

# **GeoHyBe – Geothermische Anlagen unter hydrogeochemischen Aspekten der Betriebssicherheit**

## **Abschlussbericht**

D. Kulla<sup>1</sup>, A. Saadat<sup>2</sup>, A. Spalek<sup>2</sup> und D. Bettge<sup>3</sup>  
A. Hesshaus<sup>1</sup> (Hrsg.)

Abschlussbericht zum Vorhaben **0325085**  
„GeoHyBe – Geothermische Anlagen unter hydrogeochemischen Aspekten der Betriebssicherheit“

Gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit vom  
01.07.2008 bis 30.06.2009

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)  
Stilleweg 2; 30655 Hannover  
0511/ 643 3340  
Annalena.Hesshaus@bgr.de

<sup>2</sup>Deutsches Geoforschungszentrum Potsdam (GFZ)

<sup>3</sup>Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM)

Tgb. Nr. (BGR): B3.3 11209/09

Dezember 2009

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
1. Kurzdarstellung .....	3
1.1 Aufgabenstellung.....	3
1.2 Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens.....	3
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens .....	3
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand.....	4
1.5 Zusammenarbeit mit den Projektpartnern .....	4
2. Eingehende Darstellung.....	5
2.1 Erzieltes Ergebnis.....	5
2.1.1 Eröffnung .....	5
2.1.2 Einführung .....	6
2.1.3 Session 1: Förder- und Injektionstechnik.....	7
2.1.4 Session 2: Korrosion und Scaling.....	10
2.1.5 Podiumsdiskussion .....	13
3. Zusammenfassung.....	15
4. Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	15
5. Ergebnisse Dritter .....	16
6. Veröffentlichungen .....	16
7. Anhang.....	16

# 1. Kurzdarstellung

## 1.1 Aufgabenstellung

Das Vorhaben „GeoHyBe“ (**Ge**othermische Anlagen unter **hydro**geochemischen Aspekten der **B**etriebssicherheit) bestand in der Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung eines Workshops zu hydrogeochemischen Aspekten der Betriebssicherheit tiefer geothermischer Anlagen sowie in der Organisation einer begleitenden Fachausstellung.

GeoHyBe erfolgte als Verbundprojekt zwischen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) und dem Deutschen GeoForschungsZentrum (GFZ).

Im Projekt sollten Förder- und Injektionstechniken, die in der tiefen Geothermie zum Einsatz kommen, sowie spezifische hydrogeochemische Probleme (Korrosion und Scaling) gemeinsam mit Herstellern, Betreibern und Wissenschaftlern diskutiert werden. Die Workshopziele waren die Verbreiterung der Wissensbasis der Technologie, die Verbesserung des Verständnisses für die Komplexität des Gesamtsystems Geothermie und die bessere Vernetzung der verschiedenen fachlich involvierten Berufsgruppen.

Langfristig sollte der Workshop einen Beitrag zur Reduzierung der Ausfallzeiten und Betriebskosten und mithin zu einer Erhöhung der Wirtschaftlichkeit tiefer geothermischer Anlagen leisten. Eine Optimierung der Technologie führt letztlich auch zur Erhöhung des Anteils geothermischer Energie am Energiemix der Bundesrepublik und hilft effektiv CO<sub>2</sub> einzusparen. Somit ist die Fragestellung für die aktuelle Klimaschutzdiskussion von erheblicher Bedeutung.

## 1.2 Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens

Den drei beteiligten Projektpartnern war im Vorfeld der Veranstaltung aufgefallen, dass die Wissensbasis im Bereich der hydrogeochemischen Aspekte tiefer geothermischer Anlagen vergleichsweise schmal ist und dass eine Plattform, wie sie GeoHyBe bieten sollte, in Deutschland noch nicht existiert. Der mangelnde Erfahrungsaustausch zwischen Herstellern, Betreibern und Forschern veranlasste sie schließlich zur Projektidee.

## 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Nach Festlegen der Zielsetzung des Vorhabens wurde in mehreren Sitzungen mit den drei Partnern der gesamte inhaltliche und organisatorische Ablauf des Workshops verbindlich besprochen. So standen bereits 2008 der inhaltliche Rahmen, sämtliche Vortragsthemen, die Mehrzahl der Referenten, die Herkunft der Zielgruppe sowie deren maximale Größe von 150 Teilnehmern, ferner Veranstaltungsort, -dauer und -daten fest.

Zum 01. Januar 2009 ging die Projektleitung von Herrn Dr. Hartwig Schröder (BGR, Dienststelle Berlin) an Herrn Dr. J. Peter Gerling (BGR, Hauptgeschäftsstelle Hannover) über.

Die Durchführung des Workshops erfolgte am 23. und 24. März 2009 im Ludwig-Erhard-Saal der BAM, Unter den Eichen 87, 12205 Berlin (Abb. 1).



**Abb. 1:** Der Ludwig-Erhard-Saal während des Workshops

#### **1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand**

Die Geothermietechnologie in Deutschland befindet sich in einem frühen Entwicklungsstadium. Wesentliche Techniken stammen aus der Erdöl- und Erdgasindustrie sowie der konventionellen Kraftwerkstechnik. Diese sind nicht ausreichend an die spezifischen Anforderungen der thermalwasserberührten Bauteile tiefer geothermischer Anlagen angepasst. Eigenständige, auf diese Anforderungen zugeschnittene Entwicklungen, die den Einfluss der heißen, vielfach hoch salinaren und mithin hoch korrosiven Fördermedien berücksichtigen, sind selten. Die Anforderungen an tiefe geothermische Anlagen unterscheiden sich teilweise erheblich vom ursprünglichen Einsatzgebiet der heute genutzten Technologien. Die Beschaffenheit der Thermalwässer begünstigt Materialermüdung und reduziert die Standzeit von statisch und dynamisch beanspruchten Komponenten. Der wirtschaftliche Betrieb geothermischer Kraftwerke kann nur gewährleistet werden, wenn der Markt zuverlässige, auf die Anforderungen zugeschnittene Komponenten bereithält.

Vor diesem Hintergrund ist eine gemeinsame Veranstaltung mit Vertretern aus der Praxis (Industrie, Ingenieurwesen etc.) und aus Wissenschaft und Forschung, bei der alle Beteiligten vom Know-how der verschiedenen beteiligten Gruppen profitieren können, angezeigt.

#### **1.5 Zusammenarbeit mit den Projektpartnern**

GeoHyBe erfolgte als Kooperation zwischen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) und dem Deutschen GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ).

Die Gesamtverantwortung und Koordination des Projektes lagen bei der BGR. Im Rahmen dieser Aufgaben wurde ein enger Kontakt zu den Projektpartnern und Referenten gehalten sowie Pressemitteilungen und Rundschreiben formuliert. Ferner zeichnete sich die BGR verantwortlich für die inhaltliche und grafische Gestaltung eines Flyers, der Namensschilder für die Teilnehmer und des Tagungsbandes, welcher an alle Workshopteilnehmer ausgegeben wurde. Die Hauptverantwortung für den vorliegenden Abschlussbericht lag bei der BGR.

Die BAM war in erster Linie mit organisatorischen Aufgaben betraut. In den Räumen der BAM in Berlin befand sich das Tagungsbüro, über welches sämtliche Anmeldungen und die damit verbundenen Aktivitäten (Abrechnung der Teilnahmegebühren, Erstellen einer Teilnehmerliste, telefonische Erreichbarkeit bei eventuellen Rückfragen und Ähnliches) erfolgten. Ferner übernahm die BAM die Hauptverantwortung für die Veranstaltungsankündigung, wie etwa durch die Erstellung und Pflege der GeoHyBe-Internetseite und diverse Rundschreiben. Der Tagungsband wurde in der Druckerei der BAM gedruckt.

Der Workshop fand ebenfalls in den Räumen der BAM statt, welche diese freundlicherweise inklusive vollständiger technischer Ausstattung kostenlos zur Verfügung stellte. Zudem wurde die Verköstigung der Workshopteilnehmer tagsüber und während der Abendveranstaltung vollständig und zu aller Zufriedenheit von der BAM organisiert.

Das GFZ war mit der Konzeption und Realisierung einer den Workshop begleitenden Fachausstellung beauftragt. Hierzu gehörte die Auswahl der darzustellenden Themen, die Anfrage an und die Kooperation mit industrielle/n Aussteller/n, die grafische Gestaltung der Schautafeln sowie deren Druck, Installation und die Betreuung vor Ort während des Workshops. Die Schautafeln wurden in verkleinerter Form dem Tagungsband hinzugefügt. Eine Dokumentation der Arbeiten des GFZ befindet sich in Anhang.

## **2 Eingehende Darstellung**

### **2.1 Erzieltes Ergebnis**

Der Workshop beinhaltete insgesamt 17 Redebeiträge sowie eine anschließende Podiumsdiskussion. Die Zusammenfassungen der Vorträge sowie der Diskussion werden im Folgenden kurz dargestellt.

#### **2.1.1 Eröffnung**

*Moderation: Ulrike Rockland, BMU*

#### **Grußwort des Ausrichters**

*Prof. Dr.-Ing. Thomas Böllinghaus, BAM*

#### **Grußwort des Schirmherrn**

*Reinhard Kaiser, BMU*

Herr Kaiser verwies in seinem Vortrag auf die TAB-Studie (Büro für Technikfolgenabschätzung des deutschen Bundestages) 2003, in der auf die Möglichkeit der tiefen geothermischen Stromerzeugung eingegangen wurde. Laut einer Beschlussempfehlung des Bundestages 2004 sollen bis 2014 jährlich 1 GW<sub>el</sub> aus tiefeingeothermischer Nutzung erzeugt werden. Es sei jedoch zu erwarten, dass dieses Ziel mit geschätzten 280 MW<sub>el</sub> weit unterschritten werde.

Ferner sollten eine geothermische Datenbasis aufgebaut sowie ein Risikofonds eingerichtet werden. Das BMU ist seit 2002 zuständig für Geothermie. Im Jahre 2008 förderte das BMU Geothermieprojekte mit 16,4 Mio. €; die Zahlen für 2009 sind vergleichbar. Herr Kaiser betonte, dass die Erfahrungen aus der Öl- und Gasindustrie nicht ohne Änderung übertragbar sind, und forderte ein Marktanreizprogramm, um Investitionen in geothermische Projekte für Unternehmer attraktiver zu gestalten.

## **2.1.2 Einführung**

*Moderation: Dr. J. Peter Gerling, BGR*

### **Geowissenschaften und Klimadynamik**

*Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl, GFZ*

Nach einer kurzen Vorstellung des GFZ ging Herr Hüttl auf die Geothermie als grundlastfähige Energiequelle ein. Das Projekt Groß Schönebeck sowie das Verbundvorhaben GeoEnergie-Forschung GeoEN (Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Universität Potsdam und GFZ), welches sich mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -speicherung, Geothermie und Shale Gas beschäftigt, wurden dem Auditorium vorgestellt.

