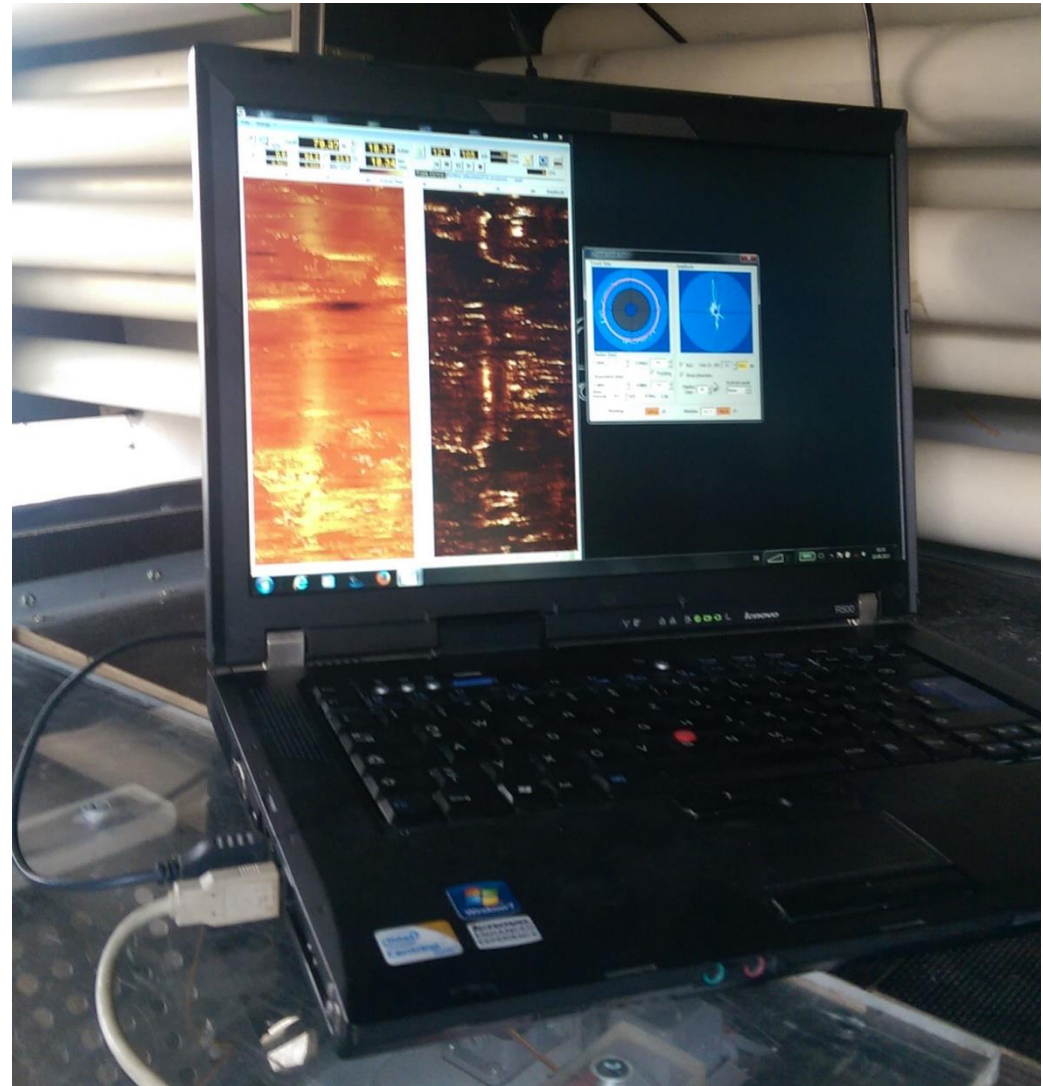


Nachträgliche Qualitätskontrolle



Clemens Lehr

Erdwärmeübertrager sind Bauwerke für Jahrzehnte

- Bohrtechnik
- Baumaterialien
- Bauausführung

Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung dient dazu, ein nach „Stand der Technik“ fehlerfreies Erdübertrager-Bauwerk herzustellen.

Qualitätskontrolle

Geotechnische Risiken

Bautechnische Antworten

Messtechnische Kontrolle

- Bei geotechnisch anspruchsvoller Geologie oder Problemen beim Hinterfüllvorgang kann es notwendig sein, die Hinterfüllung zusätzlich durch nachfolgende Messungen zu kontrollieren.

Qualitätskontrolle

Geotechnische Risiken

Bautechnische Antworten

Messtechnische Kontrolle



Sicherheit für Hersteller und Bauherren

Klüftigkeit oder große Porenräume der erbohrten Geologie:

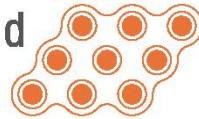
- Ausspülen der Hinterfüllung durch horizontalen Grundwasserfluss, bevor der Baustoff aushärten konnte.
- Abfließen von Hinterfüllmasse in Klüfte oder Zwickel
Hohlraumbildung in Teilbereichen der Bohrung.

Artesische Verhältnisse oder große Druckpotenzialunterschiede der durchörterten Grundwasserstockwerke:

- Vertikalumläufigkeiten des Übertragers durch Grundwasserdruck. Ausspülungen und Kurzschlüsse durch das Bestreben des Grundwasser-Potenzialausgleichs vor Aushärten der Hinterfüllmasse

Eingeschränkter Durchfluss oder Flüssigkeitsverlust des Übertragers

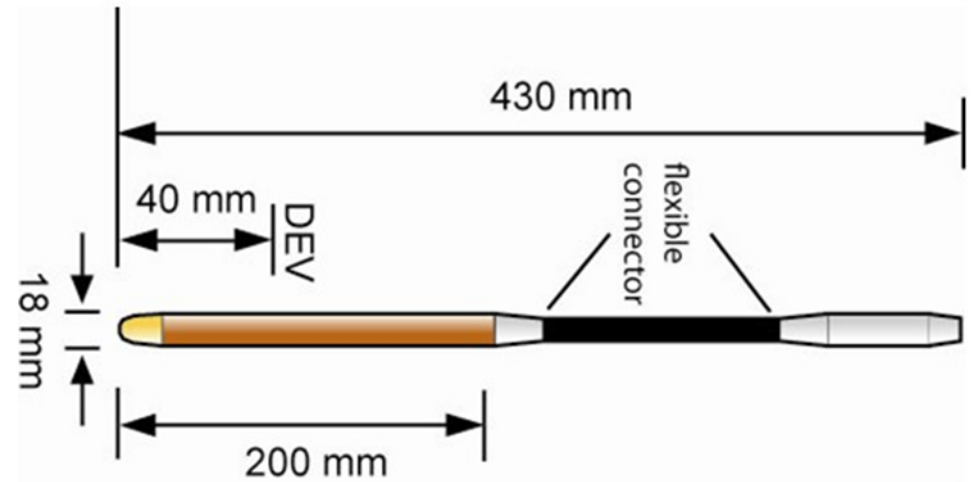
- Schädigung der Sonde durch mechanische Einwirkung während des Einbaus.
- Schädigung des Übertragers durch Havarie mit einer benachbarten Bohrung.
- Schädigung der Sonde durch Deformation beim Hinterfüllen (Druckverformung).
- Schädigung der Sonde durch geologische Gegebenheiten (z.B. Deformation durch einen durchörterten Horizont quellfähiger Tone)



