

Projekt Thermalsole Bad Elster

von der Suche nach Erdwärme zum
Thermalsolebad

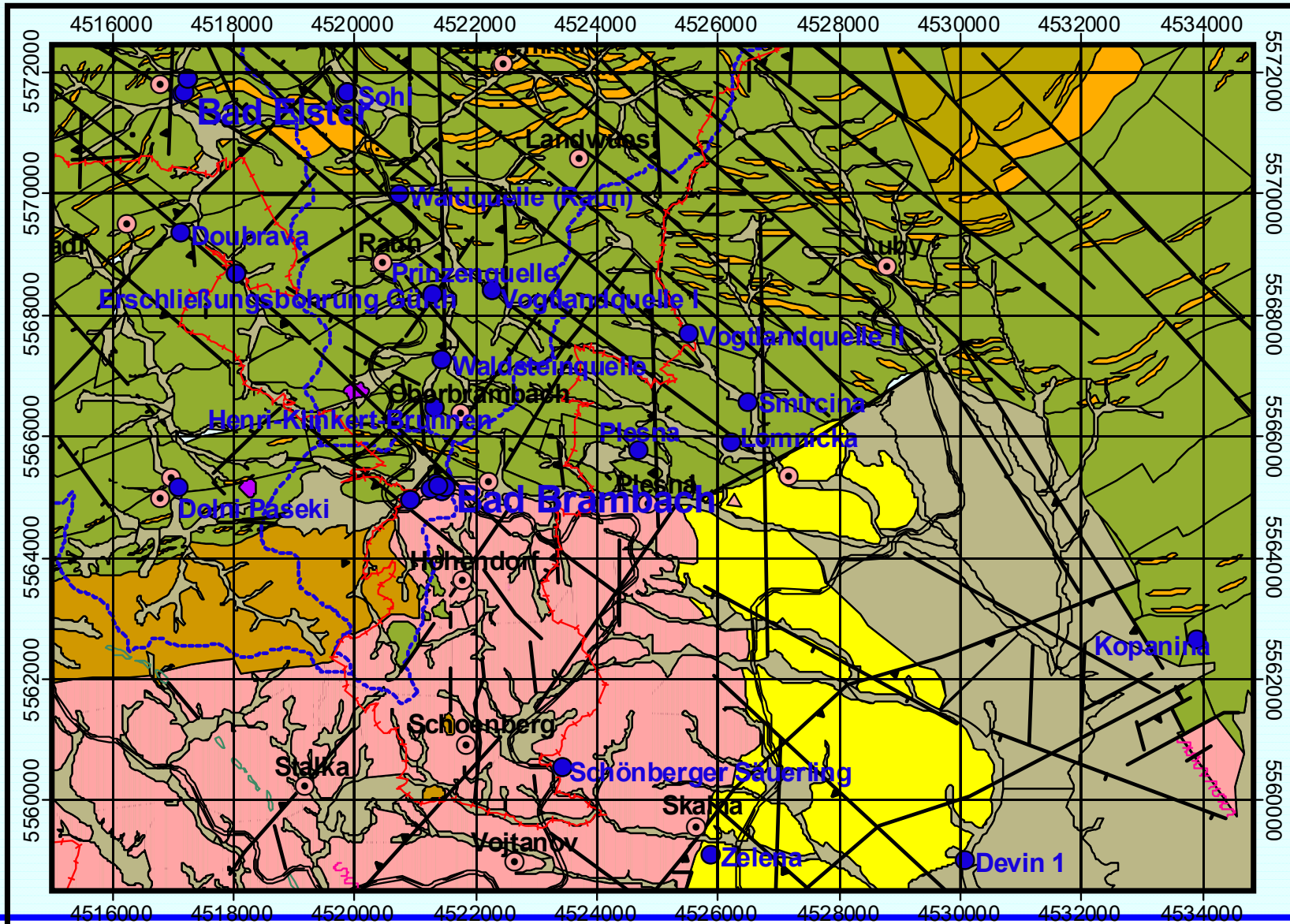
Dr.-Ing. Thomas Daffner

Freiberg, d. 07.04.2016

Grundlage – Geologie Oberes Vogtland

Grundlagen für die geologische Modellbildung zum Festgestein des oberen Vogtlandes und deren hydrogeologische Interpretation

- Umfangreicher Fundus an Punktdaten:
 - 339 Bohrungen und 75 natürliche Aufschlüsse
 - sehr unterschiedliche Erkundungstiefe und Qualität
- Zusammenstellung, Auswertung und Synthese von Flächendaten
- Präzisierung der Geologische Modellbildung wurde erst möglich mit der Öffnung der Archive sowie intensiver Zusammenarbeit mit tschechischen Fachkollegen
- Nachfolgenden Auszüge stammen aus dem Abschlußbericht des Heilquellenschutzprojektes an dem sehr intensiv das ehem. STUFA, die Gebietsgeologie am STUFA Plauen und das LfUG mitgewirkt haben (Hr. Berger, Dr. Riedel, Dr. Wenzel, Herr v. Derschau, Frau Zweig)



Lithostratigraphischer Aufbau

- Vogtländische Synklinorium:
 - Gneise, Glimmerschiefer und Phyllite
 - Norden abnehmender Metamorphosegrad
- Fichtelgebirgs-Antiklinale:
 - Orthogneis von Selb-Mokriny
 - spätvariszische intrudierter Fichtelgebirgsgranit
- Cheb-Becken
 - Untergrund Kristallin
 - ca. 300 m mächtigen tertiären Sedimentfolge



Hydrogeologische Eigenschaften

- Grundwasserführung auf Trennflächen konzentriert
- abnehmendes Alter und Metamorphosegrad
⇒ Verschlechterung der geohydraulischen Eigenschaften
- Im phyllitischen Bereich Wasserwegsamkeit
 - quarzitische Einschaltungen
 - hydrothermale Quarzgänge (Mineralwasseraufstieg in Bad Elster)

Parametermodell (erste Ansätze)

Pumpversuchsauswertung:

BBMQ

Heilquellen

TW-Brunnen ZWAV

Hydrogeolog.

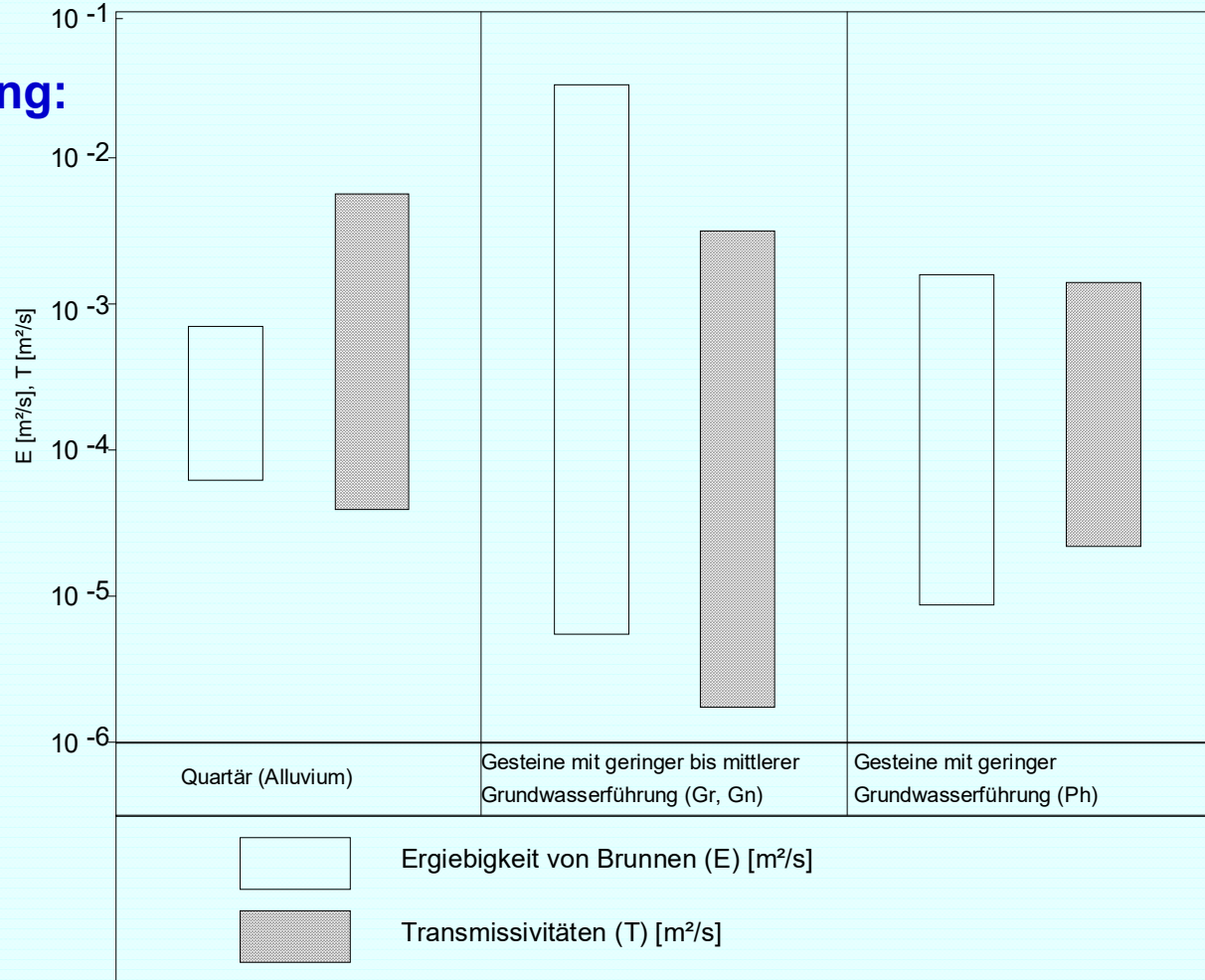
Kreisgutachten

E m³/s/m Absenkung

(Entnahmerate/je 1m Absenkung)

Gebirgsdurchlässigkeit

Kf Wert integr. durch Mächtigkeit

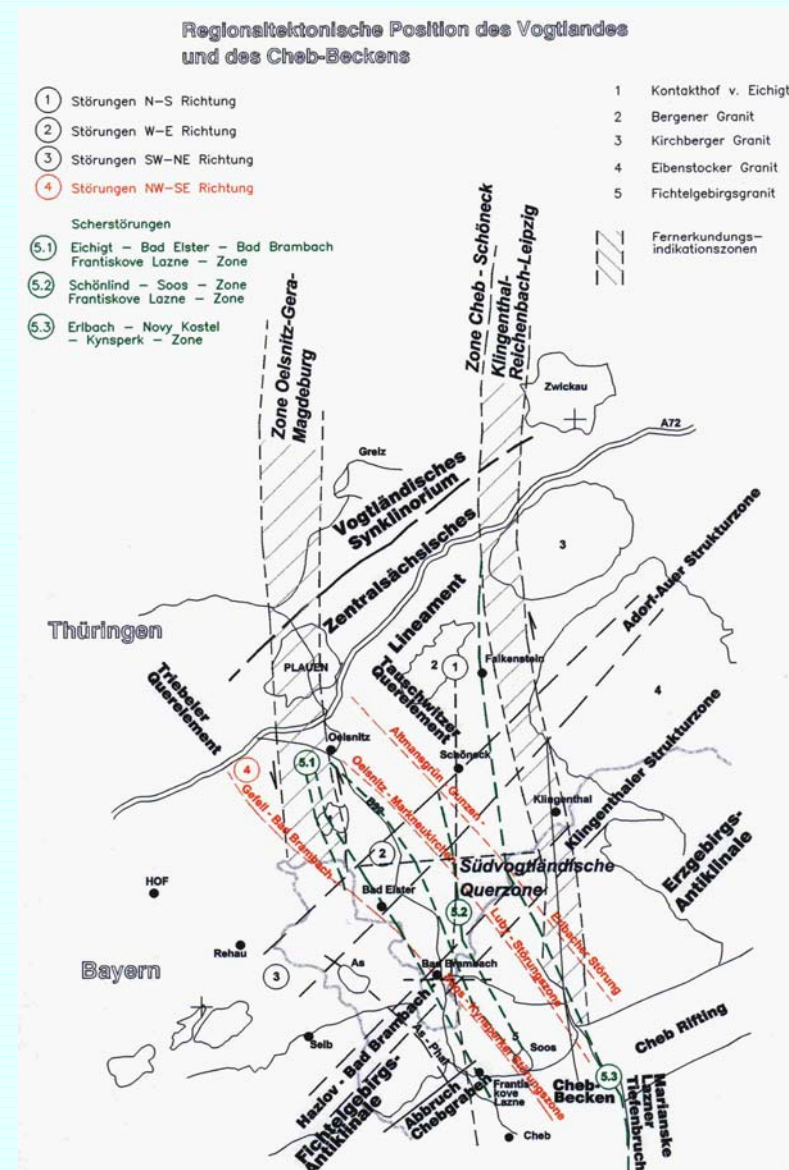


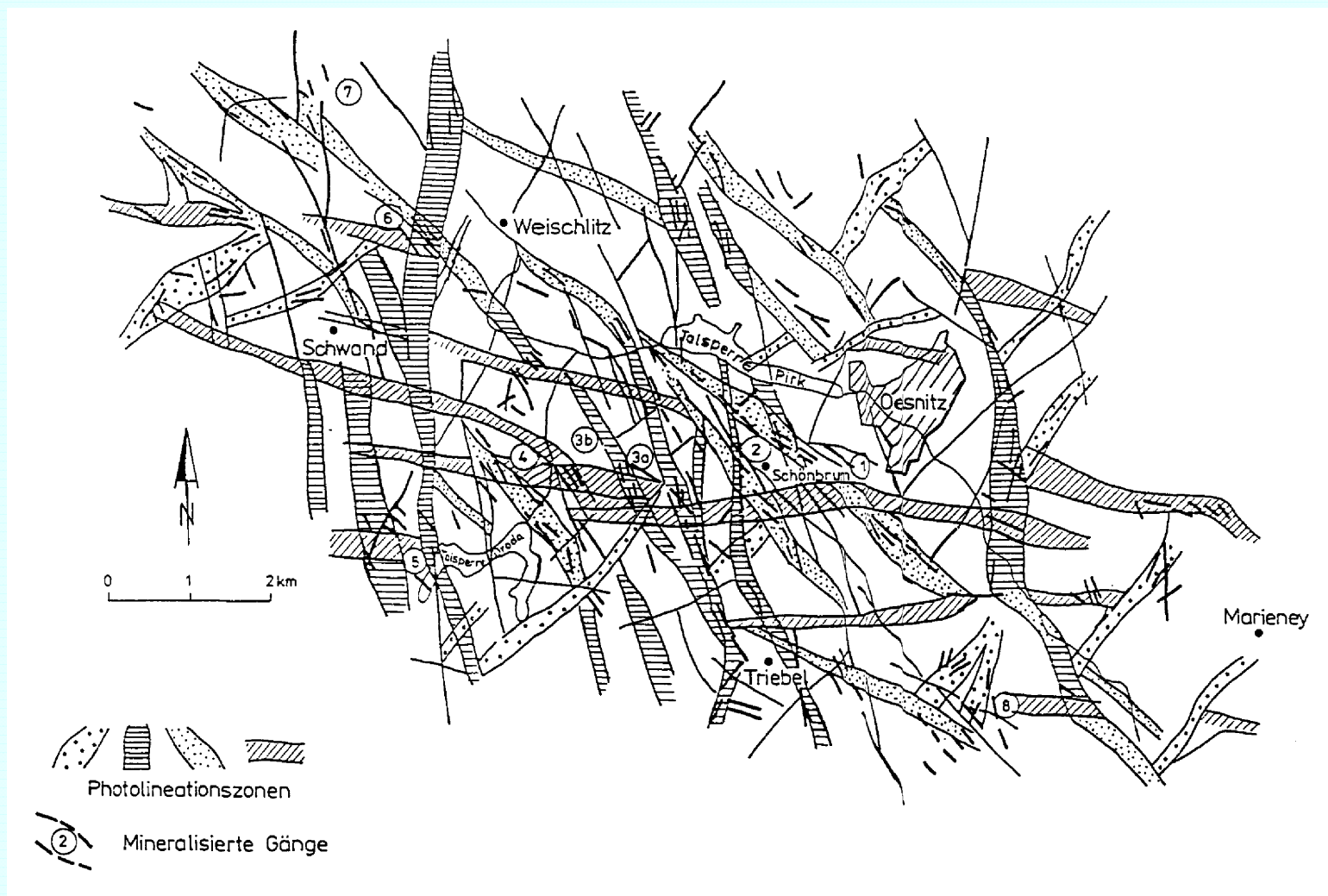
Geohydraulische Parameter in den lithostratigraphischen Einheiten

Tektonik

- Vielzahl von geologischen und tektonischen Prozessen vom Präkambrium bis rezent führten zu außergewöhnlich komplizierten Lagerungsverhältnissen im Oberen Vogtland und Cheb-Becken
- regionale Störungszonen mit großer Tiefenwirkung
- Aktivierung durch jüngere Prozesse (Staffelbrüche, Verkippungen, Schollenbildung und -verstellung ...)
- Scherstörungen

Richtung	Vorherrschende Ordnungen		
	Hauptstörungen	Nebenstörungen	
N - S	R1	R2 - R4	L1 - L4
E - W	R1	R2 - R4	L1 - L4
SW - NE	-	R2 - R4	L1 - L4
NW - SE	R1	R2 - R4	L1 - L4
NNW – SSE	-	-	L1 - L4 (häufig als Scherstörungenssysteme)



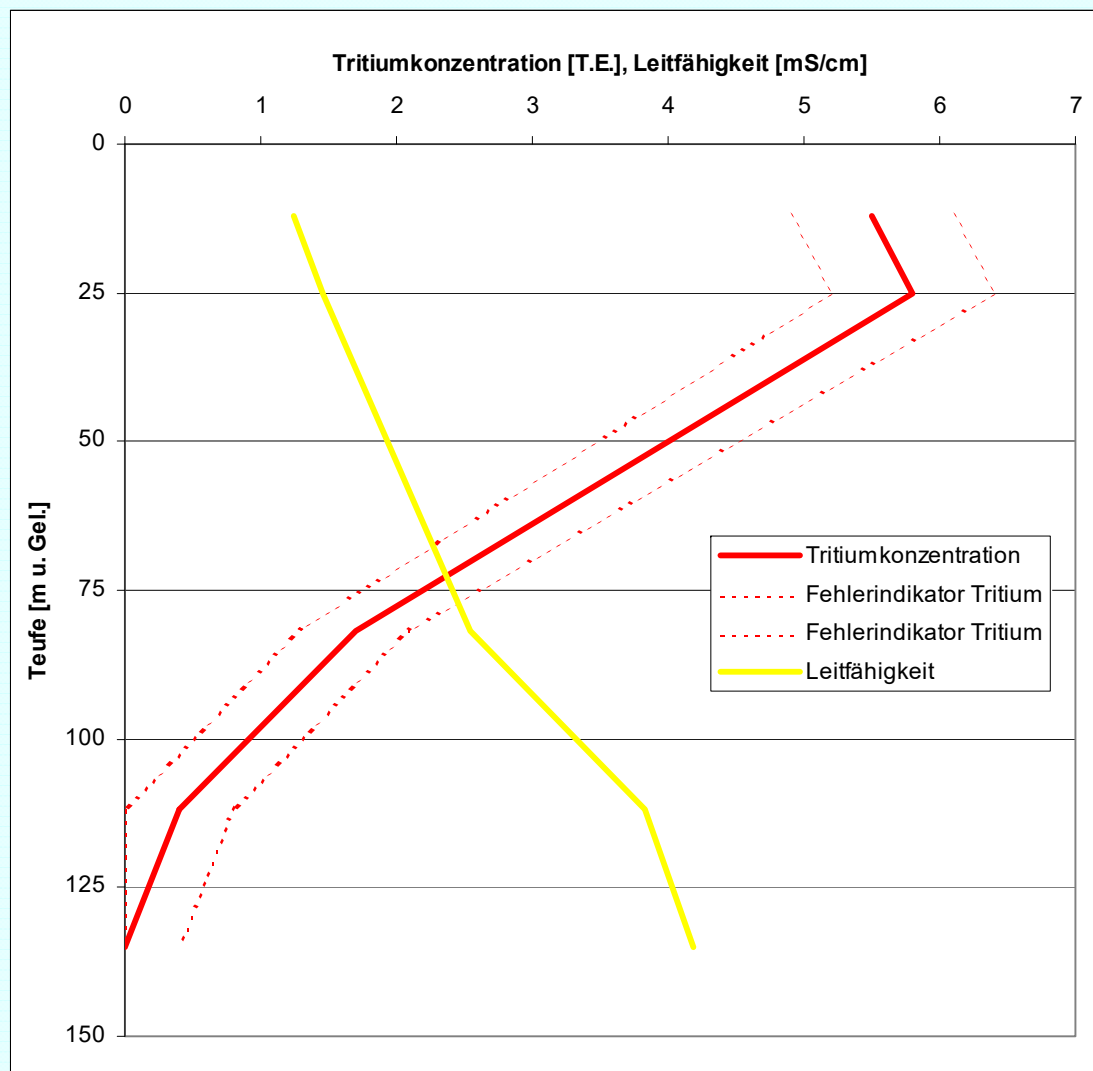


Photolineationszonen \Rightarrow wirksame Breite der tektonischen Elemente

Quelle: Kuschka, E. & Hahn, W. 1995

Herausragende Rolle – steilherzyne Scherstörungen

- Lage im Bereich im Bereich alter, neu aktivierter Tiefenbrüche,
- Hydrothermale Bildungen (Quarzgänge in steilherzyner Ausrichtung nachgewiesen, Stumm, 1993a-b) mit erhöhten Sprödigkeit der umgebenden Gesteine \Rightarrow Begünstigung wasserwegsamere Klüfte.
- Analogieschluß: In den Fluoritlagerstätten des Oberen Vogtlandes (Kuschka, E. 1989a u. Kuschka, E. 1989b) sowohl für die Wasserzutritte als auch für die Vererzungen die steilherzynischen Scherstörungssysteme als Ursache herausgearbeitet.
- Tiefenwirkung begünstigt den Aufstieg von juvenilen Gasen, insbesondere $\text{CO}_2 \Rightarrow$ Alteration der Festgesteine infolge Aggressivität (rezente Aufschlüssen an der Umgehungsstraße von Bad Brambach und aufgelassenen Kiesgruben)
- Epizentren der vogtländischen Schwarmbeben ist in steilherzynischer Richtung angeordnet (vgl. Schneider, G. & Bankwitz, P. 2000).
- Geothermiemessungen
- Lage der Mineralquellen des Oberen Vogtlandes
- Die Quellspalten der Wetzinquelle zu Bad Brambach und der Thermalquelle in Karlo Vyvary und von Mar. Lazne (Stumm, A. 1993, Vylita, B. 1985) steilherzyne Orientierung.
- Geohydraulische Testergebnisse der Brambacher Sprudel GmbH & Co.



