

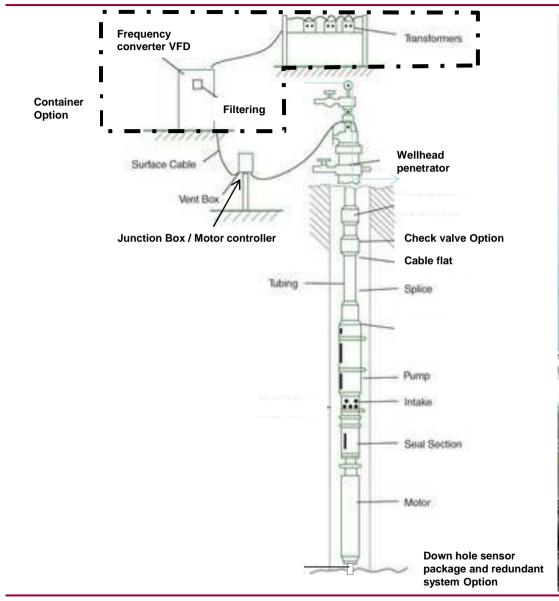
Schadenerfahrungen und Optimierungsvorschläge aus neutraler Sicht

"Tiefpumpentechnologie, die Achillesferse der Tiefengeothermie"

Roundtable Tiefpumpentechnologie
Marsh München
26. März 2014



Aufbau single "Electric Submersible Pump" (ESP) System



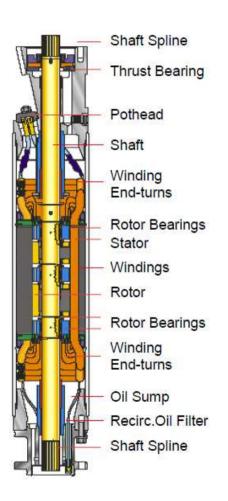


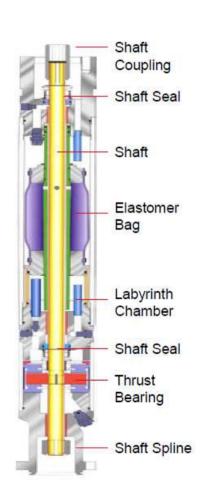


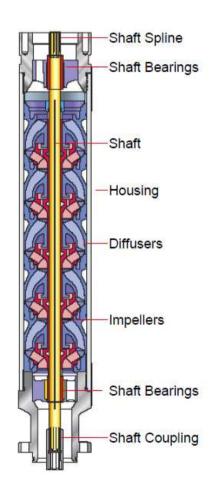


Motorsektion Protektor / Pumpensektion

Ölausgleichssystem

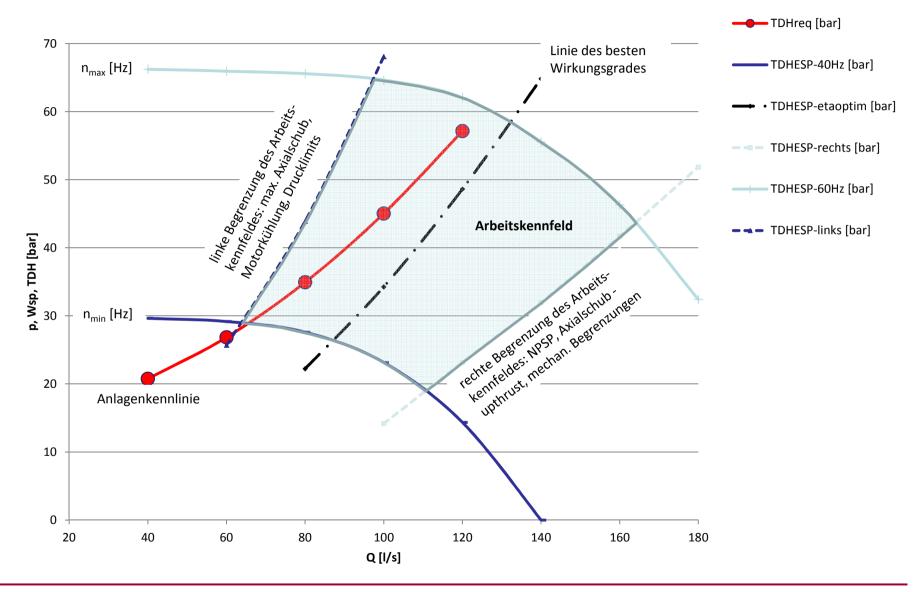






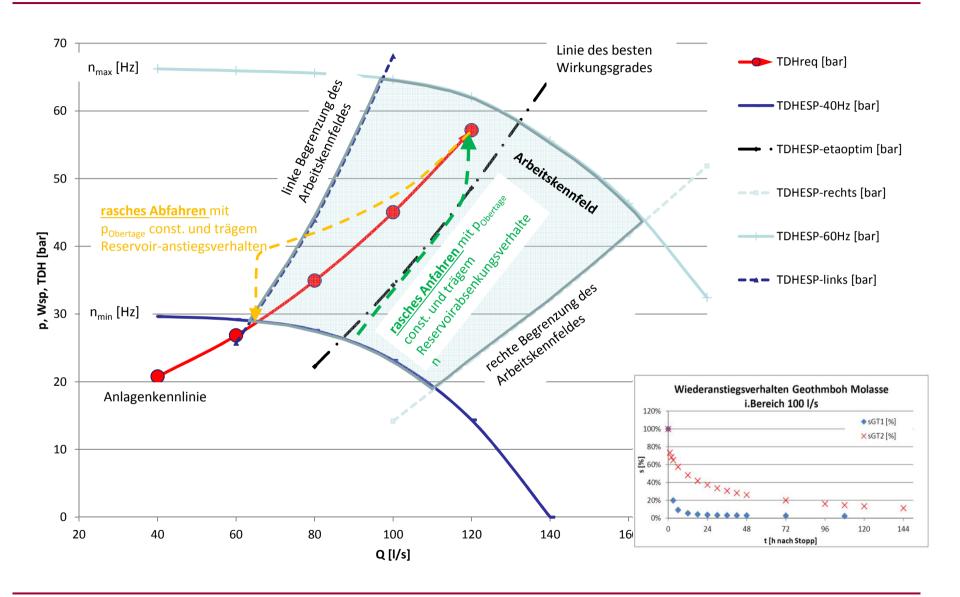


Q - TDH Diagramm ESP und Anlagenkennlinie (stationär)



Q - TDH Diagramm ESP und Anlagenkennlinie stationär/instationär





Anforderungen an das ESP-System



Anforderungen an das ESP-Systems aus dem Betrieb:

- Hohe Förderraten 100 bis 130 l/s (360 bis 470 m³/h) bei einer Förderhöhe von 40 bis 70 bar
- Kühlung der Motoren und Axiallager mit Fluid bis zu 145 C°
- Schmierung der Pumpenradiallager mit Fluid
- Ablagerungen verändern den Wärmeübergang. Scaling ist normal, nur was ist normal?
- dynamischen Rückfluss nach Schnellstopp => "back spin"
 - ⇒ Rückschlagventil ja/nein? Oftmals nein!
 - ⇒ Kinetische Energie für zur Rückförderung => up trust! Axiallager läuft oben!
 - ⇒ Schmutz- & Schwebstoffe werden nach unten in die Pumpe gefördert
- Start und Stoppvorgänge
 - ⇒ IBN Phase Obertageanlage / Heizwerk, Kraftwerk, Heizkraftwerk , Sicherheitsabschaltungen
 - ⇒ Anzahl=> müssen stark reduziert werden. => Sanktionieren!
- Volumenstrom- und Leistungsanpassung
 - ⇒ Fahren der Obertageanlage mit/ohne Injektionspumpe
 - ⇒ Obertagebetriebsdrucktransienten/-durchflusstransienten,
 - ⇒ Mindestmenge, Betriebspunkt-Transientanforderungen
 - ⇒ Anforderungen zur Abstimmung Leittechnik der ESP-Regelung