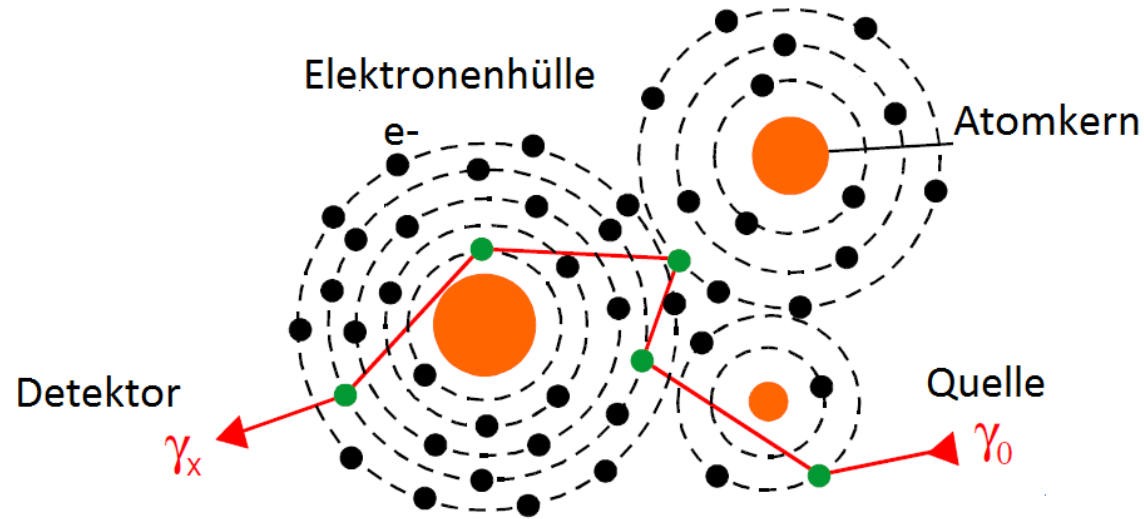
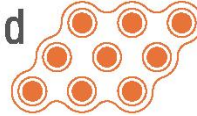
Messverfahren

Wireline – Stand Alone

- Gamma – Log
- Gamma-Gamma-Dichte-Log
- Magnetik-Log
- Kamera-Befahrung
- Verlaufsmessung



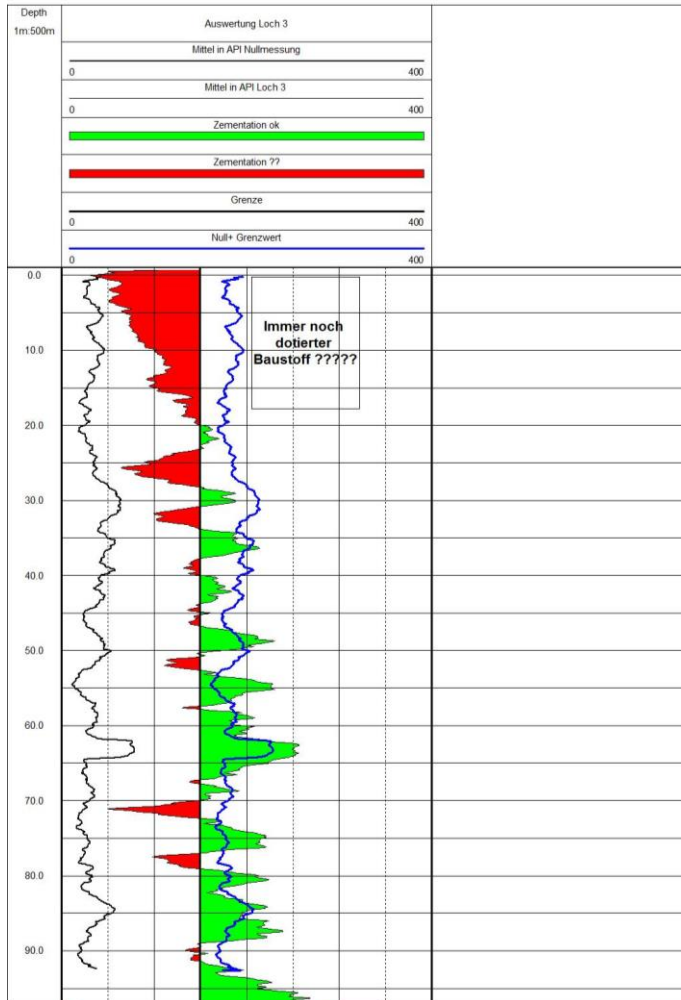
Quelle: Terratec GmbH, Heitersheim



Gamma-Gamma-Dichtemessung mit
aktiver Strahlenquelle

Compton-Streuung - Interaktion zwischen
Hüllelektronen und Gamma-Photonen

Havariegefahr?



Gamma-Messung

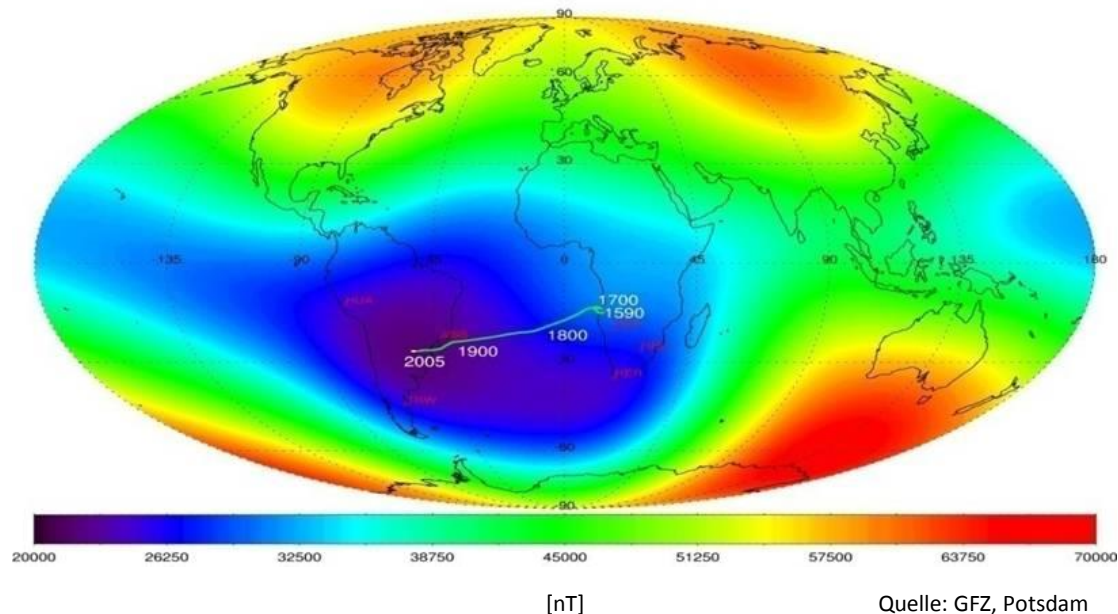
Problem:

Gleichbleibende Aktivität der Rohstoffe



Grundlage für die Geomagnetik ist die Existenz des irdischen Magnetfeldes.

In ihm bekommen alle Stoffe (alle!) durch einen Induktionsprozess magnetische Eigenschaften oder – mit anderen Worten – eine induzierte Magnetisierung. Die stoffliche Eigenschaft nennt man magnetische Suszeptibilität.



