

Die Thermalsole zur „Heiligen Barbara“ in Bad Elster

Erkundung – Bau - Betrieb

Autor: Dr.-Ing. Thomas Daffner
Co-Autorin: Dipl.-Hydrol. Manuela Voßberg



Gliederung

1. Erkundung
2. Planung / Bau
3. Solegranulatlager – Betriebssicherheit
4. Betrieb
5. Zusammenfassung / Schlussfolgerung

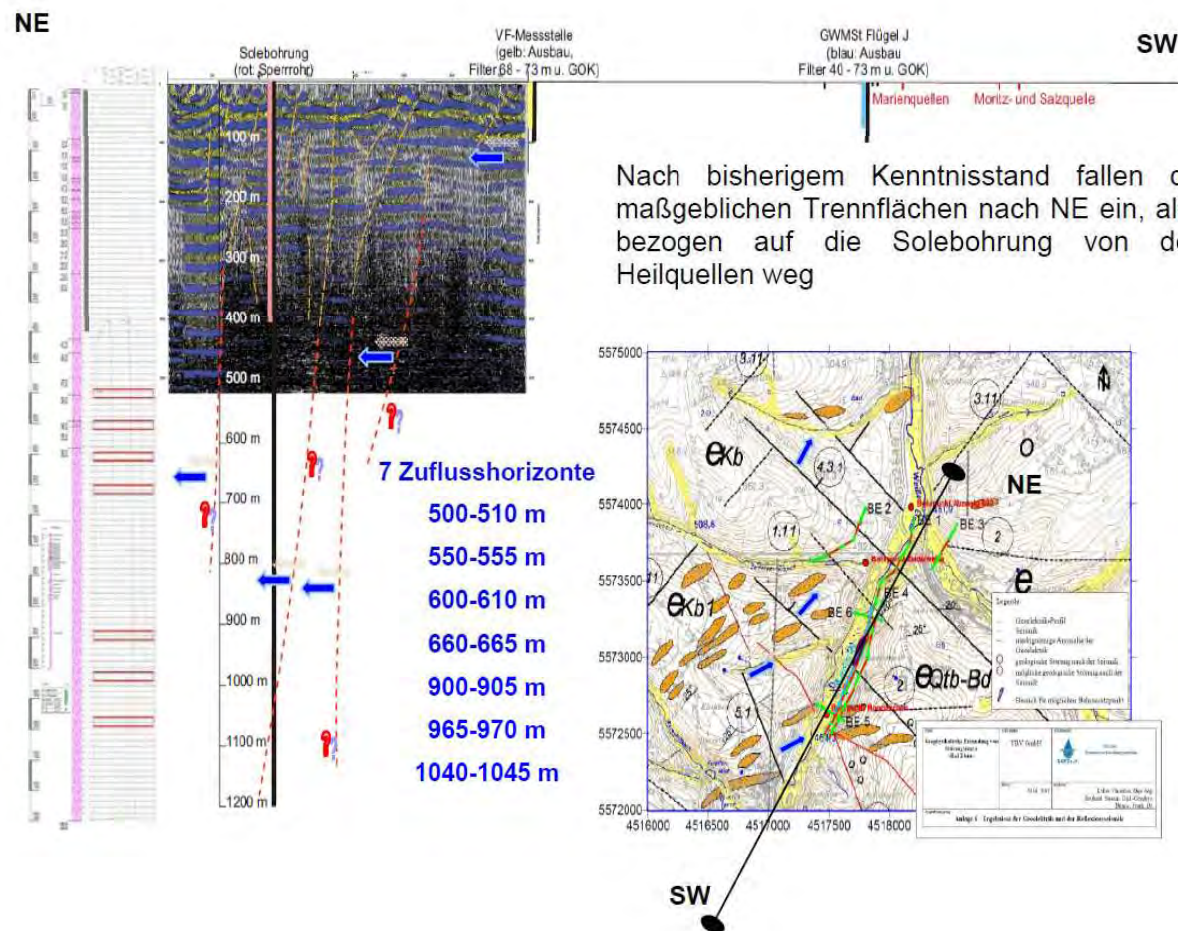


Gliederung

1. Erkundung

- 2. Planung / Bau
- 3. Solegranulatlager – Betriebssicherheit
- 4. Betrieb
- 5. Zusammenfassung / Schlußfolgerung

Ergebnisinterpretation vor und nach Bohrvorgang

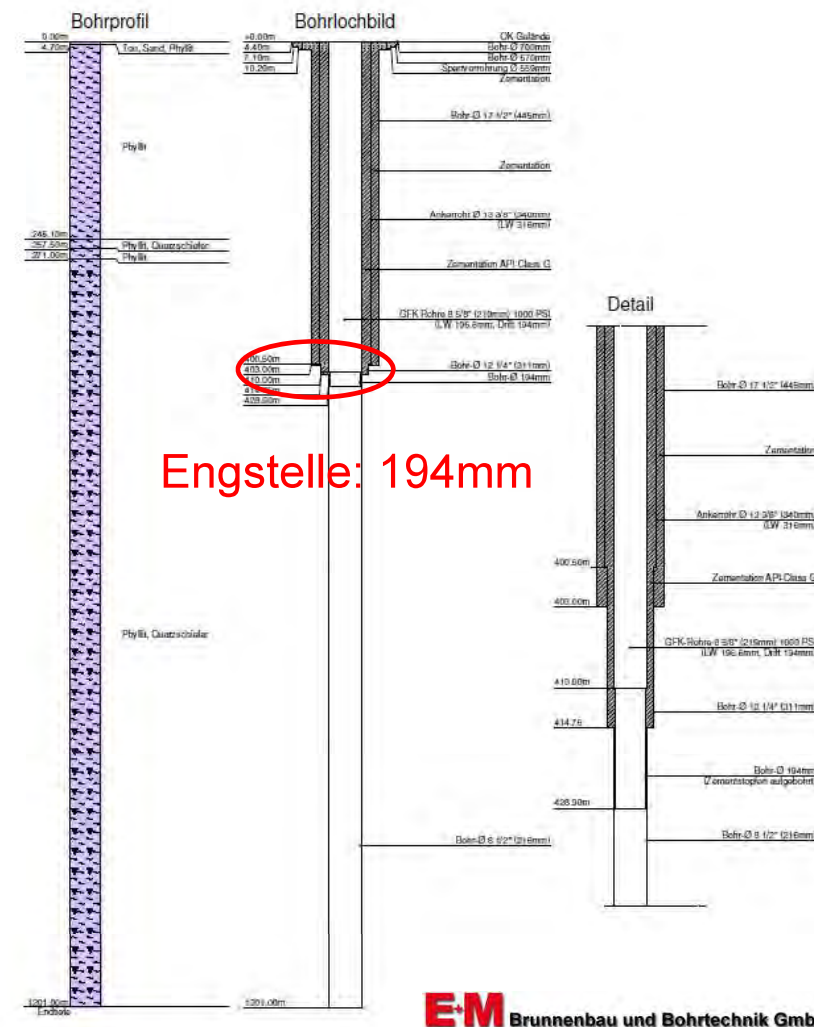


2007/2008

Ausbauzeichnung

- Endteufe 1201 m u GOK
- Enddurchmesser: 216 mm
- Sperrrohr Ø 340 mm bis 400 m u GOK
- 2012 erfolgte Inlinersicherung mit GFK-Verrohrung bis 410 m u GOK, Zementstopfen bis 428,9 m u GOK
- limitierende Durchmesser für weiteren technischen Ausbau:
 - Ø_{innen} 196,6 mm (GFK)
 - Ø_{min} 194 mm (aufgebohrt)