### **Tiefe Geothermie als Baustein für die Energieversorgung**

*Dr. Michael Kosinowski, BGR*

Herr Kosinowski verwies in seinem Vortrag auf die Bedeutung der tiefen Geothermie für Heizzwecke. Er betonte, dass ca. 60 % der Primärenergie in Deutschland für die Wärmeerzeugung genutzt werden und dass geothermisches Heizen grundsätzlich überall möglich sei. Ferner stellte er das Demonstrationsprojekt GeneSys vor, welches zum Ziel hat, neuartige Konzepte für die Direktnutzung von geothermischer Wärmeenergie zu entwickeln und umzusetzen. Er stellte die drei deutschen Reservoirtypen – Heißwasser-Aquifere, kristallines Gestein und Störungszonen – und deren geothermische Potenziale vor und wies auf das Fündigkeitsrisiko geothermischer Bohrungen hin. Die GeneSys-Bohrung findet im erstgenannten Gesteinstyp statt und bedarf auf Grund der geringen Porosität/Permeabilität des Buntsandsteins der hydraulischen Stimulierung mittels des Frac-Verfahrens. Ziele des Demonstrationsprojekts seien das Aufzeigen der Machbarkeit von Einbohrlochkonzepten (Forschungsbohrung Horstberg Z1, ca. 4000 m) und die Versorgung des Geozentrums Hannover mit geothermischer Wärme (Demonstrationsbohrung Hannover, ~4000 m).

Zusammenfassend erklärte er, dass an der Forschungsbohrung Horstberg Z1 mehrere Einbohrlochkonzepte erfolgreich getestet und die Machbarkeit standortunabhängiger geothermischer Nutzung aus dichten Sedimenten mit einer Eignung für kleine bis mittelgroße Abnehmer somit nachgewiesen sei.

### **Geothermie als Investment**

*Dr. Christian Jokiel, HOCHTIEF PPP Solutions GmbH*

Nach Herrn Jokiel ist die Investition in geothermische Anlagen aus Sicht des Investors erst seit etwa 3 Jahren attraktiv. Die größten Investitionsrisiken liegen im Geothermiebereich bei Bohrung und Fündigkeit, da diese kostenaufwändig und schwer plan- und kontrollierbar sind. Daher sei es vorteilhaft, in Anschluss an einen Nachweis der Fündigkeit für die zweite Projektphase eine Fremdfinanzierung einzuplanen; in Deutschland gibt es für Investoren Förderprogramme von der KfW-Bankengruppe.

HOCHTIEF PPP Solutions engagiert sich als führender deutscher Baudienstleister und Infrastrukturentwickler seit 2007 mit zwei Partnern in der Süddeutschen Geothermie-Projektgesellschaft (SGG) für Geothermie. Die ersten beiden Kraftwerksprojekte – Kirchstockach und Dürrnhaar – befinden sich bereits in fortgeschrittener Ausführung; Dürrnhaar soll nach Fündigkeit verkauft werden. Die Akzeptanz der Bevölkerung ist in beiden Fällen groß, und die Bohrungen wurden, bzw. werden mit eigenem Know-how durchgeführt.

## **Verlässliche geothermische Technologien**

*Dr. Ernst Huenges, GFZ*

Der Ruf nach einer grundlastfähigen Versorgung mit erneuerbaren Energien rechtfertigt eine nachhaltige Förderung der Geothermie. Vorangegangene Projekte haben jedoch gezeigt, dass die zur Verfügung stehenden Systemkomponenten noch nicht die Bedingungen für einen planungssicheren Aufbau und Betrieb geothermischer Anlagen erfüllen. Daher ist eine Weiterentwicklung geothermischer Technologien unabdingbar.

Der Notwendigkeit der Untersuchung und Neuentwicklung einzelner Systemkomponenten, der Analyse von Schwachstellen und der Aufdeckung von Optimierungspotenzialen wird mit der Forschungsbohrung des GFZ am Standort Groß Schönebeck Rechnung getragen. Die hohen Salz- und Gasgehalte des Thermalwassers in den beiden > 4 km tiefen Bohrungen stellen hohe Ansprüche an die verwendeten Materialien. Das vom GFZ und beteiligten Industrieunternehmen modular aufgebaute System ermöglicht die betriebsnahe Analyse und Optimierung von einzelnen Komponenten, wie z. B. der Tiefpumpe, des Wärmetauschers, der Rohrleitungen aus verschiedenen Materialien, der Filter etc.. Die Forschungsarbeiten werden – zum Teil auch in direkter Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen – weitergehende Untersuchungen und Neuentwicklungen beinhalten.

Verlässliche geothermische Technologien haben das Potenzial, zum zukünftigen Energiemix und somit zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung beizutragen. Ziel der Forschungsbohrung Groß Schönebeck ist eine Verbesserung der Systemlösungs- und Innovationskompetenz.

### **2.1.3 Session 1: Förder- und Injektionstechnik**

*Moderation: Dr. Hartwig Schröder, enpros consulting GmbH*

#### **Anforderungen an Reservoir und Bohrung für die geothermische Nutzung**

*Dr. Torsten Tischner, BGR*

Die Anforderungen an Reservoir und Fördertechnik von Geothermiebohrungen sind im Vergleich zu Öl- und Gasbohrungen auf Grund der deutlich größeren erforderlichen Massenströme bedeutend höher. Die beiden wichtigsten Parameter für die Wirtschaftlichkeit einer geothermischen Bohrung seien in der Thermalwassertemperatur (> 120° C) und - fließrate (> 50 l/s) des Reservoirs zu sehen. Herr Tischner verwies auf die in Deutschland überwiegend gering permeablen Gesteine, die eine Stimulation mittels der Frac-Technologie (Wasserfrac, Frac mit viskosen Fluiden) nötig machen. Dabei werden großflächige Risse im Gestein geschaffen, welche die Permeabilität und damit die Ergiebigkeit eines Reservoirs beträchtlich erhöhen können. Zur Charakterisierung des Reservoirs werden Förder- und Injektionstests als Konstantraten- und Stufentests durchgeführt, um verlässliche Prognosen für gleichbleibende und variierende Fließraten zu ermöglichen.

Die Verrohrung geothermischer Bohrungen wird hohen thermischen und mechanischen Belastungen ausgesetzt, wobei kleinkalibrige Rohre in erster Linie kritischen Zugbelastungen durch Temperaturwechsel, großkalibrige Rohre hingegen kritischen Außendrücken ausgesetzt sein können. Die Verbinder sind in der Regel die Schwachstellen bei hohen Zugbelastungen. Die mechanischen Stabilitätsreserven der Verrohrung geothermischer Bohrungen sind gering.

Prozesse entlang der Bohrung (Wärmeaustausch bzw. -verlust, Dichteänderung) sollten nicht vernachlässigt werden; auch Ausfällungen, insbesondere von Sulfatmineralen bei Reinjektion, stellen ein großes Problem dar. Laut Herrn Tischner ist ein „Handbuch geothermischer Parameter“ für die Bedingungen in Deutschland notwendig, welches Angaben zu Fluidparametern (Dichte, Wärmekapazität, Enthalpie, Viskosität,

Gasentlösungsdrücken, Dampfdruck, jeweils in Abhängigkeit von Temperatur, Salinität, Druck und Lösungszusammensetzung) und zu Gesteinsparametern (Wärmeleitfähigkeit/ -kapazität) enthält.

### **Anforderungen an Pumpen von fördertechnischer Seite**

*Dr. Jörg Baumgärtner, BESTEC GmbH*

Der Projektleiter des HDR-Geothermieprojektes Soultz-sous-Forêts bezeichnete die Pumpe als „Achillesferse“ geothermischer Anlagen. Könnte er einen „Wunschzettel“ für Pumpen formulieren, so würde er diese mit folgenden Eigenschaften ausstatten: fünf Jahre Standzeit, Temperaturbeständigkeit bis 180° C, Korrosionsbeständigkeit, flexible Einsatzfähigkeit, Eignung für hohe Kopfdrucke. Ferner sollten sie möglichst reparaturfreundlich und kostengünstig sein.

Grundsätzlich kommen 2 Typen von Förderpumpen zum Einsatz: Unterwassermotorpumpen und Gestängepumpen. Bei Gestängepumpen befindet sich der Motor auf dem Bohrlochkopf und über eine Welle wird die in der Bohrung befindliche Pumpe angetrieben. Hierdurch ist der Motor nicht den anspruchsvollen Bedingungen in der Bohrung ausgesetzt. Im Geothermievorhaben in Landau wurden bisher sehr gute Erfahrungen mit einer Gestängepumpe gemacht. Als problematisch werden aber die Schmierung der Antriebswelle und der Einbau von Gestängepumpen in geneigten Bohrungen angesehen. In letzter Zeit wurden erhebliche Fortschritte bei der Entwicklung von Förderpumpen gemacht, die auf die Anforderungen in der Geothermie ausgerichtet sind.

### **Funktion, Aufbau und Einsatzgrenzen für Tauchpumpen in der Geothermie**

*Aad Castricum, Baker Hughes*

In seinem Vortrag zählte Herr Castricum neben dem Antriebsmotor, der Dichtungssektion, der eigentlichen Pumpensektion, dem Sensor und den Kabeln zur Übertragung der elektrischen Leistung auch die obertägigen Steuerungsanlagen zu den kritischen Komponenten von Tauchkreiselpumpen. Für den effizienten und zuverlässigen Einsatz ist die sorgfältige Auswahl aller Komponenten unter Berücksichtigung der geplanten Einsatzbedingungen unerlässlich. Bei stark von der Planung abweichenden Betriebsbedingungen muss mit einem schlechteren Wirkungsgrad und / oder einer Verkürzung der Lebensdauer der Pumpe gerechnet werden.

Typische Komponenten einer Tauchkreiselpumpe sind der Frequenzumformer (mit Transformator), elektrische Kabel und Motorflachkabel, die Pumpe, der Gasabscheider (optional), die Dichtungssektion, der Motor und der Tauchkreiselpumpensensor (Überwachungssystem). Die richtige Auswahl der Tauchkreiselpumpe (Dimensionierung/ Auslegung) ist bei der Planung einer Geothermieanlage von entscheidender Bedeutung. Über- oder auch Unterlastung können zu vorzeitigem Verschleiß und Pumpenausfall führen. Der Einsatz von Tauchkreiselpumpensystemen ist begrenzt durch Temperaturen ab 180° C (max. Betriebstemperaturgrenze) und die derzeit maximale Motorleistung von 1193 kW. Ferner sollten sie oberhalb der Perforationen installiert werden und eine ausreichende Geschwindigkeit der Flüssigkeit am Motorgehäuse haben, um Motorkühlung zu gewährleisten. Eine Überwachung der Tauchkreiselpumpensysteme ist für den optimalen Betrieb unerlässlich. Aad Castricum wies darauf hin, dass trotz des nach wie vor überwiegenden Einsatzes von Tauchkreiselpumpen in der Ölindustrie eine spezielle Entwicklung für Geothermie im Gange sei. So werde von einem neu zusammengestellten Team in Celle (Centrilift, INTEQ) zuerst an Pumpen für Süddeutschland geforscht, später solle dies auch für die Bedingungen im norddeutschen Tiefland erfolgen.



## **Pumpen in der Praxis: Betriebserfahrungen und Schadensfälle**

*Dr.-Ing. Dirk Bettge, BAM*

Laut Herrn Bettge gehören Förderpumpen (Tauch- und Gestängepumpen) in geothermischen Anlagen zu den mechanisch am stärksten beanspruchten Komponenten, da sie teilweise in direktem Kontakt zu stark korrosiven Thermalwässern stehen. Die Ursachen für ungeplante Pumpenausfälle sind vielfältig und führen zum Stillstand der gesamten Anlage.