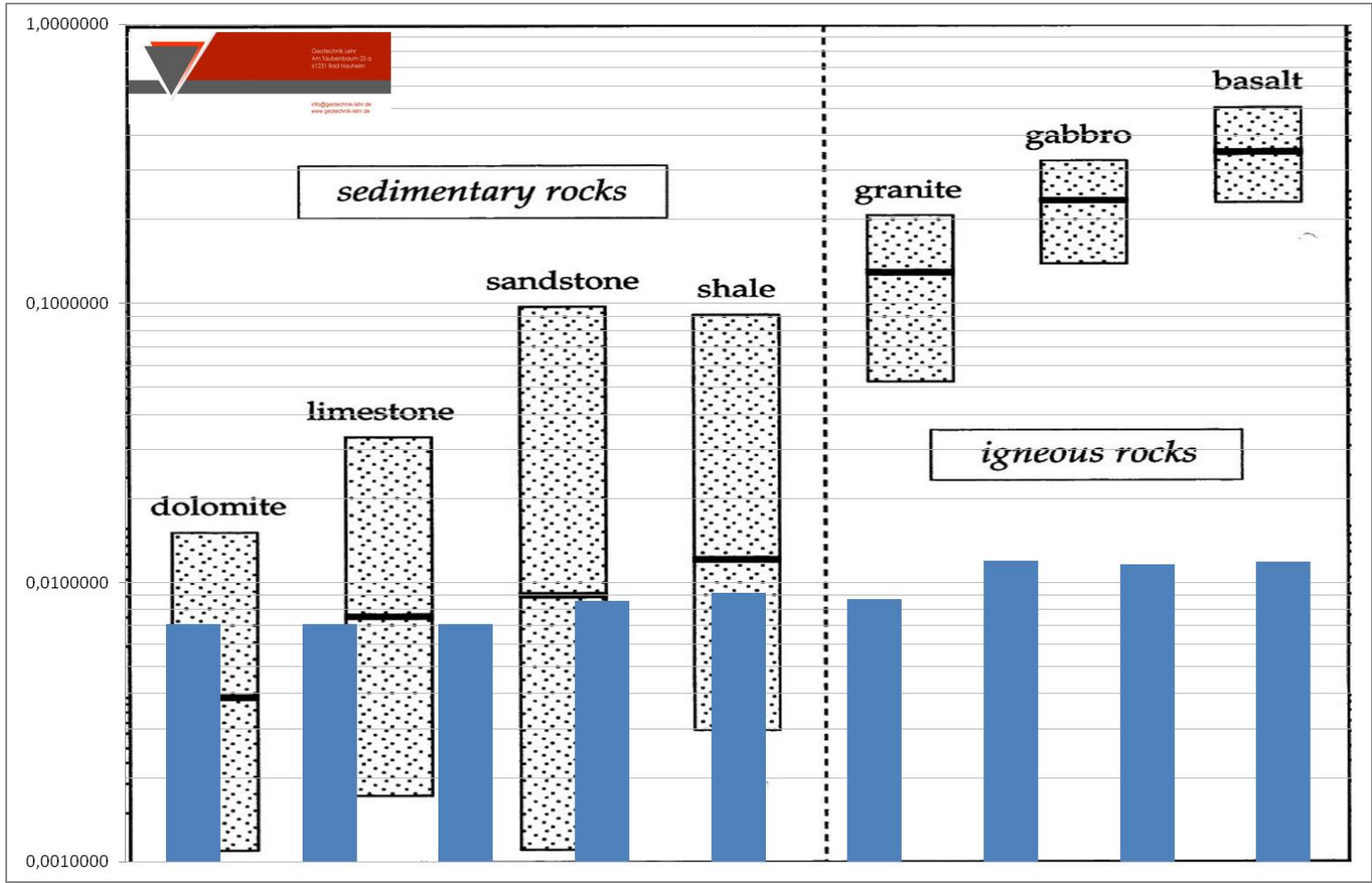
Magnetfeldmessungen in Bohrungen

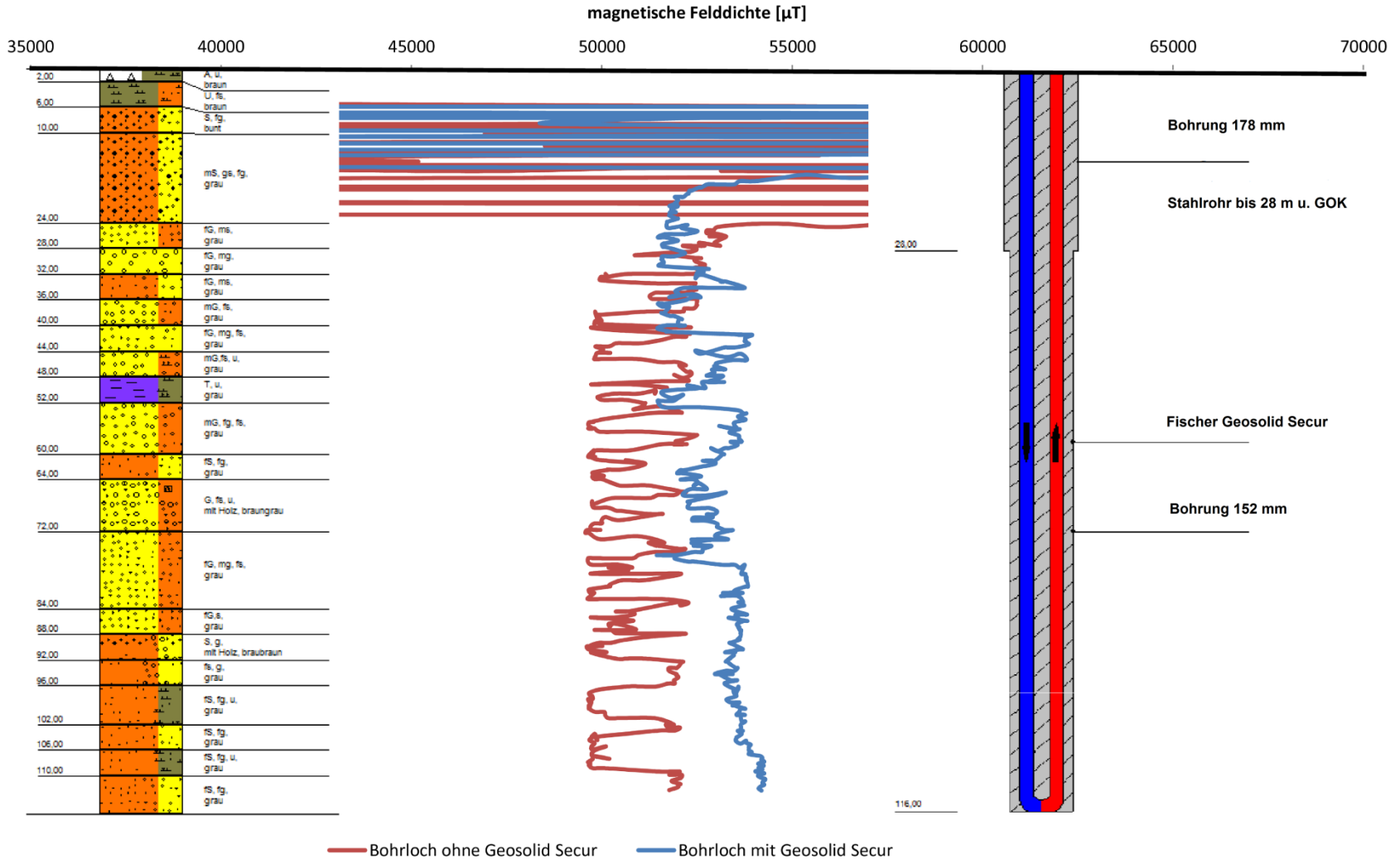
Dazu gehören Messungen der Suszeptibilität mit aktiven Meßsonden und Magnetfeldmessungen.

Solche Messungen dienen zur lithologischen Gliederung und Korrelation von Bohrungen sowie zur Ortung und räumlichen Erfassung magnetisierter Massen und Objekten (z.B. Bombenortung in der Kampfmittelräumung, Tiefenerstreckung von Spundwänden, armierten Betonpfeilern etc.).

Remanente Magnetisierung

Bei einer bestimmten Gruppe von Stoffen (bei den Mineralen: z.B. Magnetit).
Bei den Gesteinen (vor allem magnetithaltige, z.B. Basalte) ist außer der induzierten Magnetisierung eine bleibende oder remanente Magnetisierung (**Remanenz**) eigen.

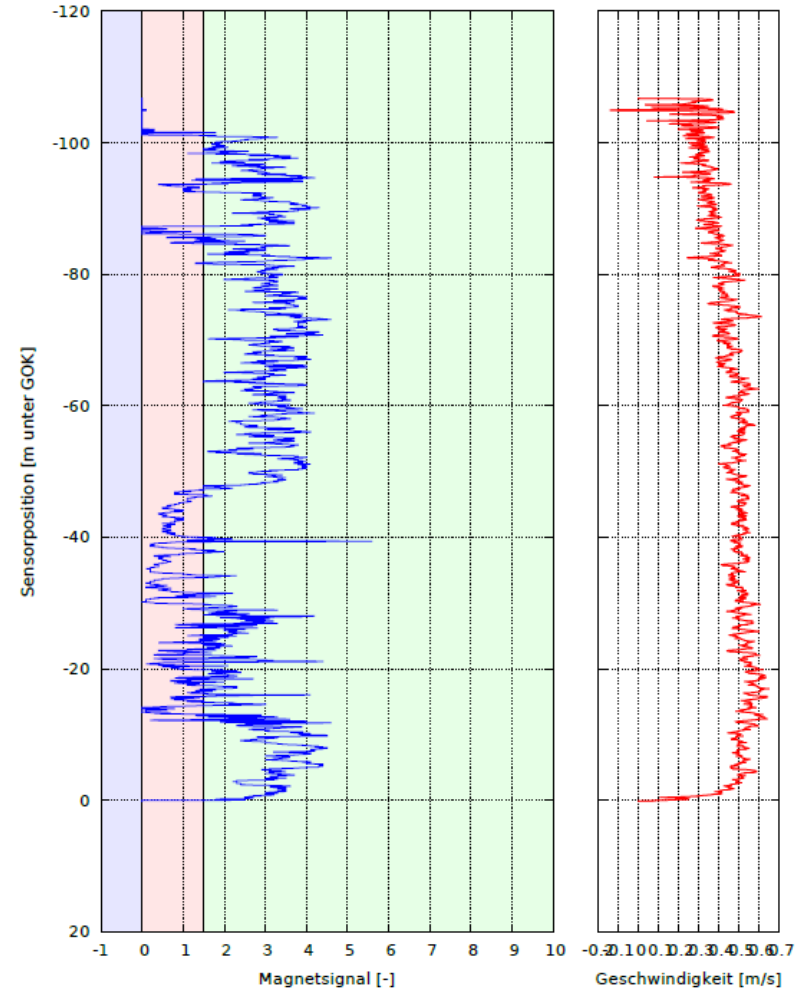




Die Messungen zeigen lediglich,
dass der Baustoff vorhanden ist.