Elektrische Einflüsse an ESP - Systemen



- Frequenzumrichter (PowerModule oder FU)
 - erzeugen Oberschwingungen aus der Taktfrequenz der IGBT Bausteine.
 - Filter sind notwendig und im Frequenzumrichter üblicherweise installiert.
 - Low pass filter k\u00f6nnen f\u00fcr Oberwellen nur in einem Betriebspunkt richtig arbeiten. Die ESP Anwendung hat einen Frequenzbereich von 40Hz bis 60Hz!
 - High pass filter verändern nur die Oberschwingungen in der Steilheit. Die Oberwelle selbst bleibt jedoch erhalten.
 - Leitungslängen (ca. 800 bis 900m) der Hochspannungskabel müssen berücksichtigt werden. Achtung, durch verschiedene Längen differiert die Dämpfung und der kapazitive Leitungswiderstand.
 - Puls-weiten-modulierte FU´s (PWM) neigen zur Induktion von Läuferspannungen, die das Lagersystem der ESP durch Stromübergänge beeinträchtigen (Oberwellen).
 - Für zwei Zuleitungen (2 x Tandemmotoren) wird nur ein Frequenzumrichter (FU) eingesetzt. Die 2 Motor Controller steuern und überwachen je einen Motoren.
 - Schutzeinstellungen im Controller sind auf Grund des freien Sternpunktes nur begrenzt leistungsfähig.

Elektrische Einflüsse an ESP - Systemen



- Hochspannungskabel und deren Anschlüsse
 - Das Kabel muss sicher durch den Förderkopf (well head) geführt werden (penetrater).
 - Oberirdische Hochspannungsstecker und Kabel müssen berührungssicher verlegt werden.
 - Kabel müssen an dem Förderrohr fixiert werden.
 - Schutzschellen führen das Kabel eng an den Rohrverschraubungen vorbei
 - Die Kabellängen von 800 bis 900 m führen zu Verbindungsstellen (Spleiß).
 - Durch die Bewegung des F\u00f6rderrohrstranges scheuern die Kabel am Casing oder F\u00f6rderrohr.
 - Die Förderbohrung ist mit zunehmender Teufe abgestuft kleiner gebohrt . Absätze im Casing!
 - Die TKP liegen z.T. auch in einer abgelenkten Lage und lehnen am Casing an.
 - Gelöste Gase im Fördermedium diffundieren in die Isolierung und verändern das Dielektrikum.
 - Der elektrische Anschluss der Motoren wird aus Platzgründen mit Flachkabel an der Pumpe verbeigeführt. Der Stecker am Motor (pot head) und der Spleiß sind besonders eng & komplex konstruiert.

Elektrische Einflüsse an ESP - Systemen



- Untertage Messwertaufnehmer an der ESP (sensor)
 - Umgebungsdruck & -temperatur sind aufzunehmen.
 - Schwingungsumformer f
 ür die radiale und axialen Amplituden.
 - Kein gesondertes Kabel vorhanden!
 - Signal wird seriell auf das Hochspannungskabel moduliert.
 - An der Oberfläche muss das Signal wieder demoduliert werden
 - Frequenz, Ströme und Spannungen haben einen Einfluss auf die serielle Übertragung der Daten.
- Zusätzlicher Untertage Messwertaufnehmer am 1. Förderrohr (Leutertsonde)
 - Umgebungsdruck wird aufgenommen.
 - Zusätzliches gesondertes Messkabel muss verlegt werden!
 - Schutz muss analog dem Hochspannungskabel ausgeführt sein.

