dass vor allem die Radiallager der Pumpen und die Dichtungseinheiten von den Kalkablagerungen betroffen sind. Das Ausmaß der Verkalkung hängt von Temperatur, Druck, Strömungsverhältnissen und Verwirbelung des Wassers ab. Dies ergab ein Vergleich von Pumpen aus verschiedenen Anlagen. Ein System mit großem Rohrquerschnitt und niedriger Fließgeschwindigkeit wies dabei nur geringe Kalkausfällungen auf. Bei einem weiteren Motor ergaben die Analysen einen zu geringen Isolationswiderstand des Motors. Dies führt



Tauchkreiselpumpe

In einer Kreiselpumpe bringt ein Laufrad das über den Ansaugstutzen geförderte Medium zum Rotieren. Wie bei einer Zentrifuge wird es dabei nach außen gedrückt und der Druck steigt. So strömt das Medium dann in den seitlichen Pumpenausgang. Das Laufrad wird von einem Motor über eine Welle angetrieben. Um höhere Drücke zu erzeugen, werden mehrere Laufräder hintereinander angeordnet.

Bei einer Tauchkreiselpumpe taucht die komplette Pumpe in die Flüssigkeit ein. Dafür muss der Motor u. a. durch Dichtungen hermetisch gegen deren Eindringen geschützt werden. Er kann dazu mit Schutzgas- oder -flüssigkeit gefüllt sein, z. B. Öl.

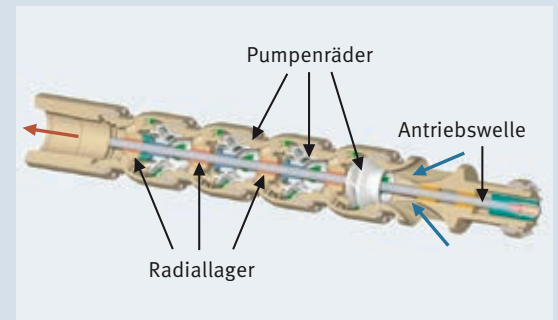


Abb. 5 Schnitt durch eine Pumpe für Geothermieanlagen

wurden beseitigt. Wenn allerdings die Temperatur des Thermalwassers über 175 °C läge, werden neu zu entwickelnde Isolations- und Elastomerwerkstoffe benötigt. Die Entwickler modifizierten auch die Dichtungseinheiten (Protektoren). Die neuen Balgdichtungen bieten eine sichere Druckkompensation und werden durch Druckbegrenzungsventile geschützt. Veränderungen gab es auch an den Gleitringdichtungen.

Viel Aufmerksamkeit galt der Weiterentwicklung der bisherigen Messtechnik zu einem Hochtemperatursensor. Im Normalbetrieb erfasst er die Betriebsdaten und Messparameter. Er soll große Datenpakete schnell an die Oberfläche übertragen, möglichst auf eine Betriebsdauer von fünf Jahren kommen und auch bei Temperaturen von 175 °C noch funktionieren. Im Fall eines Kurzschlusses im Motor muss er die Sensorelektronik sicher vor bis zu 8 kV schützen. Die Entwickler führten dazu umfangreiche Tests durch. Die Funktion sämtlicher Schaltungen wird in Langzeittests bei Hochtemperatur im Ofen getestet.

Ein Ergebnis ist eine neu entwickelte 15-stufige Flex-Pumpe. Erstmals kam sie in der Geothermieanlage Oberhaching zum Einsatz. Sie kann auch bei schwankendem Fördervolumen mit hoher Effizienz und sehr flexibel arbeiten. Dabei hat sie einen Wirkungsgrad von 80 % erreicht. Weitere Verbesserungen betrafen einen neuen Mittelspannungs-Frequenzumrichter für eine höhere Betriebsspannung, die bessere Auslegung der Betriebsparameter sowie eine Prognosekonzept für präventive Wartungs- und Reparaturarbeiten. Das bis 2017 noch laufende Folgeprojekt soll die Komponentenentwicklung vollenden sowie die Flex-Pumpe und den Hochtemperatursensor zur Serienreife entwickeln.