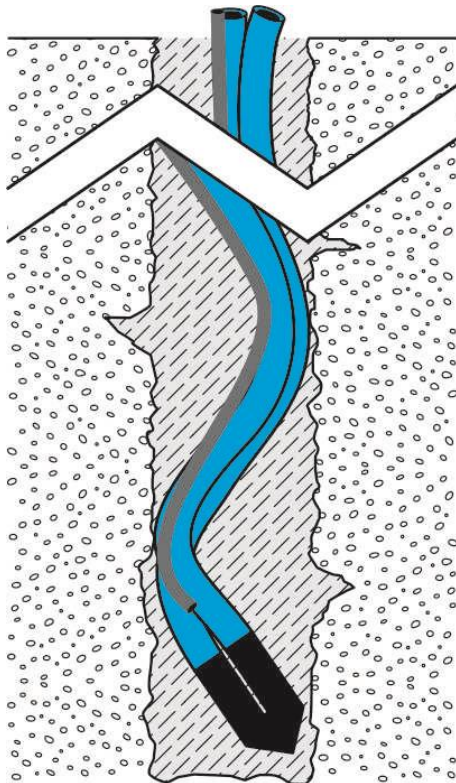
Sie zeigen nicht, ob
- der Baustoff kraftschlüssig ist
- vertikalabdichtend wirkt

Die Messung dient der
Kontrolle der Bohrfirmen?!

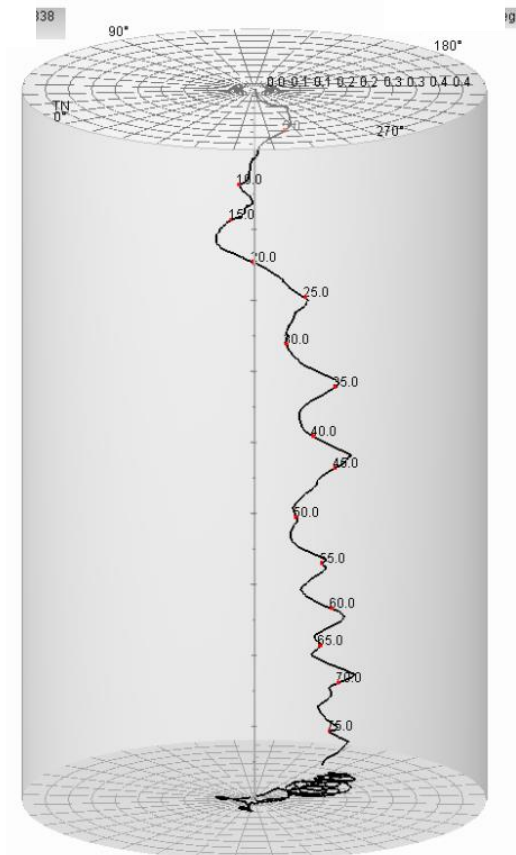
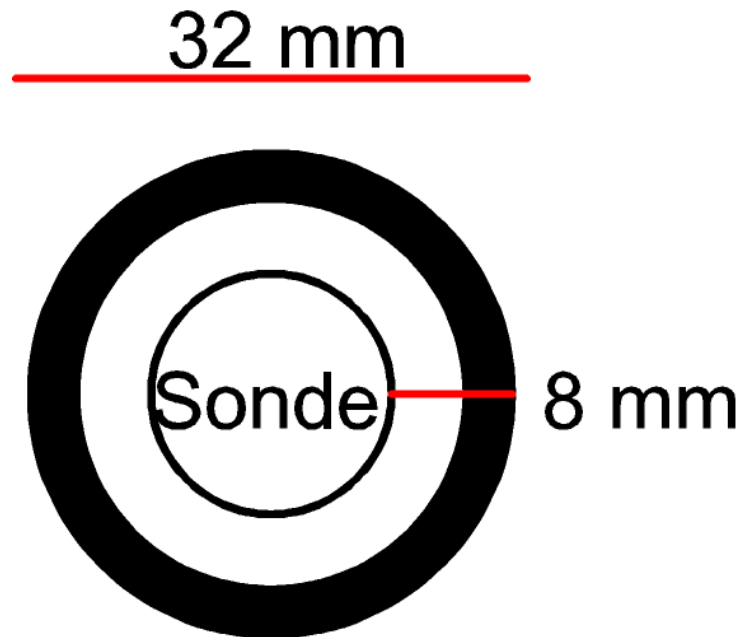


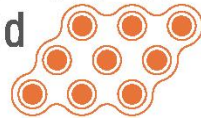
Reichweite für axiales Eindringen (induktives Verfahren)