2008/2012

[zurück](#)


Testarbeiten



Extreme Probleme beim 1. PV

Diese waren nicht nur abhängig von der **Außentemperatur**, sondern bereits die **abnehmende Gebirgstemperatur** mit der Förderhöhe und die **CO₂-Entgasung** führten zu diesem Erscheinungsbild



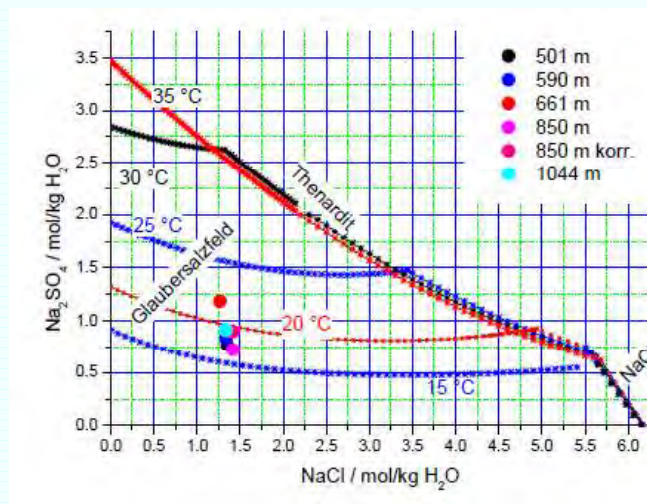
Bergakademie
Freiberg
Institut von
Prof. Voigt

2008

Kristallisationsproblematik bei 1. Kurz-PV mit Brunnenbaufirma E+ M



- konzentrierte hydrogencarbonathaltige Natriumsulfat-Natriumchlorid-Lösung
- Ursache für Kristallisate: Auskristallisieren von Glaubersalz infolge Abkühlung aufsteigender Lösung
- Verstärkung Kristallisationsneigung: abnehmender CO_2 -Gehalt der aufsteigenden Sole



Lage der Sole-Zusammensetzung im Löslichkeitsdiagramm $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ [VOIGT; TU BAF 2008]

2008

2 Möglichkeiten zur Vermeidung:

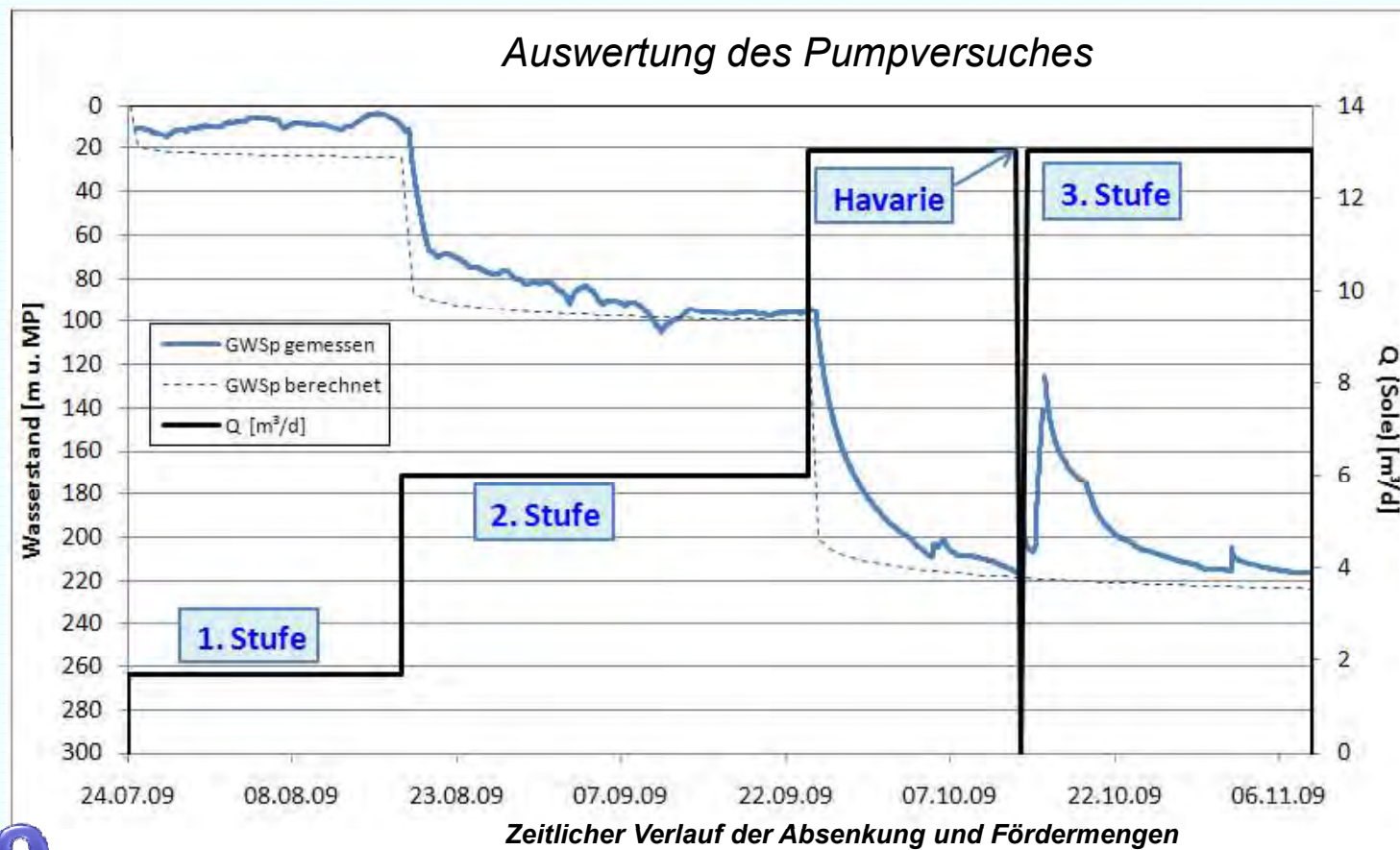
→ Temperatur $> 25^\circ\text{C}$ und/oder
→ Verdünnung 10-15%



- li. Bad Brambach:
Gaseruption an der 200 m FE-
Bohrung
(30 m entfernt von Wetтинquelle)
- re. Bad Elster:
CO₂ – Ausgasung nach PV in
Solebohrung