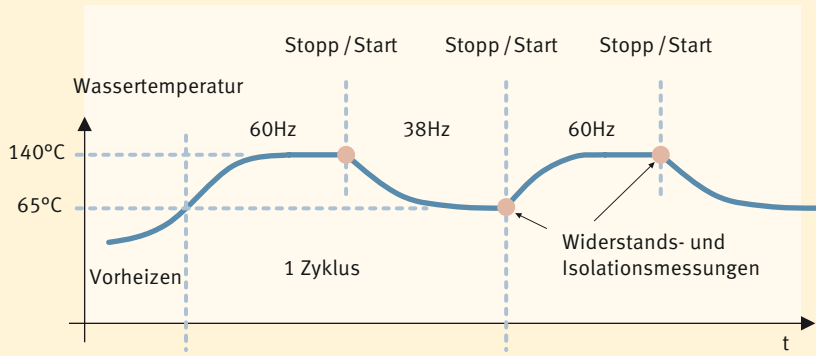


Abb. 3 Temperaturverlauf und Messzeitpunkte während der automatisch ablaufenden „Thermischen Zyklen“. Die 16 Testzyklen mit 34 Start/Stopps erstreckten sich über 344 Stunden. Die Motordrehzahl variierte zwischen 38 und 60 Hz.

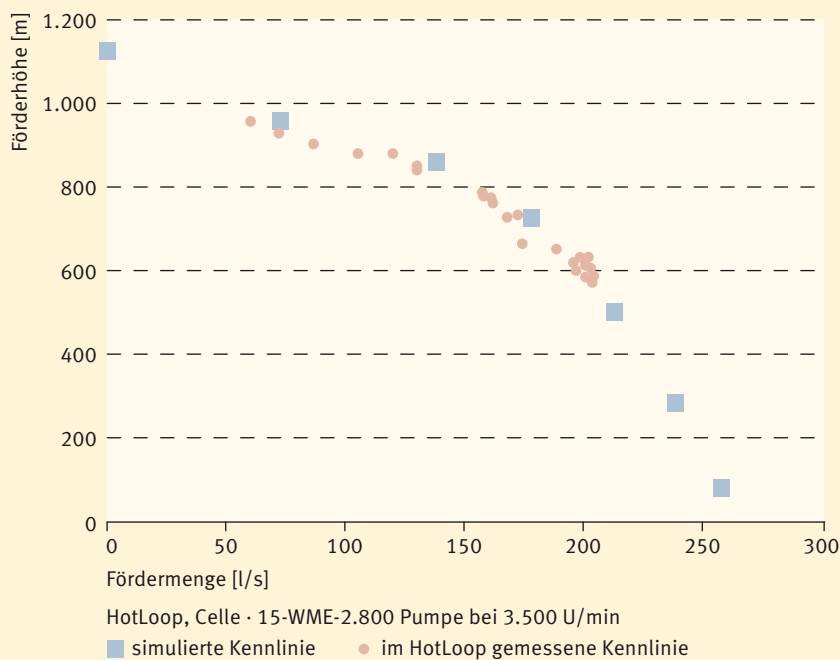


Abb. 4 Die Kennlinie stellt den Zusammenhang zwischen Druck und Volumenstrom dar. Der simulierte (blau) und gemessene (rot) Verlauf zeigen eine hohe Übereinstimmung.

zu Kriechströmen und am Ende zum Kurzschluss. Daher gehört die Messung des Isolationswiderstands des Motors bei den neu entwickelten Pumpenantrieben zu den Standardparametern. Ein Absinken lässt einen baldigen Motordefekt erwarten.

Schritte zur optimierten Pumpe

Die Ergebnisse von Teststand und Feldtests mündeten in verbesserte Komponenten für Standardpumpen sowie in die Entwicklung einer neuen Flex-Pumpe. Dabei verglichen die Entwickler nach Tests ausgebaute Komponenten mit Neuteilen. Waren bereits nach 30 Tagen Verschleißspuren erkennbar, gingen die Tester davon aus, dass ein dauerhafter Betrieb in der Praxis nicht gewährleistet sei. Künftig sollen die Aggregate eine Lebensdauer von mindestens vier Jahren erreichen.

Beim Motor wurde der komplette Lageraufbau neu konstruiert und seither gab es keine Ausfälle mehr. Eine Pumpe mit optimierten Lagern hat in einer süddeutschen Anlage über vier Monate ohne Ausfälle gearbeitet. Vorher kamen Pumpen mit Standardlagern im Extremfall nur auf Laufzeiten von vier bis sechs Wochen. Die bisherigen Schwachstellen in der Isolierung



Korrosion und Pumpen

Spezielle Pumpen für die Geothermie bedeuten für bestehende und neu geplante Anlagen im Voralpenland einen großen Schritt nach vorne und verbessern deren Wirtschaftlichkeit weiter. Im Rahmen des vorgestellten Entwicklungsprojekts diente vor allem das Unterhachinger Geothermiekraftwerk als Referenzanlage.