50%/6mm, 10%/16mm, 1%/25mm



Quelle: EA Geothermie





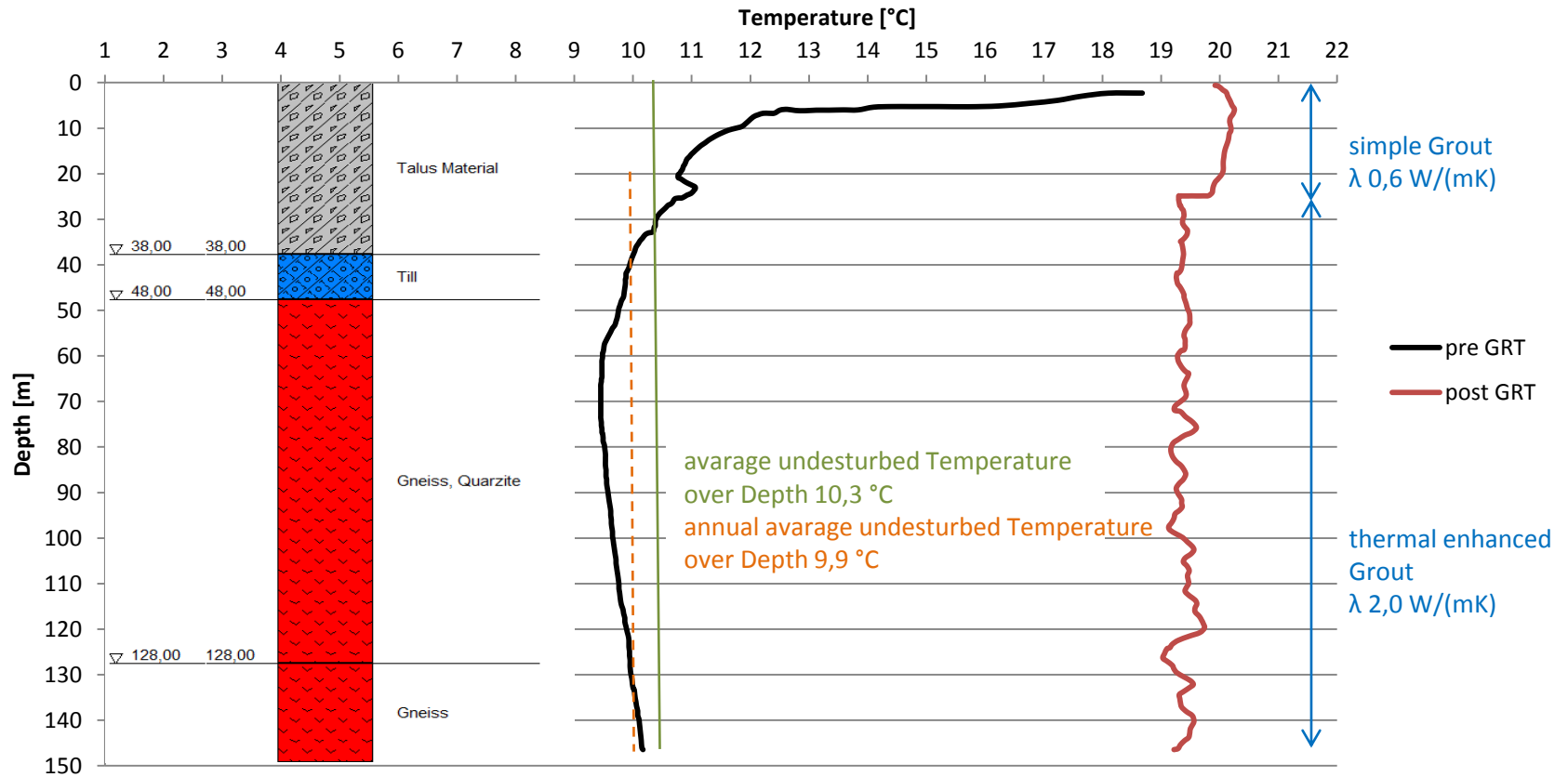
Thermische Messverfahren

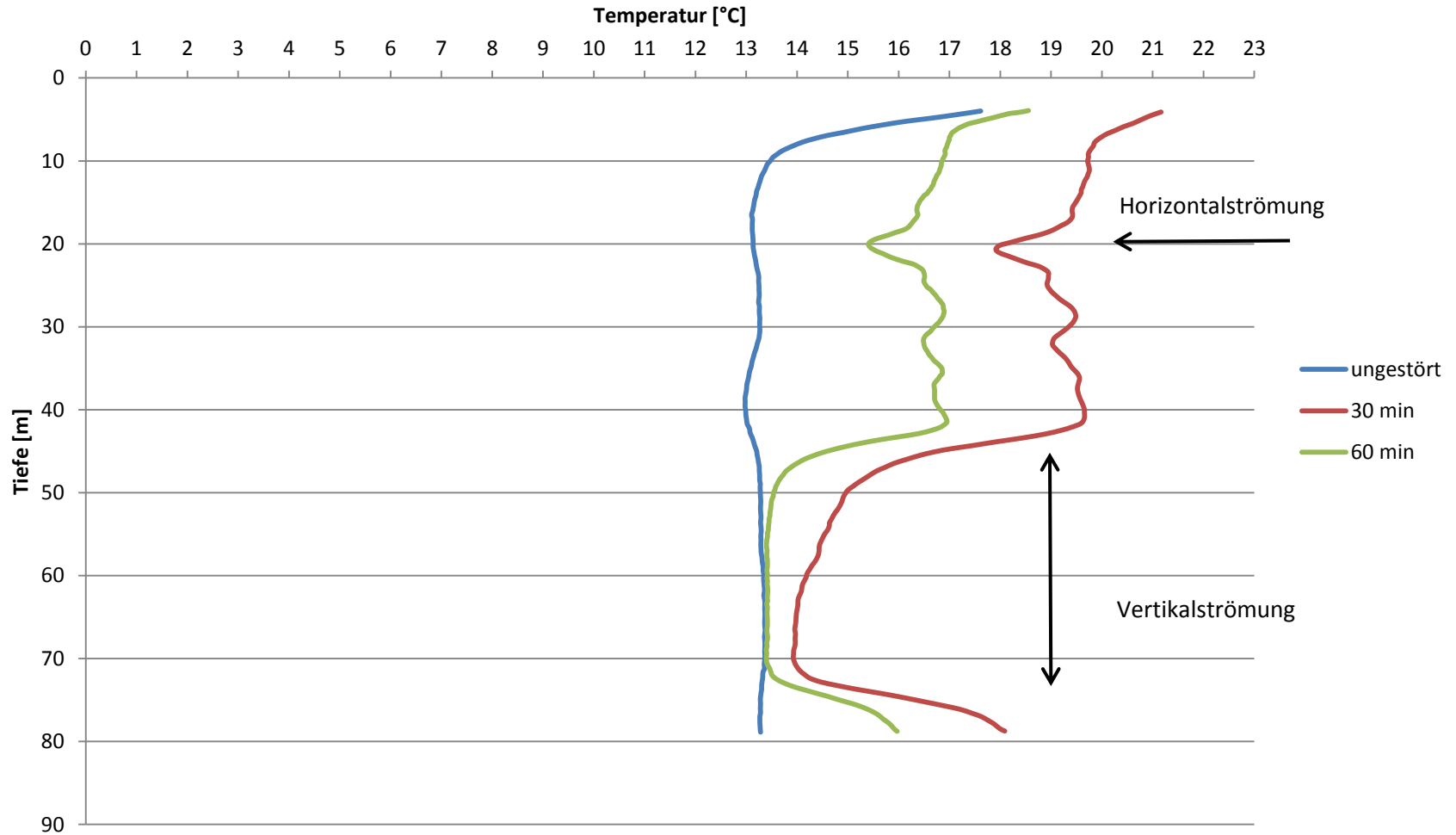
Temperatur-Tiefen-Log

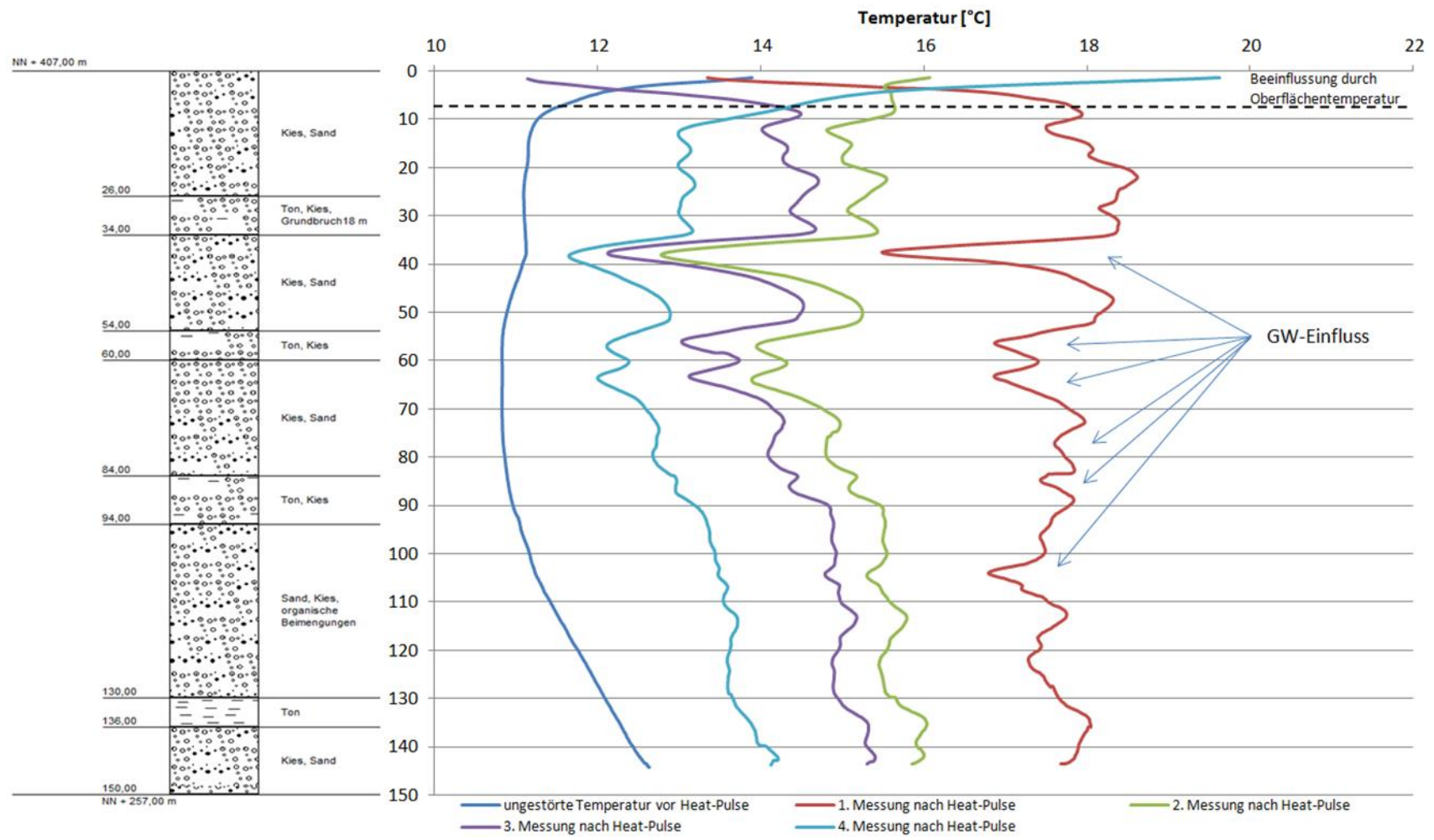
Glasfasermessung (Optical-Frequency-Domain- Reflectometry-Messung OFDR)