Tritium- und Salinitätsprofil \Rightarrow stark abnehmender Wasseraustausch

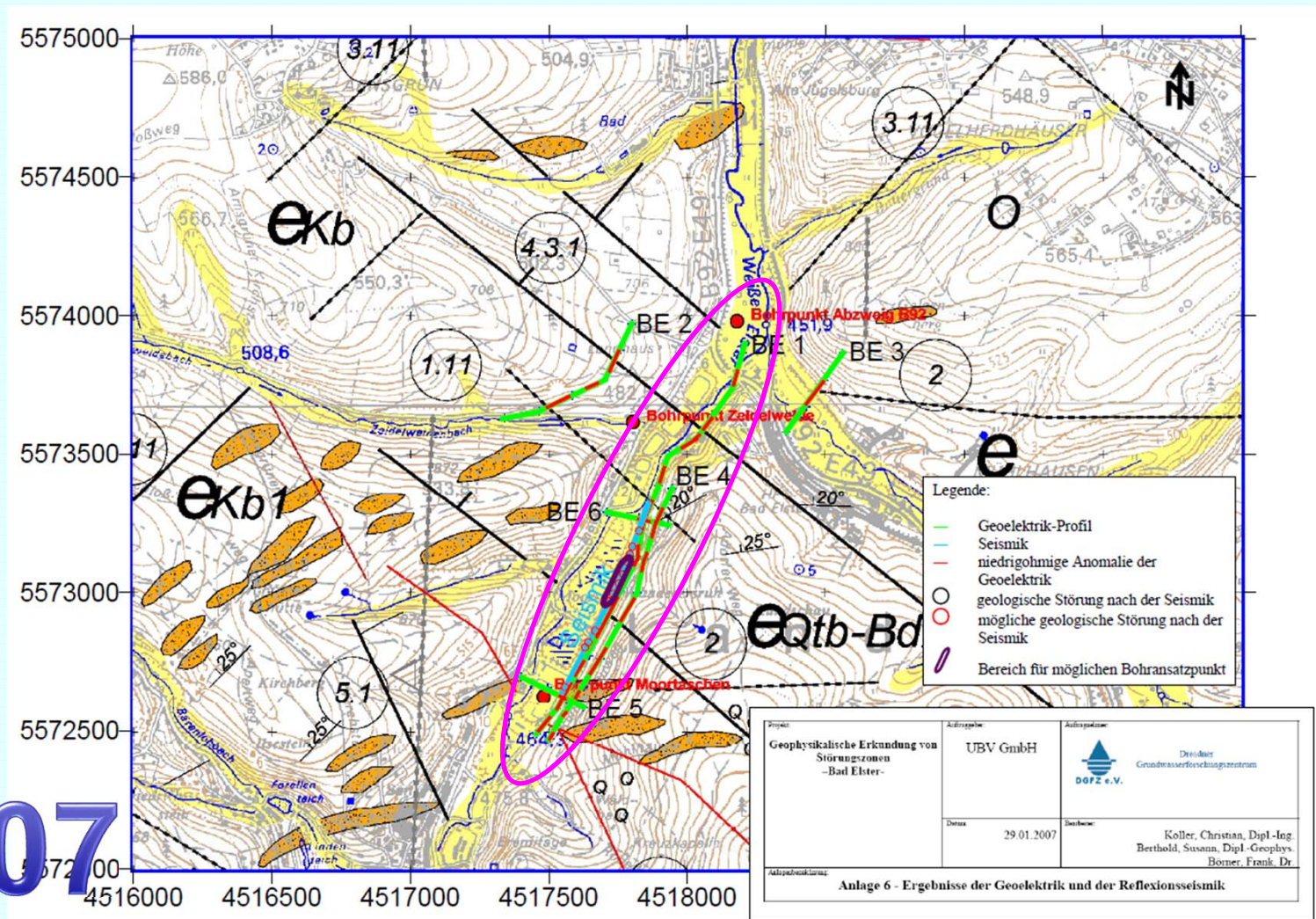
Schlussfolgerung Genese Oberes Vogtland

- Bildungsgebiete für die Heil-/Mineralwässer werden fast ausschließlich durch die Grundwasserfließwege des Infiltrationszyklus geprägt
⇒ Schutzzonenausgrenzung
- Heil- und Mineralwässer des Oberen Vogtlandes endliche Ressource bzw. Ergebnis sehr langsam ablaufender Prozesse.
⇒ sehr sensible Mengengewirtschaftung
- Konzentration des Grundwasserfließgeschehens auf eng begrenzte Kluftsysteme

Ausgangssituation zum Erkundungsstart

- SSB beabsichtigte Erkundung und Erschließung von Sole ausschließlich zu geothermalen Zwecken, aber das Alleinstellungsmerkmal der Sole eröffnete neue Horizonte
- Standortauswahl mittels Exploration (geophysikalische Erkundung von Störungszonen)
- Beginn Erkundungsbohrung im Bereich der Moortaschen **2007** – Hy ErOV 2/2007

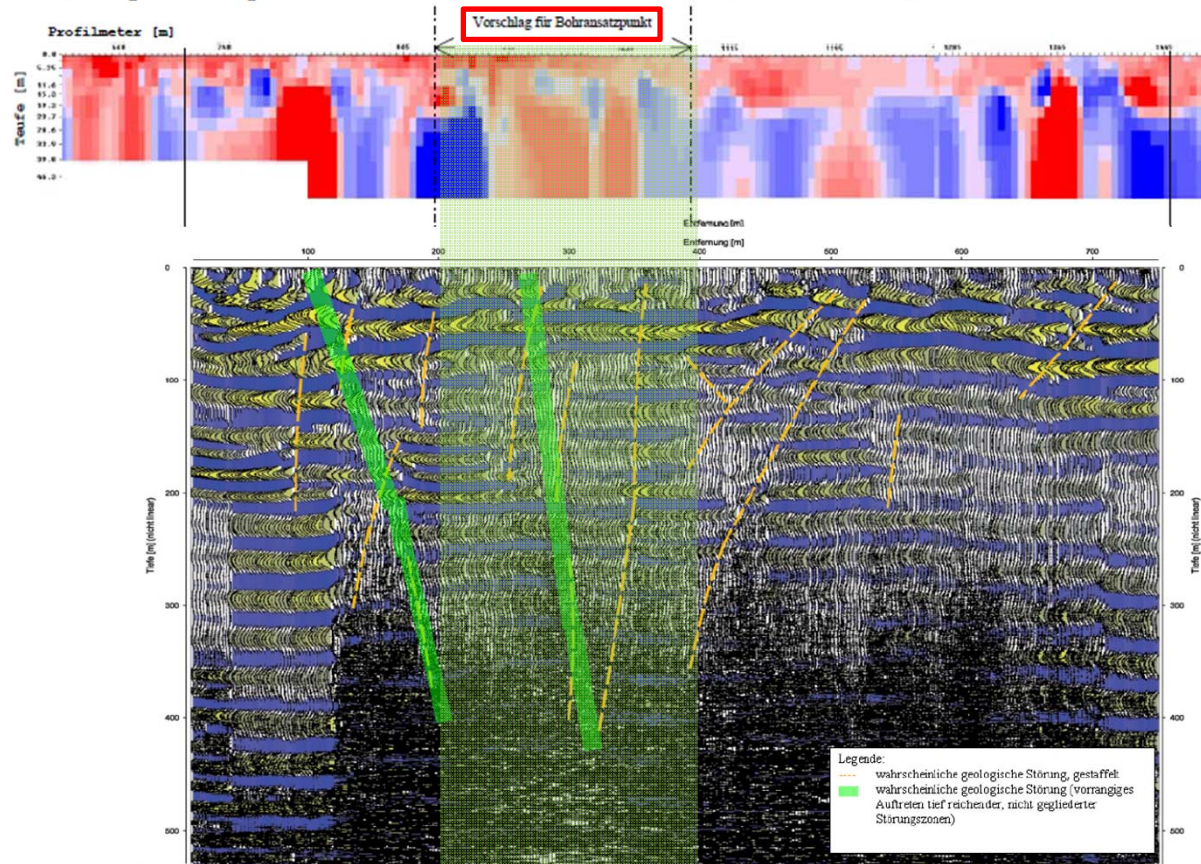
Explorationsgebiet und Ergebnisse



2007

Explorationsgebiet und Ergebnisse

Komplexinterpretation: Seismik und Geoelektrik, Profil BE 1 (Profilmeter 710 bis 1450)



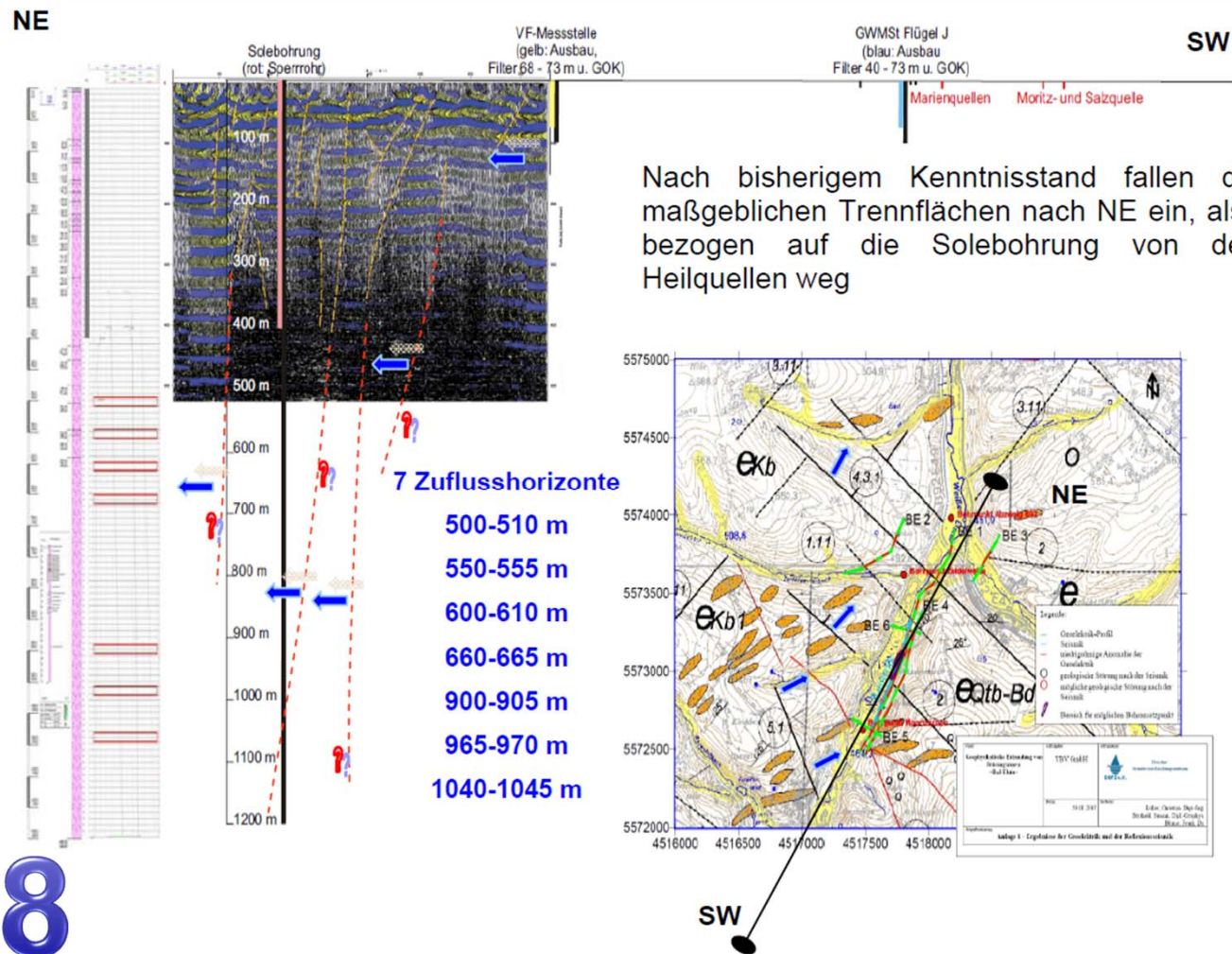
- mehrere niederohmige Anomalien, die von E-W, NW-SE streichenden Störungen oberflächennah verursacht sein können
- Anomalien besitzen Breiten von 20 – 100m und fallen überwiegend steil ein (ca. 60° - 85°)
- es existieren weiterhin auch nach N bzw. S einfallende Störungen
- Bereiche mit teils sehr hohen Widerständen, resultieren wahrscheinlich durch geringgeklüfteten Quarzit
- Korrelation mit bereits vorhandenen Informationen aus geol. Karte, aber auch neue Störungen

Bohrarbeiten



2008

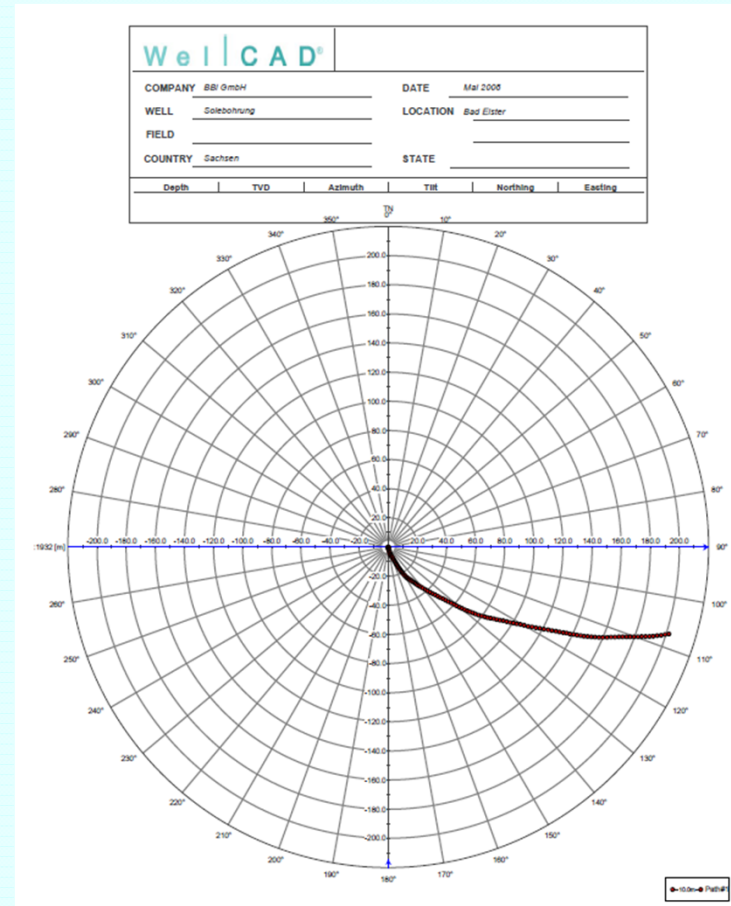
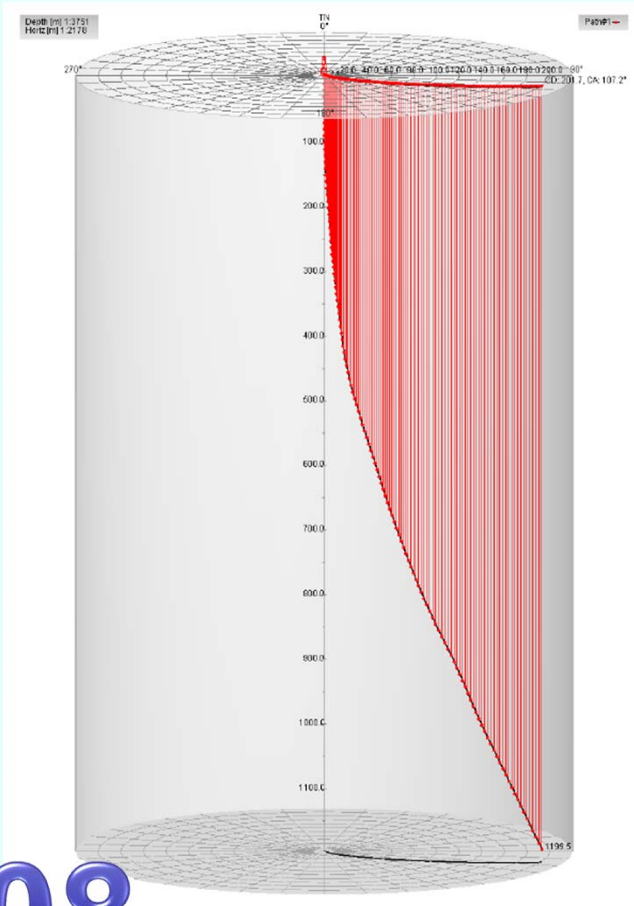
Ergebnisinterpretation nach Bohrvorgang



Nach bisherigem Kenntnisstand fallen die maßgeblichen Trennflächen nach NE ein, also bezogen auf die Solebohrung von den Heilquellen weg