Langzeitpumpversuch



bis 2. Stufe - Stagnation erreicht

keine Berandung angefahren

Teufe Schutzrohrausbau bestätigt

Empfehlung: max. 12 m³/d

2009

Ergebnisse entscheidend für die spätere Bewirtschaftungsempfehlung

Langzeitpumpversuch – Ausbau Technik



Exzentrerschnecke der
Pumpe nach PV mit
beginnendem Lochfrass



Zustand des Antriebsge-
stänges nach Abschluss
des PV

2009



Gliederung

1. Erkundung

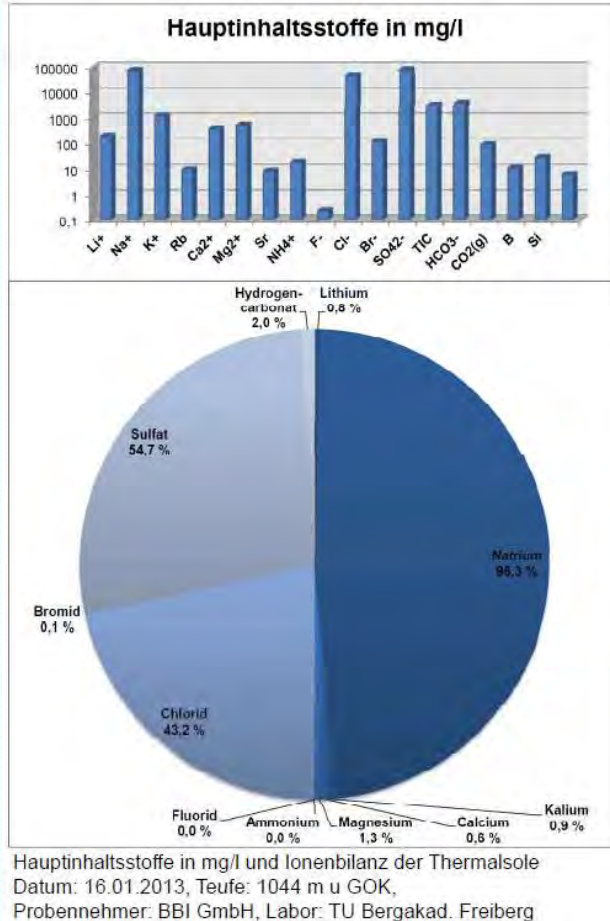
2. Planung / Bau

3. Solegranulatlager – Betriebssicherheit

4. Betrieb

5. Zusammenfassung / Schlußfolgerung

Ergebnisse hydrochemischer Untersuchungen



Zusammensetzung

- PN 1/2013 mittels Tiefenprobernehmer/Log bei 1044 muGOK (Fa. BBI)
- Hauptinhaltsstoffe: siehe Grafik
210 g/l (Kationen, Anionen)
- Dichte: 1.210 kg/m³
- Sole: 21 %
- in Situ-Log: LF 225.000 µS/cm
T 38 °C

Interpretationen

- Zone des aktiven Wasseraustausches wird bis ca. 600 muGOK vermutet, darunter stark verlangsamt,
- anhand 14C und 36Cl-Untersuchungen wurde das Alter der Sole auf ca. 35.000 Jahre geschätzt (Alter steigt mit zunehmender Tiefe),
- Sole steht unter Manteleinfluss (Koeffizient 3He/4He zw. 3,5 und 3,7)

Materialuntersuchungen



Rohzustand verschiedener Pro
(Edelstahl, Stahl mit Beschich



Endzustand verschiedener
Proben
(Edelstahl, Stahl mit
Beschichtungen)
nach 6 Wochen Kontakt mit Sole

Ergebnis:

Edelstahl: 1.4462 Duplex

Elastomer: EPDM, HNBR

Beschichtungen, wie z.B. Halar, sind grundsätzlich geeignet, aber nur wenn mechanische Beanspruchung gering ist und eine Unterwanderung des Beschichtungsmaterials ausgeschlossen werden kann.