Dirk Bettge stellte mehrere Schadensfallbeispiele vor. Die für Wärme- und Kältespeicherung im Berliner Reichtagsgebäude verwendete Tauchpumpe wies nach neun Jahren Betriebszeit weder nennenswerte Korrosion noch Risse an den Wellen, dafür aber starke Korrosion an Schraubenverbindungen sowie massive Korrosion und Scaling an gusseisernen Gehäuseteilen auf. Die Gestängepumpe der HDR-Anlage (hot dry rock) in Soultz-sous-Forêts ist mit Wassertemperaturen bis 200° C und ~100 g/l Salinität extremen Bedingungen ausgesetzt. Sie fiel auf Grund eines Bruchs der Antriebswelle durch Festgehen der Lagerung aus. Dieses ist durch Scaling und das Eindringen von erosiven Partikeln, die in den Kühlkreislauf der Pumpe gelangten, verursacht worden. Weiterhin wurden Schäden an Lagerstellen der Pumpe und Pumpenkomponenten (Impellern, Diffusoren) festgestellt.

Die Tauchpumpe in der Geothermieanlage Neustadt-Glewe ist mit 100° C zwar geringeren Temperaturen, mit ~220 g/l Salinität und einem pH-Wert um 5 jedoch noch höheren hydrogeochemischen Anforderungen ausgesetzt. Sie fiel durch einen Wellenbruch im Sealbereich aus. Die metallografische und fraktografische Untersuchung ergab, dass die Welle aufgrund von Schwingungsrisskorrosion bei sehr hoher Lastspielzahl versagte; sie scheint für die speziellen Bedingungen unterdimensioniert.

Möglichkeiten der Schadensprävention sind nach Bettge eine Vergrößerung des Wellendurchmessers im Verzahnungsbereich, die Verwendung eines Evolventenprofils statt eines Vielnutprofils als Verzahnung, einer Nickel-Basis-Legierung anstelle eines austenitischen Stahls als Wellenwerkstoff, eines Sechskant-Bolzens in der Stirnfläche der Welle als Zapfen oder des Werkstoffs Wolfram-Karbid anstelle von Messing als Lagerwerkstoff.

## **Fördertechnik in der Praxis: Betriebserfahrungen und Schadensfälle**

*Ing. Xavier Goerke, GEIE Heat Mining, Geothermie Soultz*

Herr Goerke stellte in seinem Vortrag Erfahrungen im Betrieb von Förderpumpen der GEIE dar. In der Geothermieanlage Soultz-sous-Forêts besteht die Möglichkeit, sowohl eine LSP (line shaft pump) in 350 m als auch eine ESP (electro-submersible pump) in 500 m Tiefe zu testen. Beide Pumpen sind so dimensioniert, dass jede eine elektrische 1,5 MW Turbine antreiben kann. Dadurch konnte die LSP nach nur 4 Monaten Betriebszeit nach einem Wellenbruch relativ problemlos ausgebaut werden.

Der Grund für den Wellenbruch ist in der Verwendung von zu hartem Schmierwasser zu sehen. Dadurch konnten sich lokale Kalkspatablagerungen in den Lagern bilden, die eine Überhitzung des Stahles und in der Folge eine Einschnürung verursachten. Ferner waren bei Pumpenausbau die Korrosion des Stahls sowie Erosion, Kavitation und Abrasion festzustellen. Die LSP soll künftig mit einer Wasserenthärtungsanlage sowie neuen, besser an die Betriebsbedingungen angepassten Materialien (evtl. Duplex, Superduplex) ausgestattet werden.

Die ESP in Soultz erreicht in 500 m Tiefe einen theoretischen Durchfluss von 25 l/s. Die Metallzusammensetzung und das Design sind an die hohen Salzgehalte der Thermalwässer

angepasst. Ihre Gesamtlänge beträgt 20 m. Der unterhalb der Pumpe liegende Motor, der diese mit einer 7 m langen Welle antreibt, wird durch geothermales Wasser gekühlt. Die Pumpe ist so konstruiert, dass sie selbst nach einem dreimonatigen Stillstand im salzhaltigen Thermalwasser problemlos wieder anfährt. Als Fazit bemerkte Herr Goerke, dass in Soultz-sous-Forêts beide Pumpentypen mit einem gemeinsamen Durchfluss von 28 l/s erfolgreich in Betrieb genommen wurden. Das Kraftwerk kann mit zwei Förderbohrungen betrieben werden, deren Produktionsflüsse gemischt und auf zwei Injektionsbohrungen verteilt werden.

#### **2.1.4 Session 2: Korrosion und Scaling**

*Moderation: Rolf Kirchheiner, Schmidt+Clemens GmbH*

##### **Korrosionsuntersuchungen zur Qualifizierung von geothermalen Anlagen**

*M.Sc. Helmuth Sarmiento Klapper, BAM*

Die Fachgruppe „Korrosion und Korrosionsschutz“ der BAM wurde mit der Durchführung von Werkstoffuntersuchungen für Verrohrungen geothermischer Tiefbohrungen beauftragt. Hierbei wurden zwei niedriglegierte (*P23MnCrTi5/1* und *P29CrMo44/V1*) und zwei hochlegierte, rost- und säurebeständige Stähle (*X1NiCrMoCu32-28-7* und *X2CrNiMnMoNbN25-28-5-4*) in einem künstlich erzeugten Geothermiefluid, dessen Zusammensetzung sich an einem Förderfluid orientiert, untersucht.

Die niedriglegierten Stähle zeigten eine gleichmäßige, oberflächliche Korrosion mit Abtragungsraten von  $< 0,3$  mm/a, welche zwar unterhalb des Beständigkeitskriteriums, jedoch weit über denen der hochlegierten Stähle liegen. Ferner fanden sich eine mehr oder weniger ausgeprägte Spaltkorrosion im Bereich der Prüfkörperaufhängung sowie Bleiabscheidungen auf der Prüfkörperoberfläche. Eine Erhöhung der Abtragsrate erfolgte bei höherem Sauerstoffgehalt, höherer Temperatur und einem hohen Fluiddurchsatz.

Die hochlegierten Stähle zeigten weder gleichmäßige Korrosion noch Lochkorrosion auf den Prüfkörperoberflächen, aber Spaltkorrosion im Bereich der Probenaufhängung. Die Abtragungsraten waren im Allgemeinen sehr gering. Ein Versagensrisiko durch örtliche Korrosion ließen die elektrochemischen Untersuchungen erkennen, in welchen sich die kritischen Potenziale nahe am freien Korrosionspotenzial/ Redoxpotenzial bewegten und mithin örtliche Korrosionsangriffe bei geringen Änderungen der Bedingungen drohten. Aussagen zum Langzeitverhalten der Stähle sind auf Grund der kurzen Versuchsdauer von vier Wochen nicht möglich. Insgesamt kann nach Sarmiento Klappers Einschätzung der Einsatz der vier geprüften Werkstoffe für den vorgesehenen Anwendungsbereich nicht empfohlen werden.

##### **Erfahrungen aus der Öl- und Gasindustrie: Bildung von Scales und Korrosion**

*Dr. Stephan T. Hatscher, Wintershall Holding AG*

Herr Hatscher stellte in seinem Vortrag verschiedene Problemlösungsstrategien für in der Öl- und Gasindustrie auftretende, durch Durchfluss großer Wasservolumina bedingte anorganische Ablagerungen und Korrosion vor. Gleiche spielen auch in der Geothermie eine bedeutende Rolle.

Wasser ist in Gasbohrungen ein unerwünschtes Nebenprodukt, in Ölbohrungen hingegen oftmals das Hauptprodukt und kann hier als Temperaturpuffer, zum Druckerhalt oder zur Erhöhung der Entölung genutzt werden. Es ist oft hochsalinar ( $> 300$  g/l Salz möglich) und neigt bei Obertagebedingungen zur Ausfällung. Die wesentlichen Probleme sind Scaling, Korrosion und die Entsorgung der Wässer.

Scaling tritt im Normalfall bei sich ändernden Druck- und Temperaturbedingungen oder auch bei veränderter Produktionschemie als Ausfällung anorganischer Salze (Kalziumkarbonat [CaCO<sub>3</sub>], Gips [CaSO<sub>4</sub>], Baryt [BaSO<sub>4</sub>], Coelstin [SrSO<sub>4</sub>], Pyrit [FeS], Galenit [PbS], Zinksulfid [ZnS], Steinsalz [NaCl], Silikate) auf. In der E&P-Industrie (Exploration und Produktion) wird versucht, die Probleme mittels verschiedener Lösungsansätze zu beheben: Optimierung der Prozessbedingungen, Inhibierung durch Injektion am Bohrlochkopf oder über den Ringraum (Chemical injection line, Squeeze), Auflösung von Salzverkrustungen (durch Wasser, Säure, Alkalien, Chelatbildner etc.).

Korrosion kann laut Herrn Hatscher als Chloridkorrosion durch hochsalin角度 Wasser, bakteriell induzierte Korrosion, süße Korrosion durch H<sub>2</sub>O, ferner durch Schwefel, organische Säuren, Erosionskorrosion durch Reservoirsand oder Sauerstoffkorrosion auftreten. Gegenmaßnahmen in der E&P-Industrie bestehen in der Situationsanalyse, der Wahl geeigneter Werkzeuge und Prozessbedingungen, einer problemangepassten Werkstoffwahl, der Inhibition (Grund- und Folgeinhibitionen) sowie der regelmäßigen Prüfung, Korrosionstests und analytischen Überwachung.

### **Korrosion und Scaling in geothermischen Anlagen – Ursachen, Erscheinungsformen und Implikationen für Anlagenplanung und Betriebssicherheit**

*Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Friedrich, VKTA Rossendorf e.V.*

Laut Herrn Friedrich kann der Betrieb geothermischer Anlagen unter bestimmten hydrochemischen Bedingungen und bei ungeeigneter Werkstoffwahl durch Korrosion und Scaling erheblich beeinträchtigt werden. Beide Erscheinungen sind komplexe Phänomene mit vielfältigen Wirkungsmechanismen, deren Auftreten sich durch fachgerechte Materialauswahl und Konstruktion nach dem heutigen Kenntnisstand zwar nicht gänzlich vermeiden, aber erheblich hinauszögern lässt.

Herr Friedrich verglich die Bedingungen für Korrosion und Scaling in der Norddeutschen Tiefebene und der Süddeutschen Molasse: Die hohen Salzkonzentrationen und die nachweisbare Menge an Scalebildnern (Pb, As, Sb, Tl, W, Sr) in Norddeutschland werden den niedrigen bis mittleren Salzgehalten und den nicht nachweisbaren Scalebildnern in Süddeutschland gegenübergestellt. In beiden Regionen sind Drücke, Temperaturen sowie die Gasgehalte und -zusammensetzung vergleichbar (leichte KW, N<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>), wobei in Süddeutschland zusätzlich H<sub>2</sub>S eine Rolle spielt. Die Gefährdung durch unterschiedliche Korrosionsarten und Scaling ist in Norddeutschland entsprechend der Salzgehalte höher einzuschätzen.