2008

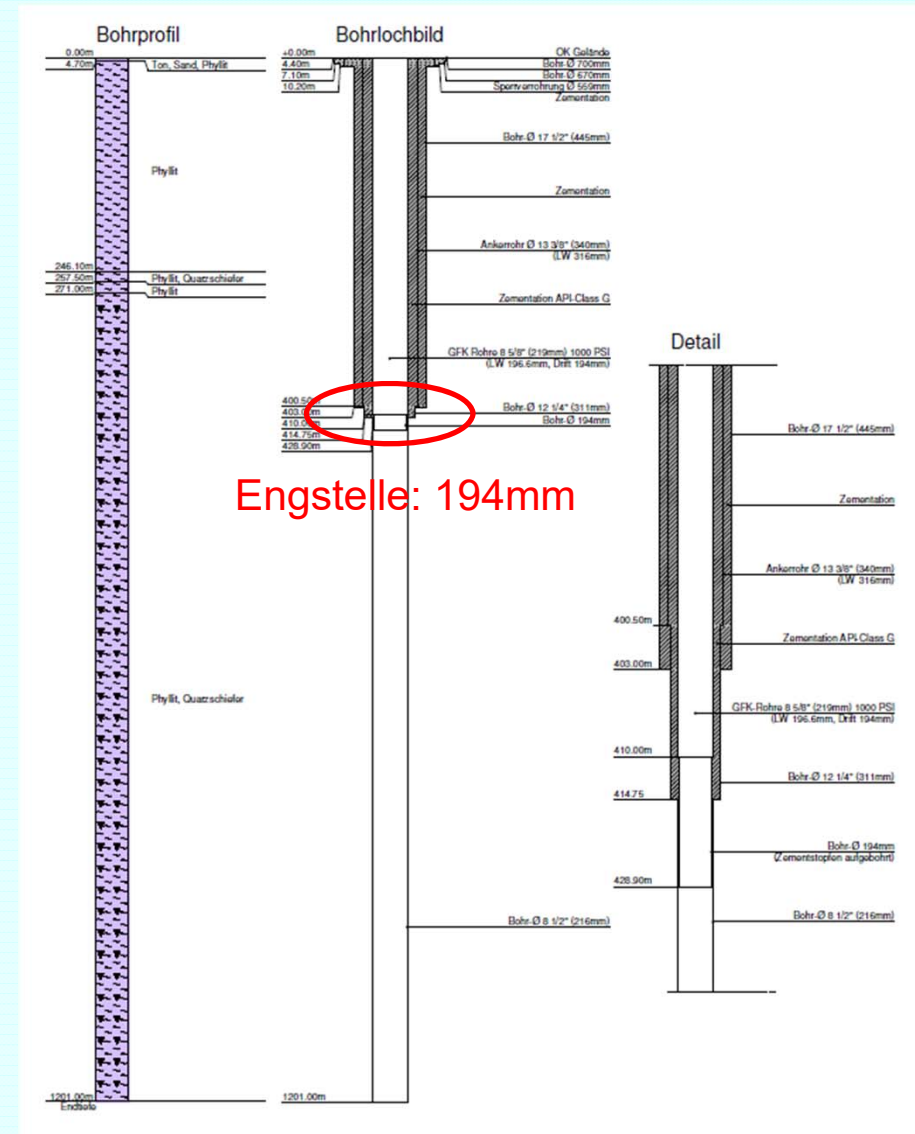
Bohrlochabweichung



2008

Ausbauzeichnung

- Endteufe 1201m u GOK
- Enddurchmesser: 216 mm
- Sperrrohr Ø 340mm bis 400m u GOK
- 2012 erfolgte Inlinersicherung mit GFK-Verrohrung bis 410m u GOK, Zementstopfen bis 428,9 m u GOK
- Daten limitierender Durchmesser:
 - Ø_{nominal} 8 5/8“ (GFK),
 - Ø_{innen} 196,6 mm (GFK)
 - Ø_{min} 194 mm (aufgebohrt)



Engstelle: 194mm

2008

Kristallisationsproblematik bei 1. PV mit E+ M



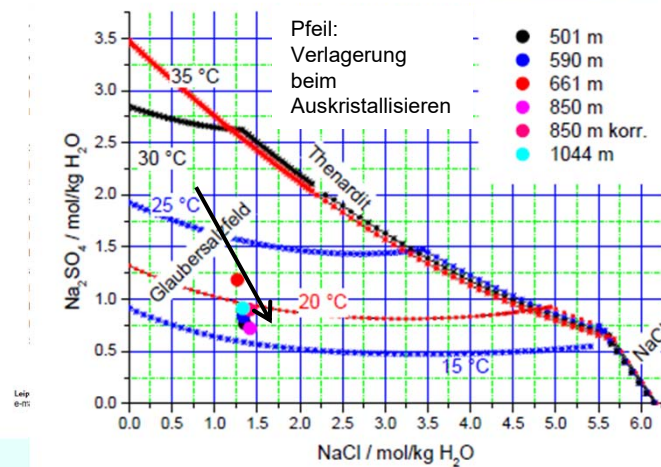
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERGAKADEMIE FREIBERG

Institut für Anorganische Chemie
Prof. Dr. Wolfgang Voigt

Umweltbüro GmbH Vogtland
Hauptplatz Weischlitz
Thossener Straße 6
D-08538 Weischlitz
Tel.: +49 37436-912-0
Fax: +49 37436-912-20
Email: ubv.weischlitz@t-online.de
Herr
Dr. Dalfner

Freiberg, den 18.7.2008

Gutachten zur Salzproblematik in der Tiefbohrung Bad Elster



Lage der Solezusammensetzung der Proben P1 bis P5 im Löslichkeitsdiagramm Na₂SO₄ – NaCl – H₂O



2008

- 2 Möglichkeiten zur Vermeidung**
- Temperatur >25°C
 - Verdünnung 10-15%

Langzeitpumpversuch

2009



Verschraubservice



BE (Bier-Einsammler)
von NBB



Brunnenkopf von unten



Fertiger Einbau der
Rohre



„Lehrling“ von Netzsch
(sitzend) bei der Kontrolle



Fertig aufgebaute Pumpe



Pumpenhaus-
Provisorium



Umhauste Pumpe



Aktion Teichablass



Aktion Fischfang



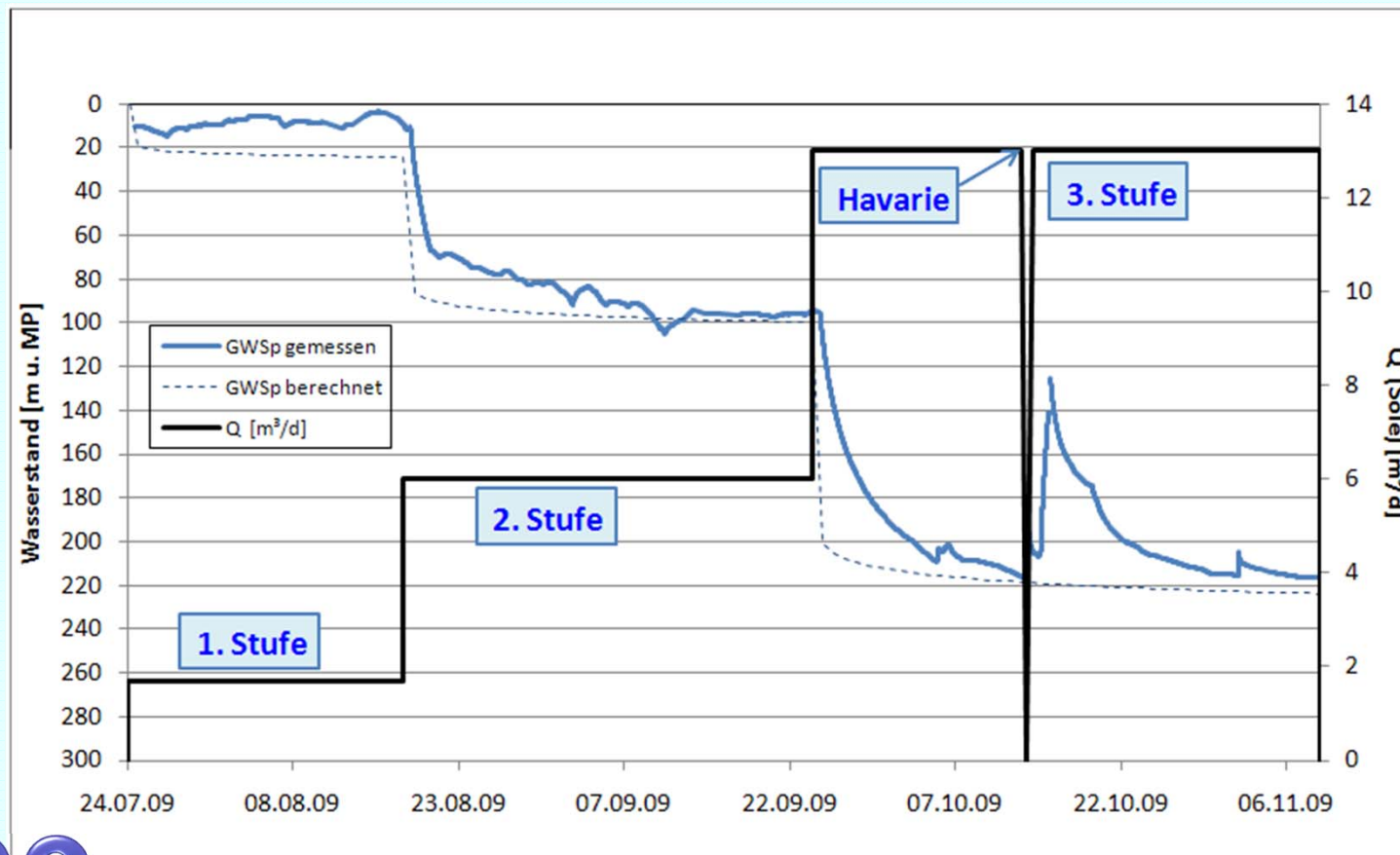
Versalzen einer Söffel



Salzausblühungen an Pumpe

Langzeitpumpversuch

Auswertung des Pumpversuches



2009

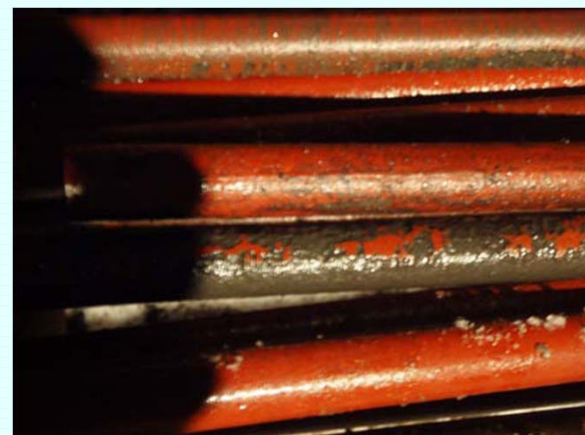
Zeitlicher Verlauf der Absenkung und Fördermengen

Langzeitpumpversuch – Ausbau Technik



Materialbeschaffenheit nach PV

*Zustand der Steigleitung nach
Abschluss des Pumpversuchs*



Zustand des Antriebgestänges nach Abschluss des Pumpversuches

Materialbeschaffenheit nach PV

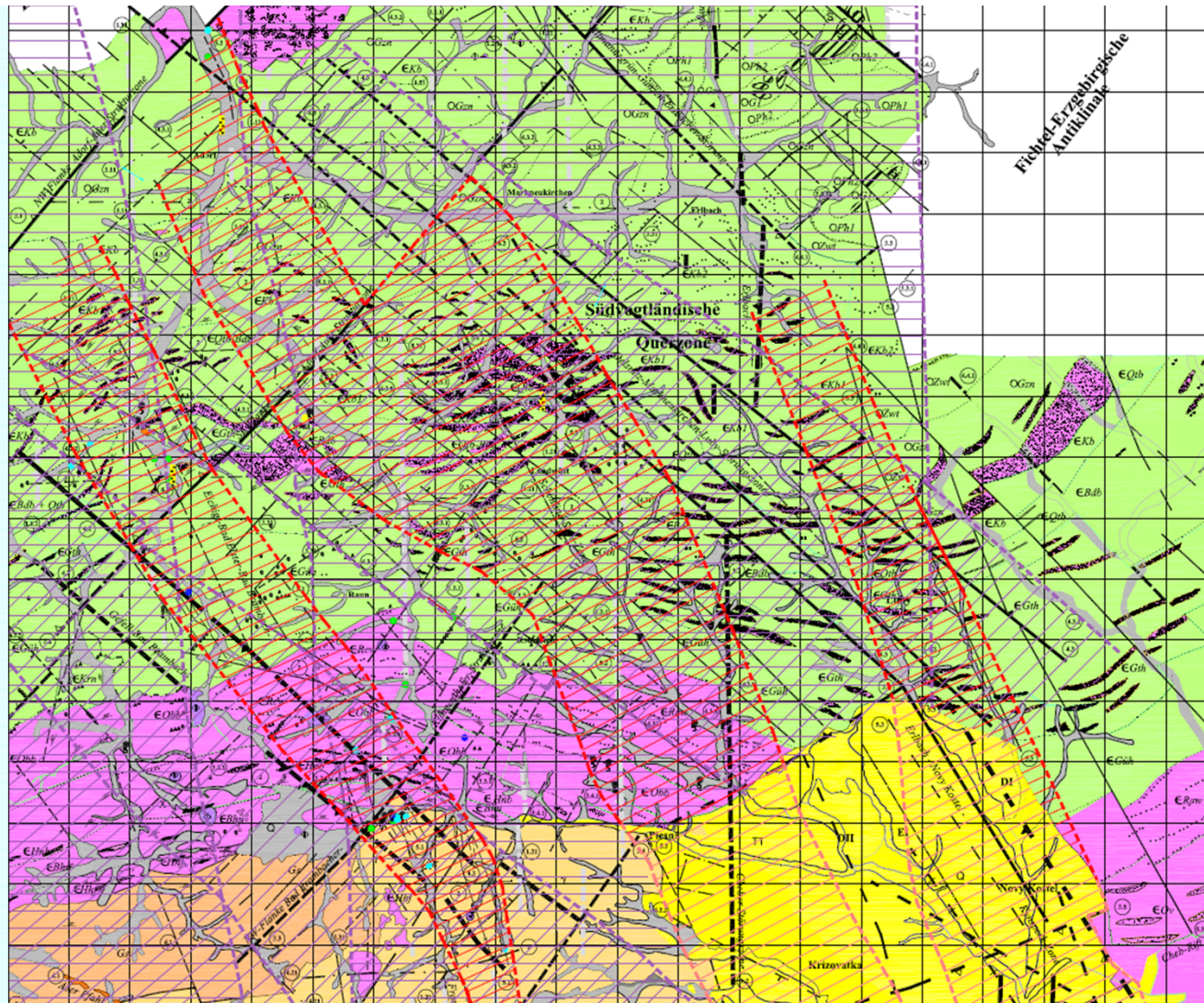


Salzausblühungen an der Pumpe nach Abschluss des Langzeitpumpversuchs

Exzentrerschnecke der Pumpe nach Pumpversuch mit beginnendem Lochfraß



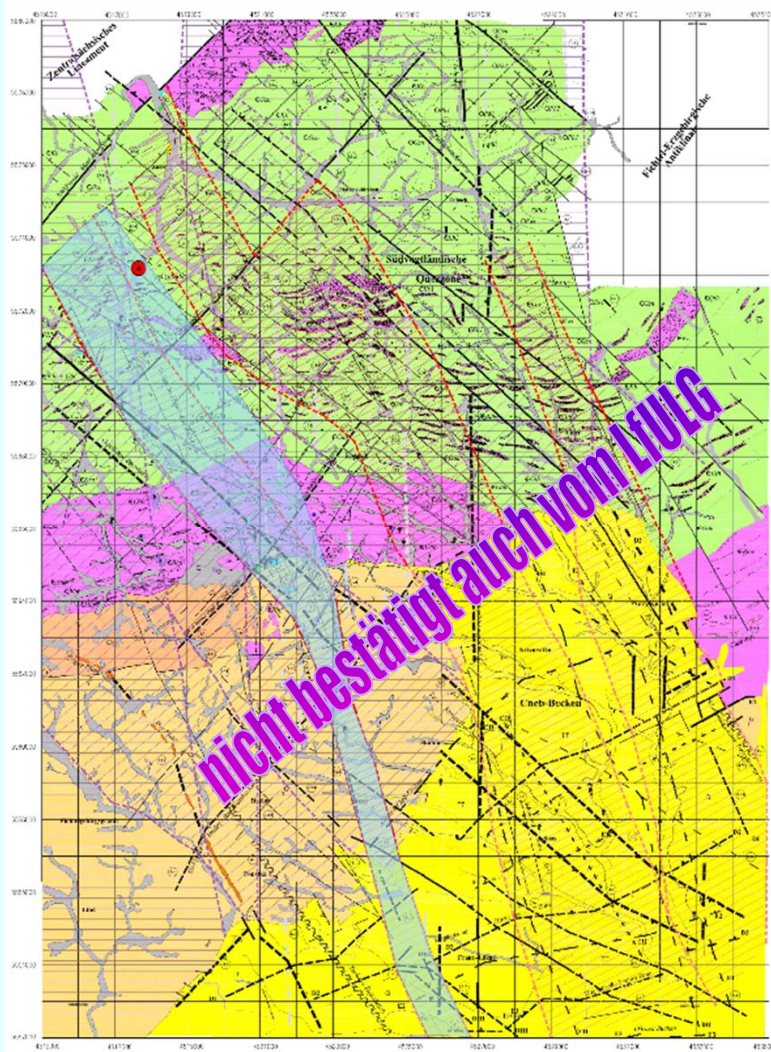
Hydrogeol. Karte – Grdl. Lagerstättenausgrenzung



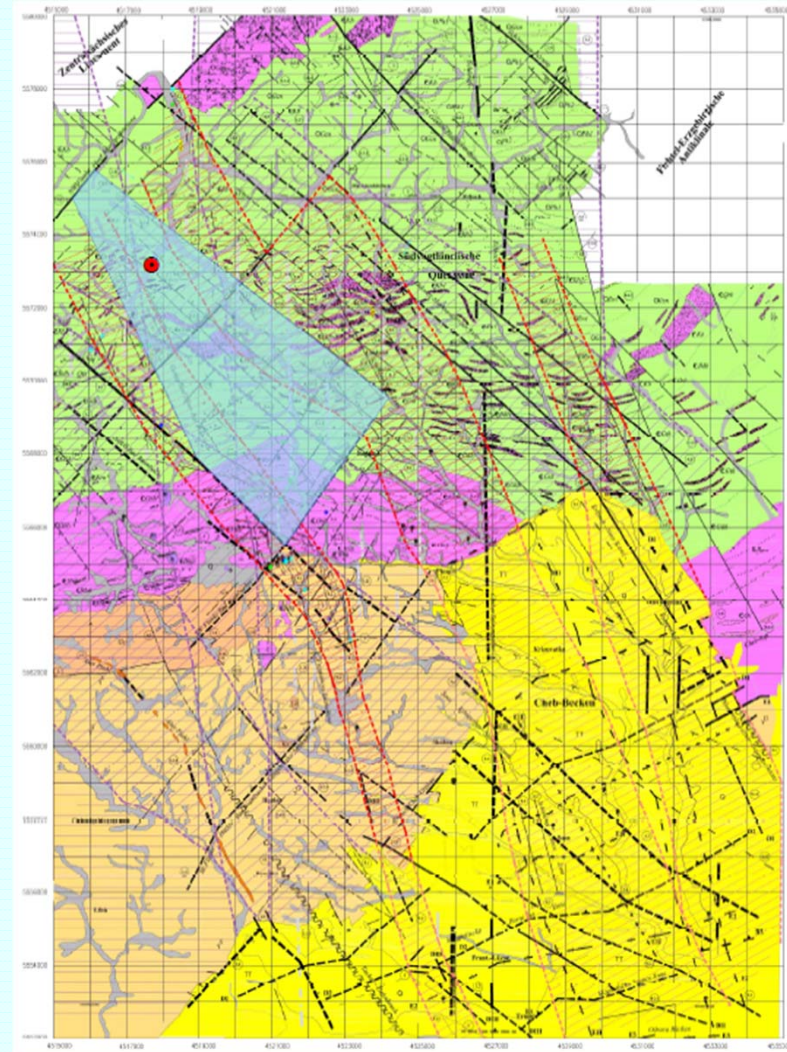
- Mächtige quartäre und tertiäre Lockergesteinsgrundwasserleiter des Chab Beckens
- Kluftgrundwasserleiter**
- Magmatisches Gestein mit geringer bis mittlerer Grundwasserführung-Fichtelgebirgsgranit (Stütgrundwasser)
- Metamorphe Gestein mit geringer bis mittlerer Grundwasserführung-Paragneis, Glimmerschiefer, Quarz
- Wenig metamorphe Gesteine-Phyllite, geringe Grundwasserführung
- Metagranitoid (Orthogneis von Seib-Makritz) (ohne Kenntnisse zur Wasserwegbarkeit) Nutzung wie Gneis
- Fächennähen gem. Geologischer Karte (vgl. Anlage 2)
- Tektonische Elemente mit Bedeutung für die Grundwasserführung**
- Nord-Süd-gerichtete tektonische Elemente (N₁-N₂-Störungen)
- Nord-Süd-gerichtete tektonische Elemente (N₁-N₂ und L₁-L₂-Störungen-Abschiebungen)
- Nord-Süd-gerichtete tektonische Elemente (N₁-N₂ und L₁-L₂-Störungen-Abschiebungen)
- Stollherzynische Elemente im Kristallin (Scherstörungszone)
- Stollherzynische Elemente im Chab-Becken
- Schichtflächen (SS) (Streichen und Einfälle)
- Bewegungsrichtung an den Bruchzonen (Schritte)
- Schieferungsflächen (S) (Streichen und Einfälle)
- Regionale Störungen >100 km (R1), sicher (mit Richtung der Abschiebung)
- Regionale Störungen >100 km (R1), unsicher (mit Richtung der Abschiebung)
- Regionale Parallelstörungen >100 km (R1-R4), sicher (mit Richtung der Abschiebung)
- Regionale Parallelstörungen >100 km (R1-R4), unsicher (mit Richtung der Abschiebung)
- Tiefenbrüche in der CS (R1) = Regionale Störungen
- Regionale Störungen bis 100 km (R3-R4), sicher (mit Angabe der Richtung der Aufschiebung)
- Regionale Störungen bis 100 km (R3-R4), unsicher (mit Angabe der Richtung der Aufschiebung)
- Regionale Störungen bis 100 km (R3-R4), sicher (mit Angabe der Richtung der Aufschiebung)
- Regionale Störungen bis 100 km (R3-R4), unsicher (mit Angabe der Richtung der Aufschiebung)
- Lokale Störungen bis 50 km (L1-L4), sicher (mit Angabe der Richtung des Einfalles)
- Lokale Störungen bis 50 km (L1-L4), unsicher (mit Angabe der Richtung des Einfalles)