→ **Edelstahl: 1.4462 Duplex**

2014

Versuchsaufbau Air-Lift



Auffangbehälter

2 1/2" Steigleitung (Alu) mit Einlassdüse

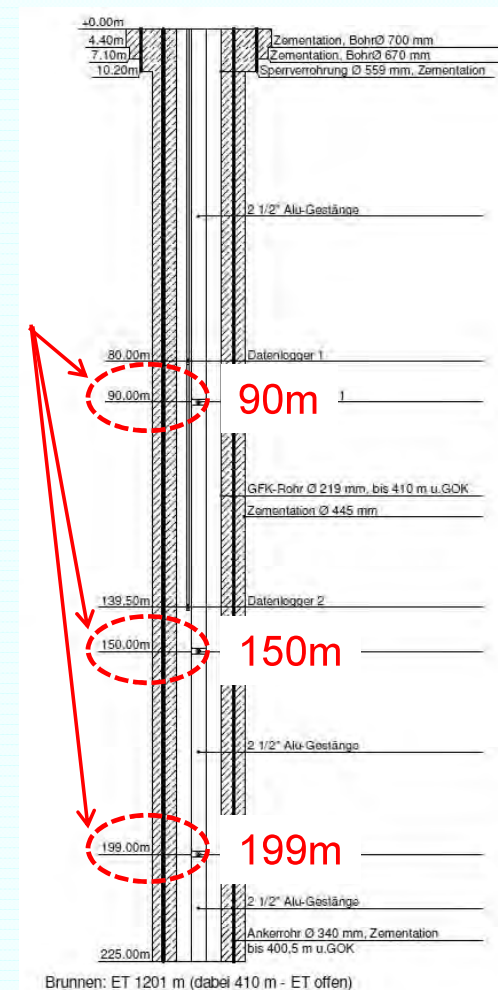
1" Luftleitung PE



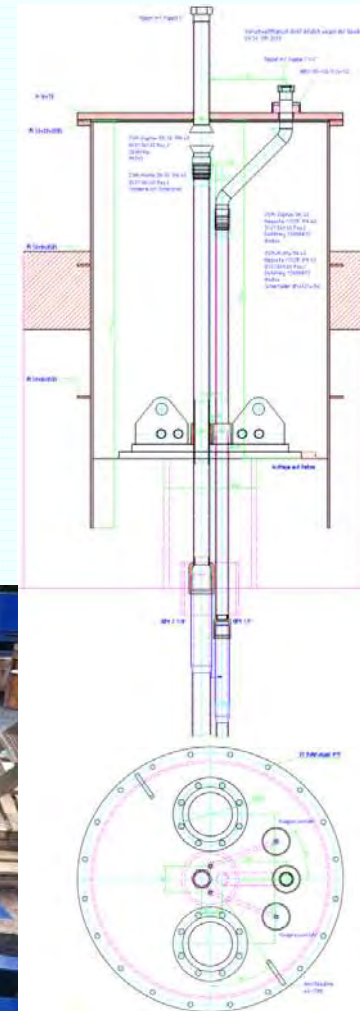
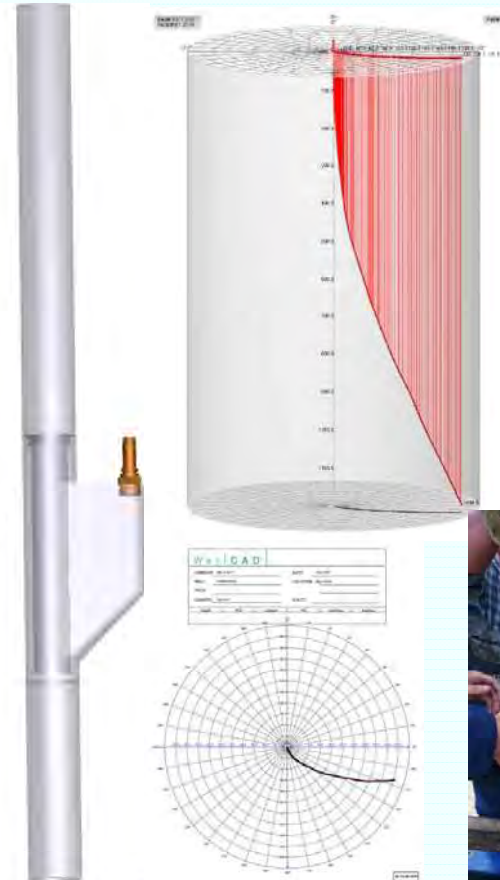
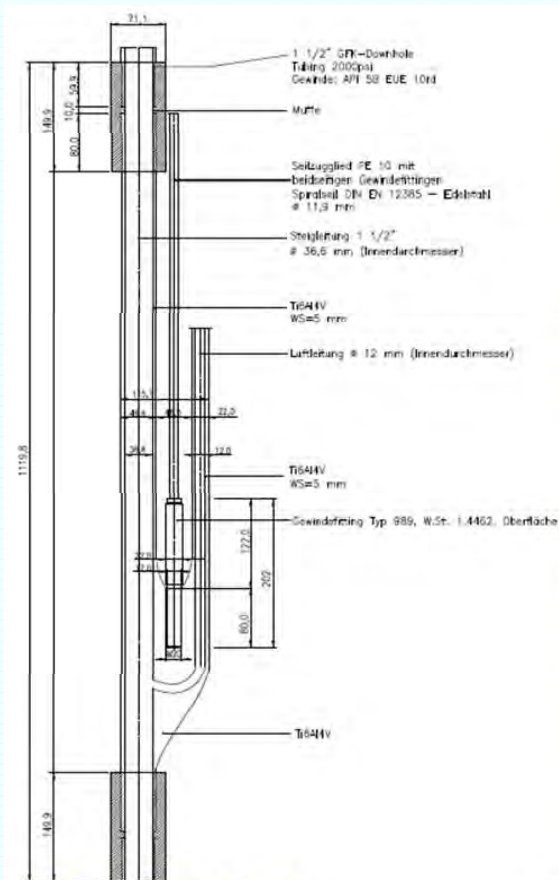
Luftmengenmesser

Verteilerstück

2014



Technische Planung des Förderequipments



2014

2D - Zeichnung 3D-Modell

Modellgestützte Prüfung aller relevanten Lastfälle

K: Innendruck
Vergleichsspannung
Typ: Vergleichsspannung (von Mises)
Einheit: MPa
Zeit: 0
17.08.2016 08:44

126,62 Max
112,56
98,503
84,445
70,387
56,329
42,271
28,212
14,154
0,095978 Min



- Druck innen: 8,8 MPa, schwellende Sägezahnbelastung
- „Feste Einspannung“ an Aufhängung

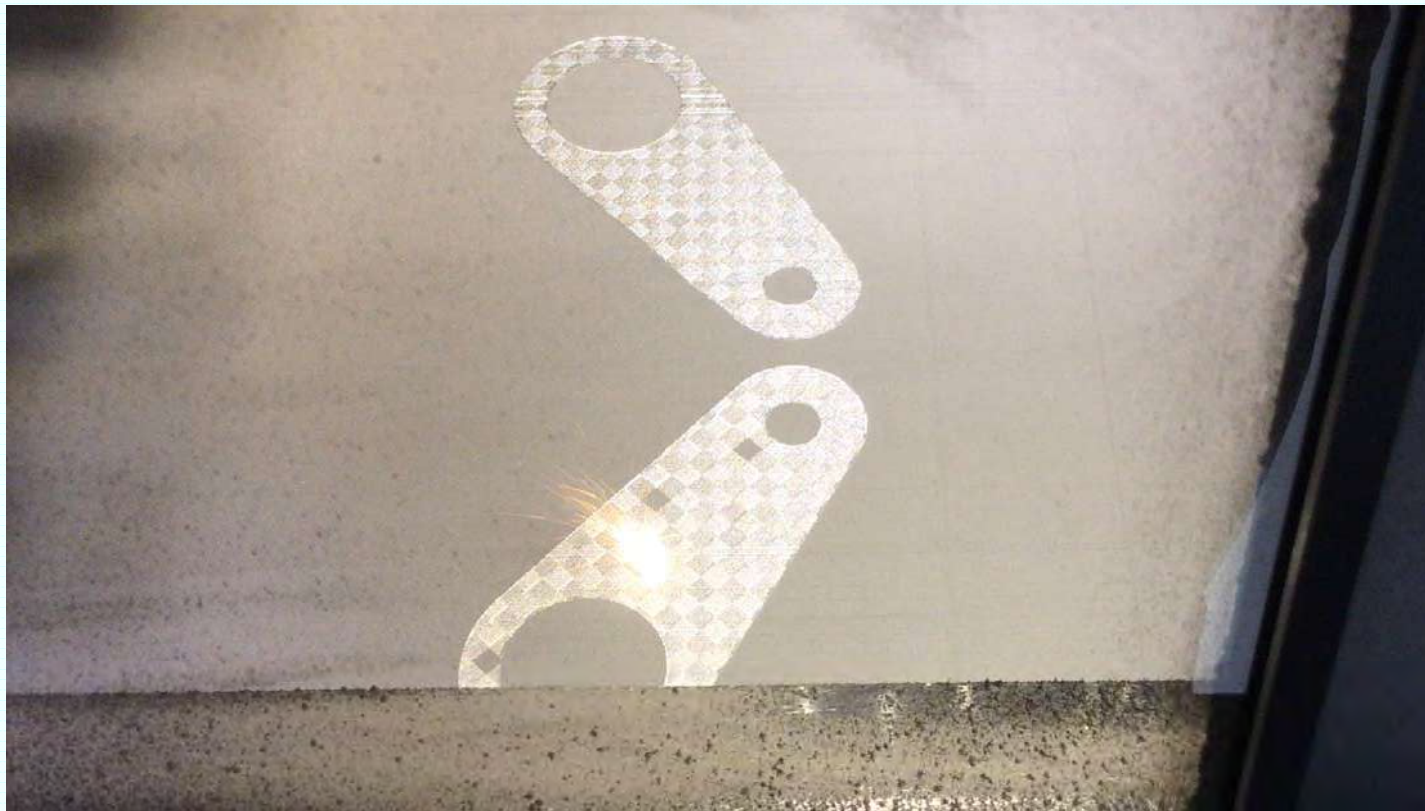
ANSYS
R16.1
Academic

- Errechnete Lebensdauer: $> 10^9$ Lastspiele
- Sicherheitsfaktor: min. 3,25



2015

Fertigung des Einblasstückes durch Laserstrahlschmelzen



Bauzeit für 2 Stück: 10,5 Tage ununterbrochen Pulverschichtauftrag-Schmelzen



2015

 **Fraunhofer**

Schichtstärke betrug 30 μm , insgesamt wurde das Einblasstück in ca. 8400 einzelnen Schichten aufgebaut