Elektrische & mechanische Einflüsse an ESP - Systemen



- Transformatoren (Step up & Step down)
 - Trockentransformatoren sind auf den Frequenzumrichter abzustimmen.
- Untertage Antriebsmotoren.
 - Die Schmierung der Axial- und Radiallager erfolgt mit Öl.
 - Die Hochspannungsmotoren 4 bis 7 kV sind auf Grund der geringen Platzverhältnisse sehr beengt gebaut und es werden hochwertige Isolationsstoffe notwendig.
 - Das eingesetzte Öl wird zusätzlich als Dielektrikum und Wärmeleiter benötigt.
 - Die thermische Wärmeübertragung führt zu Öltemperaturen um ca. 180C°.
 - Thermische und elektrische Zersetzung des Öles führt zu Veränderung der Viskosität und des Dielektrikums.
 - Vibrationen an der TKP (3-4 G) beeinflussen die mechanischen Bauteile.
 - Die lange Motorkonstruktion führt zum "Verformen" des Stranges und Bewegung in den Verbindungsflanschen und deren Dichtungen.

Mechanische Einflüsse an ESP - Systemen



- Untertage Dichtungssysteme (seal / protector)
 - Dichtung als Trennung von Fluid (Wasser) und Motorenöl.
 - Umgebungsdruck ~Öldruck im Dichtungssystem und in den Motoren.
 - Aufnahme der axialen Lasten aus der Pumpe. (trust bearing).
 - Balg-, Labyrinth-Systeme und kombinierte Systeme.
 - Verschiedene Ölanwendungen
 - Synthetische Öle Polyalphaolefine (PAO) (0,8 kg/l)
 - Mineralische Öle (0,8 kg/l)
 - Teflon-Öle (1,4kg/l)
 - Viskosität bei ca. 150 bis 180C° muss noch ausreichend hoch sein, um den axialen Schub als Gleitlager zu übertragen.
 - Die thermische Ausdehnung des Öls muss sicher im Dichtungssystem ausgeglichen werden, ohne das Wasser am Axiallager steht.
 - Das Öl darf bei den hohen Temperaturen und Rotation nicht emulgieren.
 - Die Verunreinigungen von außen dürfen nicht eingetragen werden.
 - Die Grenzschichten zwischen Öl und Wasser sind klein zuhalten, um die Gasdiffusion zu minimieren.





- Die nachfolgende Auswahl von Bildern sind als Erfahrungsbeispiele und Schadenerfahrungen zu werten, ohne jegliche Bewertung einzelner Anbieter, Hersteller, Betreiber oder Konzepte.
- ➤ Die folgenden Bilder stellen die besonderen Anforderungen der Geothermieanwendungen dar, die noch in der zukünftigen weiteren Entwicklung zu berücksichtigen sind.
- ➤ Die Bilder sollen, im Rahmen dieses Roundtable Meetings, den Erfahrungsaustausch, die Weiterentwicklung dieser Technologie anregen, das zu tragende Risiko dieser Untertage Maschinen bewerten und als Diskussionsgrundlage dienen.
- Alle Bilder wurden durch Schaden-support GmbH aufgenommen. Die Bilder sind nur im vorliegenden Kontext dieser Veranstaltung zu zeigen und dürfen nicht weiter verbreitet oder publiziert werden.
- Die Schadenerfahrungen, Anmerkungen und Rückschlüsse sind **nicht** auf alle Hersteller übertragbar.

Flachkabel an ESP - Systeme



• Motor Hochspannungskabel hier Flachkabel



Kabelschäden an ESP - Systeme



 Durchführung (penetrator) am "well head" durchgescheuert. Isolationsfehler!