Kurzzeit GRT/ Heat-Pulse-Methode



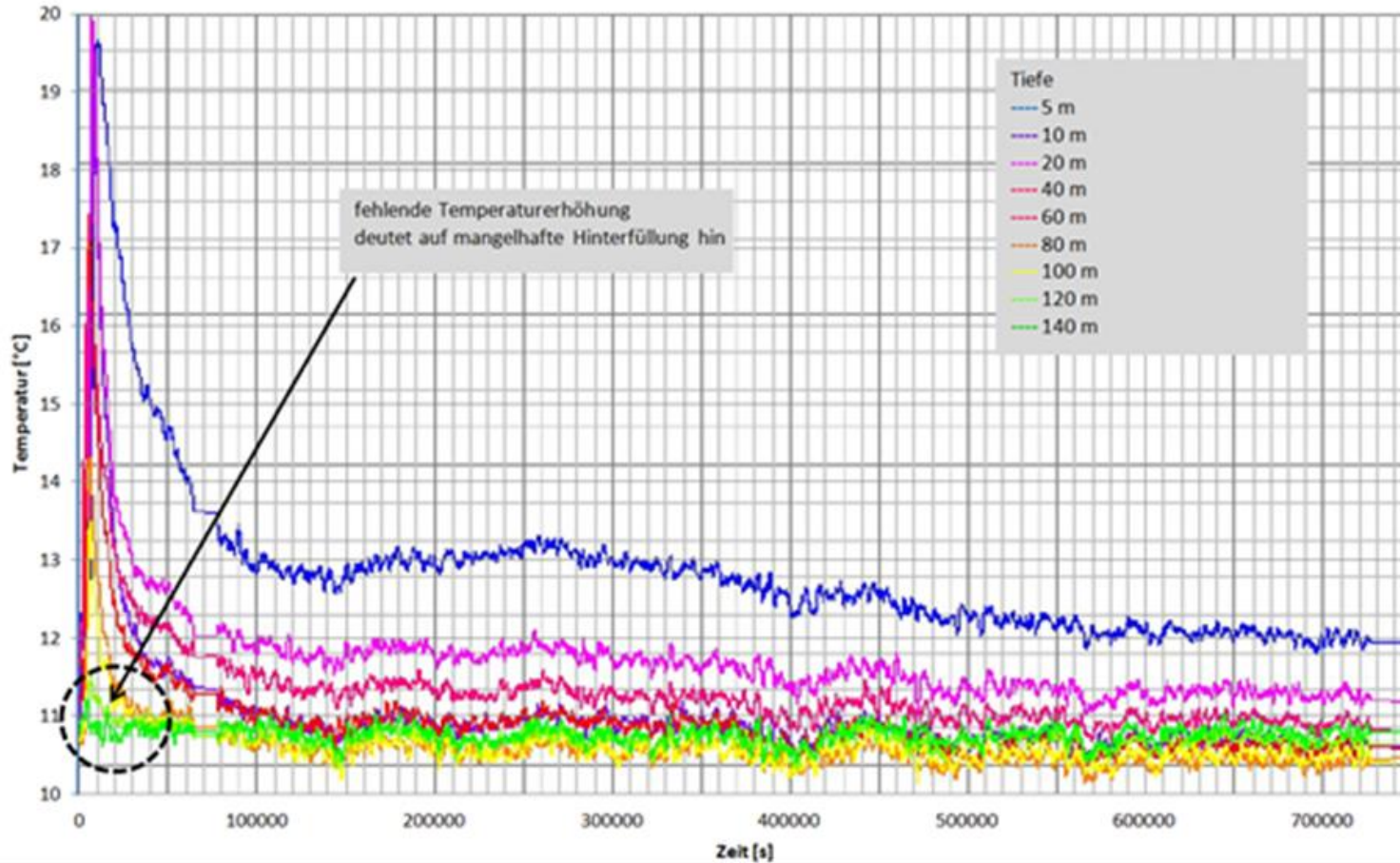




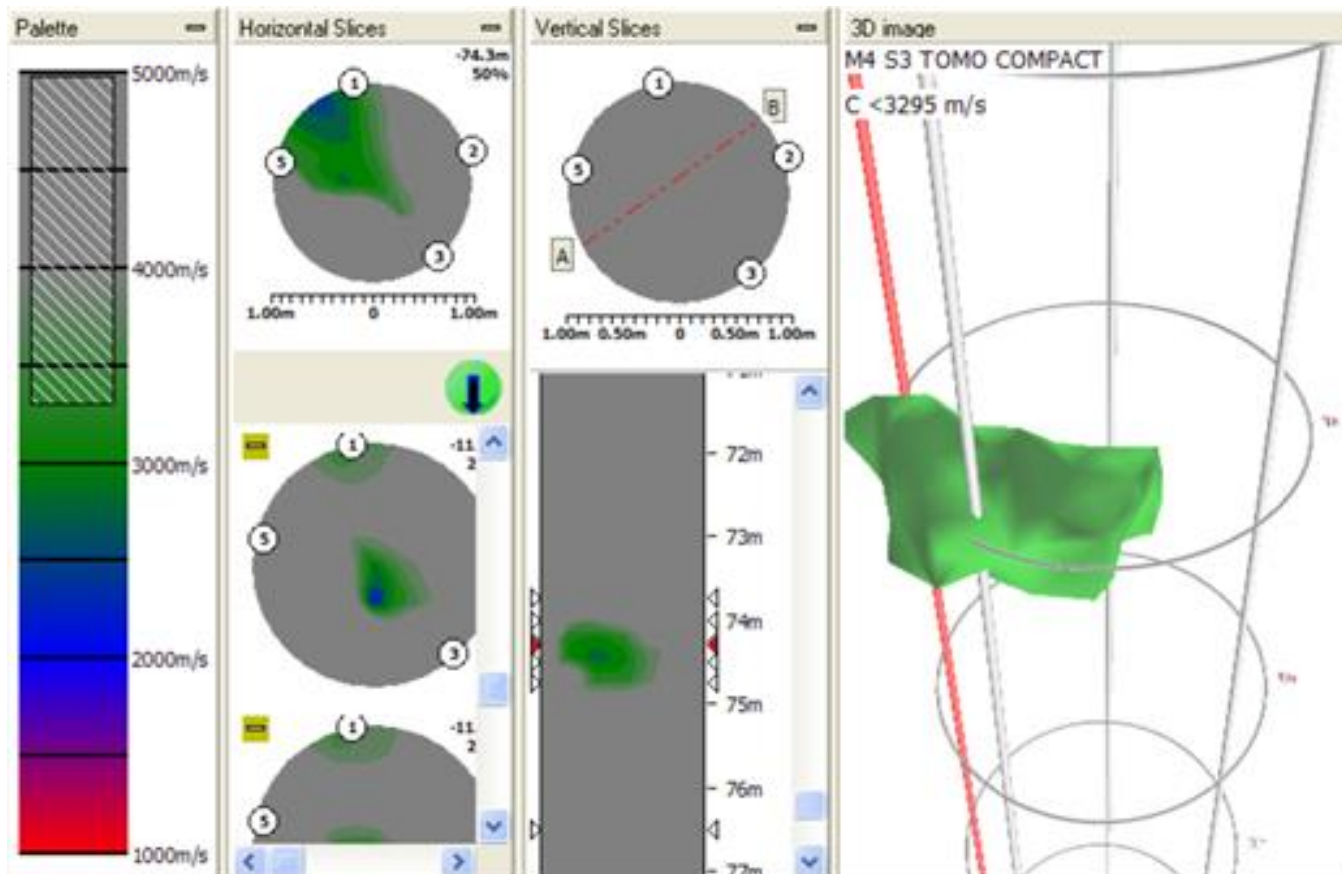




Hydratationswärmeentwicklung nach Hinterfüllvorgang



Ultraschalltomografie 2D/3D

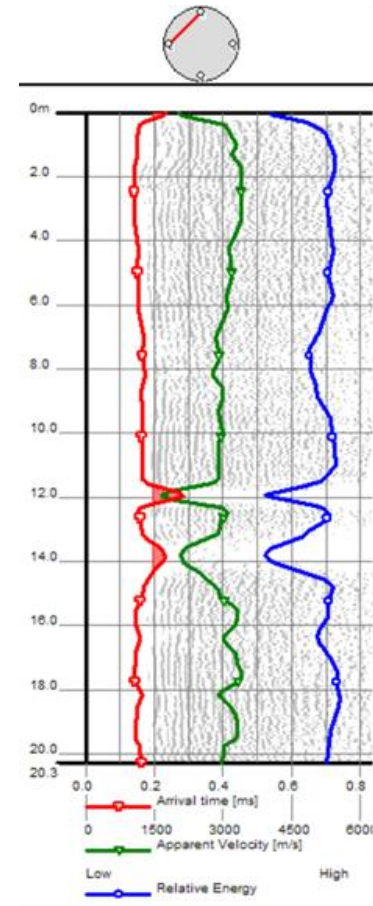


Quelle: Piletest Ltd, London

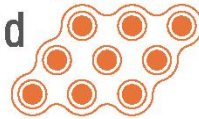
Ultraschalltomografie 2D/3D

Unterschiedliche Schallgeschwindigkeiten

- Feststoff
- Wasser
- Luft



Quelle: Piletest Ltd, London



Regelwerke für die Kontraktions-Druckprüfung an Horizontalleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen mit elastischem Verhalten

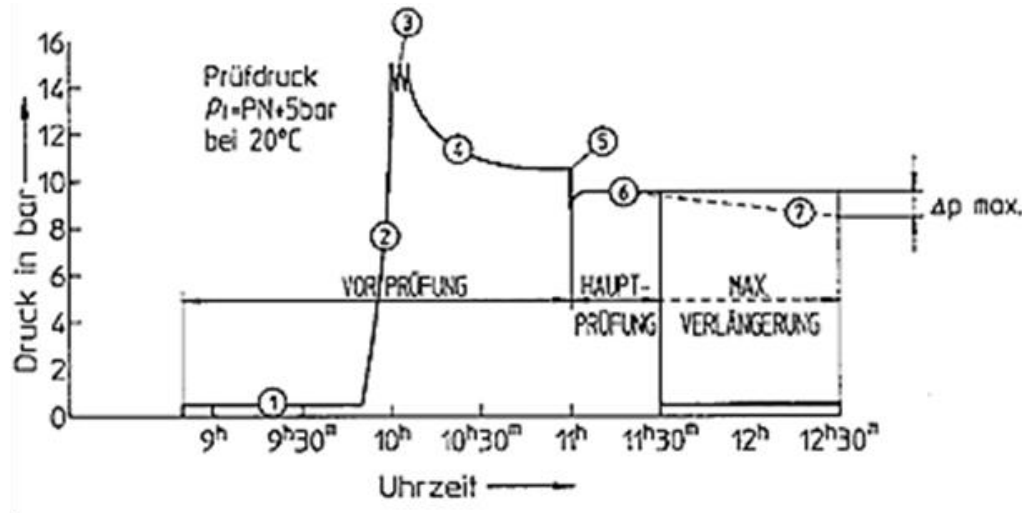
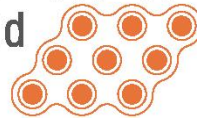
Vornorm DIN V 4279-7 (zurückgezogen)

durch die DIN EN 805 ersetzt.

DVGW W 400-2, 2004 (Beiblatt W 4, 2007)



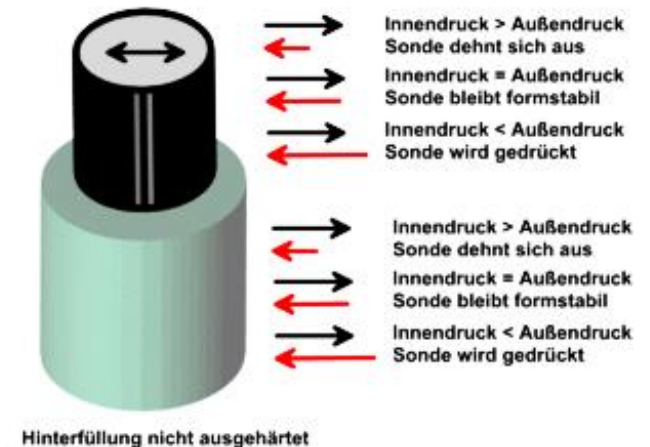
Anpassung der Prüfvorschriften an die Randbedingungen von Vertikalleitungen z.B. Rohner, 2005; SIA 384/6, 2010



- | | |
|---|--------|
| 1 Entspannungsphase (drucklos) | 1 h |
| 2 Aufbau des Prüfdrucks (abhängig von Bohrungstiefe und Dichte der Hinterfüllung)
(nach DVGW W 400-2 30 min) | 10 min |
| 3 Druckhaltung | 10 min |
| 4 Expansionsphase | 1 h |
| 5 Druckabsenkung (10% des Prüfdrucks, abgelassene Wassermenge ist zu messen) | rasch |
| 6 Kontraktionsphase | 30 min |
| 7 Verlängerung der Kontraktionsphase (nicht bei SIA 384/6) | 60 min |

Die Kontraktionsprüfung muss unmittelbar nach dem Hinterfüllvorgang in der noch fließfähigen Suspension erfolgen.

Dem hydrostatischen Druck in der wassergefüllten Sonde steht der hydrostatische Druck der Suspension entgegen. Die Dichte der Suspension hängt von der Rohdichte des Baustoffs und der Rezeptur des Herstellers (W/F-Zahl) ab.



Der E-Modul

Der E-Modul beschreibt den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung bei der linear elastischen Verformung eines festen Körpers.

Schlüsselparameter ist der Kurzzeit-E-Modul, der die elastische Verformungsfähigkeit der Thermoplaste beschreibt.

	PE-HD 80 [N/mm ²]	PE-HD 100 [N/mm ²]	PE-HD 100 RC [N/mm ²]	PE Xa [N/mm ²]
Frank GmbH	950	1100		600
Simona AG	800	1100	900	
Rehau AG & Co		1000	1100	600

Beispiele für E-Modul-Angaben unterschiedlicher Hersteller: Teilweise werden von Herstellern keine oder unterschiedliche Angaben zu einzelnen Materialien gemacht.

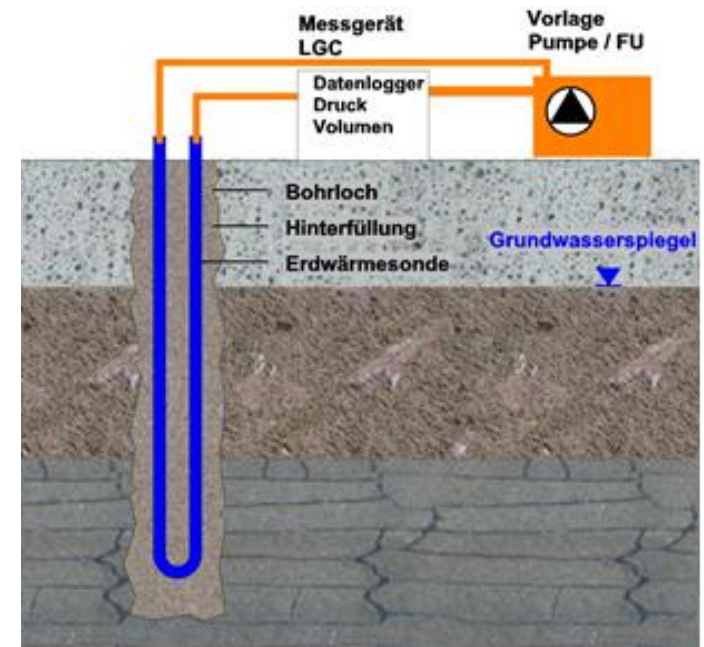
Die maximal zulässige abgelassene Wassermenge kann für die unterschiedlichen Sondenmaterialien nach folgende Formel ermittelt werden:

$$V_{max} = P_{Abs} * l * 0,1 * f * \frac{\pi * d_i^2}{4} * \left(\frac{1}{K_w} + \frac{d_i}{E_R * s} \right)$$

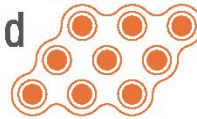
- V_{max} maximal zulässiges Volumen [ml]
- P_{Abs} Druckabsenkung [bar]
- l Länge der geprüften Leitung [m]
- f Faktor zur Berücksichtigung der Restluft in den Rohren
- d_i Innendurchmesser des Rohres [mm]
- s Wanddicke des Rohres [mm]
- E_R Kurzzeit E-Modul des Rohrwerkstoffs [N/mm²]
- K_w Kompressionsmodul des Wassers [N/mm²]

Sonde 100 m 32x2,9mm/ Druckabsenkung 2 bar					
	PE Xa	PE 80	PE 100 RC	PE 100	
E-Modul	600	800	900	1100	[N/mm ²]
Volumen	352	266	238	197	[ml]

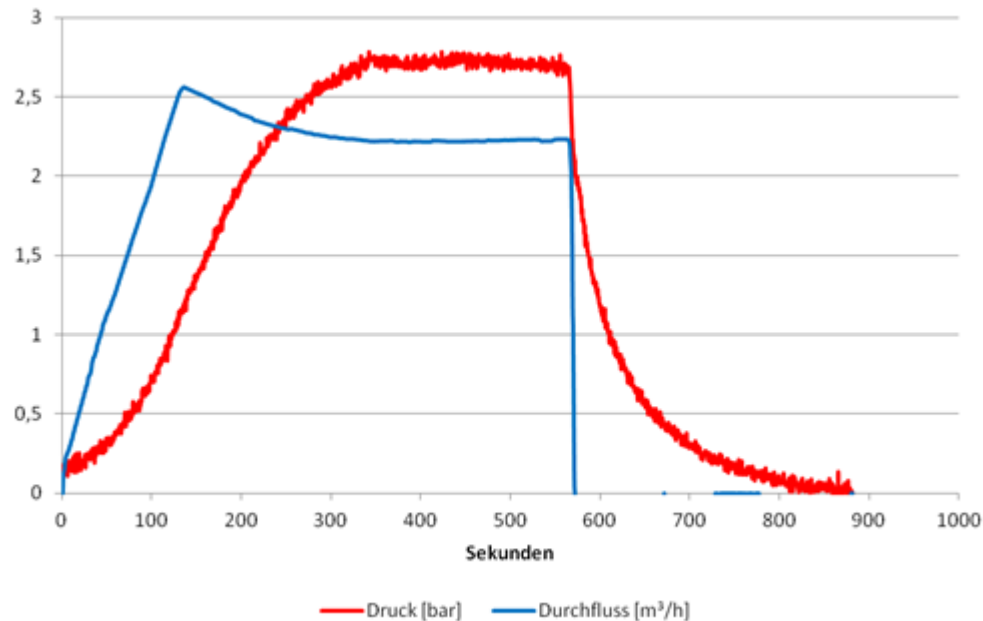
Führt man die Durchflussprüfung mittels einer frequenzgesteuerten Pumpe und automatisierter Datenaufzeichnung durch (Druck, Volumenstrom), kann anhand der Messkurven eine belastbare Aussage zum Zustand der Erdwärmesonden gemacht werden.



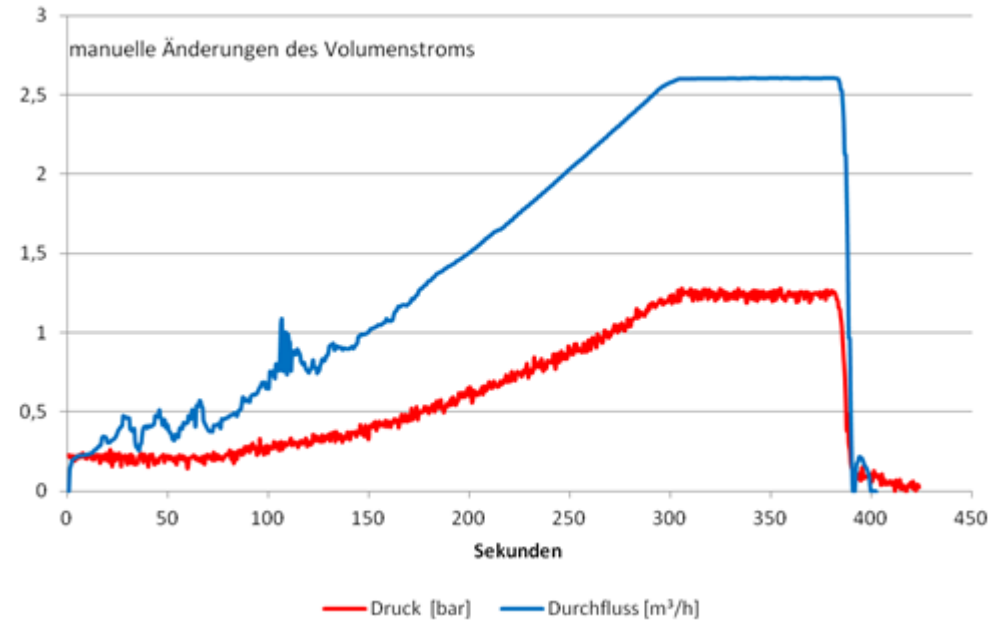
Die folgend vorgestellten Messungen, erfolgten mit einer Vorlage im offenen Kreislauf, um eine Verfälschung der Messwerte durch die Pumpencharakteristik (Saugen, Drücken) zu verhindern.



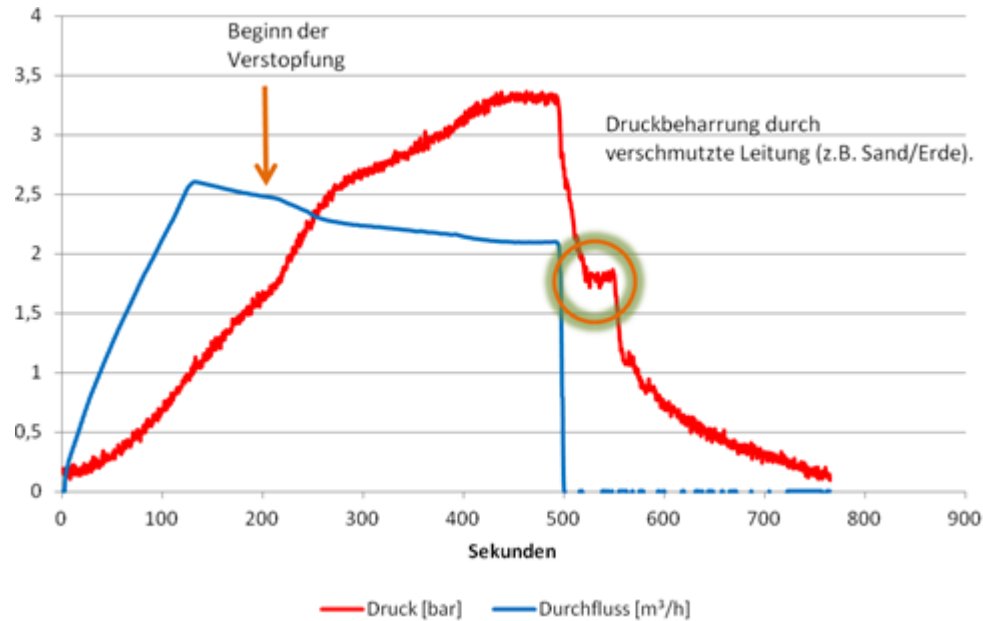
Zur Durchflussmessung wird der Volumenstrom kontinuierlich gesteigert und dabei der Volumenstrom und der Vordruck mit einer zeitlichen Auflösung von 0,5 s aufgezeichnet. Nach Abschalten der Pumpe wird die Druckentlastungsphase beobachtet.



Messkurve einer Leitung mit Lufteinschlüssen



Frei durchgängige Sonde ohne Lufteingänge.

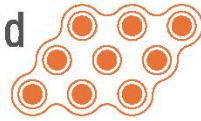


Die Messkurve zeigt eine durch Schmutz blockierte Erdwärmesonde. Nach Abschalten der Pumpe kann der Druck durch die Blockierung der SONDENSCHENKEL nicht entlasten.

Qualität und Wirtschaftlichkeit durch:

Differenzierte Anforderungen nach
Standort und standortspezifischen Georisiken.

„Stand der Technik“



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