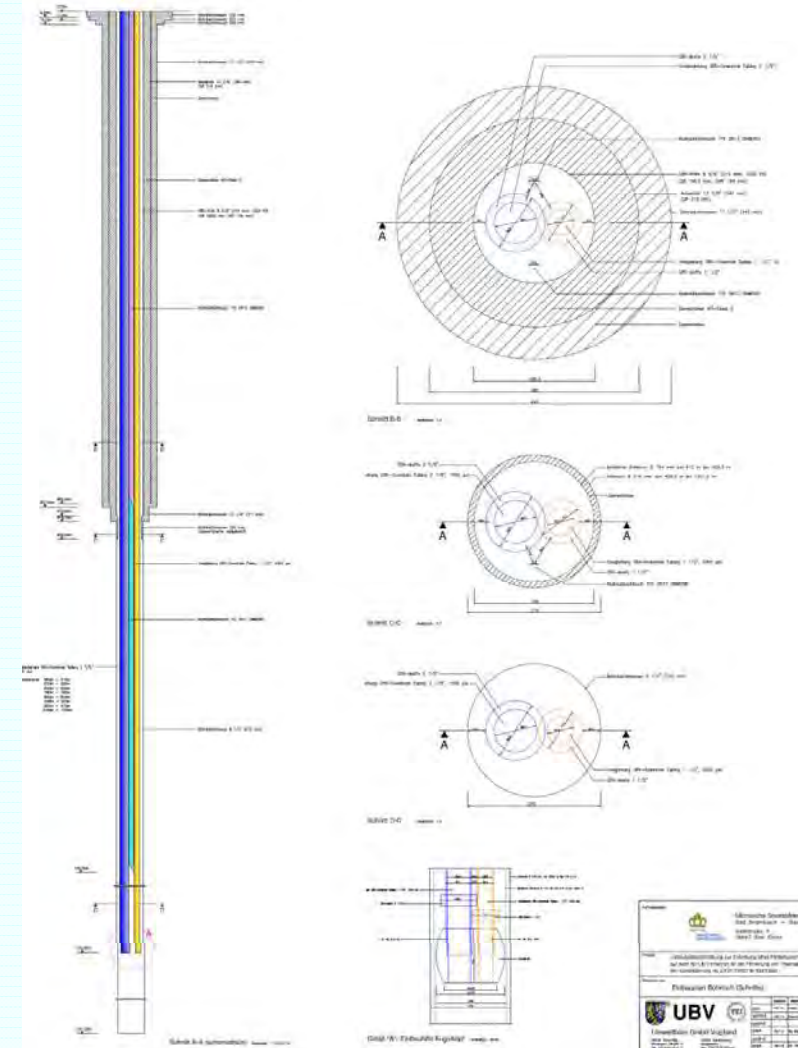
Einbauten Bohrloch

- 4 Leitungen
- 1 ½" **Steigleitung** für Gas-Sole-Gemisch
- 2 7/8" **Sondenleitung** (mit Schlitzen in den 5 wesentlichen Klufthorizonten)
- 2x DN12 **Hochdruckluftleitungen**
- Druckluftapplikation in 400/ 700m u GOK durch spezielles Formbauteil „**Einblasstück**“, welches durch 3D-Printing (SLM-Verfahren) aus Titan gefertigt wurde

- **Platzverhältnisse** im Brunnen
- **extreme Herausforderung für die beteiligten Fachfirmen**

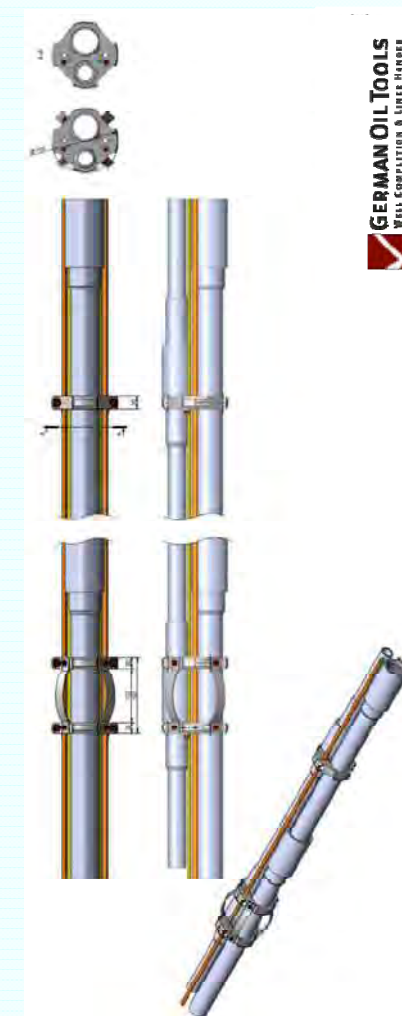
oder anders gesagt:

**Bleistift von 120 m Länge
in dem wir 4 Minen einzubauen haben**



Einbauten Bohrloch

- Ausgehend von Bohrlochabweichung und dem Ausbaudurchmesser wurde Einbauequipment aus Duplex Edelstahl durch GOT (German Oil-Tools) gefräst:
- Guide Shoe (1), Führung des Rohrstranges
- Centralizer (2), Zentrierung des Rohrstranges
- **½ NPT Controlline Druckluftleitung (3)**, kombiniertes Bauteil für Zugentlastung der GFK-Rohre und Druckleitung zum Förderprozess
- Abfangschelle (4), zur finalen Fixierung des Förderequipment im Brunnenkopf



Einbauten Bohrloch

- Zum Einbau des gesamten Equipment waren gleichzeitig
→ 2 LKW mit Hubarm und Umlenkrolle (Führung und Streckung der Controlline),
→ 1 Bohrgerät mit zwei unabhängig voneinander laufenden Winden zum versetzten Rohreinbau nötig,
- **Grundlage** für den Einbau: exakte **Rohrausbauliste** mit den Zuflusshorizonten für die geschlitzten GFK-Rohre





Gliederung

1. Erkundung
2. Planung / Bau

3. Solegranulatlager – Betriebssicherheit

4. Betrieb
5. Zusammenfassung / Schlußfolgerung

Warum und welche Betriebssicherheit ?