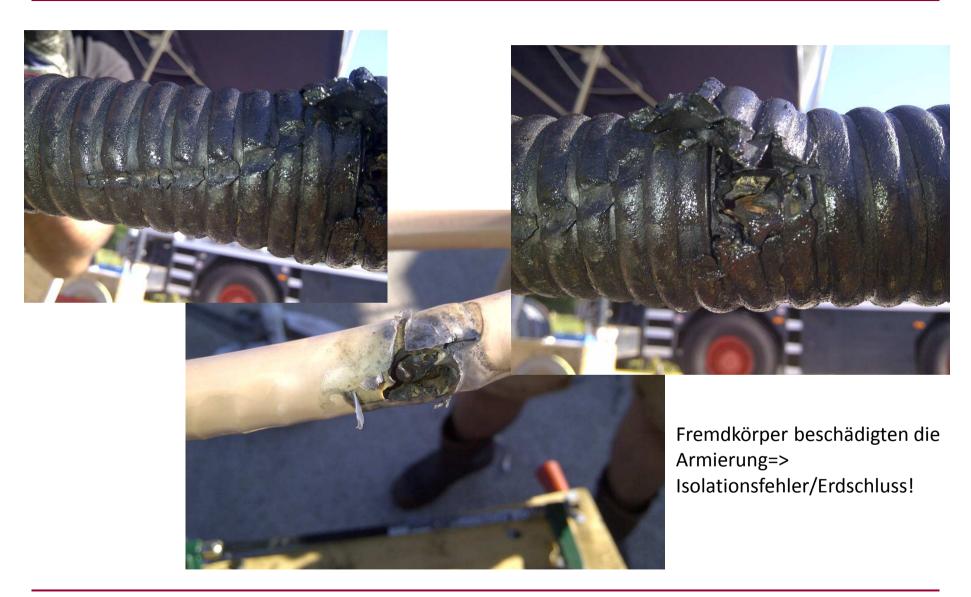
Kabelschäden an ESP - Systeme





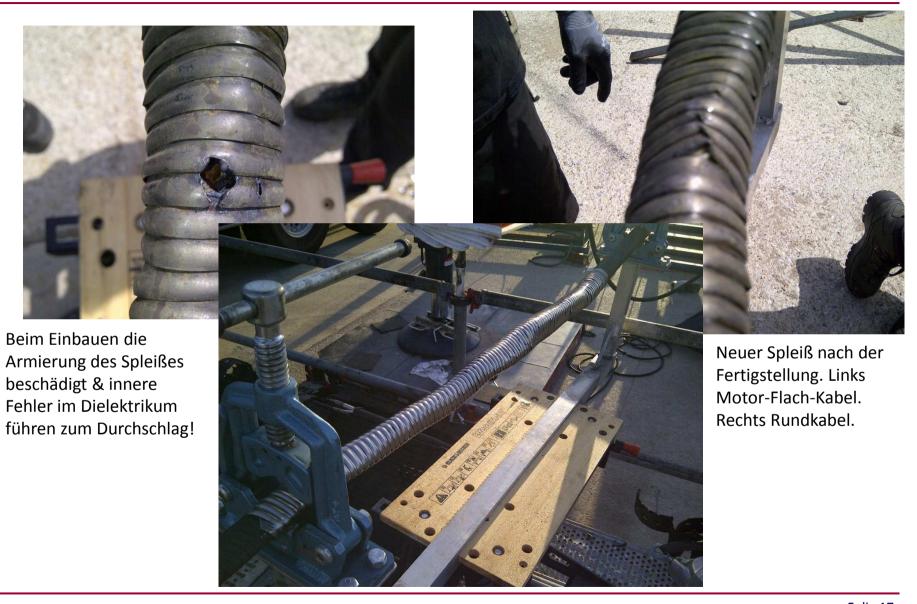
Kabelschäden an ESP - Systeme





Spleißschäden an ESP - Systeme





Steckerschäden an ESP - Systeme





Vergussmasse quilt auf. O-Ringe sind eckig.

Elektrisch induzierte Motorschäden an ESP - Systeme





Während des Betriebs hat ein geringer Isolationsfehler zu einer Teilentladung geführt, die das Motoröl und alle 4 Motoren kontaminierte. Bei der Demontage des Motors konnte eine Phase der Motorzuleitung (lead wire) herausgezogen werden.



Elektrisch induzierte Motorschäden an ESP - Systeme







Durch Kontamination des Öls mit Kohlenstoff und Kupferteilchen kam es zum Kurzschluss am Wickelkopf.

Durch Schieflast wurden zwei Phasen überlastet und es kam zum Kurzschluss am Sternpunkt (flowting-Y-point).



Elektrisch induzierte Motorschäden an ESP - Systeme



Infolge eines Isolationsfehlers ist die Messsonde beschädigt worden.