Modell Lagerstättengeometrie

Nr. 1

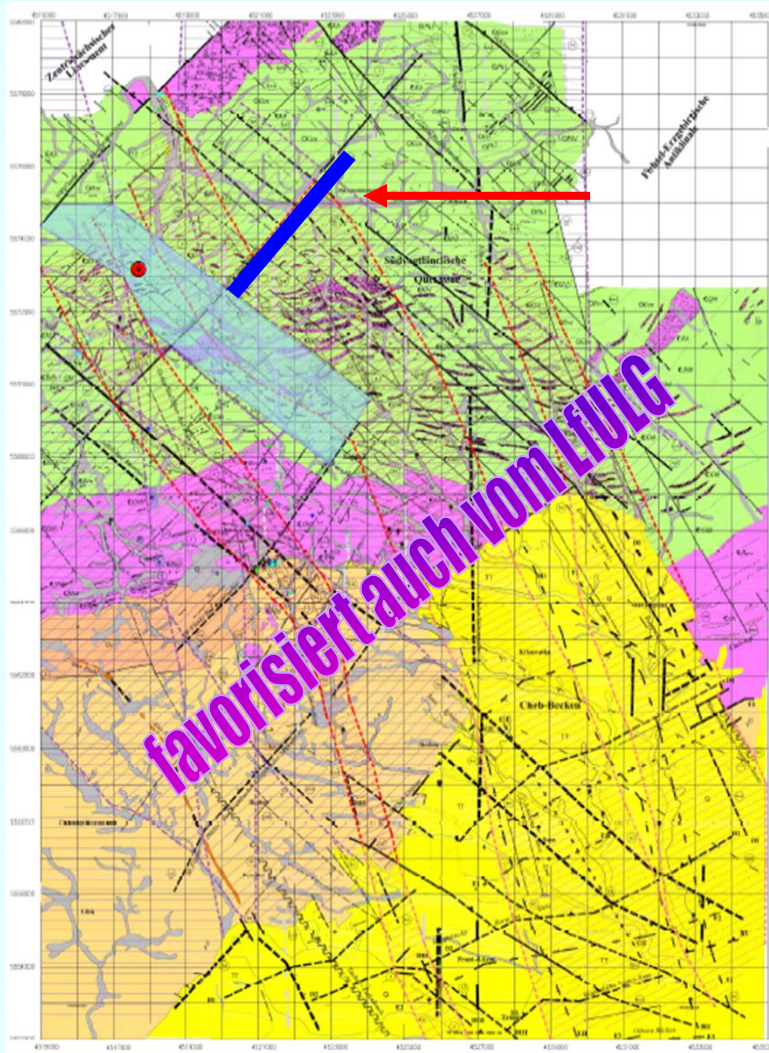


Nr. 2

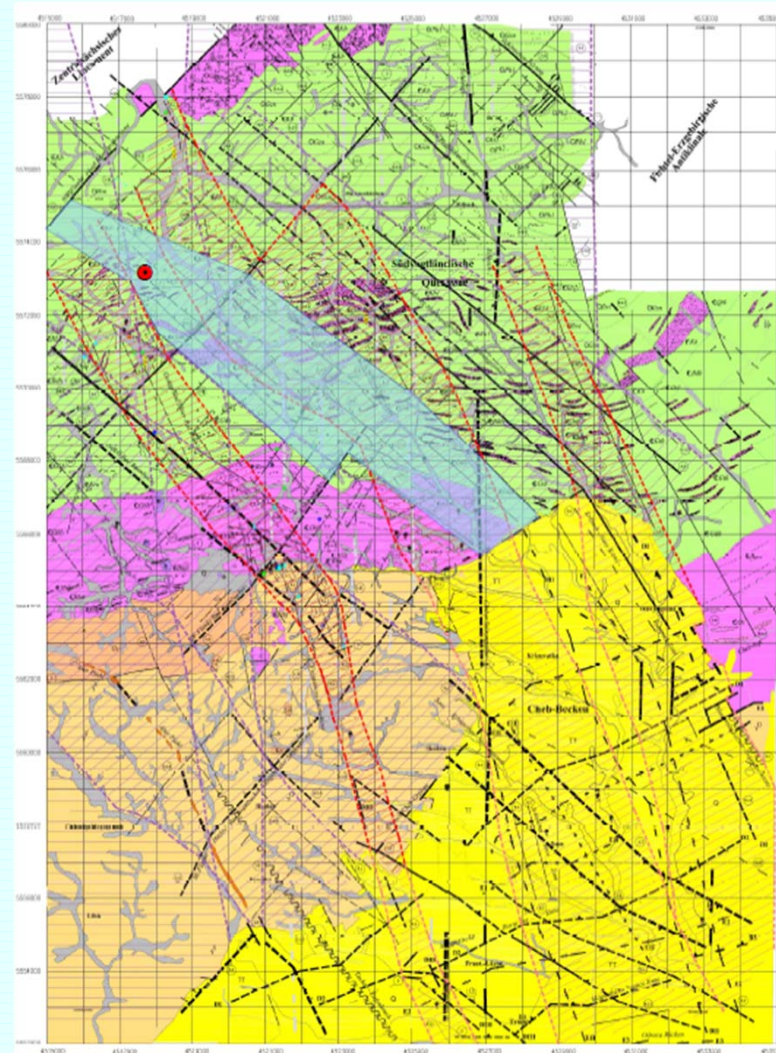


Modell Lagerstättengeometrie

Nr. 3



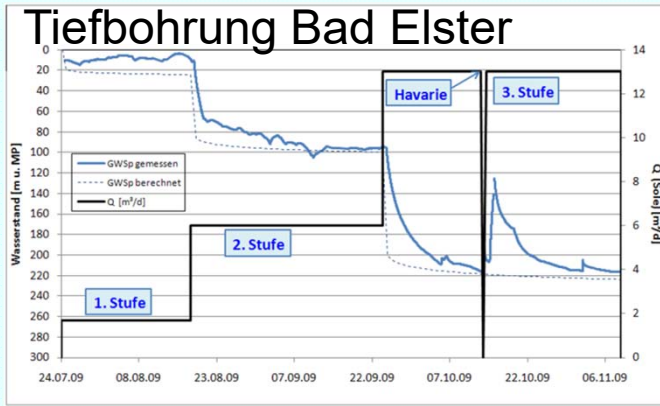
Nr. 4



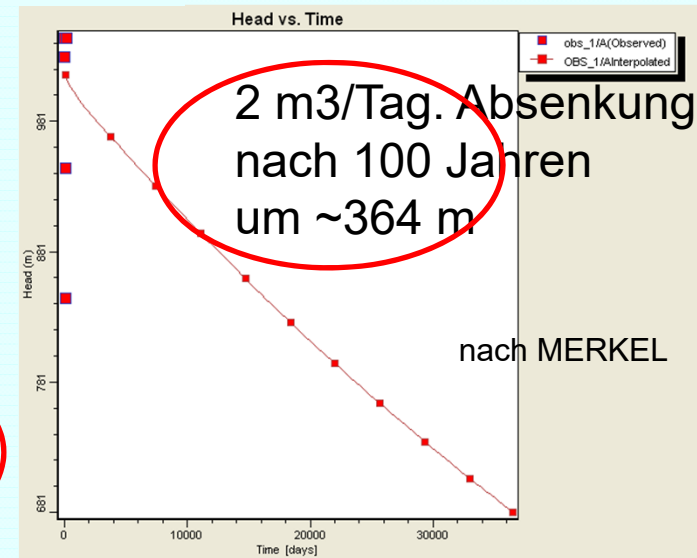
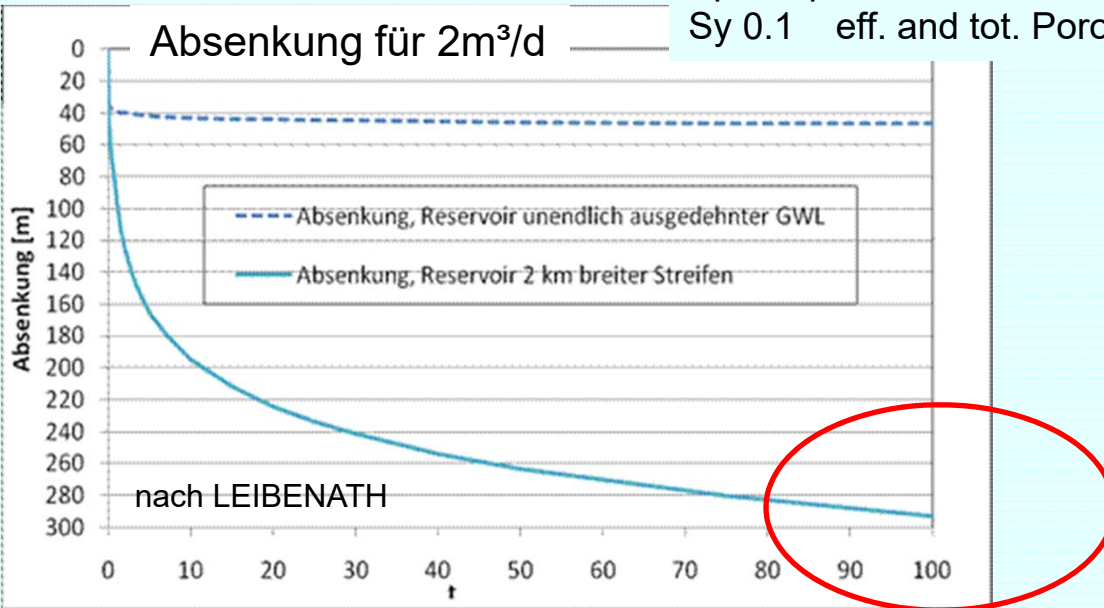
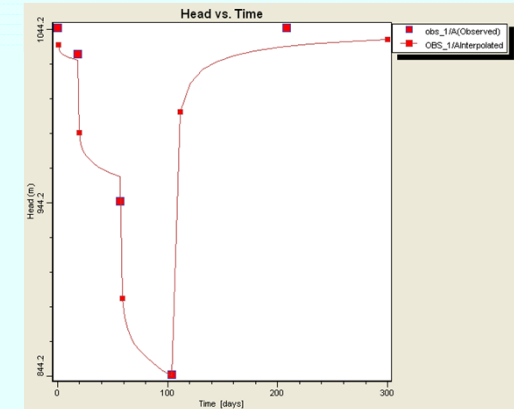
Modell Lagerstättengeometrie - Zusammenfassung

instationären Numerischen finiten Differenzenmodell wurde der Pumpversuch der

Tiefbohrung Bad Elster



Gebiet von 2 x 20 km Mächtigkeit von 1km. Rel. M 45 m mit Parametern (aus Kalibrierung)
Das restliche Gestein:
kf-Wert von 1 10-12 m/s
kf: 1.5e-8 x,y 1.5e-9 z
Spez. Speicherkoeffizient Ss : 2e-7
Sy 0.1 eff. and tot. Porosity: 0.1

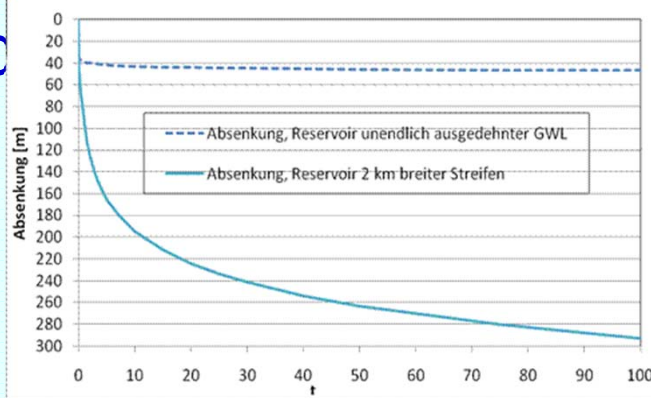




Mod

metrie - Zusammenfassung

THEORETISCH



Kluft- volumen [m ³]	Mögl. Entnahmedauer [a] bei:	
	2 m ³ /d	8 m ³ /d
4.178.720	5.724	1.431
3.422.160	4.688	1.172
1.880.620	2.576	644
3.457.440	4.736	1.184

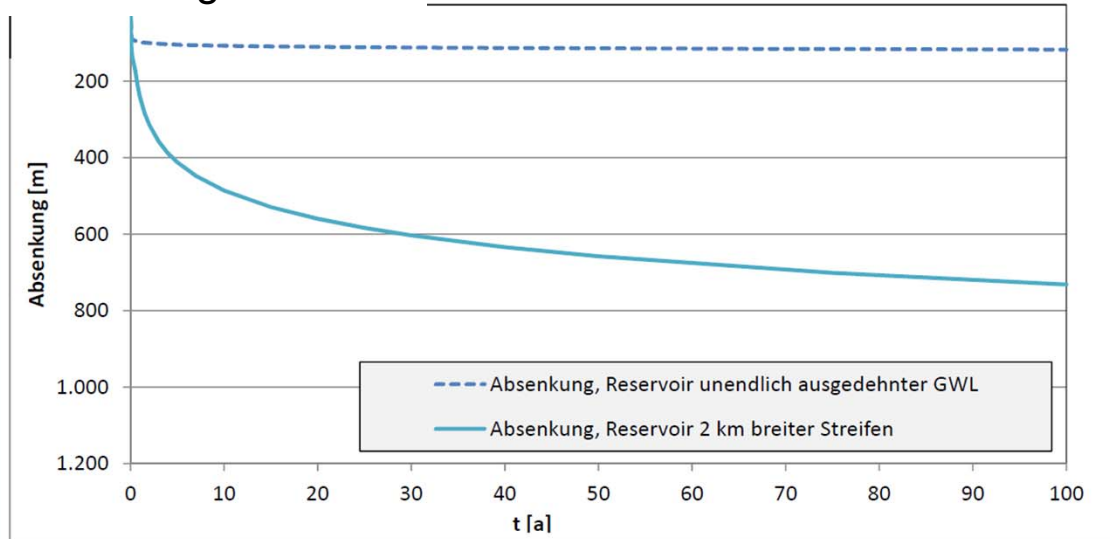
98m Kluffbereich aus Geophysik mit unteren Tabellenwert der Klüftigkeit n. Jordan/Weder 95 von 0,1% abgemindert

Bedarf Thermalsolebad:

- 3 Becken
- Volumen: 450m³
- Fläche: 400m²
- Gäste: 150 1/d
- nach DIN 19643

Zugabe von ca. 4,5 m³/d
plus Verluste (ca. 0,5m³)

Absenkung für 5m³/d



Geophys. geochem. und hydrochem. Untersuchungen

Tiefenprobenahme in Zusammenarbeit mit der TU Freiberg (Prof. Merkel) und UFZ

Auffangen des freien Gases mit Gassack



Spülung des Probenehmers mit Neon für repräsentative Probenahme



2008-2009-2010

Ergebnisse hydrochemischer Untersuchungen aus PV

Untersuchung	Zielstellung
¹⁸ O	Einschätzung des Anteils von wasser atmosphärischer Herkunft
³⁴ S	Einschätzung der Herkunft Sulfate
„Geochemischer Fingerprint“: Li, Be, B, Al, Si, P, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Mo, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi, U aus Wasserproben	Aussagen zur Herkunft/Genese der Wässer
„Geochemischer Fingerprint“: Li, Be, Al, Si, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, I, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi, U, Th aus Gesteinsproben	Aussagen zum Zusammenhang Wasser / Gesteinsbeschaffenheit
¹³ C	Herkunft des Wassers (¹³ C-Gehalt ist direkt abhängig von der Wassertiefe)
¹⁴ C	Altersbestimmung n*1 000 bis ca. 50 000 Jahre
³⁶ Cl	Alterbestimmung > 50 000 Jahre
³ He, ⁴ He	Einschätzung des Einflusses von Mantelfluiden
³ H	Altersbestimmung in der Größenordnung n*1 .. n*10 Jahre

Ergebnisse hydrochemischer Untersuchungen aus PV

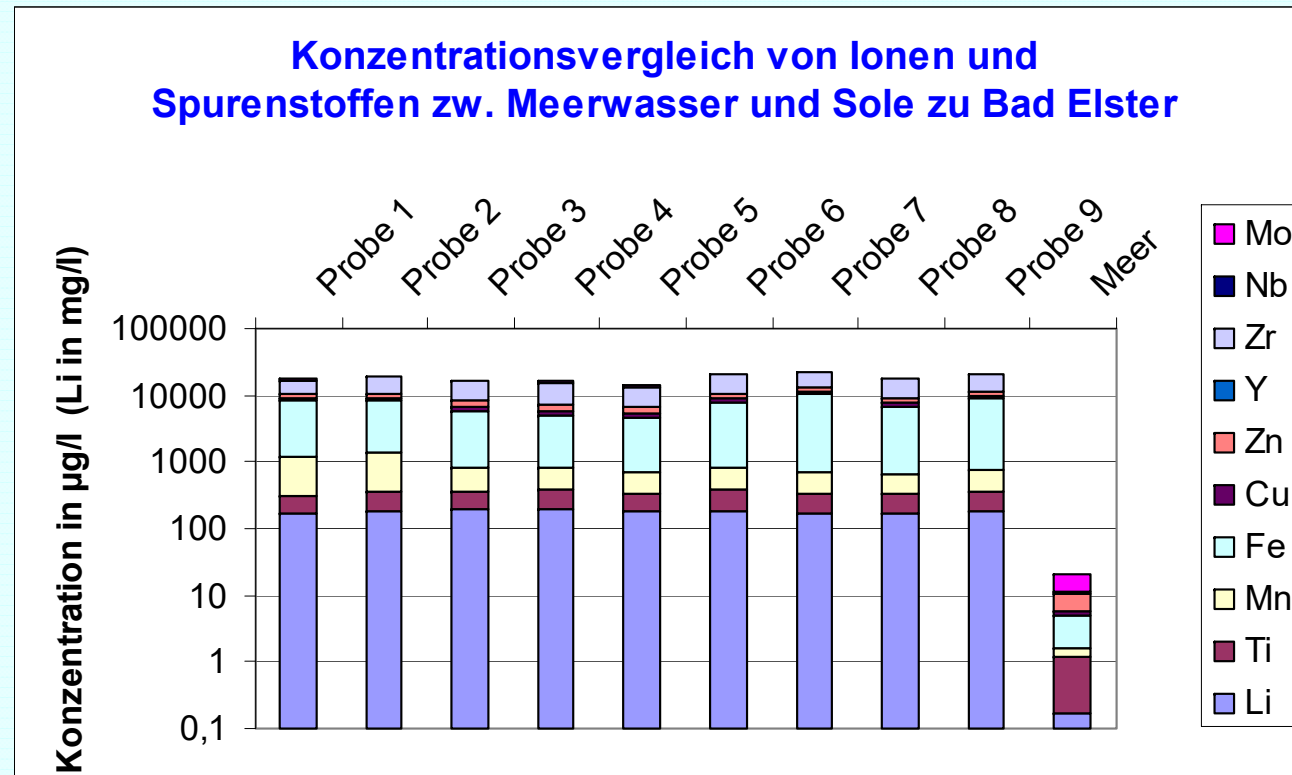
^{36}Cl Bestimmung an Sole Bad Elster aus 1100 m Tiefe
Labor: EHT Zürich 20.11.2009
Interpretation: Prof. Dr. B. Merkel/TUBAF

Probe BE 2009-11-20 wurde gemessen und ausgewertet, Die Normalisierung war zum K382/4N Standard. Das Ergebnis für die Probe ist $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}: 1,5 \cdot 10^{-14} \pm 0,3 \cdot 10^{-14}$

Daraus ergibt sich ein theoretisches „Wasseralter“ bei Annahme eines atmosphärischen Anfangwertes von $7 \cdot 10^{-13}$ und ohne Berücksichtigung der Produktion von ^{36}Cl in der Kruste aus U und Th von 1.669.195 Jahren (1,67 Millionen Jahren).