- Mit der Inbetriebnahme war ursprünglich eine gleichmäßige Förderung vorgesehen.
- Der Bedarf und die Personalkosten aus einem 3-Schichtbetrieb ließen die SSB einen Interimsbetrieb optimieren.
- Die auf > 90 Bar komprimierte Luft wird im Einblasstück schlagartig entspannt.

actio et reactio

wie beim schnellen Luftaufpumpen – die Luftpumpe wird heiss

- Ergo: es kam zu Verstopfungen (wahrscheinlich wegen der Kühlung der Sole in der Teufe)
- Mit *Druck* wieder freibekommen – nunmehr erfolgt eine regelmäßige geringe Warmwasserzugabe und dadurch ein stabiler Betrieb.

Die Nerven liegen blank → keine Reserve → bisher kein Plan B, falls das Bohrloch verstopft und/oder die Technik im Bohrloch versagt !

Ziel: keine Unterbrechung des sehr bedeutsamen Solebadebetriebes

Die Bauzeit für die 1201 m Bohrung dauerte 1 Jahr (Niederbringung, Ausbau, Ausrüstung)

→ Schaffung einer Solebevorratung für ein Jahr

Bei 5 m³/d -> 1.825 m³ erforderlich

Variantenvergleich: Tank mit Umwälzung und/oder Beheizung

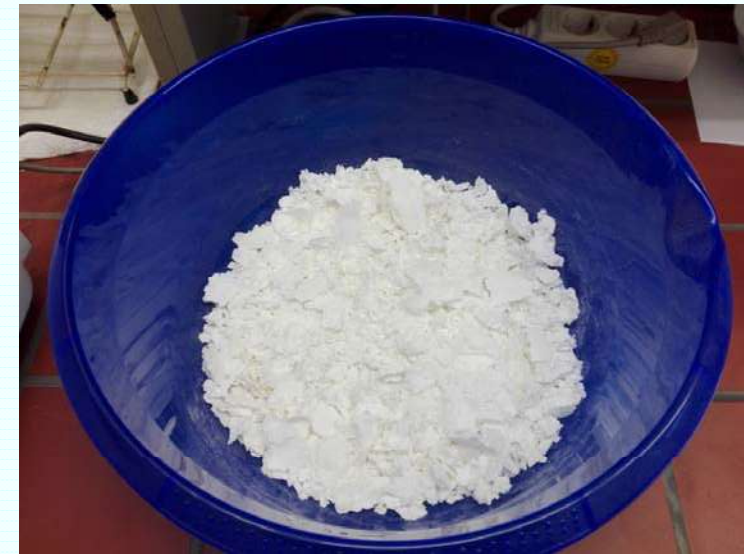
Granulatherstellung: mit Vakuumthermischer Anlage (VTA)



Kleintechnische VTA im UBV

→ Aufbau, Testung,

→ Ermittlung der Leistungsparameter und
Verdampfungseigenschaften



Solegranulatlager – Speicherkapazität für ein Jahr Betrieb des Solebades



VTA – Vakuumtechnische Anlage im Betrieb



- Granulatherstellung mit VTA (rechts Video)
 - eingedickte Sole hat Temp. 55 °C und Konzentration von 84%
 - Abfüllung in IBC-Container zur Abkühlung und Lagerung als Granulat
 - 1 IBC-Container: rd. 1,2 m³
 - mit ca. 300 IBC-Containern kommt man auf ca. 1.825 m³ Sole
- für 1 Jahr ist die Nachspeisung (ca. 5 m³/d) im Solebad gesichert bei**





Gliederung

1. Erkundung
2. Planung / Bau
3. Solegranulatlager – Betriebssicherheit

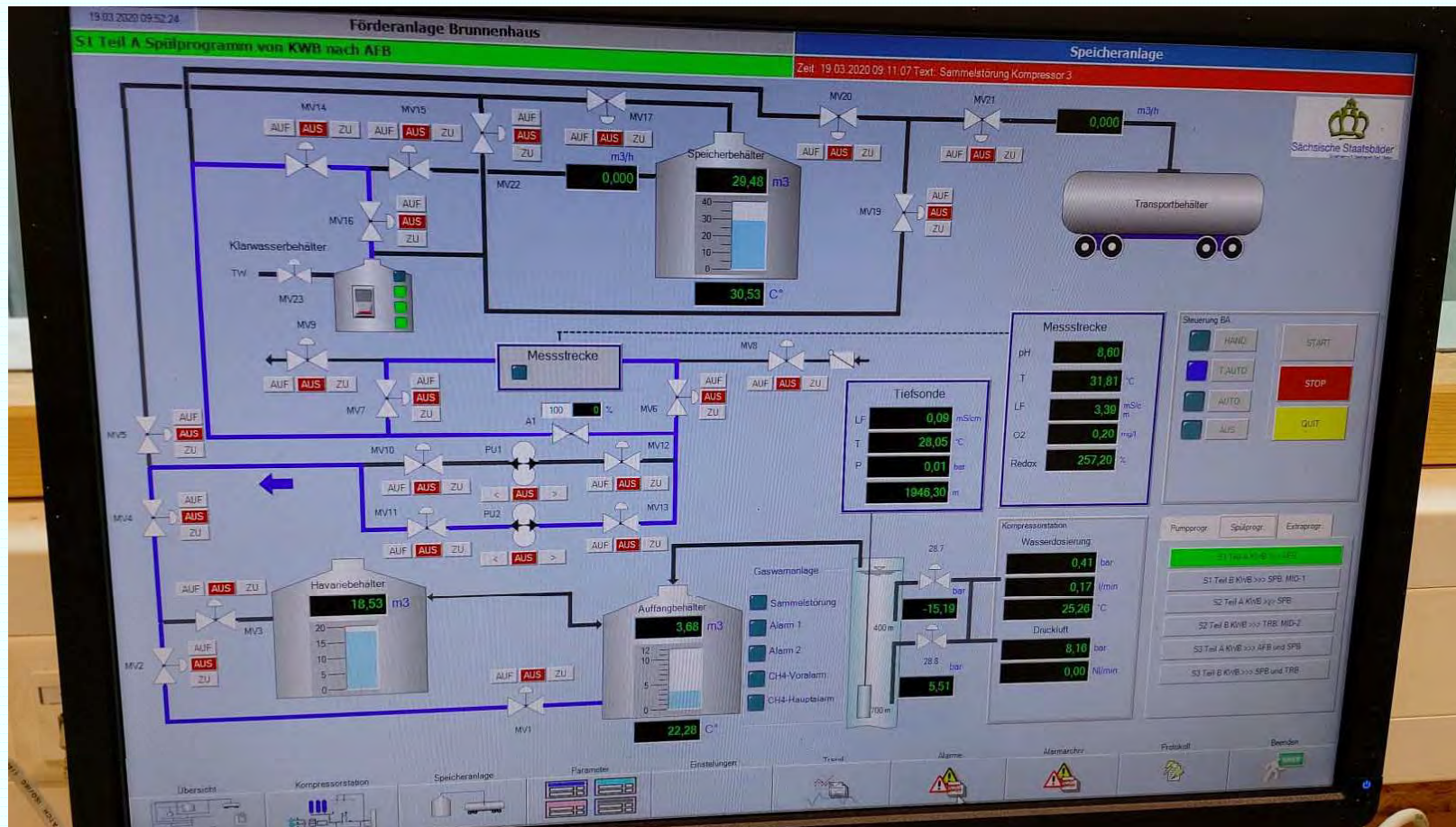
4. Betrieb

5. Zusammenfassung / Schlußfolgerung

Zum Betrieb der gesamten Anlage gehören:

- Wartung / Reinigung
- Kalibrierung aller Messtechnik (MID, Druck-, Temperatur-, Leitfähigkeits- und Gassonden)
- Tiefenlotung zur Messung der „Aussüßung der Lagerstätte“
- Beseitigung von Ablagerungen
- Erneuerung Dichtungen
- Prozessverwaltung zur Optimierung aller Prozesse
- Chemikalienbestellung und –lagerung
- Monitoring

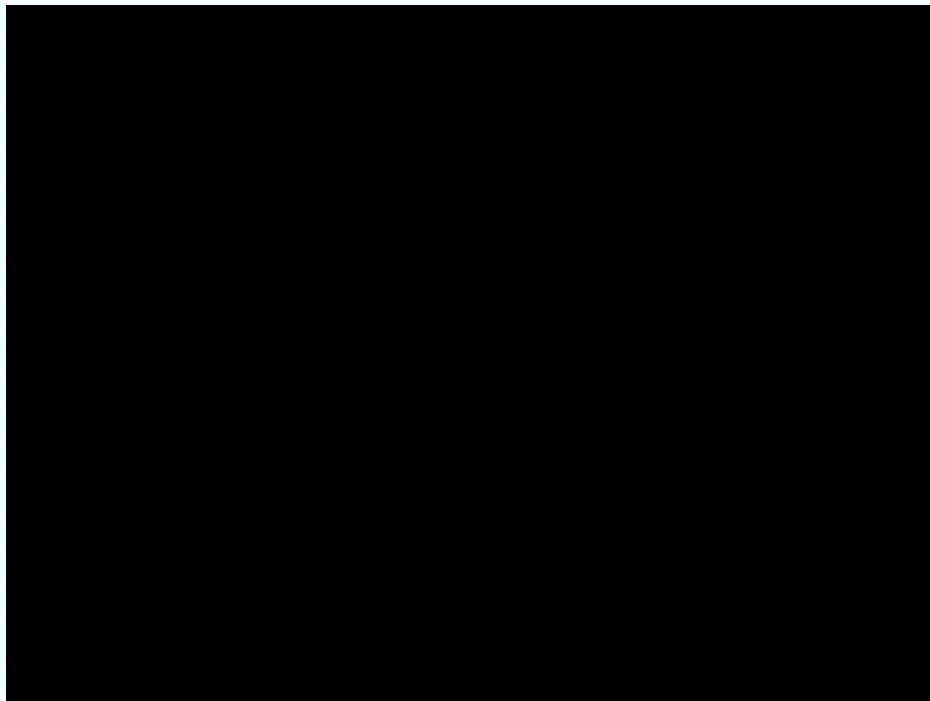
Steuerung/Überwachung der Anlage



Visualisierung
im PLS

Impressionen aus dem Betrieb

Auffangbehälter gehobenen Sole



Notwendigkeit der regelmäßigen
Wartung/Pflege

Bsp. Sondenleitung
(Wasserstandsmessung)

Eisen – Sole - Kristallbildungen

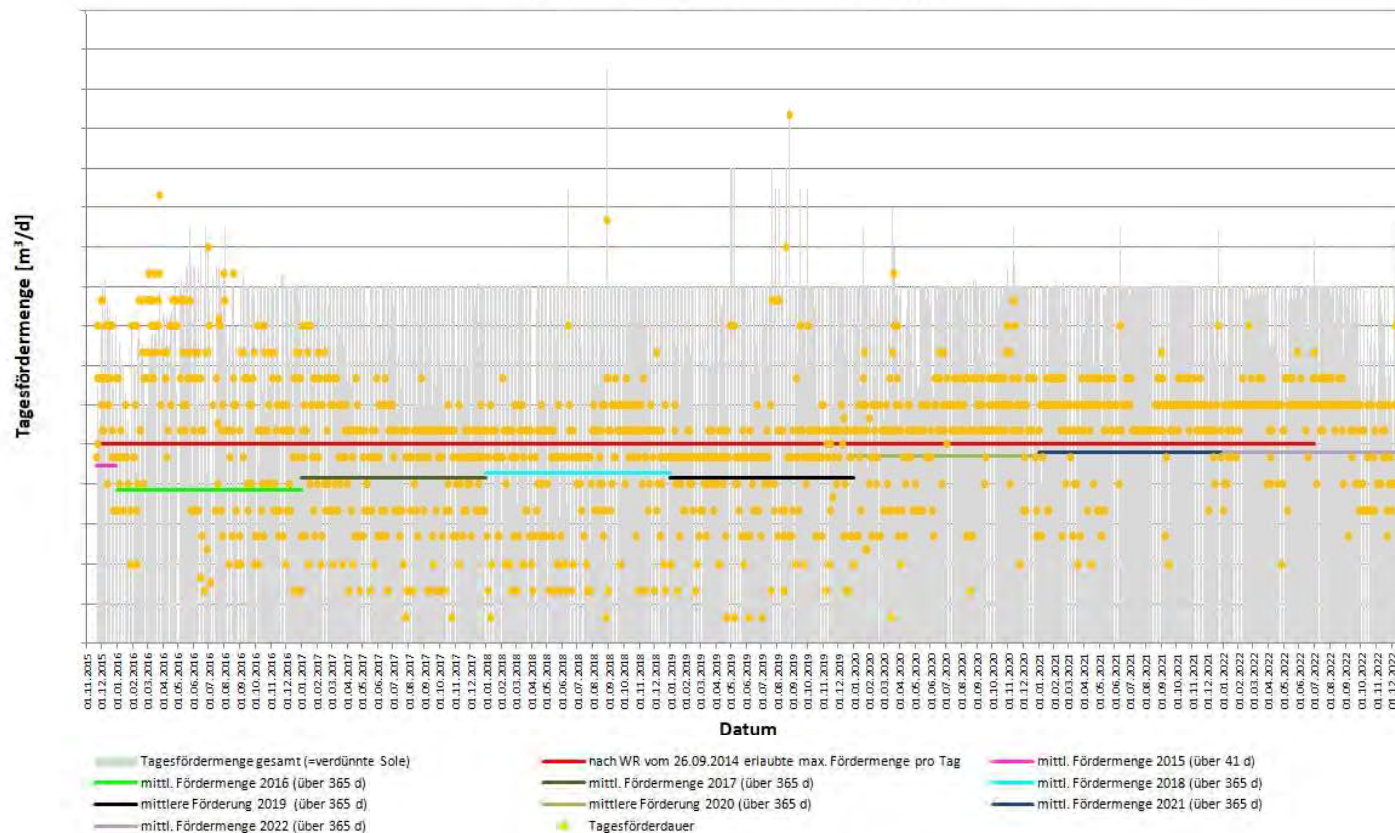


Überwachung / Monitoring seit Betriebsbeginn

Monitoring zum Betrieb der Solebohrung ab 11/2015

Solebohrung - Tagesförderung gesamt (verdünnte Sole) (Daten SSB "Soleförderanlage - Tagesberichte")