Als Abwehrmaßnahmen/ Vermeidungsstrategien nannte Hans-Jürgen Friedrich die sorgfältige Analyse der Einsatzbedingungen. Eine korrosionsschutzgerechte und einheitliche Materialauswahl (entweder hoch- oder niedriglegierte Stähle) und Konstruktion (Vermeidung von Spalten, Stagnationsräumen, abrupten Querschnittsänderungen und Kaltverformungen, fachgerechte Ausführung von Schweißnähten), ferner einen angepassten Anlagenbetrieb (Einhaltung der zulässigen Strömungsgeschwindigkeiten) sowie die regelmäßige Wartung (Reinigung und Entgraten von Bauteilen, Polieren von Edelstählen) sind unerlässlich.

## **Werkstoffe für Ölförderung in der Tiefsee: Tests unter hohen Druck- und Temperaturverhältnissen**

*Dr. Reinhard Knödler, Alstom Power Systems GmbH*

Herr Knödler stellte die Ergebnisse einiger Werkstofftests unter hohen Druck- und Temperaturverhältnissen vor, die bei der Ölförderung in der Tiefsee ebenso herrschen wie in der tiefen Geothermie.

In aggressiven Medien mit hoher Salzkonzentration, niedrigem pH-Wert, hoher Temperatur, und hohem Druck sind lediglich austenitische Stähle mit > 20 % Chrom, Nickel-Basis-Legierungen und Titan relativ korrosionsbeständig. Kupfer-Legierungen sind als Werkstoff ungeeignet.

Bedeutende Korrosionstypen an Ölförderungsequipment sind Lochfraß, Spaltkorrosion, sulfidinduzierte Rissbildung und Spannungsrissskorrosion.

Mittels verschiedener Testmethoden (Autoklaventests, 4-Punkt-Biegetests, etc.) wurden als besonders geeignete Stähle IN 625 (empfohlen in Literatur), IN 825 (für „mildly corrosive conditions“) und Alloy 31 ermittelt. Reinhard Knödler merkte jedoch an, die Übertragbarkeit dieser Ergebnisse in die Geothermie sei noch nicht getestet. Ebenso wenig seien das Langzeitverhalten, der Einfluss auf die mechanische Festigkeit und die Eignung beschichteter Werkstoffe zur Korrosionsminimierung ermittelt.

## **Korrosionsmanagement und fortschrittliche Technologien zur Erlangung von Betriebssicherheit (Anlagenverfügbarkeit)**

*Dr. Udo Pankoke, Bayer Technology Services GmbH*

Herr Pankoke ging in seinem Vortrag auf die Bedeutung der Überwachung und Prüfung der sicherheitstechnischen Einrichtungen sowie der Apparate und Rohrleitungen ein. Diese sind neben der angepassten Material- und Konstruktionswahl einer geothermischen Anlage bedeutende Elemente zur Sicherstellung der Anlagenintegrität. Die Auswahl der geeigneten Überwachungsmethoden und von Prüffrequenz und -umfang setzt Kenntnisse über Schädigungsmechanismen und den zu erwartenden Schädigungsfortschritt voraus. In den vergangenen Jahren hat sich im Geothermiebereich ein aktiver Risikomanagementprozess etabliert, mit dessen Hilfe Problemzonen analysiert, Inspektionsstrategien und -umfänge ermittelt und Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten sowie notwendige Stillstandszeiten vor einem möglichen ungeplanten Anlagenausfall geplant werden können. Udo Pankoke stellte die Leistungsfähigkeit eines solchen Systems an Hand eines vollständig in den Anlagenüberwachungsprozess integrierten Korrosions-Management-Systems dar. Zusammenfassend bemerkte er, dass die Sicherstellung der geforderten Betriebssicherheit durch die optimale Werkstoffauswahl und -qualifizierung und die aktuelle Kenntnis des Anlagenzustands (Equipments) erfolgt. Eine Optimierung der Instandhaltungsstrategie zur Erhöhung der Verfügbarkeit wird durch die Vorhersage von Korrosionsschäden, das Vermeiden ungeplanter Stillstände, das frühzeitige Erkennen schadensrelevanter Einflüsse, das Abschätzen der Restlebensdauer und die Kontrolle der Wirkung von Korrosionsschutzmaßnahmen erreicht.

## 2.1.5 Podiumsdiskussion

Moderation: Ullrich Bruchmann, BMU

Teilnehmer (Abb. 2):

- Ullrich Bruchmann, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
- Dr. Ernst Huenges, GFZ
- Dr. Michael Kosinowski, BGR
- Dr.-Ing. Pedro Dolabella Portella, BAM
- Thorsten Weimann, Wirtschaftsforum Geothermie e.V.



**Abb. 2:** Die Redner der Podiumsdiskussion; von links: Dr. Ing. Pedro Dolabella (BAM), Dr. Michael Kosinowski (BGR), Dr. Ernst Huenges (GFZ), Thorsten Weimann (Wirtschaftsforum Geothermie e.V.) und Ullrich Bruchmann (BMU)

Im Folgenden ist die Diskussion dokumentiert.

**Bruchmann** bemerkte, die Betriebssicherheit geothermischer Anlagen habe sich bereits stark verbessert, die Zuverlässigkeit sei jedoch auch weiterhin eine wichtige Fragestellung.

**Dolabella Portella** schlug vor, die Expertise aus der Öl- und Gasindustrie auf die Geothermie auszuweiten. Es gebe eine große Tradition mit spezifischen Werkstoffen. Die Balance zwischen Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit müsse gefunden werden; Lösungen sind seines Erachtens greifbar und möglich.

**Bruchmann** verwies auf das große Potential der Geothermie in Deutschland und bemerkte die Entwicklung hin zu anspruchsvollen Wässern.

**Huenges** meinte, die Industrie in Deutschland solle im Bereich anspruchsvoller Systemlösungen und der hohen Forschungsaktivitäten im Norddeutschen Becken Technologieführer werden. Die Industrie hier denke bereits global; die Technologie müsse sich nun qualifizieren.

**Kosinowski** bemerkte, die Geochemie des geförderten Mediums sei im Norden besonders schwierig und stelle somit hohe Anforderungen an die Technologie. Andererseits liege das größte geothermische Potenzial aber hier in Norddeutschland. Die Aufgabe der Geothermie

in Deutschland sei es, an die schwierigen Bedingungen angepasste Technologien zu entwickeln.

**Bruchmann** sprach auf die große Bedeutung des Themas Korrosionsmanagement an.

**Weimann** merkte an, dass eine Studie zum Thema erstellt würde. Er wies darauf hin, dass kleinere Diskussionen interne Probleme offenlegen und betitelte dies als echten Fortschritt. Ferner bezeichnete er Fragestellungen der obertägigen Anlagenteile als zunehmend wichtig.

**Bruchmann** fragte, ob ein „Handbuch“ zur Bewertung geothermischer Systeme von der BGR entwickelt würde; eine Datenbank existiere bereits teilweise.

**Kosinowski** antwortete, dies sei möglich, da ausreichend Daten bei geologischen Diensten der Länder lägen, welche lediglich zusammengefasst werden müssten. Ein Austausch erdölgeologischer Daten finde bereits seit den 1930er Jahren statt; eine Übertragung auf die Geothermie wäre denkbar.

**Einwurf aus dem Publikum:** Ein Workshopteilnehmer warf ein, die Datenbeschaffung sei ein Problem; zurzeit es gebe nur Metadaten. Ein möglicher Lösungsansatz könne zum Beispiel eine gesetzliche Regelung sein, die zur Herausgabe der Daten zwingt, oder ein Austausch von Fördermitteln gegen Daten. Bisher gebe es lediglich kleine Projekte, welche ihre Daten nur ungern herausgäben.

**Kosinowski** bestätigte, dass die Mehrzahl der Daten dem Eigentumsvorbehalt unterliegt.

**Weimann** schlug vor, die Daten an das Bergrecht zu koppeln, bemerkte jedoch, dass sie damit teurer würden.

**Bruchmann** bemerkte, dass diese Problematik seit Jahren diskutiert werde. Er meinte, die Daten sollten per gesetzlicher Regelung öffentlich gemacht werden.

**Einwurf aus dem Publikum:** Ein weiterer Workshopteilnehmer brachte die Frage an, ob es auch Daten zu mikrobieller Korrosion Berücksichtigung finden würden.

**Huenges** antwortete, es gebe am GFZ Vorhaben zu diesem Thema, welche sich allerdings noch in der Beobachtungsphase befänden. Insgesamt sollte die Community offen sein, ständig neue Gebiete zu erforschen.

**Bruchmann** merkte an, es sei mehr Kommunikation nötig, um die fachliche Diskussion anzuregen.

**Einwurf aus dem Publikum:** Ein Workshopteilnehmer warf ein, die Mikrobiologie spiele in der Geothermie eine marginale Rolle, und Ursache-Wirkungs-Prinzipien seien zum Teil noch unbekannt.

**Kosinowski** betonte, dass er gerne eine neue Veranstaltung mit dem anwesenden Konsortium in Hannover abhalten wolle, was von **Dolabella Portella** mit Zustimmung bedacht wurde.

**Huenges** wies darauf hin, dass in-situ viele Wirkungsketten noch unbekannt seien. Seines Erachtens tue Technologietransfer Not, und Produkte sollten eine Art „Pflichtenheft“ erfüllen.

**Weimann** forderte kleine Veranstaltungen, um zu vermeiden, dass Fehler sich wiederholten. Er bemerkte, dass wegen des EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) wenig Zeit sei, was größere Schritte notwendig mache. Ein Anschlussprojekt an GeoHyBe müsse bald kommen.

**Dolabella Portella** würde gerne diese Art von Forum weiter führen. Offene Fragen beständen in Bezug auf thermomechanische Beanspruchung, Schwingungsrissskorrosion und Zustandserhaltung der Anlage.

**Einwurf aus dem Publikum:** Ein Workshopteilnehmer meinte, die Industrie solle im Falle eines Anschlussworkshops näher treten. Er forderte einen kleinen Kreis, in dem ein geschützter Raum entstehen könne, in welchem es leichter fiele, das Know-how weiterzugeben.

**Kosinowski** bestätigte, dass zwar einerseits offene Fragen vermehrt aus der großen Gruppe kämen, aber kleine Gruppen in einem Anschlussworkshop für deren Beantwortung sinnvoll wären.

**Weimann** bemerkte, dass sich eventuell drei bis vier Unternehmen zusammenschließen sollten.

### **3. Zusammenfassung**

Mit GeoHyBe wurde ein neues Forum für die etwa 150 Vertreter der verschiedensten Berufszweige geschaffen, die eng mit dem Thema „Geothermische Anlagen unter hydrogeochemischen Aspekten der Betriebssicherheit“ in Berührung stehen.

Insgesamt besteht der Beitrag zu Zielen des Forschungsschwerpunkts Geothermie somit in zwei Hauptergebnissen: in der Schaffung der oben genannten Plattform sowie im fachlichen Austausch über hydrogeochemische Probleme mit tiefen geothermischen Anlagen. Ferner wurden vor allem im Laufe der Podiumsdiskussion wünschenswerte Entwicklungen geäußert (Datenfreigabe bzw. Erleichterung des Zugangs zu relevanten Daten, Bedarf an weiterführenden oder vertiefenden Veranstaltungen etc.).