Der **Koeffizient $^3\text{He}/^4\text{He}$** bewegt sich zwischen 3,5 und 3,7. Dies ist ein Indiz dafür, dass die in der geothermischen Solebohrung Bad Elster angetroffenen Wässer durch Mantelfluid beeinflusst sind.

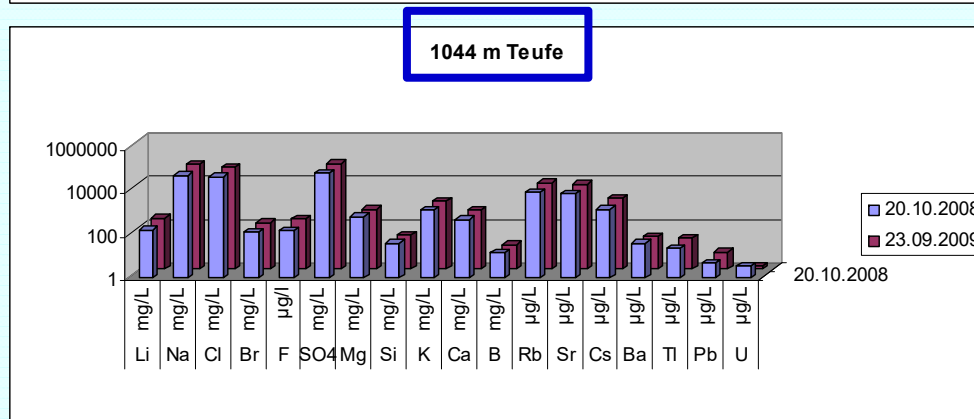
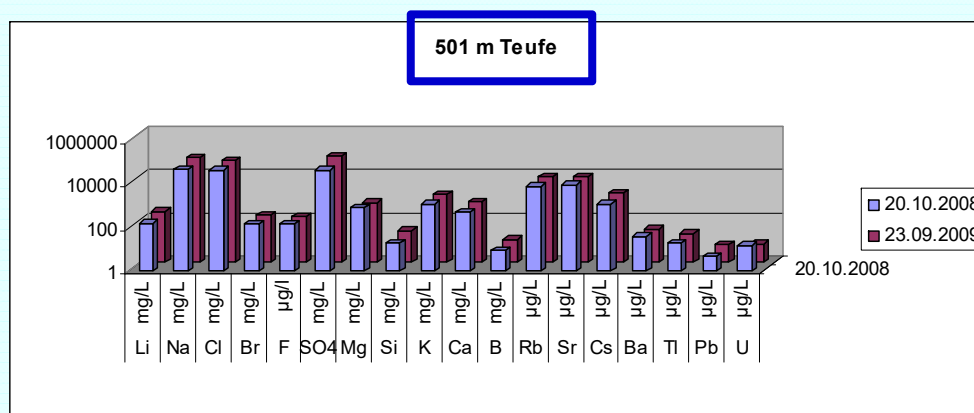
Ergebnisse hydrochemischer Untersuchungen



Aus dem Anreicherungsfaktor gegenüber Meerwasser zeigen sich zum Teile extreme Konzentrationen. Dies sind Lithium, Mangan, Eisen, Kupfer, Zirkon, Cäsium, Hafnium und Thorium. Einen absoluten Spitzenwert erreicht Zirkon mit einem Anreicherungsfaktor von 345000 ! Diese Verhältnisse deuten darauf hin, dass die Sole in Bad Elster **keinen** marinen Ursprung hat. [MERKEL]

Ergebnisse hydrochemischer Untersuchungen

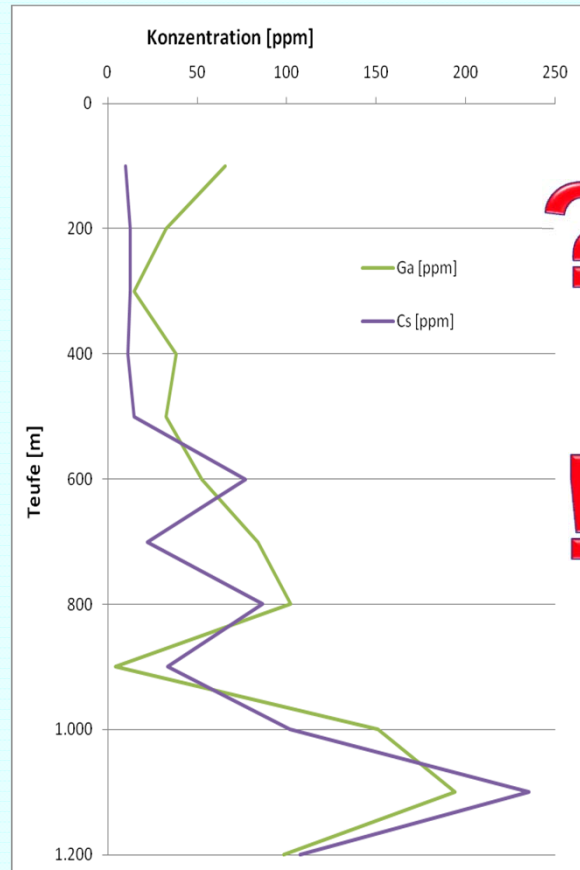
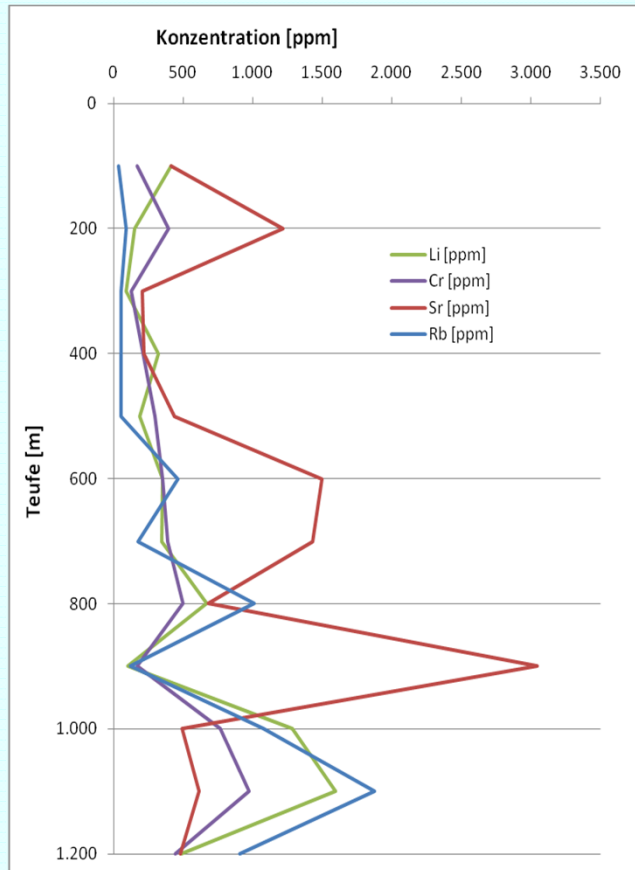
Auswertung der Tiefenprobenahmen [n. MERKEL]



Teufenorientierte Konzentration von Spurestoffen in der geothermalen Sohle (2008 nach Bohrung und 2009 aus PV)

- keine Differenzierung der Zusammensetzung hinsichtlich Teufen- und Zeitfaktor - einheitlicher genetischer Typ
- Zuflüsse entstammen einem zusammenhängenden Reservoir bzw. hatten zumindest gleiche Bildungsbedingungen
- Bestätigung durch Geophysik

Ergebnisse hydrochemischer Untersuchungen aus PV



Tiefenverteilung ausgewählter Spurenkomponenten in **Gesteinsproben** der geothermalen Sohlebohrung Bad Elster [n. MERKEL]

Teufenbereich ca. 600 m
Sprung in den Konz. dieser
Komponenten.



Abreicherung infolge der
Zirkulation von GW oder
Anreicherung durch
Eintrag aus Mantelfluiden

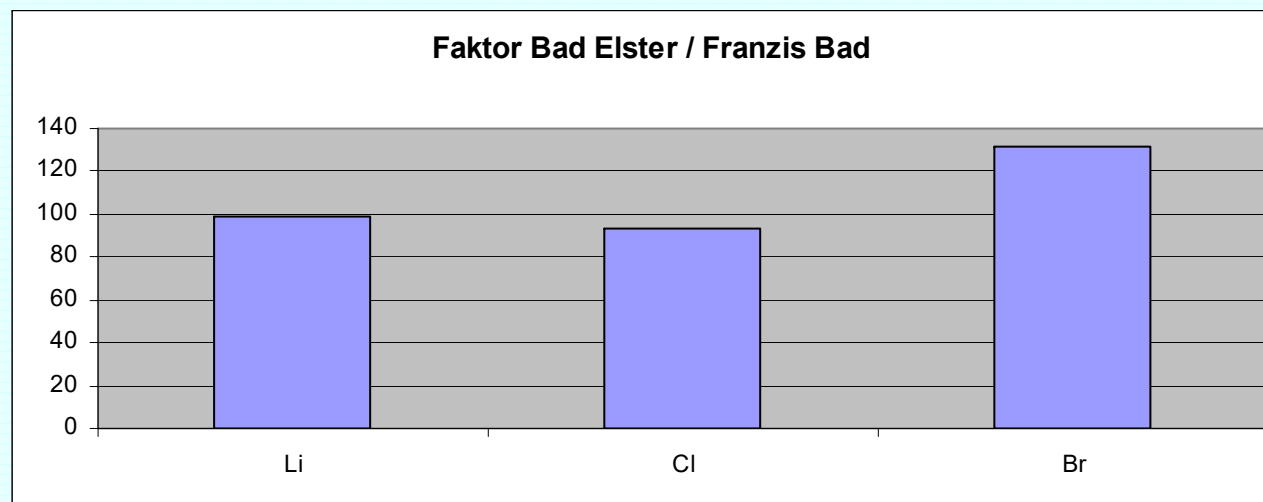


vertiefender Untersuchungen
des Kernmaterials +
Verdichtung des Beprobungsintervalls
im Bereich von Zuflusshorizonten

Zirkulation von GW
atmosphärischen
Ursprungs bis in Teufenbereiche
von ca. 600 m

Ergebnisse hydrochemischer Untersuchungen aus PV

Vergleich von Ionen und Spurenstoffe von Franzisbad und Bad Elster



sehr hohe Konzentrationen in der
Bad Elsteraner Sole

Bezüglich der konservativen* Ionen Lithium, Chlorid und Bromid könnte Franzisbad zu 1% aus einer Sole stammen mit der Konzentration von Bad Elster. Auch Rubidium, Strontium und Caesium zeigen mit Faktoren von ca. 60 eine solche Möglichkeit auf.

* Ionen, die nach Umsatz im Ökosystem ihren Ionencharakter behalten; dadurch sind diese Elemente (Ionen) besonders für Vergleiche geeignet, da sie nicht durch andere Prozesse in der Konzentration reduziert / maskiert werden

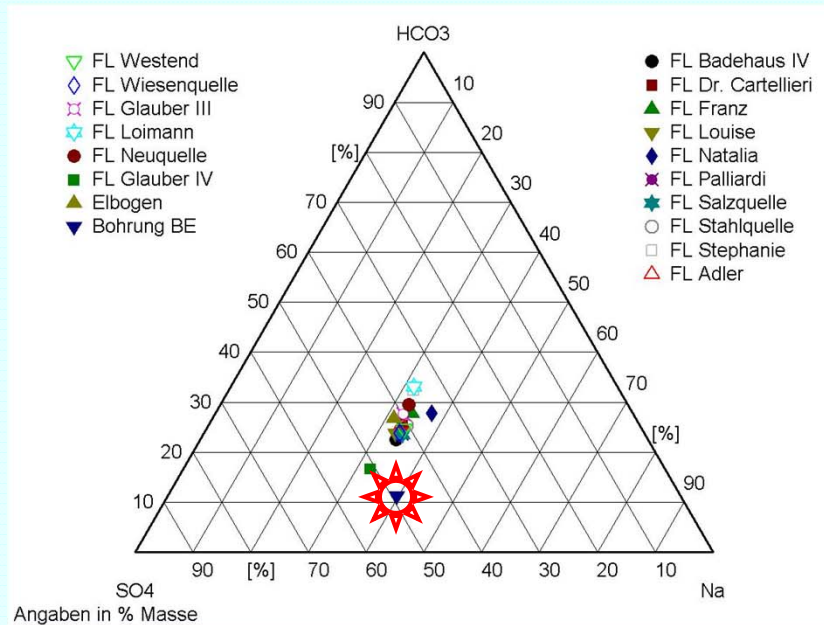


Recherche zu Alleinstellungsmerkmalen der Sole

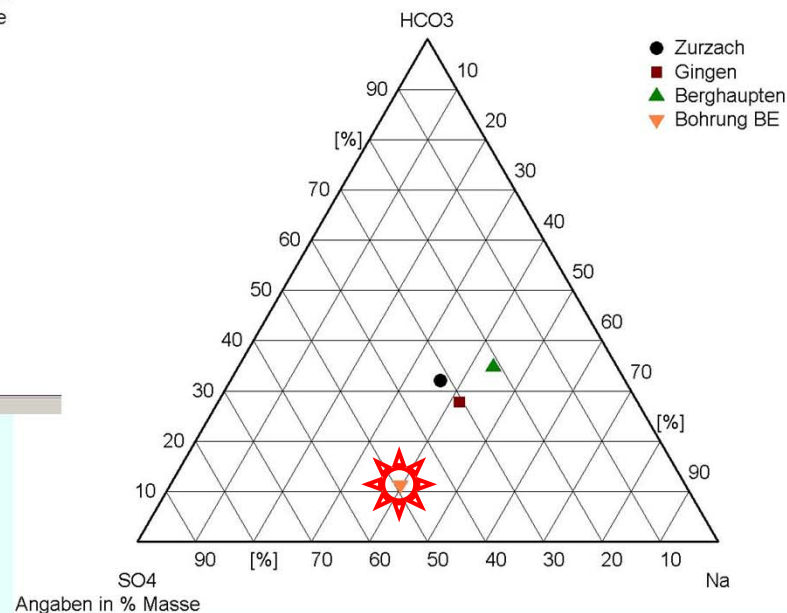
Quellen ähnlicher Zusammensetzung

	Ort/Quelle	Tiefe	Wassertyp
Östliches Bergland			
Egerland	Franzensbad Badehaus IV		eisenhaltiger Na ₂ SO ₄ -HCO ₃ -Cl-Säuerling
	Franzensbad Dr. Cartellieri-Quelle		eisenhaltiger Na ₂ SO ₄ -HCO ₃ -Cl-Säuerling
	Franzensbad Franz-, Louise-, Natalia- und Palliardiquelle		Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl-Säuerling
	Franzensbad Salz-, Stahl- und Stephaniequelle		Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl-Säuerling
	Franzensbad Adler-, Westend- und Wiesenquelle		Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl-Säuerling
	Franzensbad Glauber III, Loimann- und Neuquelle		eisenhaltiger Na ₂ SO ₄ -HCO ₃ -Cl-Säuerling
	Elbogen	226 m	eisenhaltiger Na-Sulfat-HCO ₃ -Cl-Thermal-Säuerling
Südliche Schichtstufenländer			
Südlicher Schwarzwald und Kristallin am Hochrhein	Zurzach		Na-Sulfat-HCO ₃ -Cl-Thermalwasser
Schwäbische Alb und Albvorland	Gingen	152,8 m	eisen- und arsenhaltiges Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃ -Thermalwasser
Südliche Flachländer			
Südlicher badischer Oberrhein-Graben	Berghaupten	760 m	Na-Cl-HCO ₃ -SO ₄ -Thermalwasser

Recherche zu Alleinstellungsmerkmalen der Sole



deutlich höherer Gehalt an Natrium und Sulfat als die Quellen im Oberrheingraben und der Alb

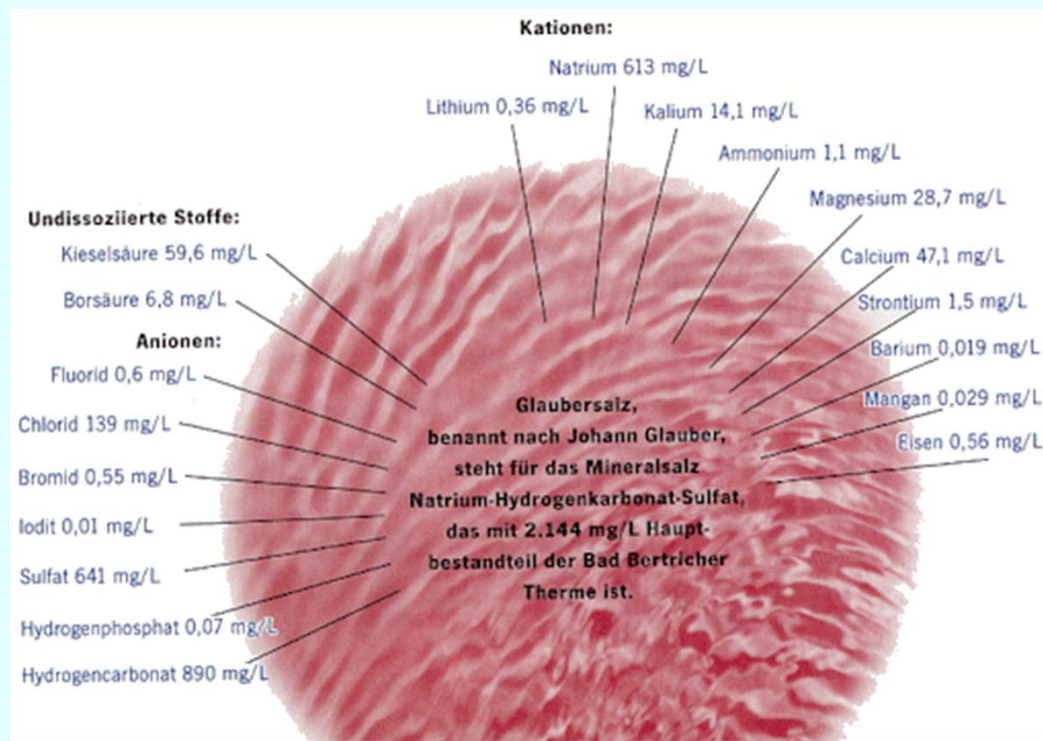


Ähnliche Zusammensetzung wie die meisten der Quellen des Oberen Vogtlandes und in Frantiskovy Lazne (FL) ähnliche Zusammensetzung wie die Glaubersalzquelle