Die Messung und die ESP fielen kurz nacheinander aus. Die Ablagerungen sind Kohlenstoffe (Reststoffe) aus einem thermischen und elektrischen Zersetzungsprozess. Die Rückstände sind leitfähig!

Mechanisch induzierte Motorschäden an ESP - Systeme



Im Teillastbetrieb fiel die Pumpe schlagartig nach kurzer Betriebszeit aus. Unterhalb des Axiallagers des obersten Motors ist die Antriebswelle rechtwinklig abgerissen.

Das Axiallager im Protektor hat in Folge Mangelschmierung den axialen Schub der Pumpe an das obere Motorlager weitergegeben. Überlast.

Protektor- / Sealschäden an ESP - Systeme



Thermalwasser in der 1. Kammer =>i.O.

Wasser in der unteren Kammer=> Schmierstoffproblem am Axiallager!

Protektor- / Sealschäden an ESP - Systeme





Lagersegmente sind völlig abgetragen!

Mangelschmierung führte zum Axiallagerschaden.



Protektor- / Sealschäden an ESP - Systeme





Dichtring ist in der Oberfläche zerstört und verliert seine Dichtigkeit.

O-Ringe sind thermisch verformt und weisen kaum Dichtigkeit auf! Die Ölfüllung ist schwerer als Wasser ρ^{\sim} 1,4 kg/l und entweicht.

Schäden an der Pumpeneinheit von ESP - Systeme





Pumpenwellen gebrochen infolge Mangelschmierung (Wasser) und Überhitzung der Welle.

Starkes Scaling auf dem "intake". Thermische Verfärbungen im Bereich der Lagerung.

Schmier- und Kühlbohrungen zugesetzt.

Schäden an der Pumpeneinheit von ESP - Systeme





Schäden an der Pumpeneinheit von ESP - Systeme



Lagermaterial auf der Pumpenwelle verschweißt. Lager befindet sich ca. in der Mitte Welle.

Lagermaterial längs aufgetrennt. Diverse axiale, radiale und tangentiale Wärmerisse in der Lagerbuchse.









Pumpenrad axial und radial stark angestriffen.

Pumpengehäuse thermisch durch das Anstreifen der Laufräder beaufschlagt.



Schadenerfahrungen zu den ESP-Systemen



- aus Sicht der Betreiber
 - Die Schäden traten im Wesentlichen während der Erprobung bzw. Gewährleistungszeit ein.
 - Die Laufzeiten lagen zwischen wenigen Stunden und mehreren Monaten.
 - Die Hersteller haben die Schadenerfahrungen in die Produktion einfließen lassen.
 - Die Erwartungen hinsichtlich der Verfügbarkeit des Gesamtsystems sind bisher enttäuscht worden.
- aus Sicht der Hersteller
 - Die Geothermieanwendungen weichen von den Ölanwendungen ab.
 - Die großen Pumpen sind üblicherweise im verhältnismäßig kleinen Casingen installiert (beengte Einbaulage).
 - Die Betriebsweise der TKP müssen kontinuierlicher und ausgeglichener werden.
 - Mit zunehmender Temperatur des Fördermediums wachsen die Probleme (Standzeiten).
 - Die Anlagenkennlinien (Oberirdisch und Lagerstätte) müssen auf die Pumpen genauer abgestimmt werden.

Schadenerfahrungen zu den ESP-Systemen



- aus Sicht eines Versicherers
 - Die Geothermie-Anwendungen befinden sich noch in der Entwicklung.
 - Die Kosten sind deutlich vom Aus- und Einbau geprägt.
 - Die Ausfallzeiten ohne Backup System belaufen sich auf 3-4 Wochen.
 - Die Temperatur des Fördermediums haben direkten Einfluss auf die Laufzeiten der ESP.
 - Das Risiko ist vergleichbar mit "loss in hole" Deckungen der Tiefbohrbranche.
 - BU Risiken sind nur mit Backup Systemen beherrschbar bei adäquaten zSB.
- aus Sicht eines Schadeningenieurs
 - Die am Markt erhältlichen Pumpen sind noch an die besonderen Anforderungen der Geothermie-Anwendungen bei hoher Temperatur weiterzuentwickeln, um die Verfügbarkeiten zu verbessern.
 - Die Betreiber müssen Ihre Instandhaltungsrücklagen überdenken.
 - Eine Backup System zu Verkürzung der Betriebsunterbrechungen (auf ca.5-7 Tage) erscheint sinnvoll.
 - Kontinuierlicher Betrieb (wenig Starts) innerhalb des Kennfeldes der Pumpenkennlinien fahren.
 - Reparaturlösungen bieten alle ESP Hersteller an. AT Gutschriften, Leihmaschinen, Nacharbeiten der Lager, Leit- und Laufstufen.
 - Die Betreiber und Hersteller arbeiten zusammen, um die Verfügbarkeiten zu verbessern.