Die erreichten Ergebnisse haben das Potenzial, zu einer vereinfachten, besser angepassten Anlagenplanung und einer Verbesserung tiefegeothermischer Technologien und Materialien beizutragen. Dies führt zu einer erhöhten Betriebssicherheit und Energieausbeute geothermischer Anlagen, welche das klimapolitische Ziel der Erhöhung des Anteils regenerativer Energien am Gesamtenergieverbrauch und den Rückgang des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes unterstützen.

Als bedeutendstes wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Workshops ist – neben dem Austausch von relevantem Fachwissen – sicherlich die Formulierung des gemeinsamen Verbesserungs- und Forschungsbedarfs hervorzuheben. Vor allem die Schwierigkeiten in der Beschaffung und im Austausch geothermisch relevanter Daten wurden betont. Daneben besteht bezüglich hydrogeochemischer und mikrobieller Prozesse unter den anspruchsvollen Bedingungen in der tiefen Geothermie offensichtlich noch ein großer Bedarf an Forschung und Entwicklung, um den Einsatz geeigneter Materialien und angepasster Technologien gewährleisten zu können.

Wesentliche Erfahrungen wurden vor allem bezüglich der Aktualität und des Diskussionsbedarfs zum Thema gemacht. GeoHyBe kann im Rückblick eher als Auftaktveranstaltung denn als abgeschlossenes Projekt betrachtet werden, da von vielen Seiten der Bedarf nach weiterführenden und / oder vertiefenden Veranstaltungen geäußert wurde.

### **4. Verwertbarkeit der Ergebnisse**

Der Workshop stellte eine Plattform für die etwa 150 Teilnehmer aus verschiedenen Bereichen dar. Es war eine nennenswerte Anzahl von Vertretern sowohl aus der Industrie als auch aus Wissenschaft und Forschung anwesend. Ferner stammten die Teilnehmer aus dem öffentlichen Dienst (z. B. Stadtverwaltungen), aus Ingenieur- und Consultingbüros, dem Versicherungsbereich und sogar dem Rechtswesen. Mit der Anzahl und Herkunft der Teilnehmer besteht an der Aktualität der Fragestellung und der Auswahl der Zielgruppen kein Zweifel.

Der Workshop gab den Teilnehmern während der Diskussion der Vorträge und der abschließenden Podiumsdiskussion, den ausgiebigen Pausen und der gemeinsamen

Abendveranstaltung am 23. März die Möglichkeit, Kontakte zu knüpfen, was auch rege in Anspruch genommen wurde. Somit ist das Ziel der stärkeren Vernetzung der verschiedenen Berufszweige erreicht worden.

Der Wunsch nach einer Vertiefung der fachlichen Diskussion wurde von einer nennenswerten Teilnehmerzahl geäußert. Somit ist durch GeoHyBe der Grundstein für weiterführende Veranstaltungen, wie etwa anschließende Workshops in kleineren Fachgruppen, gelegt worden.

Die Reaktionen der Teilnehmer auf GeoHyBe und die begleitende Fachausstellung waren durchweg positiv. Besonders hervorgehoben wurden die äußerst aktuelle und in dieser Form noch nicht ausreichend diskutierte Fragestellung, die Auswahl der Vortragsthemen, die fachliche Kompetenz der hoch qualifizierten Referenten sowie Organisation und Ablauf der Veranstaltung.

Insgesamt kann GeoHyBe als erfolgreiche Veranstaltung mit einem hohen Aktualitätswert und erheblichem weiterführenden Potenzial – zum Beispiel für die Bildung von vertiefenden Fachgruppen und Netzwerken – bezeichnet werden.

## **5. Ergebnisse Dritter**

Als Ergebnisse Dritter ist zunächst der „S+C Geothermie Industrie-Workshop“ von Schmidt + Clemens am 29. April in Berlin zu nennen. Der Workshop hat über das Geothermie Forschungslabor Groß Schönebeck (GFZ) berichtet und als Kommunikationsplattform zwischen Forschung und Industrie gedient. Der Industrie wurde die Möglichkeit geboten im kleinen Rahmen, vertraulich ihre Produkte vorzustellen und mögliche Forschungsschnittstellen am Geothermie Forschungslabor Groß Schönebeck zu formulieren.

Außerdem ist an dieser Stelle das Intensivseminar „Geothermie“ im Haus der Technik – Zweigstelle München im Oktober 2009 zu nennen. Das Seminar wird in Zusammenarbeit mit ENERCHANGE – Agentur für erneuerbare Energien und mit Unterstützung der Geothermischen Vereinigung (GtV) organisiert. Während des Seminars sollen die wichtigsten Grundlagen und Schlüsselthemen zur Geothermie vermittelt werden. Chancen und Risiken von geothermischen Projekten sollen aufgezeigt werden.

## **6. Veröffentlichungen**

Im Rahmen des Projekts sind neben den im Tagungsband veröffentlichten Ergebnissen keine weiteren Veröffentlichungen erschienen.

## **7. Anhang**

Dokumentation zur Industrieausstellung „Geothermische Anlagen – höchste Anforderungen an Technik, Material, Engineering“



**Section 4.1.: Reservoirtechnologien  
International Centre for Geothermal Research**

# **Dokumentation**

**Bericht zur Industrieausstellung "Geothermische Anlagen – Höchste Anforderungen an Technik, Material, Engineering" im Rahmen des**

**GeoHyBe Workshops "Geothermische Anlagen unter hydrogeochemischen Aspekten der Betriebssicherheit", 23./24.3.2009 in Berlin**

**Auftraggeber: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe**

**Bearbeitungszeitraum: Juni 2008 – März 2009**

**Bestellung Nr.: 207-4500049119 vom 19.03.2009**

**Bearbeiter: Dr. Ali Saadat, Angela Spalek**

**Datum: 11.05.2009**

HELMHOLTZ-ZENTRUM POTSDAM  
DEUTSCHES GEOFORSCHUNGSZENTRUM GFZ  
STIFTUNG DES ÖFFENTLICHEN RECHTS

Vorsitzende des Kuratoriums:  
MinDir'in Bärbel Brumme-Bothe

Vorstand:  
Prof. Dr. Dr. h.c. Reinhard Hüttl (Sprecher)  
Dr. Bernhard Raiser

Bankverbindung:  
Konto-Nr. 3093887  
Deutsche Bank Potsdam  
BLZ 120 700 00  
IBAN DE861207000030938870

## **Zielstellung**

Im Rahmen des in Kooperation von BGR, BAM und GFZ veranstalteten GeoHyBe Workshops "*Geothermische Anlagen unter hydrogeochemischen Aspekten der Betriebssicherheit*" am 23./24.3.2009 an der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung war das Deutsche GeoForschungsZentrum (GFZ) mit der Organisation einer begleitenden Industrieausstellung beauftragt. Ergänzend zum Vortragsprogramm sollten konkrete Problemfelder, die sich beim langfristigen Betrieb geothermischer Anlagen stellen, aufgegriffen werden und Lösungsansätze und Neuentwicklungen sowie aus der Öl- und Gasindustrie übertragbare Erfahrungen präsentiert werden. Praxisnahe Präsentationen über Schautafeln und Exponate sollten die fachliche Diskussion des Workshops bereichern und den Erfahrungsaustausch zwischen Wissenschaft und Industrie anregen.

In der Vorbereitungsphase des Workshops war GFZ an der inhaltlichen Konzeption des Programmes beteiligt, übernahm Referentenansprachen und stand dem GeoHyBe-Organisationsbüro in Fragen der Veranstaltungskonzeption, -organisation und –durchführung beratend zur Verfügung. Im Vortragsprogramm war GFZ mit 2 Beiträgen vertreten.

## **Konzeption und Umsetzung**

GFZ entwickelte das inhaltliche und gestalterische Konzept der Ausstellung und übernahm die Ansprache und Auswahl potentieller Aussteller. Zur erfolgreichen Umsetzung des thematischen Konzeptes und im Interesse einer einheitlichen Präsentation gab das GFZ das für alle Tafeln verbindliche Layout vor, koordinierte Sichtung, Auswahl und Abstimmung des Bild- und Textmaterials und übernahm Gestaltung und Produktion der Schautafeln. GFZ gestaltete in Absprache mit dem Veranstalter das Ausstellungskonzept am Veranstaltungsort, organisierte den Aufbau der Ausstellung und begleitete diese an den Veranstaltungstagen vor Ort.

Ausgewählte Firmen wurden angesprochen, die Ausstellung mit ihrem Know-how und ihren Ideen mitzugestalten. Das Format der Ausstellung war ausdrücklich nicht auf einen vordergründigen Werbeauftritt der Unternehmen ausgerichtet. Den Unternehmen wurde die Möglichkeit geboten, sich über ihre fachspezifische Kompetenz in einem der ausgeschriebenen Themenfelder zu präsentieren. Ausgehend vom Platzangebot am Veranstaltungsort war das Ziel, 6 repräsentative Vertreter der Branche zur Mitwirkung zu gewinnen, die sich über jeweils 2 Schautafeln und Exponate präsentieren.

Die Ausstellung wurde unter dem Titel "Langfristige Betriebssicherheit geothermischer Anlagen - Höchste Anforderungen an Technik, Material und Engineering" ausgeschrieben. Konkrete Problemfelder und spezifische Anforderungen zur Realisierung eines nachhaltigen Betriebs geothermischer Anlagen in den Bereichen:

1. Förder- und Injektionstechnik
2. Komplettierung und Bohrungsausbau
3. Systemkomponenten (z.B. Wärmetauscher, Filtertechnik, Mess-/Steuer- und Regel-Technik, Armaturen

sollten in der Ausstellung thematisiert werden.

Mit den Firmen Baker Hughes, Flowserve, Salzgitter Mannesmann Stainless Tubes, Bayer Technology Services, Vetco Tuboscope, Schmidt+Clemens und EATON konnten 7 renommierte Industrievertreter für die Ausstellung gewonnen werden. Die Firmen sind z.T. bereits in der Geothermie tätig bzw. interessiert, mit ihrem Know-how aus der Öl-/Gasindustrie verstärkt in die Geothermie einzusteigen.

Im Bereich (1) *Förder- und Injektionstechnik* stellten die Pumpenhersteller Baker Hughes und Flowserve vor, wie entscheidend die exakte Auswahl der einzelnen Pumpenbestandteile unter Berücksichtigung der spezifischen Betriebsbedingungen ist für den Einsatz in geothermischen Anlagen. Möglichkeiten zur Einflussnahme betreffen u.a. eine optimierte Werkstoffwahl und die Integration geeigneter Betriebsüberwachungssysteme. Die Firma Flowserve beschäftigt sich seit Ende 2006 in einem BMU-Projekt mit der Entwicklung eines speziell auf die Anforderungen in der Geothermie ausgelegten Motors. Die Fa. Baker Hughes beliefert bereits geothermische Projekte mit Förder- und Injektionstechnik.

Im Bereich (2) *Komplettierung* stießen die von Salzgitter Mannesmann Stainless Tubes für die Exploration, Produktion und Verarbeitung in der Öl- und Gasgewinnung entwickelten nahtlosen Rohre auf großes Interesse, wo sie sich erfolgreich in aggressiven Medien unter schwierigsten Einsatzbedingungen bewähren. Sie bergen großes Potential für die Erschließung geothermischer Lagerstätten, da sie für hohe Temperaturen, Drücke und aggressive Thermalwässer ausgelegt sind.