Recherche zu Alleinstellungsmerkmalen der Sole

Bad Bertrich
bislang Deutschlands
einzige Glaubersalztherme

Solebohrung Bad Elster



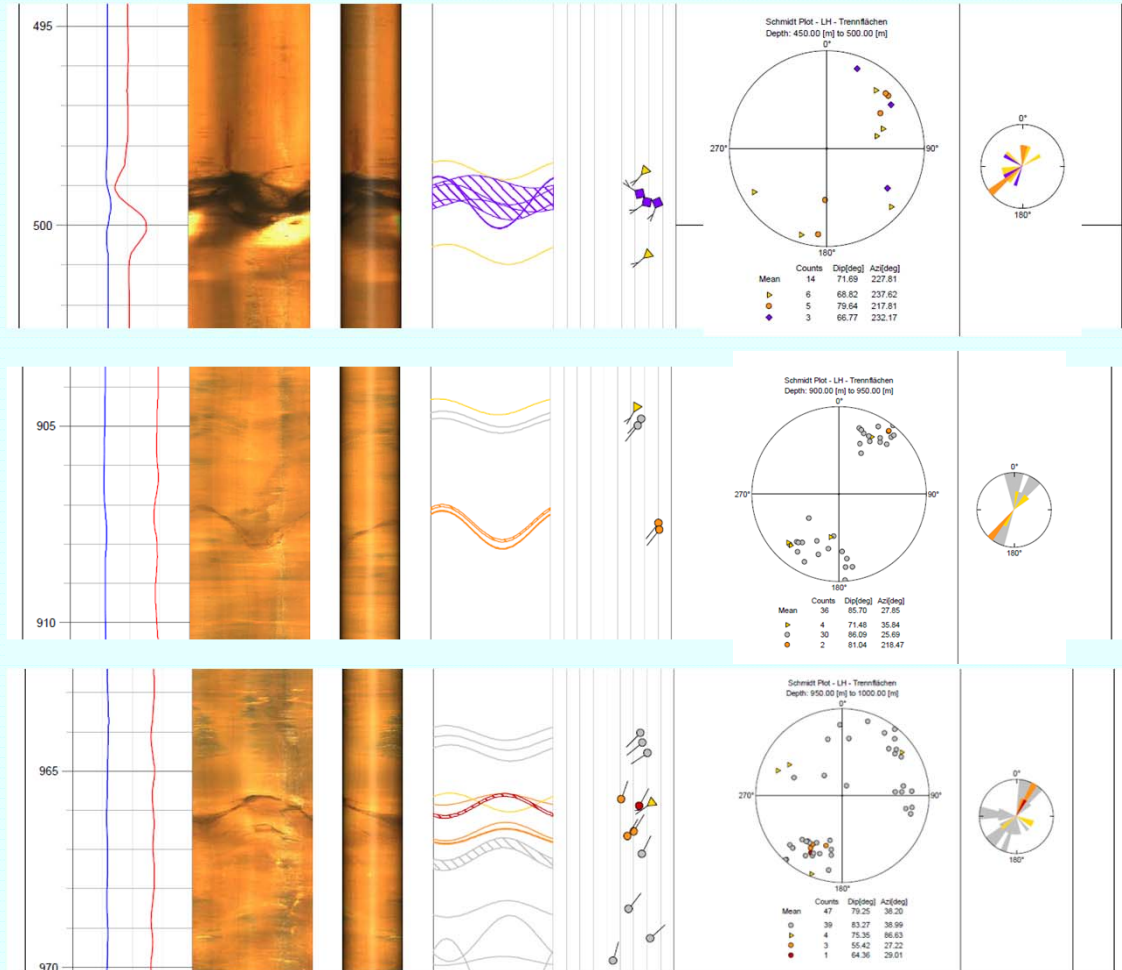
Die analysierten Ionenkonzentrationen der wesentlichen Bestandteile liegen um das

- 25fache (Hydrogencarbonat)
- 40fache (Sulfat)
- 100fache (Natrium)
- 330fache (Chlorid)

höher als in Bad Bertrich.

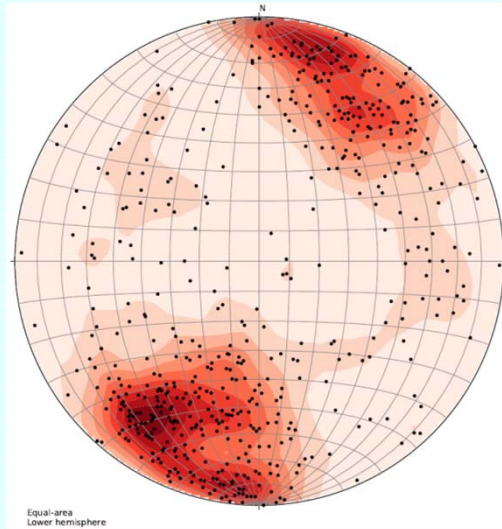
Die Schüttung / Förderung liegt demgegenüber um das 21fache darunter.

Trennflächenanalyse – Auszug OBI

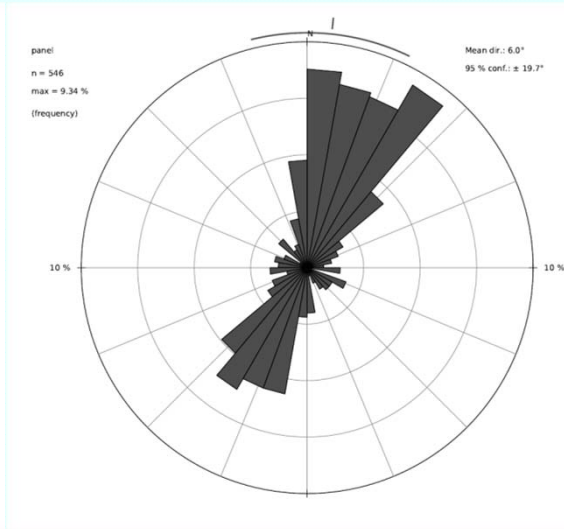


- statistisch dominierendes Gefügeelement: verheilte Klüfte (427)
- 98 potentiell hydraulisch inaktive Bruchflächen
- 21 potentiell hydraulisch aktive Trennflächen (partielle Klüfte, Ausbrüche)
- Trennflächen decken sich mit Kaliber-LOG aus 2008
- Größere Ausbrüche bei 499 m u GOK und 965-967 m u GOK

Trennflächenanalyse

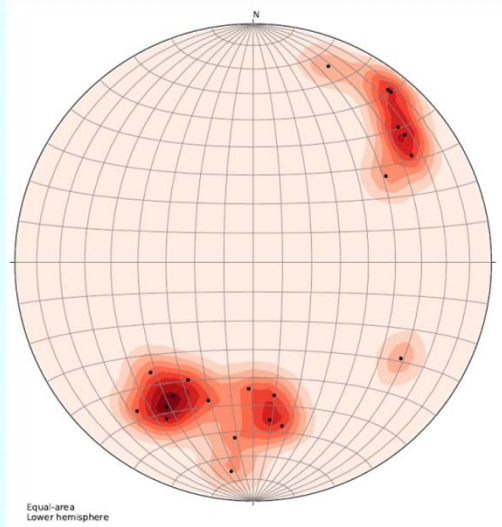


Equal-area
Lower hemisphere

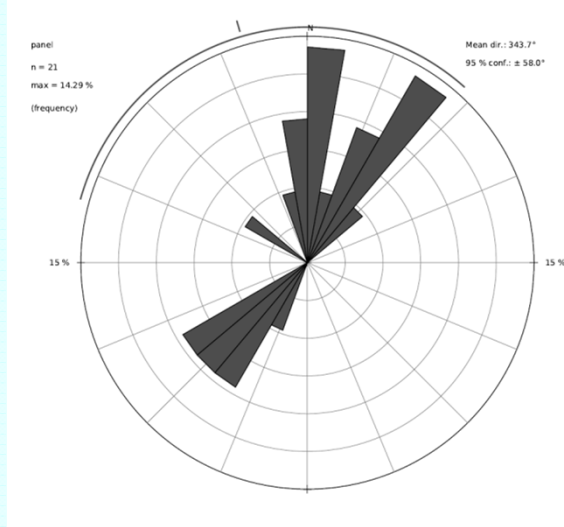


Gesamtbetrachtung

- 546 Einzelelemente
- dominierende Einfallsrichtung N-NE
- sekundär dominante Einfallsrichtung S-SW
- vorrangig steil bis sehr steiler Einfallswinkel



Equal-area
Lower hemisphere

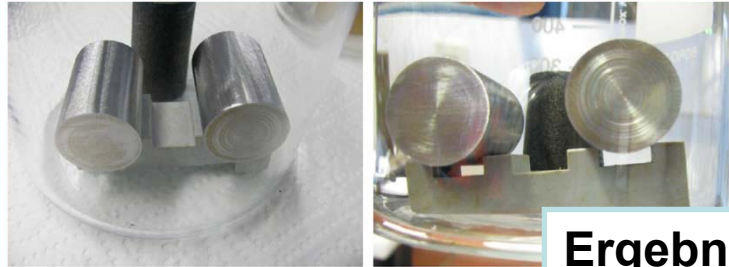


potentiell hydraulisch aktive Elemente

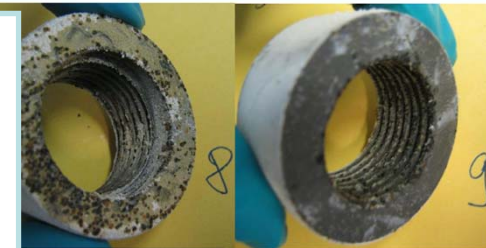
- 21 Einzelelemente
- dominierende Einfallsrichtung N-NE
- sekundär dominante Einfallsrichtung SW
- vorrangig steil einfallend in N-NW und sehr steil einfallend in SW

Materialuntersuchungen

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



Rohzustand verschiedener Proben
(Edelstahl, Stahl mit Beschichtungen)

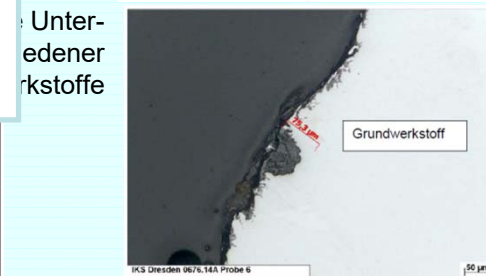


Ergebnis:
Edelstahl: 1.4462 Duplex
Elastomer: EPDM, HNBR

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

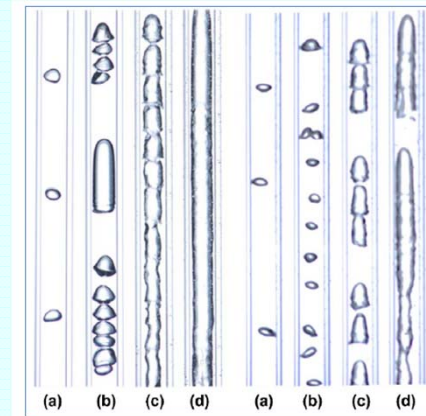
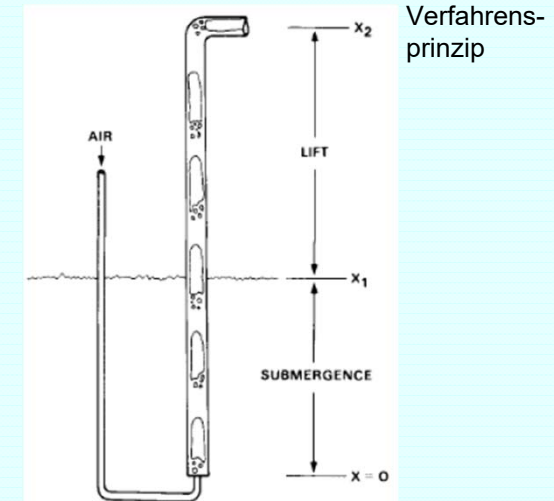
Ermittlung von
Masseverlusten und
Korrosionsgeschwindigkeit

Pr.-Nr.	Masse unbeschichtet [g]	Masse nach 4 Wochen geätzt [g]	Masse nach 6 (5,3) Wochen geätzt [g]	Masseverlust nach 4 Wochen [g]	Masseverlust nach 6 (5,3) Wochen [g]	Korrosionsgeschwindigkeit [µm/a]
1	90,8066	90,7764	90,714	0,0302	0,0926	36,2
2	89,811	89,7792	89,727	0,0318	0,084	32,8
3	120,508	-	120,3665	-	0,1415	<10 (62,8)
4	120,5795	-	120,4645	-	0,115	<10 (51,0)
5	120,9675	-	120,8165	-	0,151	<10 (67,0)
6	120,6015	Probe für metallographische Untersuchung				



Untersuchungen zu weiteren Förderverfahren

- Prinzip Exzentrerschneckenpumpe hatte 2 Nachteile:
 - mechanische, bewegliche Teile im Bohrloch in 1100m u GOK, die verschleifen und dadurch strukturell mit der Zeit instabil werden
 - hoher Kostenfaktor, da alle Teile aus Duplex Edelstahl Spezialanfertigungen sind (kein Kunststoff wegen Stabilitätskriterien für bewegliche Teile)
- Eruierung weiterer Förderverfahren, die
 - günstige Werkstoffe verwendet werden können
 - möglichst keine drehenden Teile im Bohrloch haben
- Machbarkeitsstudie durch AG in Auftrag gegeben
 - Ergebnis: Air-Lift Verfahren physikalisch-mathematisch auf Bohrloch unter speziellen Randbedingungen übertrag- und anwendbar
 - Problem: keinerlei Erfahrung für praktische Umsetzung in entsprechender Tiefe bei konstanter Fördermenge, aber variablen Absenkung
 - Lösung: Kurzpumpversuch mit speziellen Untersuchungsprogramm durch AG bereitgestellt



Interdispersionsverhalten von Luft im Wasser, abh. von der applizierten Menge

Vergleich Förderverfahren

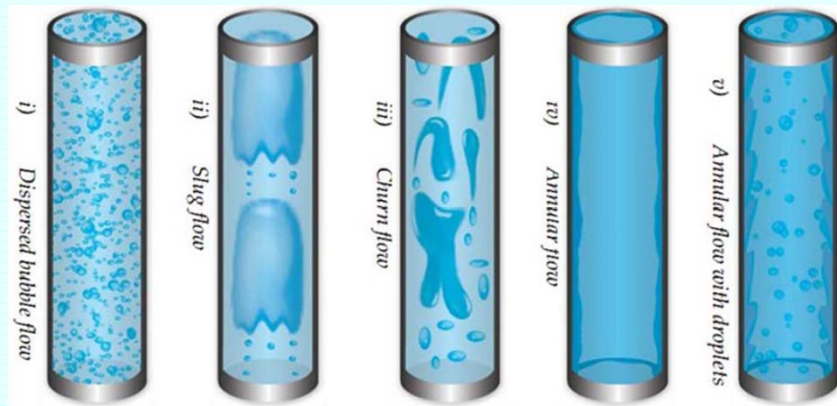
	Air-Lifting	Exzentrerschneckenpumpe
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Kostenfaktor - Robust - höhere Strömungsgeschwindigkeiten im Steigrohr, daher bzgl. Kristallisation geringere Anfälligkeit - keine mechanischen Teile im Bohrloch - kaum Verschleißanfällig - Rohrsystem kann theoretisch in Eigenregie auf- und abgebaut werden, wenn Brunnenhaus dafür vorbereitet wird 	<ul style="list-style-type: none"> - einfaches Prinzip - Linearität zwischen Umdrehungszahl und Fördermenge (eindeutige Regulierbarkeit) - bessere hydrodynamische Verhältnisse im Brunnenbetrieb - kein Lufteintrag - System bereits im Dauerversuch erprobt (3 Monate) - bereits umfangreiche Kenntnisse für weitere Planungsphase vorliegend
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Regulierung der Fördermenge nur in Grenzen durchführbar - höherer Kontroll- und Betreuungsbedarf bei Förderbetrieb - Mengenzufluss über große Zeiträume, da Förderung geysirartig erfolgt - Beruhigungsbecken erforderlich - System nur 4 Tage erprobt (kein Dauerbetrieb) - deutlich umfangreichere Planung notwendig, da viele Varianten möglich sind - Hydrochemie bei Lufteintrag unbekannt - Zustimmung der Behörde notwendig (seltenes Verfahren, das bei anderen RB angewandt wird) 	<ul style="list-style-type: none"> - sehr anfällig für Kristallisation, da geringe Fließgeschwindigkeiten auftreten - Kostenfaktor - mechanische Teile im Bohrloch - Verschleißanfällig - im Schadens-/ Havariefall muss Fachfirma bestellt werden (Pumpenhersteller und Bohrbetrieb)

Umsetzung beider Verfahren durch Pumpversuche nachgewiesen

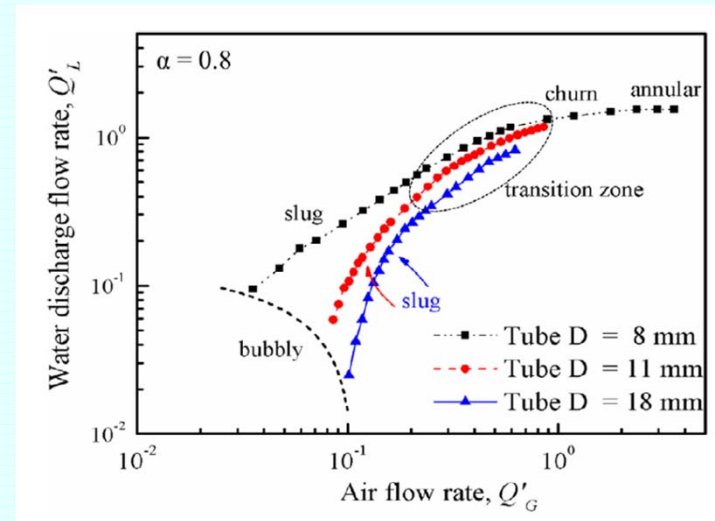
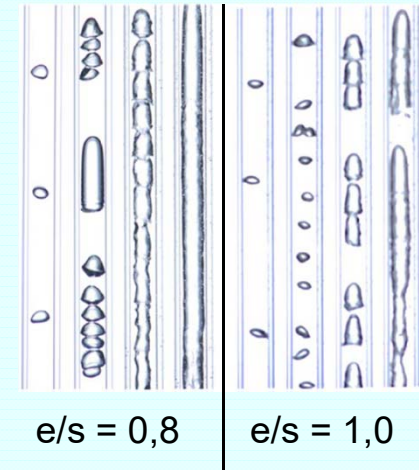
Planung Air-Lift-System

Schwierigkeit für Berechnungsansätze:

- Berücksichtigung der Dispersion von Gasblasen in einem Fluid, welcher abhängig von Eintauchverhältnis, der applizierter Normluftmenge, dem Durchmesser der Steigleitung und den physikalischen Fluideigenschaften (Dichte, Viskosität) ist
- Berücksichtigung von Zusammenschlüssen von Gasblasen beim Aufstieg infolge der Volumenvergrößerung der Blasen durch den nach oben abnehmenden Druck in der Wassersäule
- Einfluss der Rohrreibung insbesondere bei langen Steigrohrängen und den verschiedenen Dispersionsverteilungsmöglichkeiten der Gasblasen



vier verschiedene Luftmengen bei unterschiedlichen Eintauchverhältnissen (e/s)