- nur unter Nutzung des Einblasstückes bei 400 m -



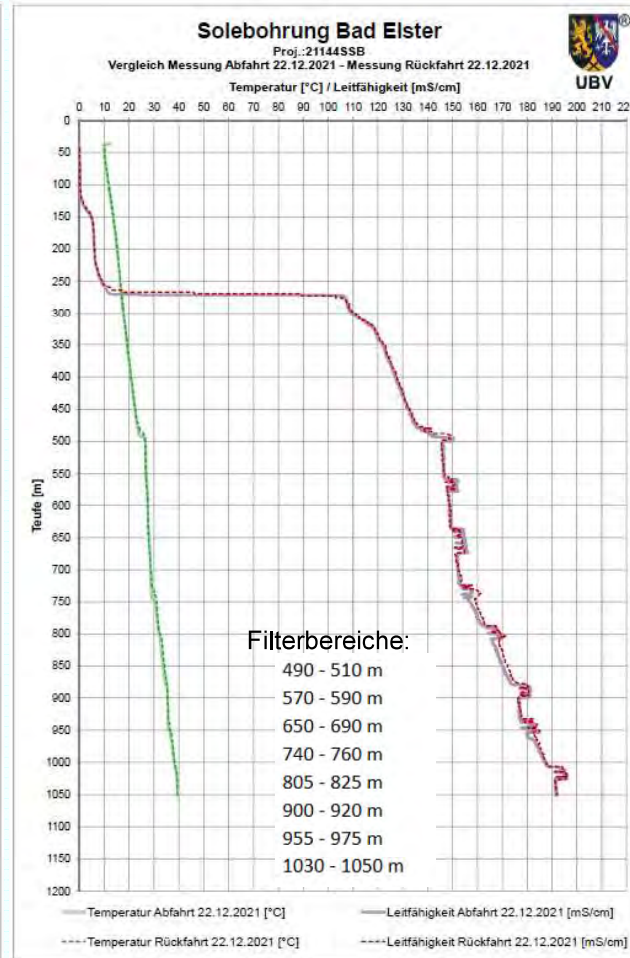
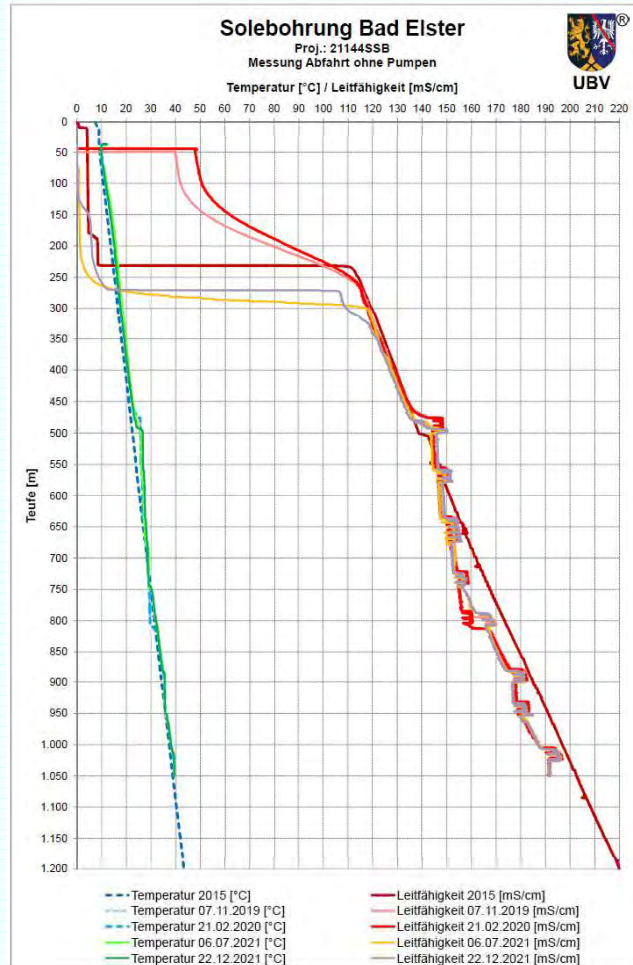
Wasserrechtliche Festsetzung eines **Monitoringprogrammes** nach Menge und Beschaffenheit (Fördermenge, GW-Stände und -Temperaturen, Analytik, Gas):

- Solebohrung
- Grundwassermessstellen
- Heilquellen

Im Zeitraum 2016-2022:

- Mittlere Fördermenge pro Jahr 1.600 m³/a
- Mittlere Fördermenge pro Tag 4,4 m³/d
- davon sind ca. 9 % Zugabe von Klarwasser

Tiefenlotung zur Messung einer pot. „Aussüßung der Lagerstätte“



Messung von Leitfähigkeit und Temperatur während der Abfahrt und Rückfahrt

li.:

Messungen 2015 (vor Inbetriebnahme) und im Zeitraum 2019-2021

re.:

Bsp. Messung 12/2021 mit Ab-/Rückfahrt

Nach 6 Jahren Förderbetrieb:

→ leichte Erwärmung der oberen Bereiche (< 600 m) (ca. 1-2 K)

→ keine signifikante T-Änderung insbes. im unteren Bereich;

→ keine signifikante Änderung im Leitfähigkeits-Profil 2019-2021,

→ d.h. die Sole steigt nach wie vor auf



Gliederung

1. Erkundung
2. Planung / Bau
3. Solegranulatlager – Betriebssicherheit
4. Betrieb

5. Zusammenfassung / Schlussfolgerung

Fazit

- Die Fördertechnik konnte erfolgreich eingebaut und optimiert werden, sie läuft mit Lufthebesystem stabil.
- Es wurde sehr langlebige Materialien ausgewählt, die eine hohe Beständigkeit gegenüber der Sole und dem CO₂ besitzen.
- Das Monitoring belegt bisher keine signifikanten Änderungen nach Menge und Beschaffenheit im Grundwasserhaushalt (incl. Gas).
- Die Kristallisation und Einlagerung von 1 Jahr Sole schafft enorme Sicherheit des Solebadebetriebes im Falle einer erforderlichen Neubohrung.
- Die spezifischen Eigenschaften der Sole erfordern geschultes und engagiertes Brunnen-, Ingenieur- und Bedienpersonal (gegeben bei SSB und seinem Dienstleister UBV).

Die [Heiligen Barbara](#) hat bislang ihre schützenden Hände über die Solelagerstätte, die Brunnen- und Fördertechnik sowie über allen MA(I) gehalten und somit nachfolgenden Generationen Nachhaltigkeit beschert !





„Des Bergmanns Werk –
ist nicht eines Mannes Werk“



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



GLÜCK AUF !