Optimierungsbedarf an ESP-Systemen



- > Die Pumpen und Anlagenkennlinie möglichst genau bestimmen.
- Kontinuierlicher Betrieb (wenig Starts oder Laständerungen) innerhalb des Kennfeldes der Pumpenkennlinien fahren.
- Werkstoffpaarungen der fluidgeschmierten Lager überdecken. Notlaufeigenschaften der Werkstoffpaare berücksichtigen!
- > Dichtsysteme für hohe Temperaturen mit langen Laufzeiten bereitstellen
 - Axiallager für hohe Förderraten (Hertzsche Pressung vermindern) entwickeln.
 - Keine Drehrichtungstests bei der Montage.
 - Ölqualitäten bei Temperaturen von ca. 200-250C° hinsichtlich der Viskosität und des Dielektrikum verbessern und qualifizieren. Feste Dielektrika wählen, Ölmengen reduzieren!
 - Ölbefüllung mit möglichst wenig gelösten Gasbestandteilen umsetzen.
 - Geeignete Entgasung des Motorenöls während des Betriebes umsetzen.
 - Grenzschicht zwischen Wasser und Öl minimieren oder gasdiffusionsoffene Membrane verwenden.
 - Schweröl (Teflonöl) Technologie / Entwicklung fortführen.
 - Druckprobe (auch Unterdruck) bei der Montage vor dem Einbau in die Bohrung ausführen.
 - Qualitätskontrolle bei der Montage anpassen.





- Dichtungsmaterialien für hohe Temperaturen wählen
 - Metalldichtungen (L-Ringe) analog Dampfturbinentechnik
 - Polymere Werkstoffe für ca. 200 bis 250 C° entwickeln und verwenden
 - Dichtungskonzept ertüchtigen und einheitlich umsetzen.
- Motorläuferspannungen ausschließen z.B.
 - durch elektrische Isolation des Dichtungssystems und der Pumpe.
 - Erdungsbürsten an der Welle.
 - Keine Oberwellen am Ausgang des FU's =>Leonhardsatz ? Modulation ändern?
- Sensorübertragung mit autarken Leitungssystem entwickeln oder Hohlleitertechnik (Hochfrequenztechnik) über das Förderrohr.
- > Erdung des Sternpunktes zur Optimierung / Sensibilisierung der Motorcontroller.
- Möglichst Flachkabel am Förderrohr einsetzen, um mehr Platz zu haben.
- > Größere Durchmesser der Geothermie Förderbohrungen im Bereich der TKP zur Verfügung stellen.
- Die Blechkabelschellen sollten mit einer definierten Kraft gespannt werden, damit Spannungsspitzen vermieden werden. (analog Dehnschrauben- oder Federprinzip).
- > Hochspannungskabeldurchführungen (penetrater, pot head, Motorinnenleben) mit besseren Dielektrika ausführen.

Empfehlungen an:



Betreiber

- Kraftwerksinbetriebnahmezeit zunächst mit bewährtem ESP-system soweit möglich mit größeren Einbautiefen durchführen.
- Start und Stoppvorgänge stark vermeiden oder adäquat gestalten /organisieren.
- Betriebsparameter sorgsam aufzeichnen, auswerten und archivieren .
- Abstand beim kontinuierlichen Fahren zum Volllastbetrieb einhalten.
- Additiveren des Fördermediums mit Inhibitoren.
- Zyklische Säuerung der Pumpe mit vertretbaren Stoffen

Hersteller

- Die Verfügbarkeiten für ESP Anwendungen mit Fluidtemperaturen von ca. 140 bis 150 C° sind auf mind. 24 Monate anzuheben.
- Wahrnehmung, dass die Geothermie-Anwendungen sich von der Ölexplorations-Anwendungen deutlich unterscheiden.

Politik / Förderung

- unabhängiges Forschungsinstitut mit leistungsfähigem Vertikal-ESP/Line Shaft-Heiß-Prüfstand bis 2.500 HP/180°C/1.000 m Tiefe mit Zugangs-/ Testmöglichkeit für Hersteller und Betreiber
- Förderinstrumente für Hersteller um die Marktsituation zu verbessern
- Die Marktteilnehmer müssen enger ihre Erfahrungen austauschen.
- Zulassung von Inhibitoren und zyklische Säuerungsmaßnahmen mit geeigneten Stoffen

Empfehlungen an:



Makler und Vermittler

- Anfrage nach risikoadäquaten Bedingungen für die Geothermie-Anwendungen
- Vorbereitung der Kunden auf angemessene Selbstbehalte und Abschreibungen
- Bonus-Malus-Regelungen in den Verträgen vereinbaren
- Professionelle und sachgemäße Betreuung der Kunden im Schadenfall

Versicherer

- Bereitstellung von ausreichend Kapazitäten für die Montage-, Maschinen- und Maschinen-BU Versicherung.
- Risikoadäquate Zeichnung durch Streuung des Risikos
- Bereitstellung von Expertise beim Zeichnen und in der Schadenabwicklung
- Technische Begleitung des Betriebes und der Schadenerfahrungen
- Wahl von angemessenen Selbstbehalten (SB & zSB) oder geeigneten Abschreibungen für "down hole equipment".
- Keine "alles oder nichts-Überlegungen" für diese junge Technologie, sondern gemeinsames Durchstehen und Vorantreiben, wie es bereits in anderen Bereichen der regenerativen Energieerzeugung erfolgte.



Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

GEOenergie Bayern GmbH Blumenstr. 16 93055 Regensburg

Tel. 0049 941 591896-880 Fax 0049 941 591896-850 bernd.kapp@geoenergiebayern.com www. geoenergie-bayern.com Schaden-support GmbH Lehfeld 5-7 21029 Hamburg

Tel. 0049 40-89725599 Fax 0049 40-89725526 Mob. 0049-171-6804002 ch@schaden-support.de

Disclaimer



This document has been prepared by GEOenergie-Bayern GmbH ("GEB") and Harden Schaden-support GmbH (HSS). This document does not constitute or form part of any offer or invitation to sell or issue, or any solicitation of any offer to purchase or subscribe for any securities, nor shall it, or any part of it, form the basis of or be relied upon in connection with any contract with GEB or GEB's holding company (the "GEB Group") or HSS.

No undertaking, representation, warranty or other assurance, express or implied, is given or made by or on behalf of the GEB Group, HSS or any shareholders, directors, officers, employees, consultants or advisers of the GEB Group and HSS or any other person as to the accuracy, fairness, completeness or sufficiency of the information, opinions or beliefs contained in this document.

This document does not constitute an offer or agreement to sell, or a solicitation of an offer or agreement to buy, any security or instrument or to participate in any particular trading strategy. Save in the case of fraud, no liability is accepted for any loss, cost or damage suffered or incurred as a result of the use of or reliance upon any such information or opinion which is attributable to any errors, inaccuracies, omissions or misstatements (whether negligent or otherwise) contained in this document.

This document has been delivered to you on the basis that you are a person into whose possession this document may be lawfully delivered in accordance with the laws of the jurisdiction in which you are located.

This document may not be distributed, reproduced, discussed, published, quoted or referenced to, in whole or in part, without the prior written consent of GEB and HSS.

By accepting a copy of this document you agree to be bound by the foregoing limitations.