Planung Air-Lift-System

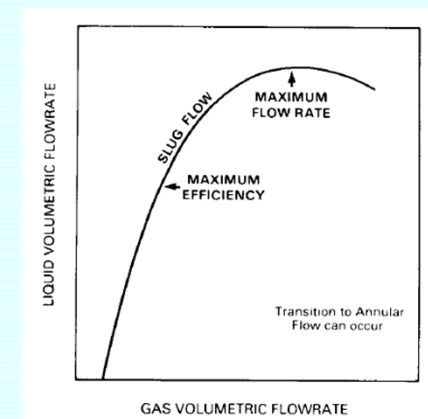
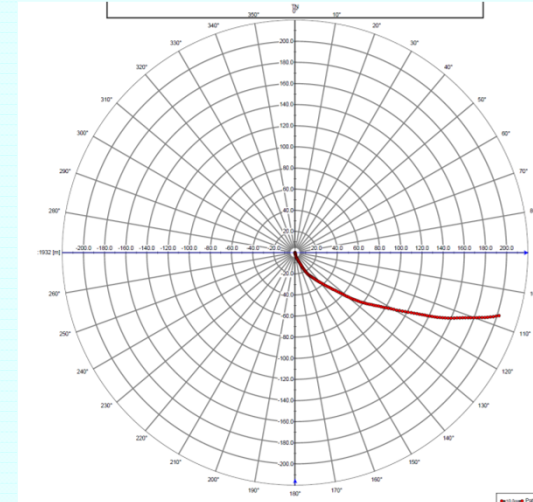
Besonderheiten Bad Elster:

- sehr tiefe Bohrung: 1.200m
- sehr kleiner limitierender Durchmesser: 194mm
- signifikante Bohrlochabweichung
- limitiertes Nachlieferungspotential durch das Gebirge (hydraulische Konnektivität) und damit hohe Absenkung bereits bei geringen Fördermengen

Auswahl Berechnungsansätze (3 Stück):

- (1) 1986: Clark & Dabolt - A general design equation for air-lift pumps operating in slug flow
- (2) 1990: Reinemann et al - Theory of small diameter air lift pump
- (3) 2008: Kassab et al - Air-Lift pumps characteristics under two-phase flow conditions

Problem: alle Berechnungsansätze basieren auf Laborversuchen (geringe Förderhöhen, unterschiedliche Rohrdurchmesser), außerdem berücksichtigt jedes Model einen unterschiedlichen Grad der Dispersion von Luft im Fluid, welcher zusätzlich auch noch unterschiedlich abstrahiert wird



Versuchsaufbau Air-Lifting



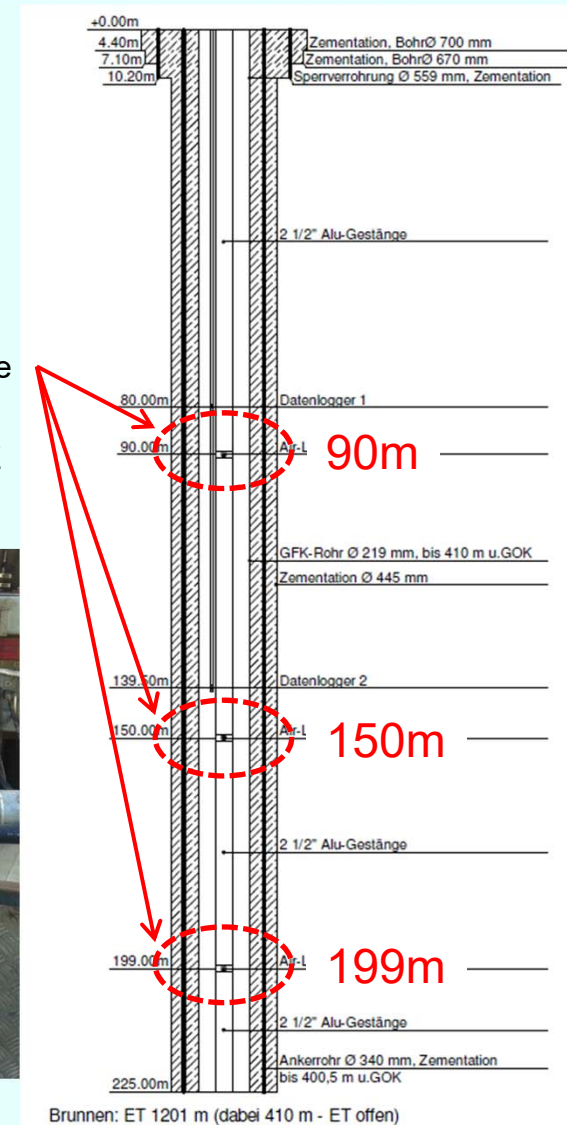
Auffangbehälter

2 1/2" Steigleitung (Alu) mit Einlassdüse

1" Luftleitung PE

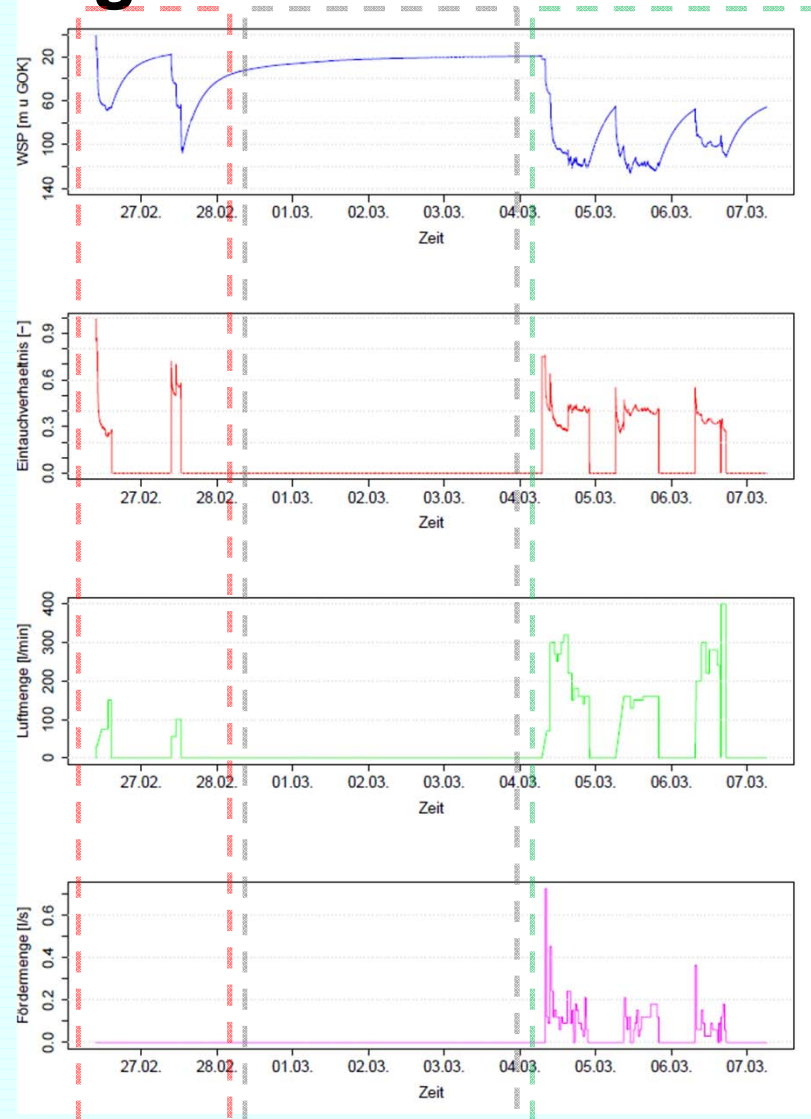
Luftmengenmesser

Verteilerstück



Versuchsergebnisse

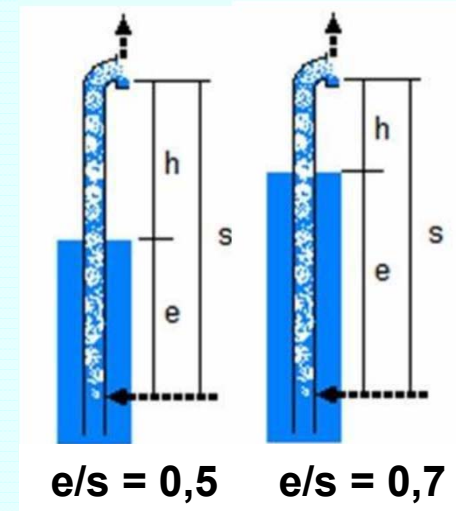
- signifikante physikalisch mathematische Abhängigkeiten zwischen
 - Rohrdurchmesser,
 - Eintauchverhältnis (Lifthöhe zu Höhe WSP über Einlassdüse)
 - eingeblasener Luftmenge
 - und letztendlich der daraus resultierenden Fördermenge



Zeitraum mit unplausiblen Werten für Luftmenge
→ Messgerät fehlerhaft
→ Neubeschaffung

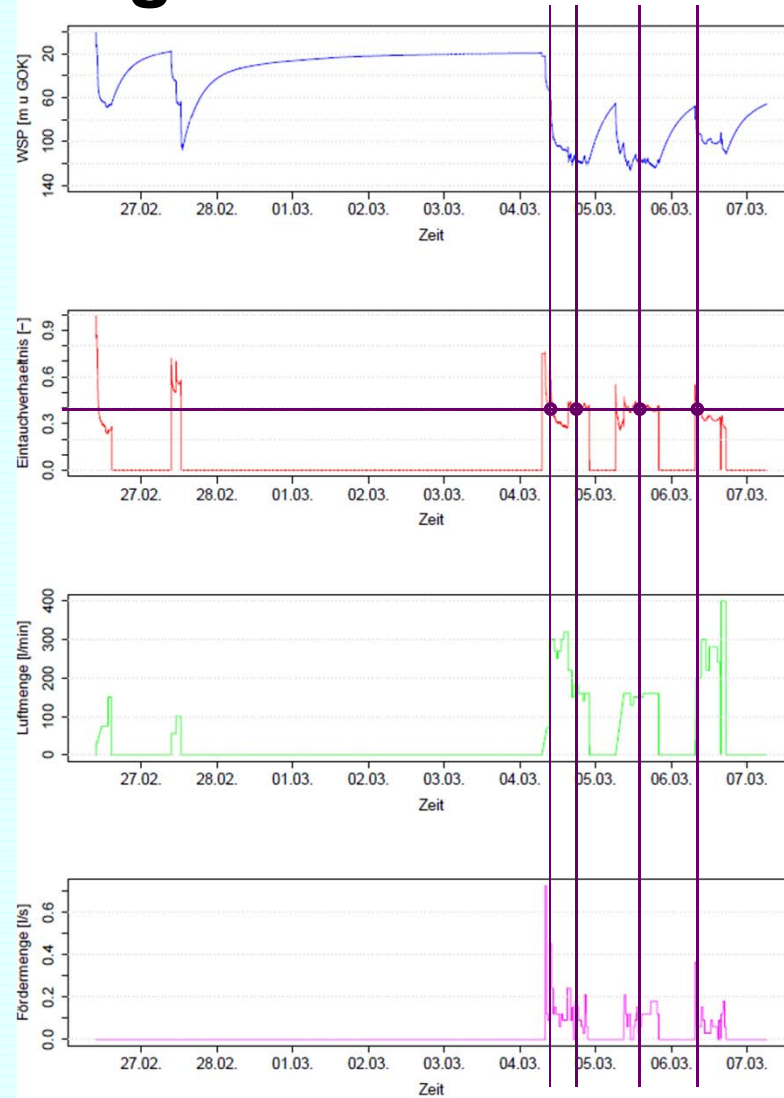
Stillstand

plausibler Datenzeitraum



Versuchsergebnisse

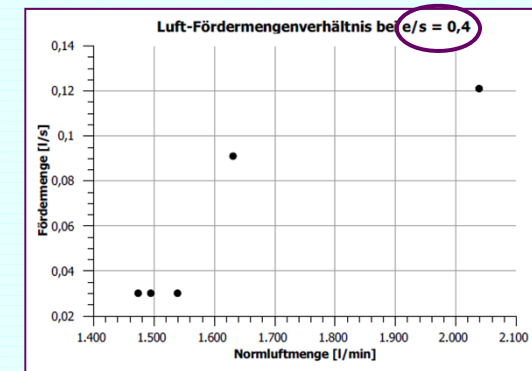
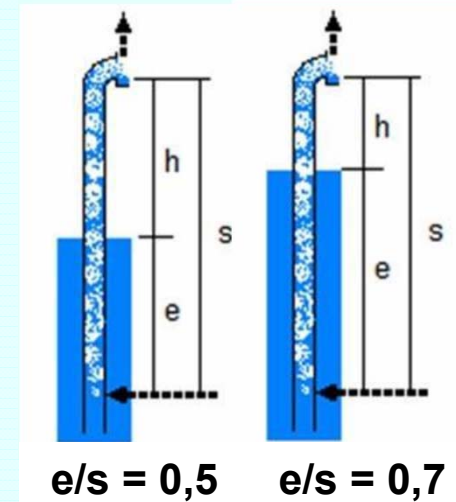
- signifikante physikalisch mathematische Abhängigkeiten zwischen
 - Rohrdurchmesser,
 - Eintauchverhältnis (Lifthöhe zu Höhe WSP über Einlassdüse)
 - eingeblasener Luftmenge
 - und letztendlich der daraus resultierenden Fördermenge



Zeitraum mit unplausiblen Werten für Luftmenge
→ Messgerät fehlerhaft
→ Neubeschaffung

Stillstand

plausibler Datenzeitraum



Versuchsergebnisse

- mit kleinem Rohrquerschnitt der Steigleitung und Regulierung der Luftmenge ist Förderung von annähernd 5 m³/d möglich
- physikalische Abhängigkeiten des Verfahrens zwischen Fließquerschnitt, Luftmenge, Absenkung und daraus resultierender Fördermenge konnte nachgewiesen werden
- Kristallisationsproblematik bleibt weiter bestehen, aber durch höhere Fließgeschwindigkeiten beim Aufsteigen keine Verstopfung in Steigleitung
- Problemfall: Auskristallisation am Auswurfstutzen ins Beruhigungsbecken durch diskontinuierlichen Auswurf bei 8°C Außentemperatur und Querschnittsverkleinerung



Kristallisation am Pegelrohr des Sammelbehälters (hydraul. Kommunikation zw. DS u. WSP Behälter)



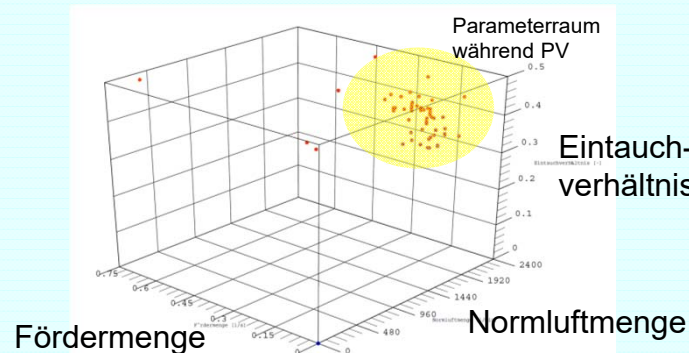
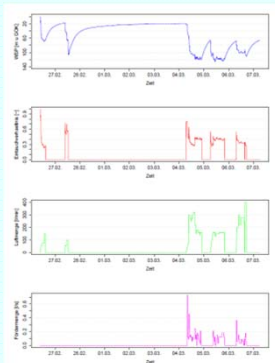
Kristallisation im Steigrohr v.a. im Muffenbereich



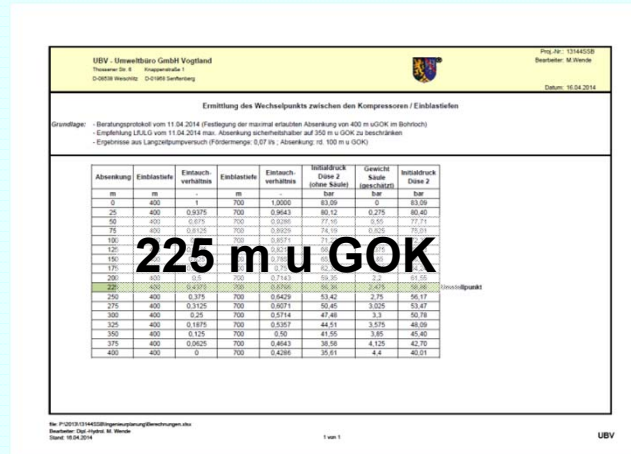
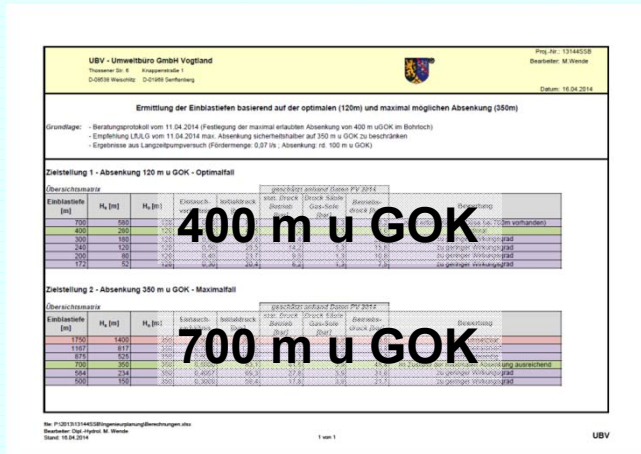
Kristallisation am Einlaufstück in Sammelbehälter



Kristallisation am Einlaufstück in Sammelbehälter (vergrößert)



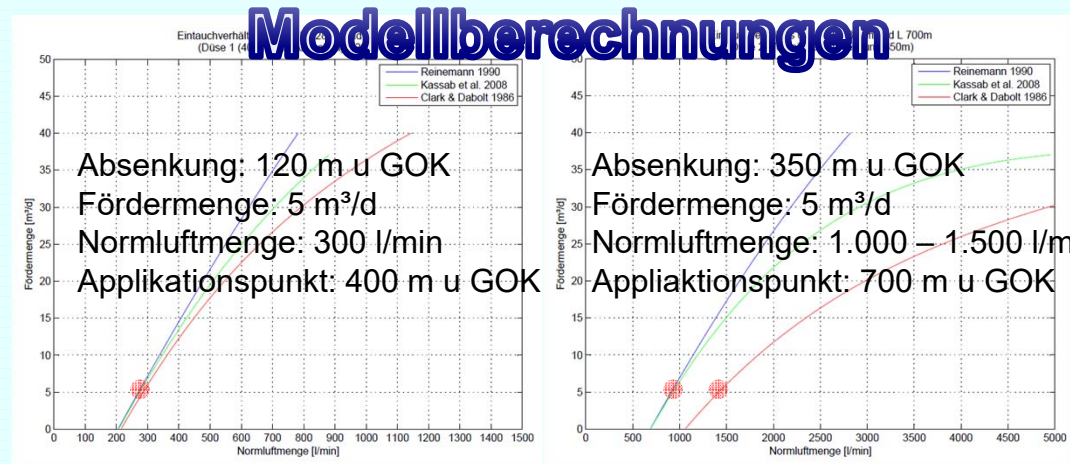
Planungen zum Förderverfahren Air-Lifting



Ermittlung optimaler Umschaltunkte zwischen den Applikationspunkten

Ermittlung optimaler Applikationspunkte für Luft (Betriebspunkte)

Berechnung Verhältnis von benötigter Normluft- zu Fördermenge für Optimalfall und Worst-Case



Fertigung des Brunnenkopfes



Während Bohrprozess nur am Anfang geringe Gasaustritte
-> kein Preventer

ABER:

Gaseruption in Bad Brambach 2 x 15m Fontäne

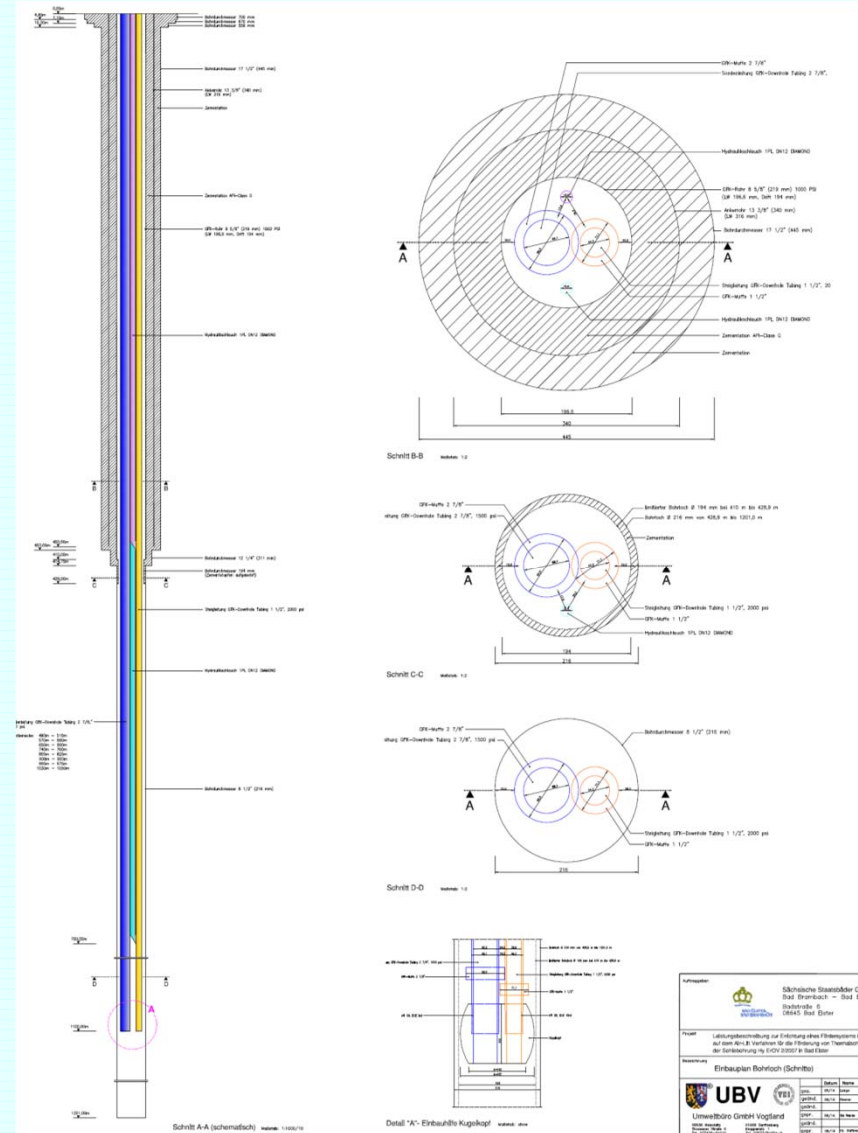
Gaseruption in Christiansreuth b. Sohl

Hohe Gasführung im Sprudel 1 (BE) = Champagnerquelle
sehr konservative statische Berechnung



Einbauten Bohrloch

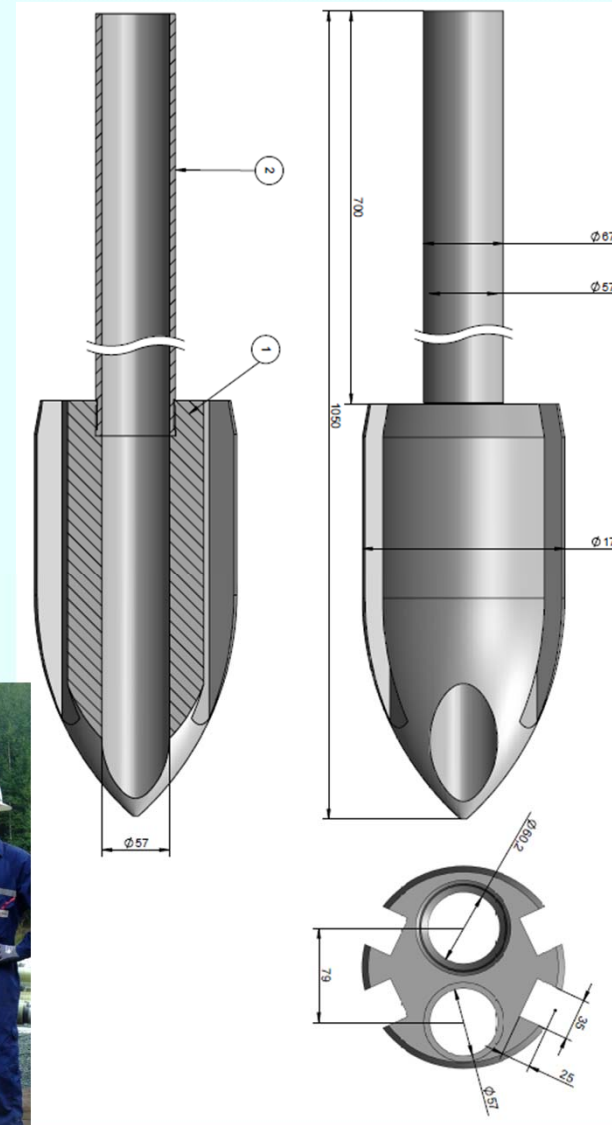
- 4 Leitungen
 - 1 1/2" Steigleitung für Gas-Sole-Gemisch
 - 2 7/8" Sondenleitung (tw. verfiltert)
 - 2x DN12 Luftleitung
- Druckluftapplikation in 400 und 700m u GOK durch spezielles Formbauteil „Einblasstück“, welches durch 3D-Printing (SLM-Verfahren) aus Titan gefertigt wird
- gesamte Förderstrang (Steigleitung, Luftleitung und 2x Einblasstück) wird durch Edelstahl Zugseil am Brunnenkopf entlastet
- ggf. kommt spezielle Einbauhilfe zum Einsatz um alle Rohrtouren gleichzeitig einbauen zu können



Einbauten Bohrloch (1)

- Pilot - Guide Shoe -

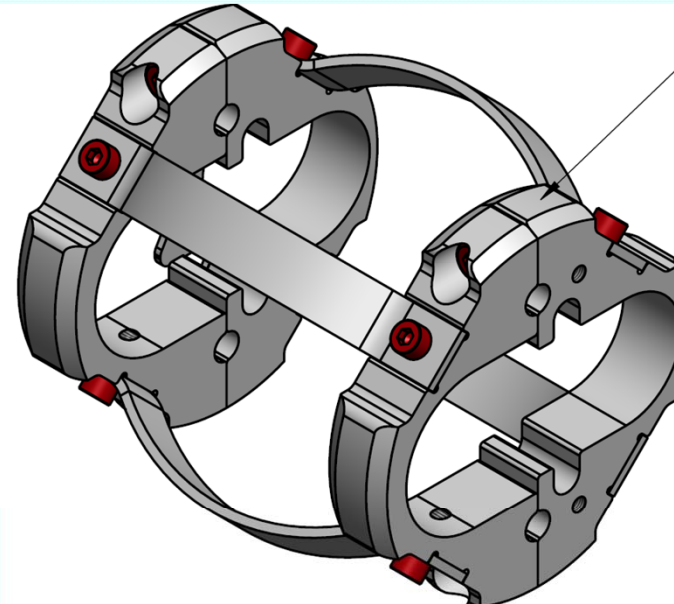
- Speziell gefräste Kopfform spezifisch eingebrachte Strömungsbahnen
→ Führung des Kopfes mit kleinstmöglichen Reibungskräften am anstehenden Gebirge unterhalb des verrohrten Bereiches und vorbeiströmenden Fluid
- Fertigung in duplex Edelstahl
→ Beständigkeit gegenüber Sole
- Beständigkeit gegenüber Sole ist durch Duplex Edelstahl (1.4462)



Einbauten Bohrloch (2)

- Centralizer -

- Speziell durch Wasserstrahl geschnittene Platten mit Führungsschienen
 - zentriert den Strang im Gebirge,
 - minimale Kontaktfläche zum Gebirge,
 - angefasste Kanten zur Minimierung mögl. Verkantungen
 - Möglichkeit des Durchfallens sich ablösenden Gebirges
 - Fixierung der beiden Stränge untereinander gegenüber Verschiebungen
 - Fixierung der Druckluftleitung
- gewichtsreduzierende Form
- Beständigkeit gegenüber Sole ist durch Duplex Edelstahl (1.4462)



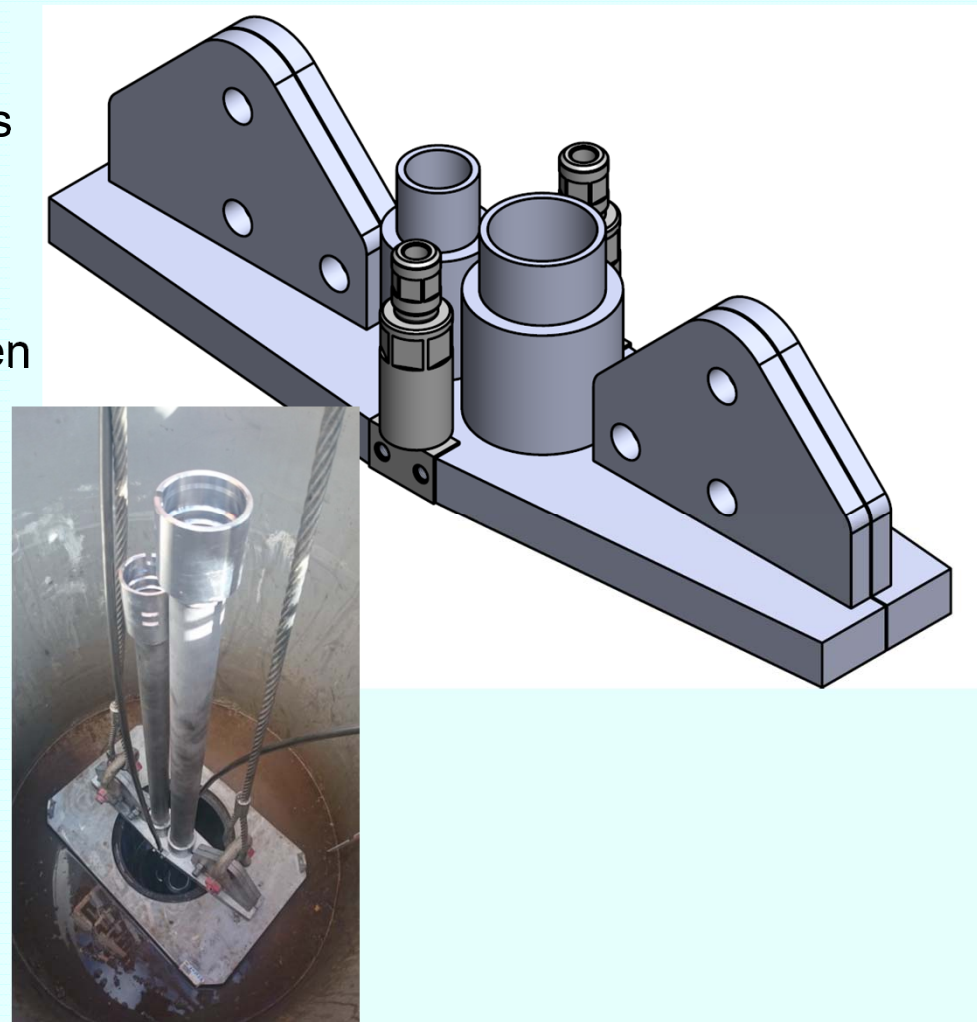
Kennzeichnung:

- Hersteller (LOGO)
- GERMAN OIL TOOLS
- MADE IN GERMANY
- Artikelnummer
- Kurz kennzeichnung
- Werkssachverständiger



Einbauten Bohrloch (4) - Abfangschelle -

- Einbringen der gesamten Last des Förderequipment flächig in das Fundament des Brunnenkopfes
- Durch Justierstücke oberhalb der Abfangschelle ist ein Nachspannen des Einbau über die Controlline möglich
- Beständigkeit gegenüber Sole ist durch Duplex Edelstahl (1.4462)



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 ist eine exakt festgelegte Rohrausbauiste mit den Zuflusshorizonten für die geschlitzten GFK- Rohren



Bad Elster - Solebohrung -

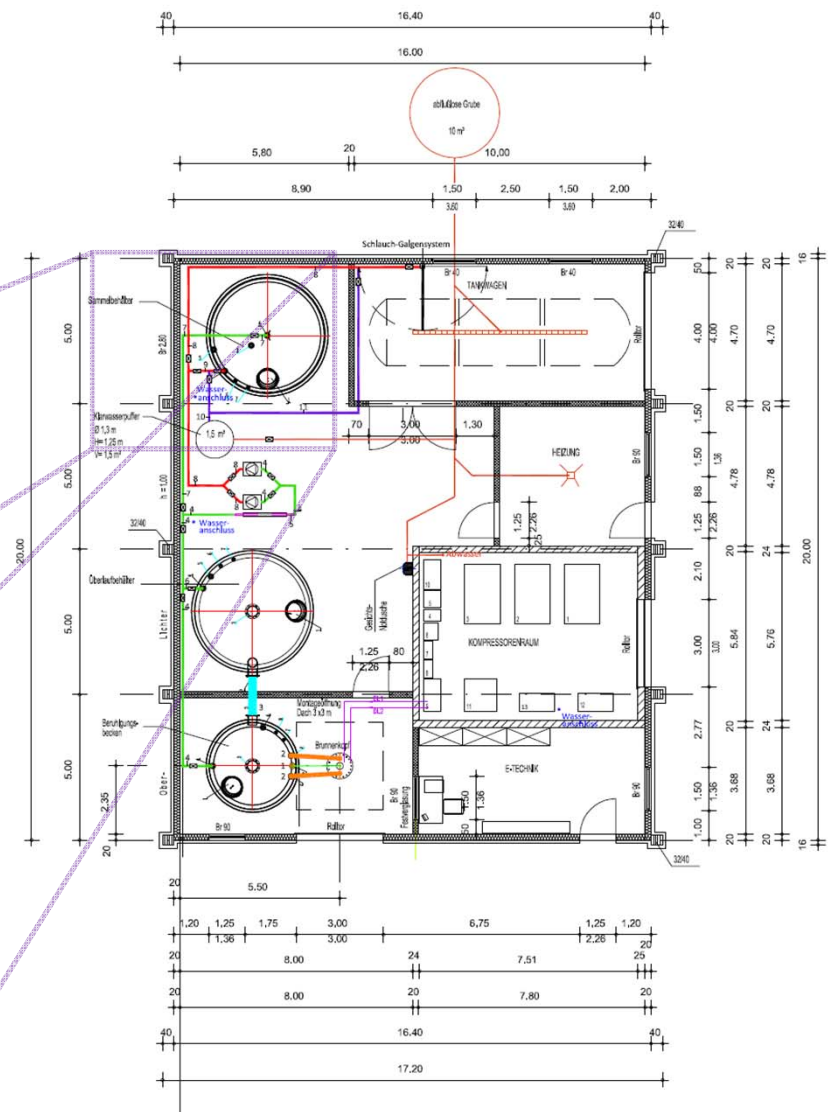
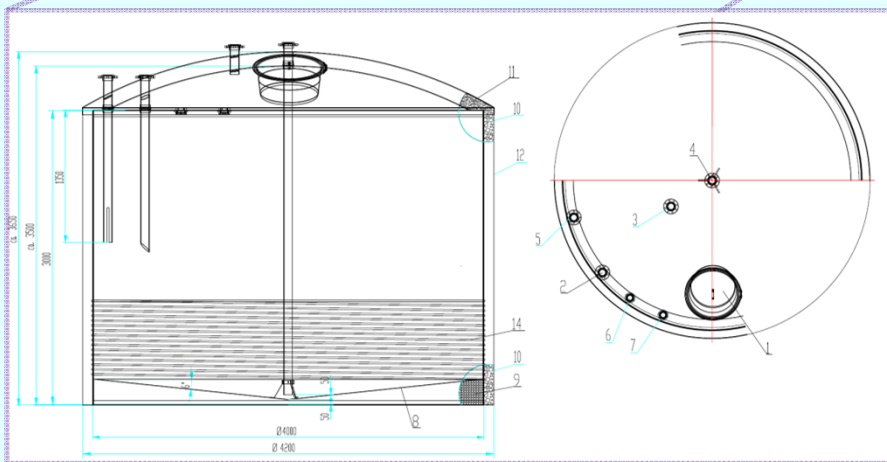
Rohrliste: GFK - Rohre 1.50" Projekt										Rohrliste: GFK - Rohre 2.78" Projekt									
OWE-Nr.	Stück Nr.	Durchmesser [mm]	perm Länge [m]	kum Länge [m]	Teuchlänge [m]	Zentralsch. [m]	Bemerkung	DELTA [m]	OWE-Nr.	Stück Nr.	Durchmesser [mm]	perm Länge [m]	kum Länge [m]	Teuchlänge [m]	Fiter	Bemerkung			
	1	1.78	0.02	0.02	1151.76		Perf Guide Shoe	0.07		2	2.78	0.00	0.00	1151.47					
53902-11	2	1.78	0.95	9.56	1067.20	1.00			3	2.78	0.00	10.15	1091.65			Perf Guide Shoe			
53906	3	1.78	0.79	10.34	1069.42				4	2.78	0.00	10.96	1092.77			Passstück			
53906	4	1.78	0.79	27.13	1074.63	1.00			5	2.78	0.00	27.85	1079.91						
53207	5	1.78	0.79	35.82	1085.64				6	2.78	0.00	30.71	1090.05						
53207	6	1.78	0.79	44.70	1097.06	1.00			7	2.78	0.00	45.57	1096.19						
53104	7	1.78	0.79	53.49	1046.27				8	2.78	0.00	54.42	1047.34	2.68	Fiter 1	Loch ober-100			
53802-8	8	1.78	0.79	62.28	1038.48	1.00			9	2.78	0.00	63.20	1036.48	K	Fiter 2	Loch ober-100			
52905	9	1.78	0.79	71.06	1030.70				10	2.78	0.00	72.14	1029.62	K	Fiter 3	Komplet			
ΣZUM	10	1.78	0.79	79.85	1021.91	1.00			ΣZUM	11	2.78	0.00	81.00	1020.76					
ΣZUM	11	1.78	0.79	88.64	1015.12	1.00			ΣZUM	12	2.78	0.00	89.85	1011.91					
54701-8	12	1.78	0.79	97.42	1008.34	1.00			13	2.78	0.00	90.71	1002.05						
54702-8	13	1.78	0.80	106.22	995.54				14	2.78	0.07	107.58	994.18						
53702-8	14	1.78	0.80	115.02	986.74	1.00			15	2.78	0.07	116.45	985.31						
53402-8																			
				1150.40 m		12.90	Einlochschalen						1150.61 m						
				1.20 m									1.15 m						
				1151.76 m = UK Rohre ab OK Bodenplatte									1151.76 m = UK Rohre ab OK Bodenplatte						

Rohre 1.5"				Rohre 2.78"			
Stücke ges.	davon GFK-Nr.	davon Pass.	Summe	Stücke ges.	davon GFK-Nr.	davon Pass.	Summe
131	122	6	131	128	128	0	128
1.540	1079.23	1.00	1.540	1.850	1079.84	1.00	1.850
48	48	0	48	2.46	2.46	0	2.46
83	83	0	83	6.05	6.05	0	6.05
121	121	0	121	1.93	1.93	0	1.93
131	131	0	131	5.90	5.90	0	5.90
13.740	13.740	0	13.740	19.07	19.07	0	19.07
1	1	0	1	1	1	0	1
0.62	0.62	0	0.62	0.62	0.62	0	0.62
84	84	0	84	1100.61	1100.61	0	1100.61
Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ
131	122	6	131	128	128	0	128
1300.40	1079.23	1.00	1300.40	1850.00	1079.84	1.00	1850.00

Filterbereiche: 490m - 510m
570m - 590m
650m - 690m
740m - 760m
800m - 825m
900m - 920m
950m - 975m
1030m - 1050m

Brunnenhaus

- Berücksichtigung Gaseruption (Überlauf, Statik, Ableitsystem)
- aufsteigende Gase durch Behältersystem räumlich getrennt
- Beständigkeit gegenüber Sole
- Kompressoranlage räumlich getrennt
- Leitzentrale für komplette Prozesssteuerung





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Glückauf