Im Bereich (3) *Systemkomponenten* präsentierte VETCO Tuboscope spezielle Beschichtungen für Rohre, Armaturen und Behälter, ebenfalls entwickelt für die extremen Bedingungen bei der Ölförderung und übertragbar auf tiefe geothermische Anwendungen.

Bayer Technology Services stellte innovative Systeme für die Online Korrosionsüberwachung vor, um Korrosion als Ursache für ungeplante Anlagenstillstände möglichst frühzeitig erkennen und begegnen zu können.

Schmidt+Clemens produziert und qualifiziert Hochleistungswerkstoffe für den Einsatz unter extremen Korrosionsbedingungen. Systemkomponenten wie z.B. Rohre für Hochdruck-Anwendungen, Rohrleitungen und Armaturen können entsprechend der chemischen und mechanischen Anforderung hergestellt werden.

Die Fa. EATON präsentierte Filtergeräte und Filterelemente mit hoher Korrosionsbeständigkeit, die den chemischen und physikalischen Anforderungen in geothermischen Anlagen gerecht werden.

Die Ausstellung gab damit einen praxisbezogenen Einblick in vielfältige material- und werkstofftechnische Problemstellungen in der Geothermie.

### ***Evaluation***

Die Ausstellung war an beiden Veranstaltungstagen für das Fachpublikum und die Mitarbeiter der gastgebenden Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) zugänglich. Sie war durch das im Ausstellungsbereich stattfindende Pausencatering effizient in die gesamte Veranstaltung eingebunden und wurde von einem Großteil der Tagungsteilnehmer besucht.

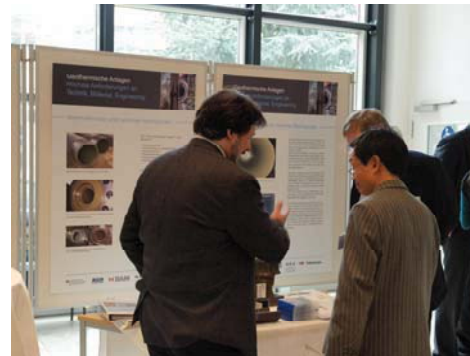
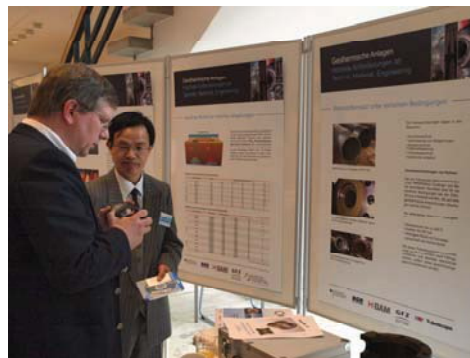
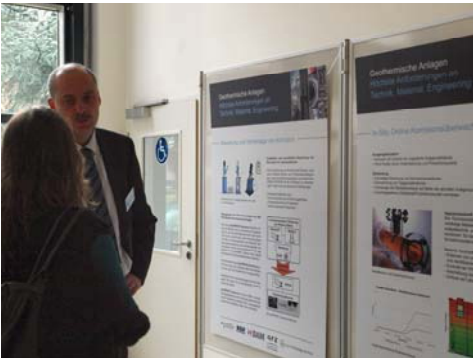
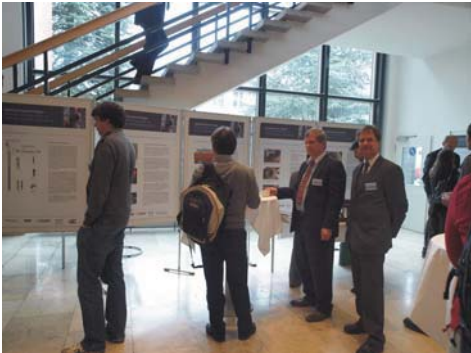
Das Teilnehmer-Feedback war durchgängig positiv. Die Firmen bewerteten die Ausstellung im Rahmen des Fachworkshops als gute Plattform, sich einem repräsentativen Fachpublikum praxisbezogen präsentieren zu können. Workshop und Ausstellung wurden als Events mit hohem Informations- und Kommunikationswert eingestuft und es wurde mehrfach der Wunsch an einer Fortsetzung in naher Zukunft geäußert. Von an der Ausstellung beteiligten Firmen aber auch von Workshopteilnehmern wurde Interesse geäußert, sich an zukünftigen Industrieausstellungen dieser Art beteiligen zu wollen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Ausstellungskonzept und damit das Projektziel erfolgreich umgesetzt werden konnte. Die Kombination von Vortragsprogramm und anwendungsorientierter Ausstellung wurde von den Teilnehmern mit Interesse angenommen. Die Ausstellung bot neben dem Vortragsprogramm eine bereichernde Möglichkeit, in gelockerter und persönlicher Atmosphäre mit einem interessierten und qualifizierten Fachpublikum ins Gespräch zu kommen, neue Kontakte zu knüpfen und vertiefende Kooperationen zwischen Wissenschaft und Industrie zu fördern. Die Umsetzung des Ziels, den interdisziplinären Erfahrungsaustausch zu fördern, um die Entwicklung anwendungsnaher Komponenten und Werkstoffe im Verbund voranzutreiben, kann positiv eingeschätzt werden. Der zügige Wissens- und Technologietransfer von der Wissenschaft in die Industrie und umgekehrt kann durch derartige Veranstaltungen positiv gefördert werden.

Die Postertafeln wurden in Absprache mit den Projektpartnern und dem Geldgeber den ausstellenden Firmen überlassen, da aufgrund der Fachspezifik eine weitere Nutzung nicht vorgesehen ist.

### Anlagen

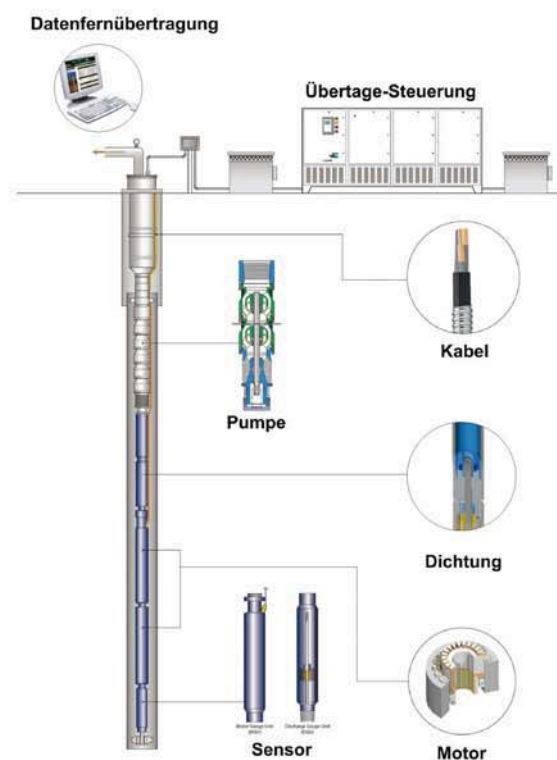
Foto-Impressionen der Ausstellung  
12 Ausstellungstafeln



## Geothermische Anlagen Höchste Anforderungen an Technik, Material, Engineering



### Pumpentechnik



#### Elektro-Tauchkreiselpumpe

Die Pumpe hebt die Flüssigkeit durch die Wirkung der Zentrifugalkraft. Das rotierende Laufrad erzeugt eine kinetische Energie des Mediums, die in potentielle Energie (Förderhöhe) umgewandelt wird. Die **Übertageeinheit** besteht im Wesentlichen aus einem Transformator und einem variablen Frequenz-Umformer für einen weichen Anlauf und eine entsprechende Abschaltung. Der elektrische Strom wird durch ein **Drei-Leiter-Kabel** zum Untertagemotor geliefert. Je nach Anwendung werden isolierende und schützende Materialien für die Umhüllung verwendet.

Der typische **Elektromotor** ist ein 2-poliger, 3-phasiger Käfigläufer. Zur Unterstützung des Wärmeabtrags wird die Kühlwirkung der geförderten Flüssigkeit genutzt. Der Hauptzweck der **Dichtungssektion** ist der Schutz des Motors vor der Flüssigkeit, ein Druckausgleich und das Aufnehmen der Axiallast der Pumpe. Der **Sensor** misst u.a. den Pumpeneinlassdruck, die Wassertemperatur und die Motoröl-Temperatur. Er wird an der Unterseite des Motors befestigt und verwendet das Stromkabel zur Übertragung der Daten zur Oberfläche.

Die Lebensdauer der Tauchkreiselpumpe in der Geothermie wird u.a. durch Temperatur, Ablagerungen sowie abrasiven und korrosiven Angriff bestimmt. Möglichkeiten zur Einflussnahme betreffen u.a. die Wahl des Grundmaterials und das Aufbringen geeigneter Beschichtungen bei den metallischen Komponenten, eine optimierte Werkstoffwahl im Bereich des Elektromotors sowie aller nicht-metallischen Komponenten und die Integration geeigneter Betriebsüberwachungssysteme. Von entscheidender Bedeutung ist die exakte Auswahl sämtlicher Pumpenbestandteile unter Berücksichtigung der tatsächlich herrschenden Betriebsbedingungen.

## Geothermische Anlagen Höchste Anforderungen an Technik, Material, Engineering



### Pumpentechnik



Testmotor

#### Förderbohrung / Förderpumpe

Wie in vielen Bereichen der Energiegewinnung spielt auch in der Geothermie der Einsatz von Pumpenaggregaten, insbesondere die Förderpumpe, eine wesentliche Rolle in der Wertschöpfungskette.

Seit Ende 2006 beschäftigen wir uns in Kooperation mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und mehreren Forschungseinrichtungen mit der Entwicklung eines speziell auf die Anforderungen in der Geothermie ausgerichteten Motors.

Die Zielsetzung ist auf zwei Hauptbereiche ausgelegt. Neben den ingenieurtechnischen Disziplinen Elektrotechnik/Maschinenbau bildet die Materialwissenschaft den zweiten Schwerpunkt.

Um das Korrosionsverhalten verschiedenster Materialien zu untersuchen werden in mehreren Projekten unterschiedliche Tests („ex-situ“/„in-situ“) an repräsentativen Wässern des Molassebeckens, des Oberrheingrabens sowie des Norddeutschen Beckens durchgeführt. Die jeweiligen Testreihen sehen Messungen bei unterschiedlichen Temperaturen (20° bis 150°C) und variierenden Strömungsbedingungen vor.

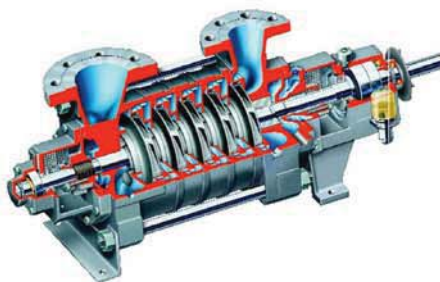


Stator gewickelt

## Geothermische Anlagen Höchste Anforderungen an Technik, Material, Engineering



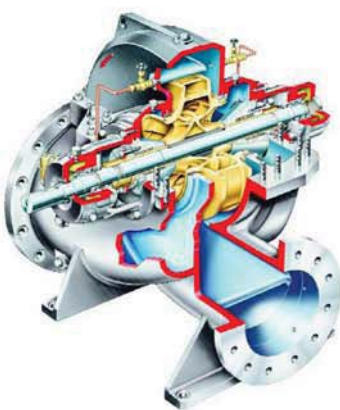
### Pumpentechnik



Reinjektionspumpe

#### Reinjektionspumpe

Wie bei der Förderbohrung ist auch bei der Reinjektionsbohrung die Gesteinsdurchlässigkeit im Untergrund eine wesentliche Größe, die sich erst nach den ersten Testergebnissen bestimmen lässt. Somit stellt sich unter anderem die Frage, ob das „ausgekühlte“ Fluid frei oder durch Aufwendung von Pumparbeit wieder in den Untergrund verbracht werden kann. Im Falle der Notwendigkeit einer Reinjektionspumpe werden mehrstufige, in Gliederbauweise konstruierte Kreiselpumpen im Thermalwasserkreislauf installiert. Die in verschiedenen Baugrößen sowie Materialkonfigurationen lieferbaren Aggregate werden seit Jahren - angepasst auf die unterschiedlichen Anwendungen - eingesetzt.



Pumpe für Wärmeverteilnetz

#### Wärmenetzpumpe

Für die Verteilung der geothermisch gewonnenen Wärme in Nahwärmenetzen werden typischer Weise axialgeteilte, mit beidseitig zuströmenden (doppelflutige) Laufrädern ausgestattete Kreiselpumpen installiert, die sich durch hohe Wirkungsgrade und niedrigen Wartungsaufwand auszeichnen. Auch diese seit Jahren erprobten Maschinen können in vielseitigen Varianten den angeforderten Gegebenheiten in der Geothermie angepasst werden.



## Geothermische Anlagen Höchste Anforderungen an Technik, Material, Engineering



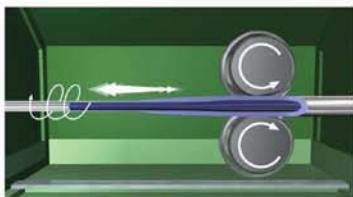
### Nahtlose Rohre für kritische Umgebungen



Quality in round terms.



Strangpressung



Pilgerschritt-Walzverfahren

#### Nahtlose Edelstahl- und Nickelbasis-Rohre

Salzgitter Mannesmann Stainless Tubes (SMST-Tubes) ist die Wiege des nahtlosen Rohres: bereits im Jahr 1885 erfanden die Mannesmann-Brüder in unseren Werkhallen das Pilgerschritt-Walzverfahren. Heute fertigen wir in Europa und USA in Rohrdimensionen 6-250 mm mit Wanddicken 1-50 mm.

Einer unserer Schwerpunkte liegt in Rohren für die Exploration, Produktion und Verarbeitung in der Öl- und Gasgewinnung. Solche Rohre kommen auch bei der **Erschließung tiefer geothermischer Lagerstätten** zum Einsatz. Kritische Umgebungen (hohe Temperaturen, Drücke und aggressive Thermalwässer) verlangen spezifische Auslegungen für eine langfristig sichere geothermische Nutzung.

Warmgefertigte Rohre entstehen durch „Strangpressen“. Weitere Kaltverformung mit oder ohne anschließender Wärmebehandlung ermöglicht garantierte mechanische Festigkeitsstufen/Druckstufen bis zu 140 ksi über den gesamten nahtlosen Rohrquerschnitt. Damit ist eine sehr hohe Sicherheit für Bohr- und Förderstränge bis in große Tiefen gewährleistet.

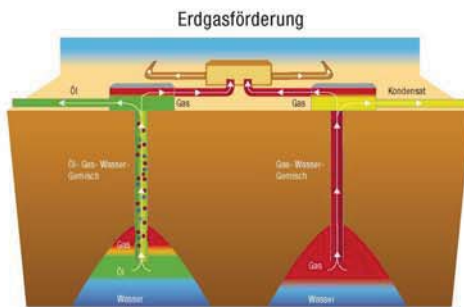
Unsere erfolgreichen Aktivitäten im Erdöl/-gas-Geschäft basieren auf umfangreichen Qualifizierungsmaßnahmen und Einhaltung von strengsten Spezifikationsanforderungen aller großen nationalen und internationalen Öl- und Gasgesellschaften.

Speziell die **OCTG (Oil Country Tubular Goods)** Rohre sind in heutigen Explorationstiefen von 6.000 Metern (in speziellen Fällen auch darüber hinaus) erheblichen mechanischen und korrosiven Beanspruchungen ausgesetzt. Unsere Duplex- und austenitischen Edelstähle, wie auch unsere Nickelbasislegierungen spielen dort ihr Potential zum erfolgreichen Fördern von aggressiven Medien unter schwierigsten Einsatzbedingungen aus.

## Geothermische Anlagen Höchste Anforderungen an Technik, Material, Engineering



### Nahtlose Rohre für kritische Umgebungen



Die chemische Zusammensetzung, basierend auf den Legierungselementen Eisen, Chrom, Nickel, Molybdän, Wolfram, usw., widerstehen mit ihren hohen  $PRE_N$  (**Pitting Resistant Equivalent Numbers**) den verschiedensten Korrosionsarten und zeichnen sich besonders in sehr salzhaltigen Medien aus. Die beiden Tabellen zeigen exemplarisch einige Werkstoffe auf, die sich besonders für geothermische Projektierungen anbieten.

#### Werkstoffe und ihre chemische Zusammensetzung

	SMST-Tubes Bezeichnung	EN-Nummer	Typische chemische Zusammensetzung in wt-%				
			Fe	Ni	Cr	Mo	Andere
DUPLEX	DMV 22.5	1.4462	69,0	5,5	22,0	3,0	N
	DMV 25.7 N	1.4501	63,0	7,0	25,0	4,0	N; W
	DMV 25.7 Cu	1.4507	62,0	7,0	25,0	3,5	Cu; N
AUSTENITE EDELSTAHL	DMV 904	1.4539	47,0	25,5	20,5	4,5	Cu
	DMV 926	1.4529	47,0	25,0	20,0	6,5	Cu; N
	DMV 928	1.4563	38,0	31,0	27,0	3,5	Cu
	DMV 931	1.4562	35,0	31,0	27,0	6,5	Cu; N
AUSTENITE NICKELBASIS	DMV 825	2.4858	31,0	42,0	22,0	3,0	Cu; Ti; Al
	DMV 625	2.4856	2,0	63,0	22,0	9,0	Nb
	DMV C 276	2.4819	4,0	57,0	16,0	16,0	W
	DMV 59	2.4605	1,0	59,0	23,0	16,0	Al

#### Werkstoffe und ihre mechanischen und korrosiven Eigenschaften

	SMST-Tubes Bezeichnung	Wärmebehandlung	Min. Streckgrenze Rp0,2	Mechanische und korrosive Eigenschaften		
				Min. Zugfestigkeit Rm	Min. Dehnung	$PRE_N$
DUPLEX	DMV 22.5	Lösungsgeglüht	450 MPa	620 MPa	25%	> 35
	DMV 25.7 N	Kaltverfestigt	965 MPa	1000 MPa	9%	> 41,5
		Lösungsgeglüht	550 MPa	760 MPa	20%	> 41,5
	DMV 25.7 Cu	Kaltverfestigt	965 MPa	1000 MPa	9%	> 40
Lösungsgeglüht		500 MPa	700 MPa	20%	> 40	
AUSTENITE EDELSTAHL	DMV 904	Lösungsgeglüht	230 MPa	520 MPa	40%	> 35
	DMV 926	Kaltverfestigt	965 MPa	1000 MPa	9%	> 50
		Lösungsgeglüht	295 MPa	650 MPa	40%	> 50
	DMV 928	Kaltverfestigt	965 MPa	1000 MPa	9%	> 37
		Lösungsgeglüht	215 MPa	500 MPa	40%	> 37
	DMV 931	Kaltverfestigt	965 MPa	1000 MPa	9%	> 55
AUSTENITE NICKELBASIS	DMV 825	Lösungsgeglüht	240 MPa	585 MPa	30%	> 31
	DMV 625	Kaltverfestigt	825 MPa	860 MPa	9%	> 50
		Lösungsgeglüht	415 MPa	830 MPa	30%	> 50
	DMV C 276	Kaltverfestigt	965 MPa	1000 MPa	9%	> 70
		Lösungsgeglüht	280 MPa	700 MPa	40%	> 70
DMV 59	Lösungsgeglüht	320 MPa	650 MPa	40%	> 70	
	Kaltverfestigt	965 MPa	1000 MPa	9%	> 70	

$$PRE_N = \%Cr + 3,3 \times (\%Mo + 0,5 \times \%W) + 16 \times \%N$$

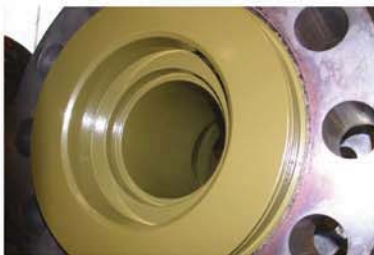
## Geothermische Anlagen Höchste Anforderungen an Technik, Material, Engineering



### Werkstoffeinsatz unter extremen Bedingungen



Beschichtung von Tubingen mit TK®-236



Teil einer Kugelhahn-Armatur (Hartmann Valve)  
mit TK®-236 beschichtet



Unbeschichtetes Rohr im Vergleich zu  
TK®-216 Beschichtung

Die Herausforderungen liegen in den Bereichen

- Korrosionsschutz
- Verhinderung von Ablagerungen
- Abrasionsschutz
- Fließverbesserung
- Trinkwasserschutz
- Elektrische Isolation

#### Innenbeschichtungen von Rohren

Die von Tuboscope Vetco entwickelten „High Performance Coatings“ auf Basis epoxidierter Novolake sind für die extremen Bedingungen bei der Ölförderung entwickelt worden, die auf tiefe geothermische Anwendungen übertragen werden können.

Sie widerstehen folgenden Bedingungen:

- Temperaturen bis zu 200°C
- Drücken bis 500 bar
- wässrigem Rohöl mit Schwefelwasserstoff und Kohlendioxid

Mit dieser Pulverbeschichtung können nicht nur Rohre sondern auch Fittinge, Armaturen und Behälter beschichtet werden, sofern diese beschichtungsgerecht konstruiert wurden.

## Geothermische Anlagen Höchste Anforderungen an Technik, Material, Engineering



### Werkstoffeinsatz unter extremen Bedingungen



Innenbeschichtung eines 20" Line Pipe Rohres mit TK<sup>®</sup>-236

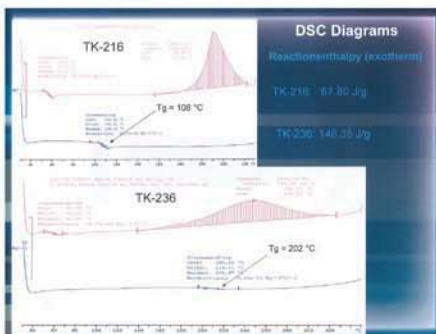
Korrosionsschutz ist nicht der einzige Vorteil einer Epoxy-Beschichtung. Durch die glatte elektrisch isolierende Beschichtung können Ablagerungen weitestgehend vermieden werden.

Bei einer übersättigten Salzlösung finden Kristallisationskeime auf einer glatten Epoxy-Beschichtung mit einer Rauigkeit < 5µm keine Andockmöglichkeit. Das bedeutet: Kein Verstopfen der Rohre und kein Reinigungsaufwand.

Bei einer vergleichenden Prüfung bei der Geothermie Neubrandenburg (GTN) zeigte sich, dass die TK<sup>®</sup>-236 Beschichtung den Testbetrieb bei 96 °C Wassertemperatur ohne Probleme überstanden hat und die Ablagerungen („scaling“) vergleichsweise gering waren.

TK<sup>®</sup>-236 enthält keine metallischen Verbindungen, z.B. Pigmente, die mit Schwefelwasserstoff reagieren können.

Die Glasübergangstemperatur (T<sub>g</sub>) ist eine exakt messbare Temperatur eines Kunststoffs, bei dem ein Übergang zwischen einem festen Zustand in einen etwas weicheren Zustand stattfindet. Es kommt hierbei zu einer erhöhten Beweglichkeit der Molekülketten. Oberhalb der Glastemperatur ist der Beschichtungsstoff anfällig gegenüber chemischer oder mechanischer Belastung.



Glasübergangstemperaturen von TK<sup>®</sup>-216 und TK<sup>®</sup>-236

## Geothermische Anlagen Höchste Anforderungen an Technik, Material, Engineering



### Bewertung und Vorhersage von Korrosion



Reaktorsystem für Auslagerungsversuche unter Druckbedingungen

#### Qualitative und quantitative Bewertung von Korrosion im Laborautoklaven

Die Durchführung von Korrosionsprüfungen, auch unter erhöhten Druck- und Temperaturbedingungen, sowie bei Strömungseinfluss und elektrochemischer Kontrolle ist der Schlüssel zu beschleunigten Tests unter prozessnahen Bedingungen.

Verfügbare Methoden sind:

- Korrosionsprüfung mit Strömungseinfluss
- Potentiodynamische Polarisation
- Elektrochemisches Rauschen

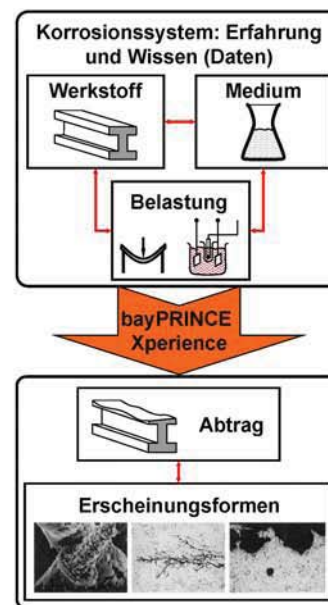
#### Management von Korrosionswissen zur systematischen Korrosionsvorhersage

Die Lösung **bayPRINCE Xperience** folgt dem Ansatz der Berechnung von numerischen Ausgangsgrößen, wie Korrosionsrate oder auch nicht-numerischen wie Lochkorrosion, durch neuronale Netze mit Hilfe von Eingangsgrößen wie Werkstoff, Medienzusammensetzung oder Belastungsdaten wie Temperatur. Solche Zusammenhänge können aus Schadensuntersuchungen, Literatur oder bereits existierenden Korrosionsdatenbanken stammen.

Als Softwarelösung ist **bayPRINCE Xperience** somit in der Lage, auch Gegebenheiten abzudecken, in denen rigorose Modelle keine Aussage treffen.

Verlässliche Korrosionsvorhersagen können in kürzester Zeit sogar für die komplexesten Systeme berechnet werden.

**bayPRINCE Xperience** ist eine offene Lösung, die beispielsweise auch Korrosionszusammenhänge der Geothermie abbilden kann, vorausgesetzt, ausreichend qualitative Daten sind vorhanden.



Die bayPRINCE Xperience Methode

## Geothermische Anlagen Höchste Anforderungen an Technik, Material, Engineering



### In-Situ Online Korrosionsüberwachung

#### Ausgangssituation

- Korrosion oft Ursache für ungeplante Anlagenstillstände
- Hohe Kosten durch Instandsetzung und Produktionsausfall

#### Zielsetzung

- Frühzeitige Erkennung von Korrosionsreaktionen
- Überwachung von Gegenmaßnahmen
- Vorhersage der Restlebensdauer auf Basis des aktuellen Anlagenzustandes
- Unvorhergesehene Stillstände/Produktionsausfall vermeiden



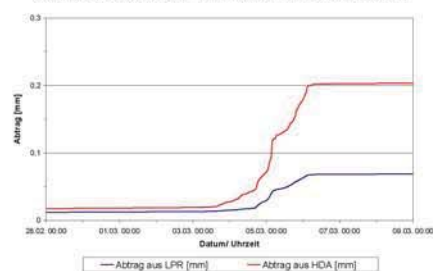
Modellsensor mit Flanschverbindung

**baycorroxxion®** ist ein innovatives System für On-line Korrosionsüberwachung, das robuste und zuverlässige Messtechnik mit automatisierter Prozessanalysetechnik und moderner Softwaretechnologie kombiniert. Es kann somit mit führenden Prozessinformationssystemen integriert werden.

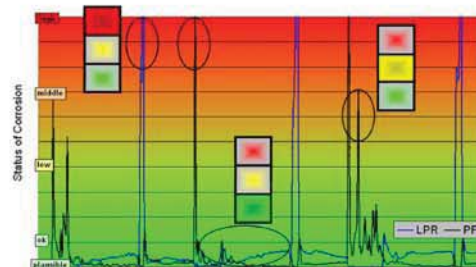
Beispiel: Kontinuierliche Überwachung

- Erkennen von unerwarteten kritischen Zuständen und Identifizieren der Ursache
- Kontrolle der Wirksamkeit von Gegenmaßnahmen
- Abschätzung des Schadensumfangs
- Einfluss auf Lebensdauer und Reparaturbedarf

#### Schaden abschätzen – Restlebensdauer bestimmen



Ergebnisdarstellung Restlebensdauer



Ergebnisdarstellung über Ampelfunktion (konfigurierbar)

- kein Risiko
- geringes Risiko
- hohes Risiko

## Geothermische Anlagen Höchste Anforderungen an Technik, Material, Engineering



### Systemkomponenten



Horizontaler Schleuderguss in rotierender Kokille

#### Hochleistungswerkstoffe für den Einsatz in Geothermieanlagen

Schmidt+Clemens produziert und qualifiziert Systemkomponenten für den Einsatz in geothermischen Anlagen unter extremen Korrosionsbedingungen.

- Hochlegierte, nichtrostende, austenitische Stähle (1.4529/1.4565/1.4562/...)
- Duplex-Werkstoffe (22-05/25-07/...)
- Nickelbasislegierungen (2.4605/2.4610/...)



Schleudergussrohre im Anlagenbau

Komponenten sind Rohre für Hochdruck-Anwendungen, Rohre, Rohrleitungen, Gussflansche, Rohrkrümmer, Armaturen- bzw. Ventilgehäuse.

Hochsalinare Fluide erfordern bei Temperaturen  $> 120^{\circ}\text{C}$  den Einsatz von Hochleistungswerkstoffen. Mit besonderen Herstellverfahren können Rohrgeometrien abweichend von Normvorgaben produziert werden.

Zukünftig wird die Herstellung von Verbundrohren, entsprechend der chemischen und mechanischen Anforderung, möglich sein.



Mechanisiertes WIG-Schweißen

Die in Längen von ca. 4 Metern geschleuderten Rohre werden zu Einheiten von 12 Metern Länge verschweißt. Die Montage dieser Einheiten für die Steigleitung erfolgt auf der Baustelle, ebenfalls durch Verschweißen. Gewindeverbindungen würden bei diesen Werkstoffen „fressen“ und nicht mehr lösbar sein. Der Längenverlust beim Trennen von Schweißnähten ist geringer als beim Trennen von Gewindekupplungen.

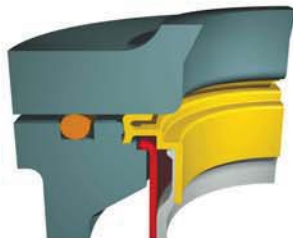
## Geothermische Anlagen Höchste Anforderungen an Technik, Material, Engineering



### Systemkomponenten



Filterbeutel



Patentierte SENTINEL® Abdichtung



Filterbeutel im Einsatz

#### Filterbeutel zur Reinigung von Thermalwasser

Filterbeutel sind in der Anwendung sicher und einfach zu handhaben. Die Verschmutzungen (Partikel) werden im Beutel gesammelt und können einfach entsorgt werden.

Eine sichere und bypassfreie Abdichtung im Filtergerät garantiert eine wirksame Filtration.

Die verwendeten Kunststoffe halten den chemischen und physikalischen Belastungen auch bei langen Standzeiten stand und sichern einen störungsfreien Betrieb.

Filterelemente aus speziellem Nadelfilz werden für die Grobfiltration (<math><10\mu\text{m}</math>) unmittelbar an der Entnahmebohrung eingesetzt und dienen dem Anlagenschutz und als Vorfilter für die nachfolgende Feinfiltration.

Hochleistungselemente aus Polypropylen oder Polyester-Meltblown mit „absoluter“ Abscheiderate (99%) finden ihre Verwendung als Feinfilter (<math><3\mu\text{m}</math>, typisch 1-2<math>\mu\text{m}</math>) zum Schutz der Injektionsbohrungen.

Filterbeutel:

- Große Werkstoffauswahl
- Hohe Abscheideleistung
- Sichere Abdichtung
- Vollverschweißte Ausführung
- Abscheiderate bis 99,9%
- Vollkunststoffausführung



## Geothermische Anlagen Höchste Anforderungen an Technik, Material, Engineering



### Systemkomponenten



Beutelfiltergehäuse



Korrosionsbeständige Beschichtung



Filteranlage in Modulbauweise

#### Filtration von Thermalwasser zum Anlagenschutz

Salzbelastung und hohe Temperaturen sind eine besondere Herausforderung an die Korrosionsbeständigkeit der Filtergeräte und Filterelemente.

Beutelfilter sind konstruktionsbedingt besonders gut geeignet, diesen Anforderungen gerecht zu werden. Es können Ausführungen mit geringer Korrosionsanfälligkeit gefertigt werden.

Sonderwerkstoffe oder beschichtete Werkstoffe lassen eine Auswahl für fast jede Anwendung zu.

Beutelfiltergehäuse können je nach Anlagenkonzept modular (Reihenschaltung von Einfachfiltern) oder als Mehrfachgehäuse eingesetzt werden.

Zum Anlagenschutz (Pumpen, Wärmetauscher, Armaturen) wird das Thermalwasser direkt nach der Entnahme durch einen Grobfilter filtriert.

Beutelfiltergehäuse:

- Einfache Handhabung
- Wartungsarm und sicher
- Bewährte Konstruktion
- Variabel in der Ausstattung
- Hohe Verfügbarkeit
- Geeignete Werkstoffe für jeden Prozess
- Kostengünstig