Diese Anlage ging 2007 (Wärme) und 2009 (Strom) in Betrieb, fördert 133 °C heißes Wasser aus ca. 3.600 m Tiefe. Das Thermalwasser durchströmt zuerst ein geothermisches Kraftwerk mit einer Leistung von 3,4 MW und anschließend eine Wärmezentrale. Im Jahr 2015 hat diese im Verbund mit einem Blockheizkraftwerk etwa jeden zweiten Haushalt in der Gemeinde sowie weitere Großkunden mit Fernwärme versorgt.

Innerhalb Deutschlands unterscheiden sich die Zusammensetzung der Thermalwässer in den einzelnen Regionen erheblich. Im norddeutschen Becken enthalten sie einen hohen Salzgehalt. Auf diese Bedingungen müssten dort eingesetzte Pumpen ausgelegt und daher gegen drohende Korrosion gefeit sein. Das Geoforschungszentrum (GFZ) Potsdam verfügt im brandenburgischen Groß Schönebeck über ein Geoforschungslabor, in dem auch die Entstehung und das Ausmaß von Korrosion untersucht wurde. Aus einem in mehr als 4.000 m Tiefe befindlichen, künstlichen geologischen Wärmetauscher (EGS-System) wurde ca. 150 °C heißes Wasser mit einem Salzgehalt von 265 g/l gefördert. Dieses Fluid durchströmte in 1.200 m Tiefe eine Testzelle, in der Materialproben von Pumpenkomponenten, Rohren, Wärmetauschern und Schweißverbindungen dem Salzgehalt standhalten mussten.

Hier fanden auch Korrosionstests für die neu entwickelten Geothermiepumpen statt. Die Förderpumpe sowie in der Testkammer exponierte Komponenten wurden nach vier Jahren geborgen. Die Proben zeigten keine überraschenden Korrosionserscheinungen und waren mit bleihaltigen Ablagerungen aus dem Fluid bedeckt. Diese verheißen sogar eine Schutzwirkung gegen Korrosion.

Mittlerweile ist in Groß Schönebeck die Fördermenge überraschend stark zurückgegangen. Im Jahr 2014 wurde die Förderung ganz eingestellt. Derzeit werten die Wissenschaftler des GFZ die Daten des Fluids im Hinblick auf weitere Geothermieprojekte mit EGS-Systemen in der norddeutschen Tiefenebene aus.

Impressum

Projektorganisation
Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie (BMWi)
11019 Berlin

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Lothar Wissing
52425 Jülich

Förderkennzeichen
0325105, 0325105A

ISSN
0937-8367

Herausgeber
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut
für Informationsinfrastruktur GmbH
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autor
Uwe Milles

Urheberrecht
Titelbild und Abb. 1 – 4:
Baker Hughes INTEQ GmbH
(s. Projektleitung)

Eine Verwendung von Text und
Abbildungen aus dieser Publikation ist
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion
gestattet. Sprechen Sie uns an.

Projektbeteiligte

» **Projektleitung:** Baker Hughes INTEQ GmbH, Geothermie Pumpenentwicklung, Baker-Hughes-Str. 1, 29221 Celle, Prof. Dr.-Ing. Joachim Oppelt, Matthias Möller, info@bakerhughes.com, www.answers-while-drilling.com, www.bakerhughes.de

Links und Literatur

» **Video:** https://www.geothermie-unterhaching.de/cms/geothermie/web.nsf/id/li_filme.html
Die Geothermie Unterhaching GmbH hat auf ihrer Webseite drei kurze Filme über Wartungsarbeiten rund um die Anlage eingestellt. Der Film 2 zeigt den Ausbau einer Förderpumpe im August 2010. Das Video vermittelt einen guten Eindruck der Größe von Pumpen und Motor sowie des Aufwands eines Pumpenwechsels.

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Elektroimpulse zerkleinern hartes Gestein. BINE-Projektinfo 13/2015
- » Tiefe Geothermie dauerhaft nutzen. BINE-Projektinfo 17/2013
- » Korrosion in geothermischen Anlagen. BINE-Projektinfo 06/2012
- » Tiefer Erdwärme auf der Spur. BINE-Projektinfo 09/2011
- » Geothermische Stromerzeugung im Verbund mit Wärmenetz. BINE-Projektinfo 10/09
- » Bußmann, W. u. a.: Geothermie – Energie aus dem Innern der Erde. FIZ Karlsruhe. BINE Informationsdienst (Hrsg.). Stuttgart : Fraunhofer IRB Verl., 2012, 160 S., 1. Aufl., ISBN 978-3-8167-8321-3, 29, 80 Euro. BINE-Fachbuch.
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter www.bine.info/Projektinfo_03_2016

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44
kontakt@bine.info

BINE Informationsdienst
Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197
53113 Bonn
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages