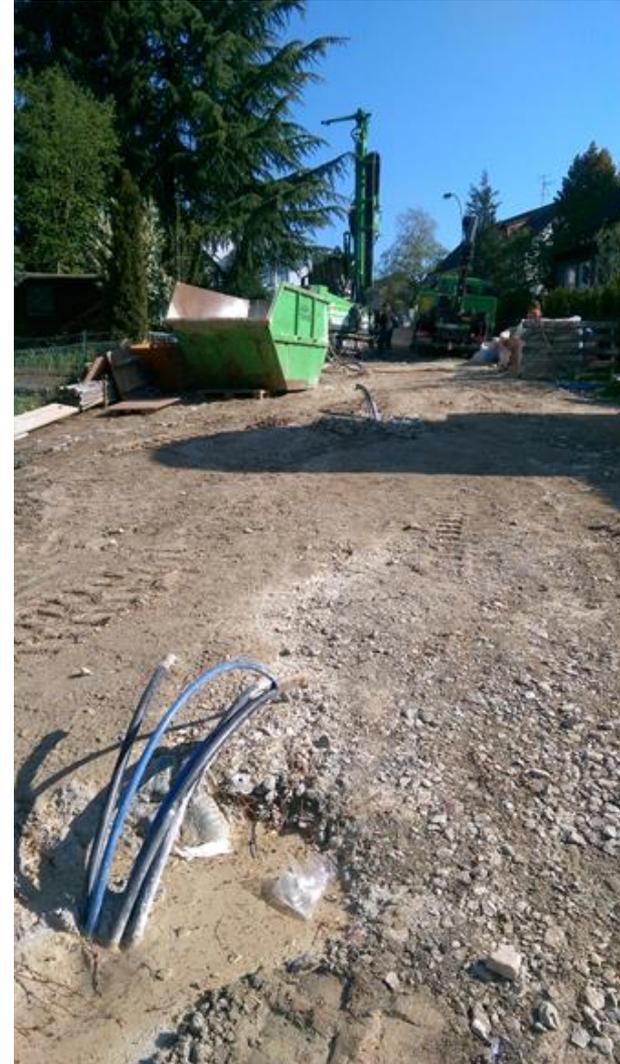


Dichtheitsprüfung der Bohrlochhinterfüllung

Clemens Lehr



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



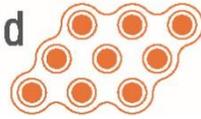
Sicherheit für Hersteller und Bauherren

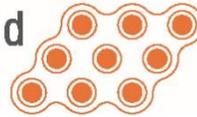
Klüftigkeit oder große Porenräume der erbohrten Geologie:

- 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:

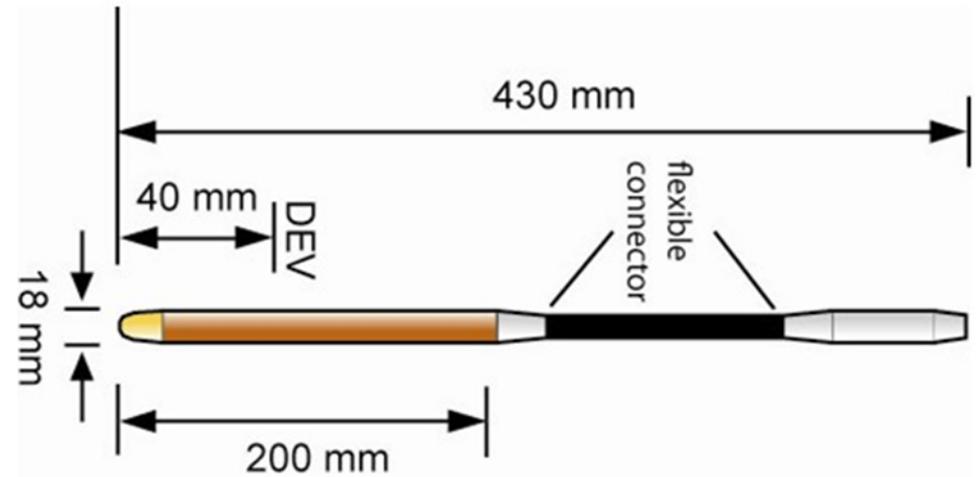
- Vertikalumläufigkeiten des Übertragers durch Grundwasserdruck. Ausspülungen und Kurzschlüsse durch das Bestreben des Grundwasser-Potenzialausgleichs vor Aushärten der Hinterfüllmasse





Messverfahren

Wireline – Stand Alone

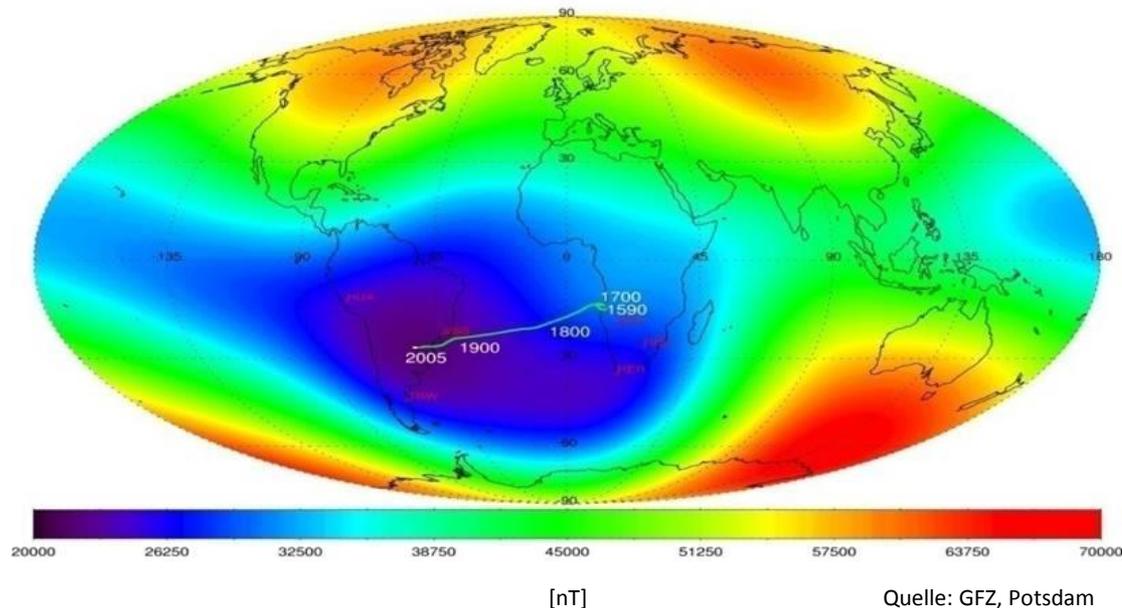


Quelle: Terratec GmbH, Heitersheim

- Gamma – Log
- Gamma-Gamma-Dichte-Log
- Magnetik-Log

Ursprung der 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.



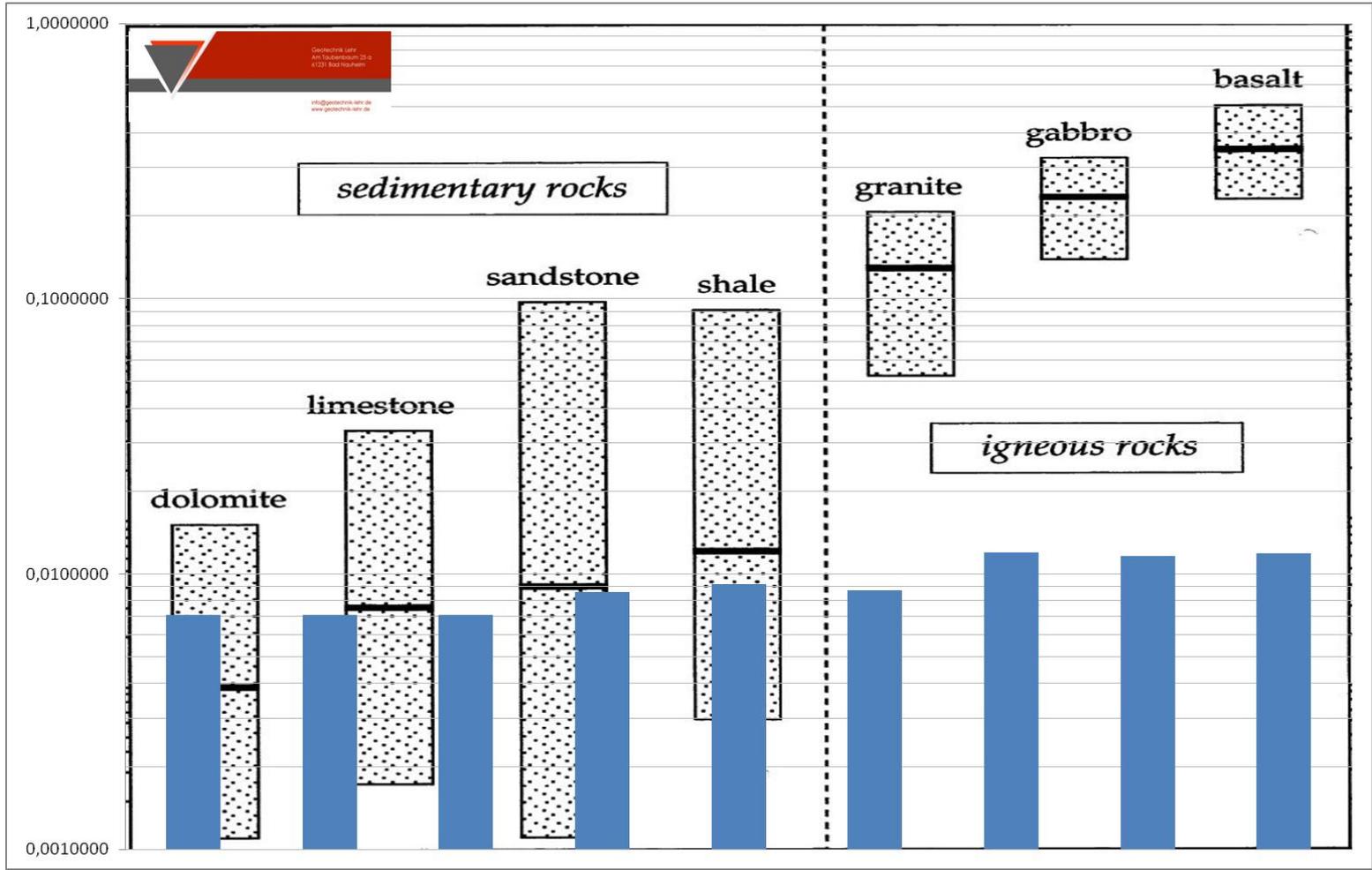
Magnetfeldmessungen in Bohrungen

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.).

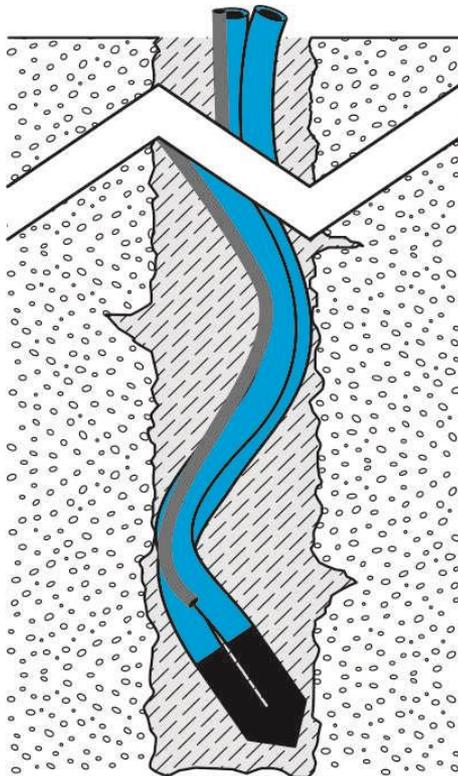
Remanente Magnetisierung

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.

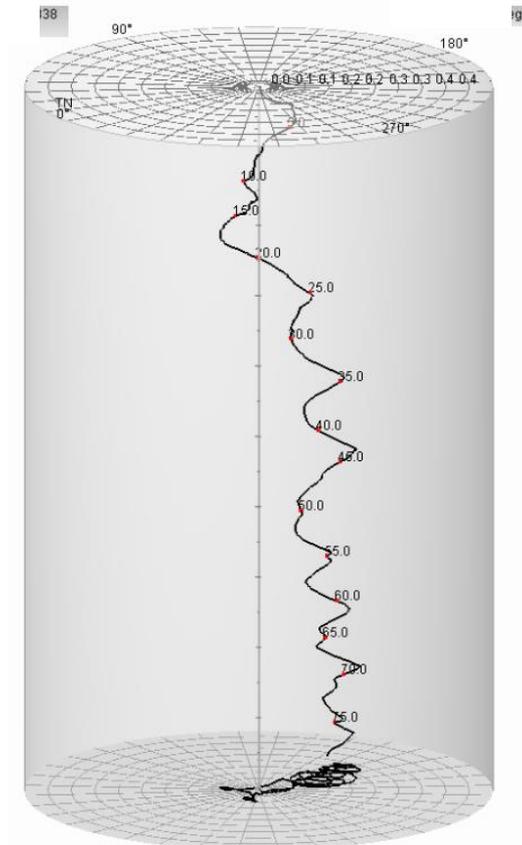
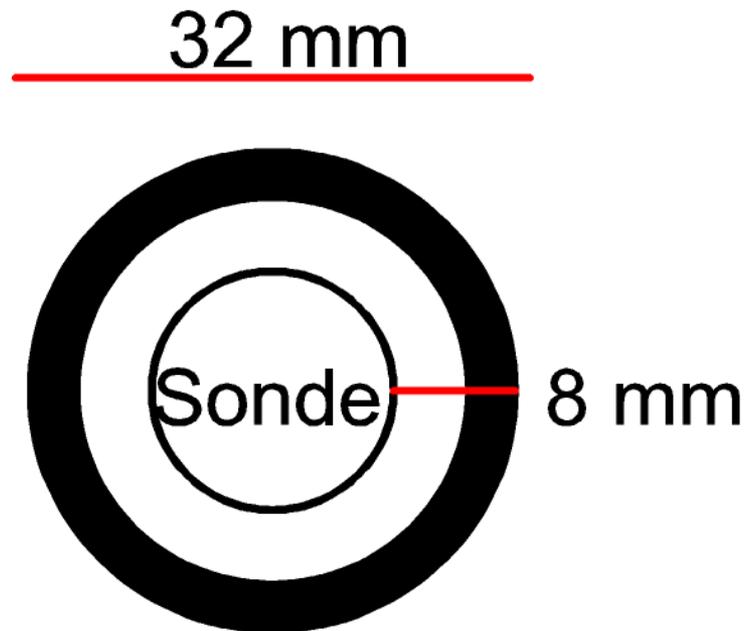


Reichweite für axiales Eindringen (induktives Verfahren)

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



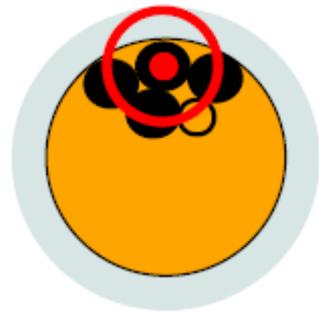
Quelle: EA Geothermie





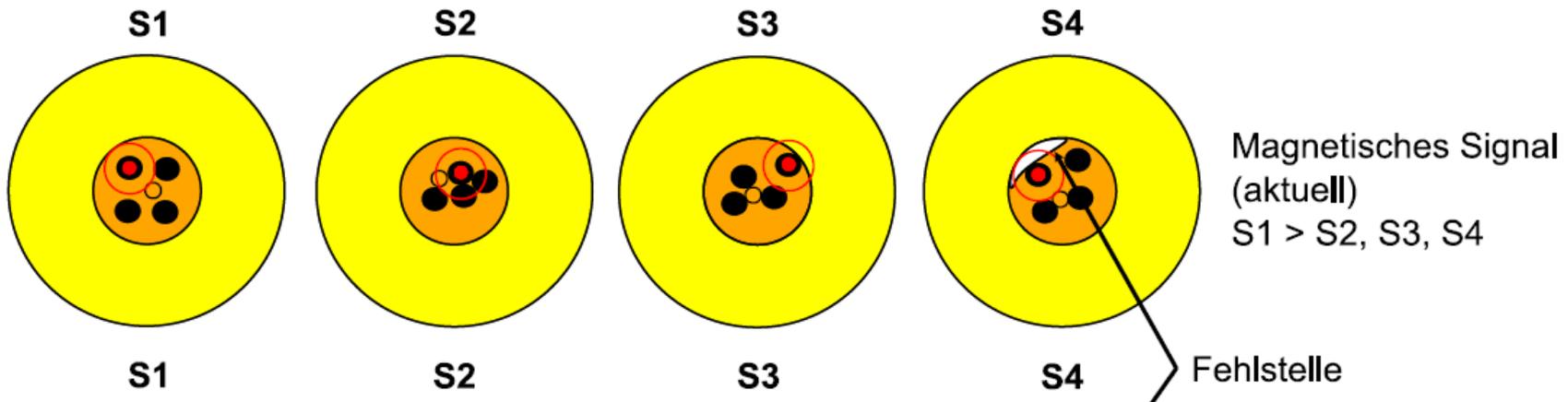
Ukelis et al.: Hinterfüllkontrolle für Erdwärmesonden – Beurteilung einer magnetischen Methode.

Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie (2021) 26:135–153, Springer
<https://doi.org/10.1007/s00767-021-00476-0>



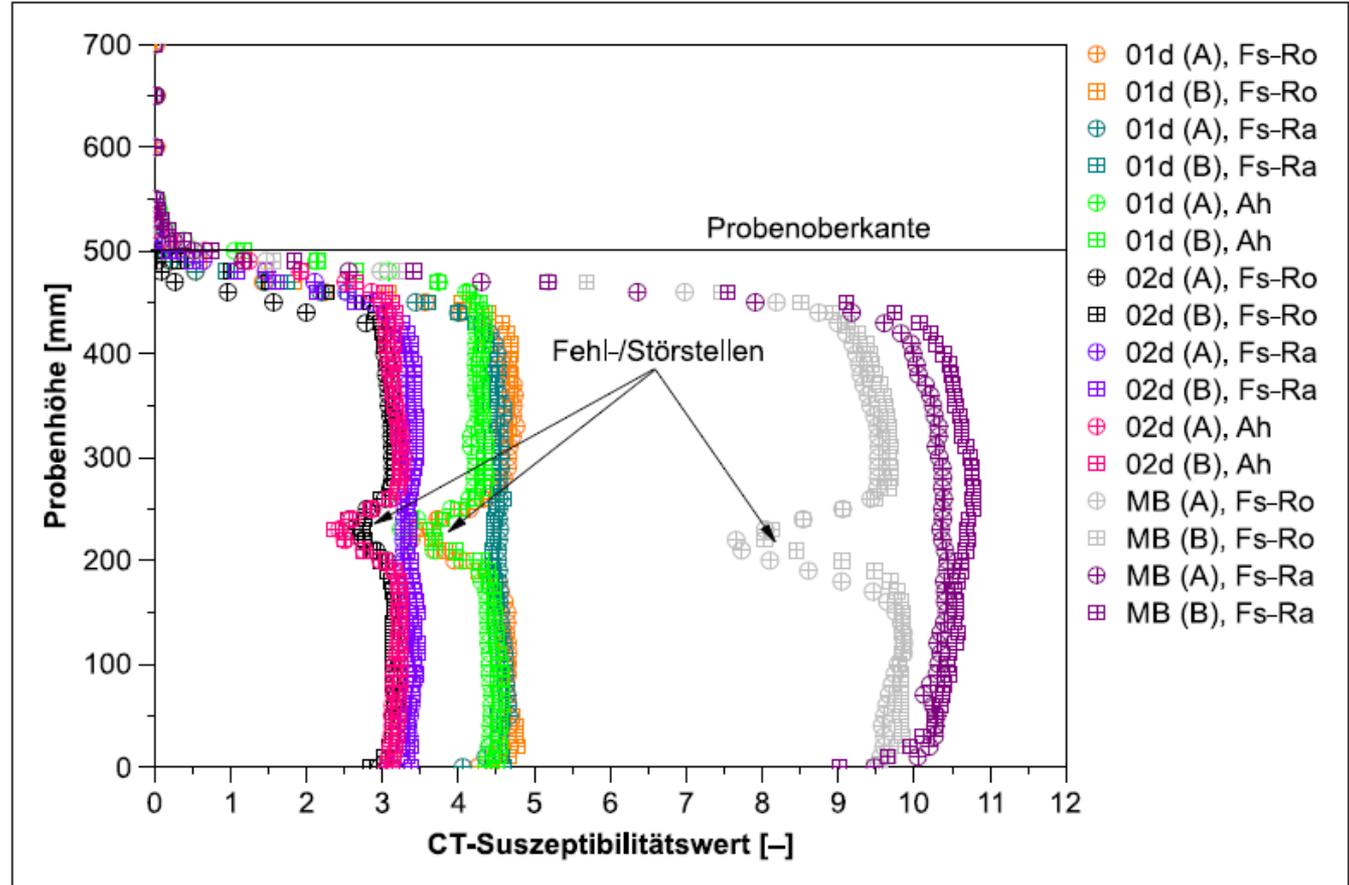
Geologie; Suszeptibilität = 0
Dotierter Verfüllbaustoff
SX = Szenario X

- Sensoreindringtiefe
- Sondenrohr
- Sensor



Abbildungen: Ukelis et al., 2021

Abb. 5 Fehlstellen am Son-
denrohr (Fs-Ro), am Probenrand
(Fs-Ra) und Abstandshalter (Ah)
als Störstellen; d mit Magnetit
Fig. 5 Cavities on the tube (Fs-
Ro), on the sample rim (Fs-Ra)
and spacers (Ah) as defects;
 d with magnetite

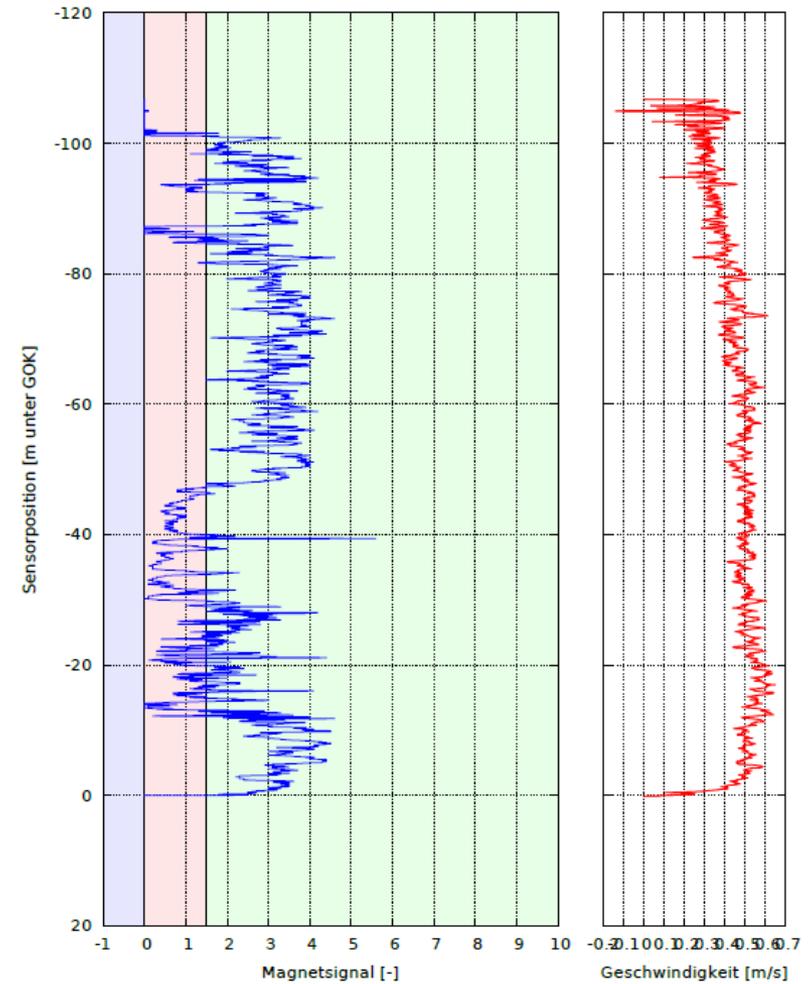


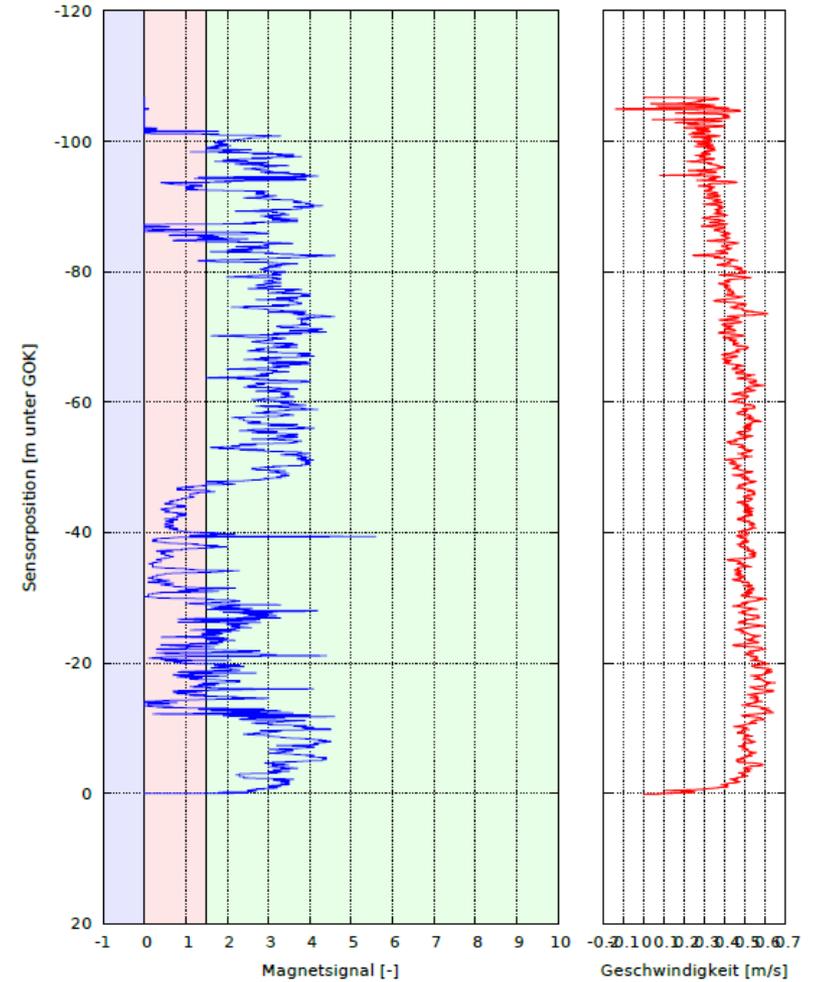
Abbildungen: Ukelis et al., 2021

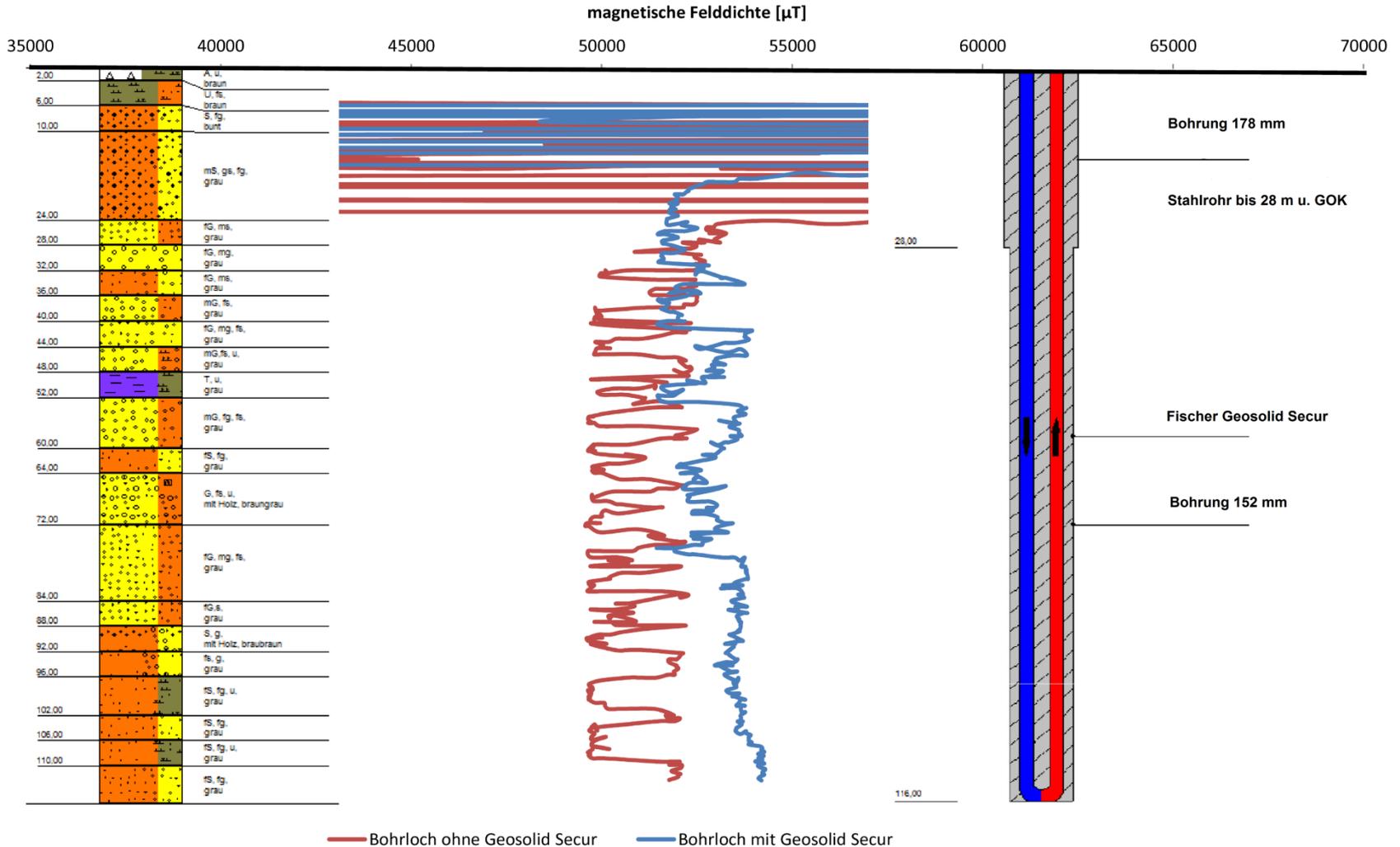
Die Messungen zeigen lediglich,
dass der Baustoff vorhanden ist.

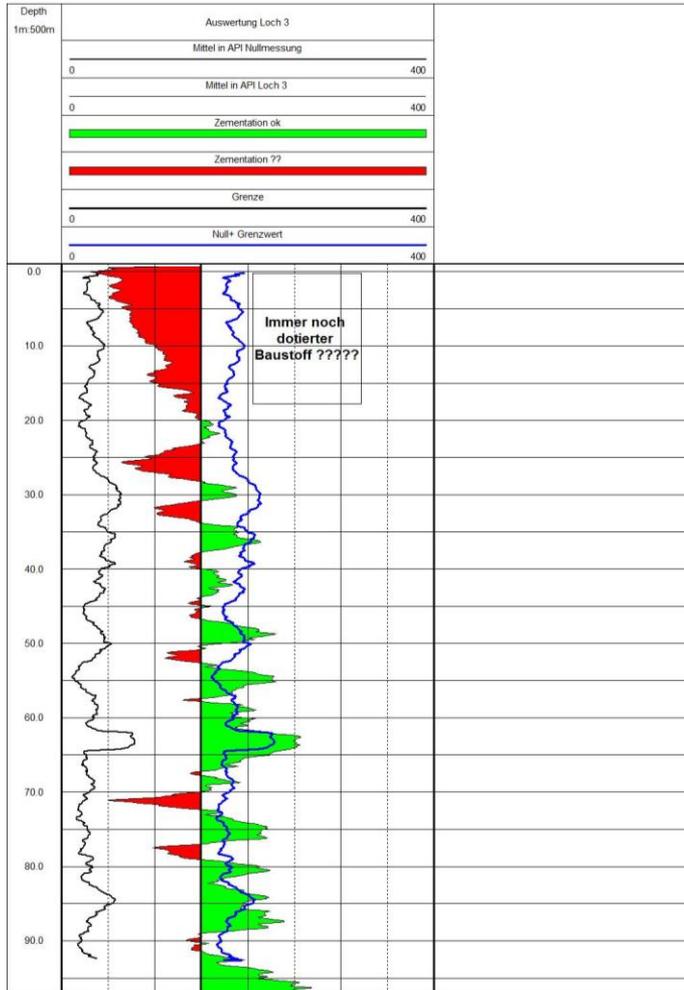
Sie zeigen nicht, ob

- der Baustoff kraftschlüssig ist
- vertikalabdichtend wirkt





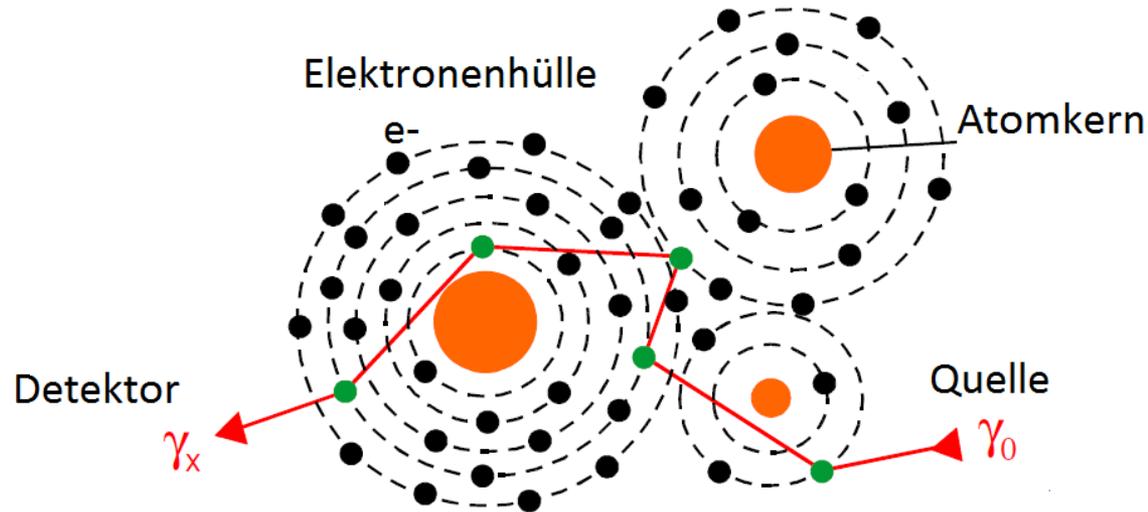




Gamma-Messung

Problem:

Gleichbleibende Aktivität der Rohstoffe



Gamma-Gamma-Dichtemessung mit
aktiver Strahlenquelle

Compton-Streuung - Interaktion zwischen
Hüllelektronen und Gamma-Photonen

Havariegefahr?

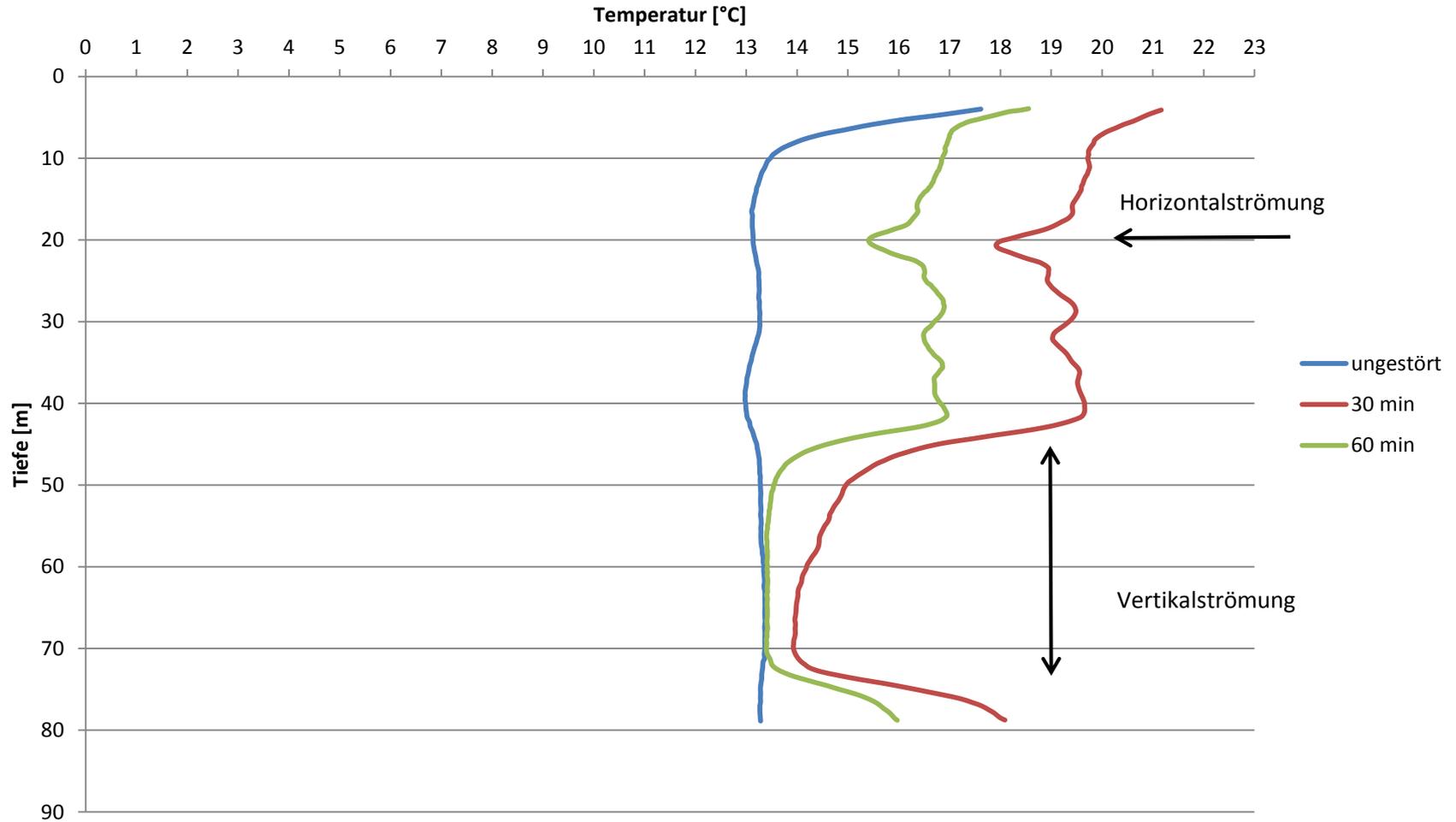
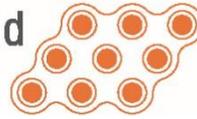
Thermische Messverfahren

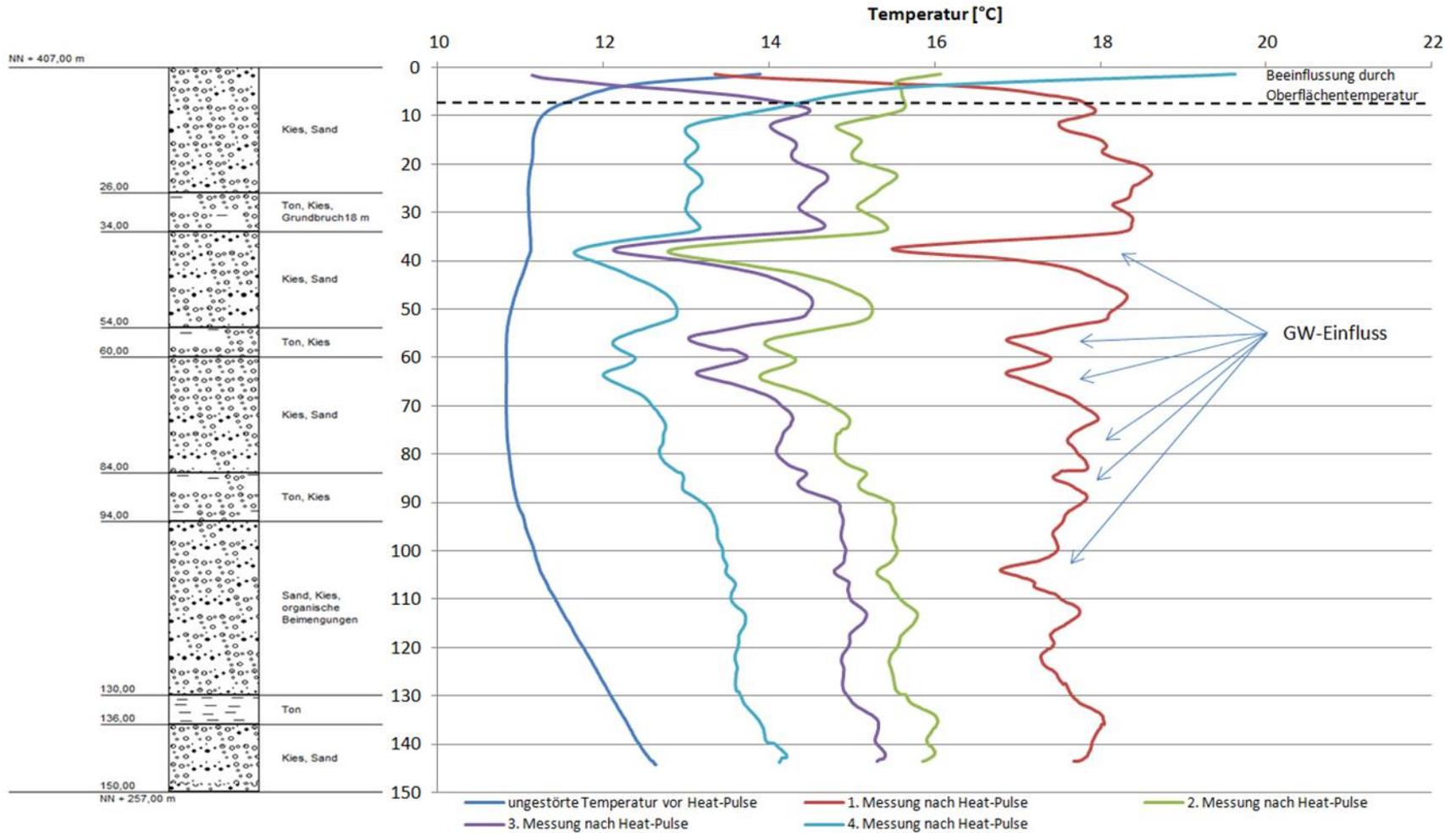
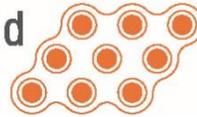


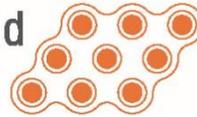
Temperatur-Tiefen-Log

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

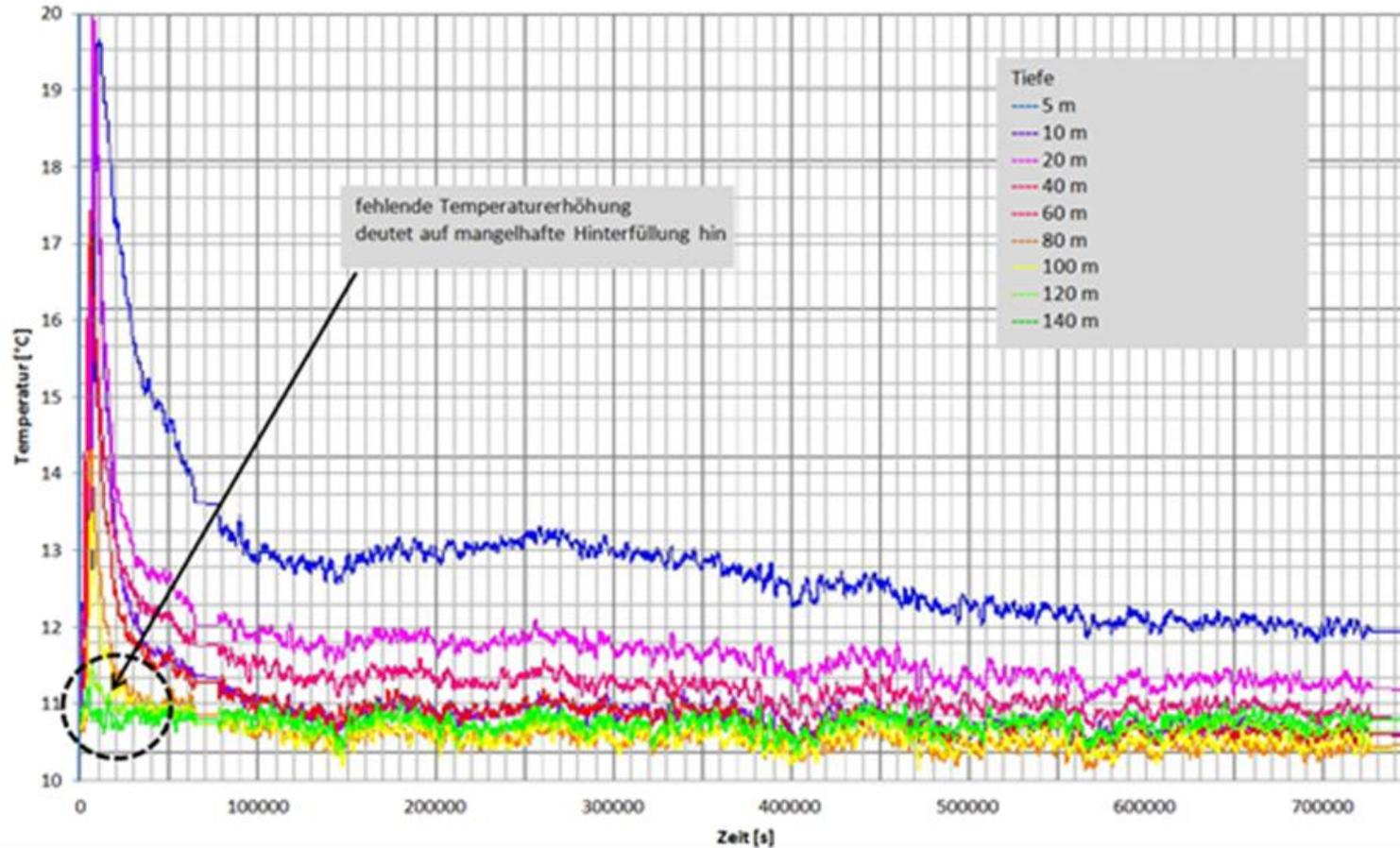
Kurzzeit GRT/ Heat-Pulse-Methode

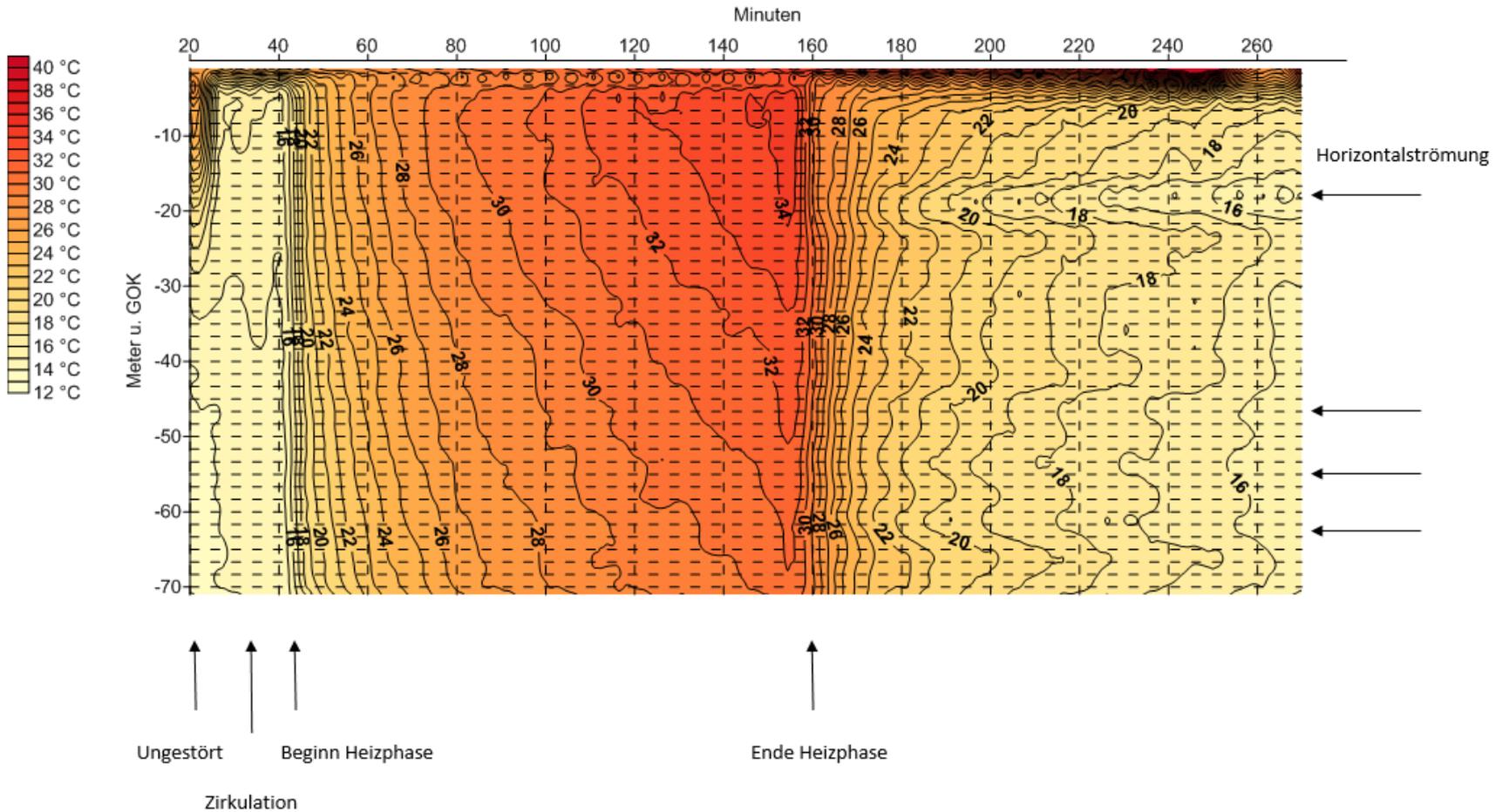


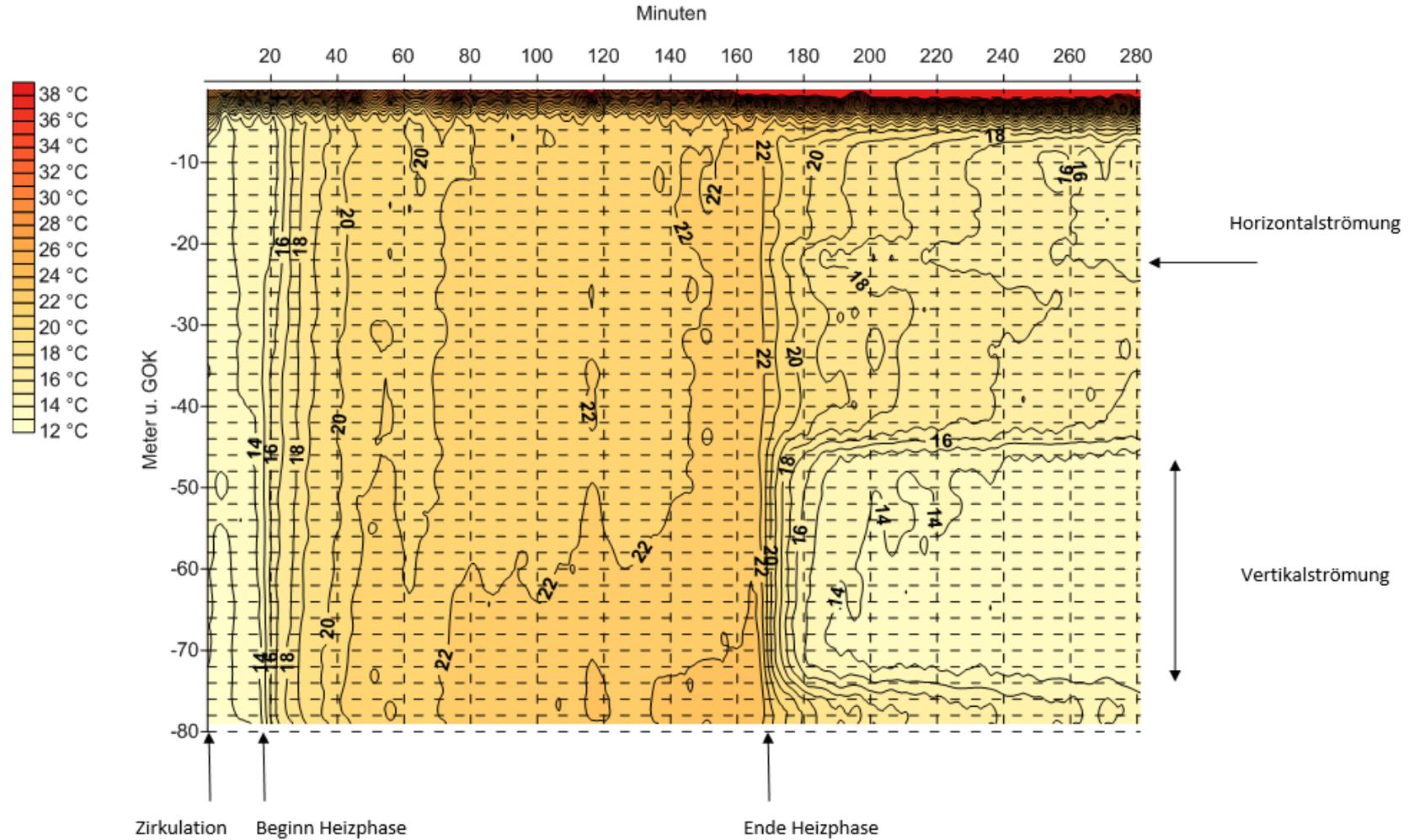


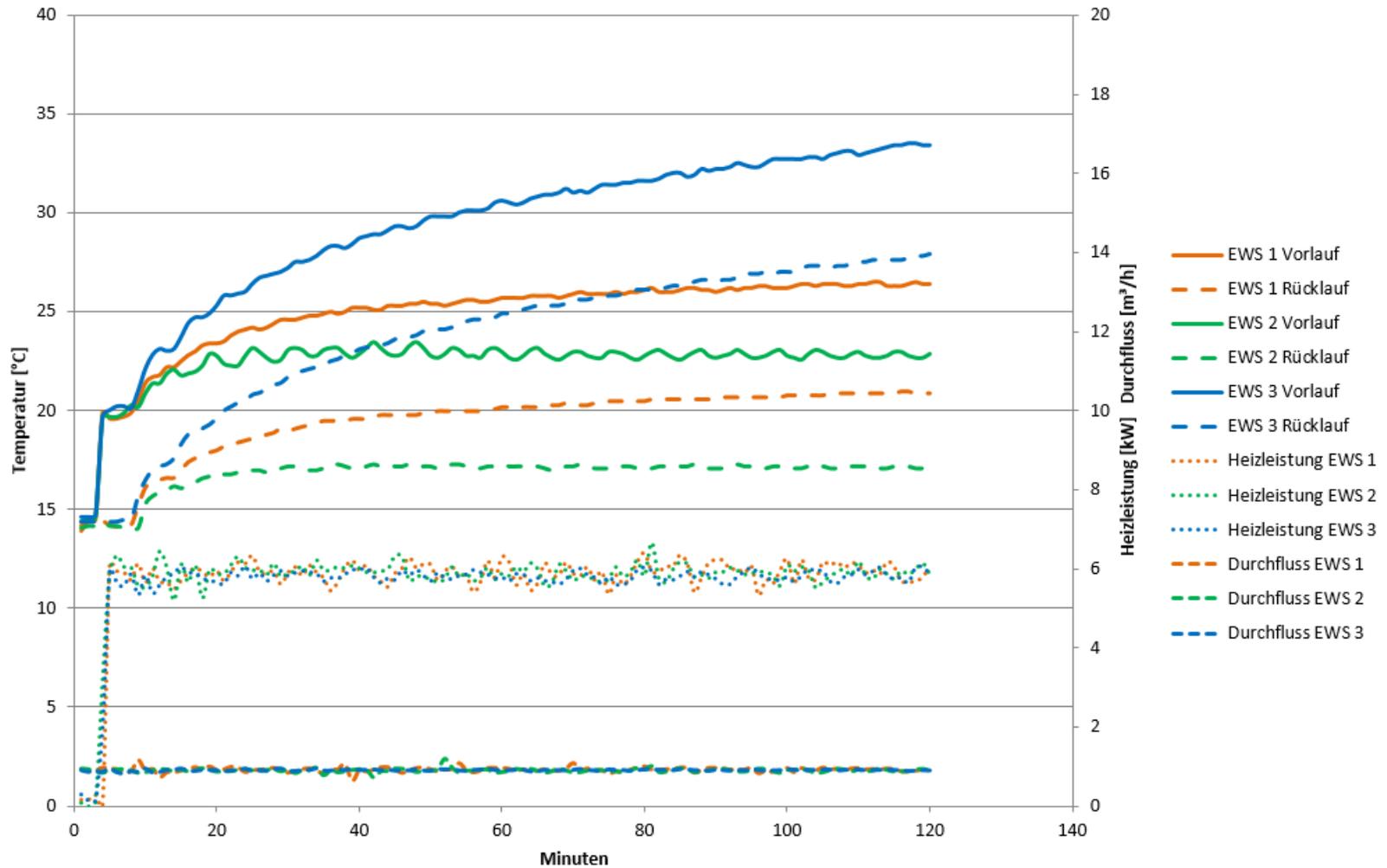
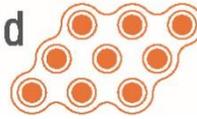


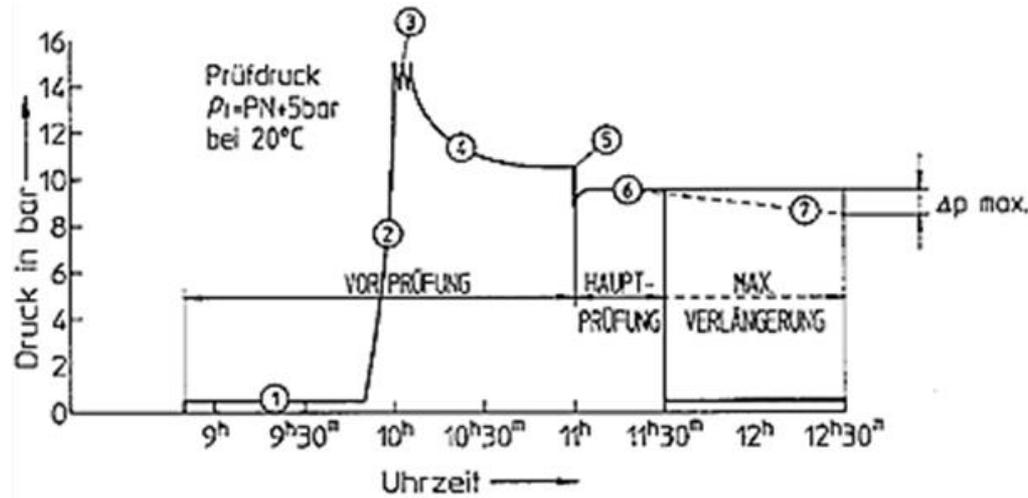
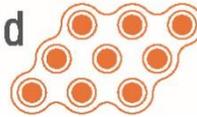
Hydratationswärmeentwicklung nach Hinterfüllvorgang







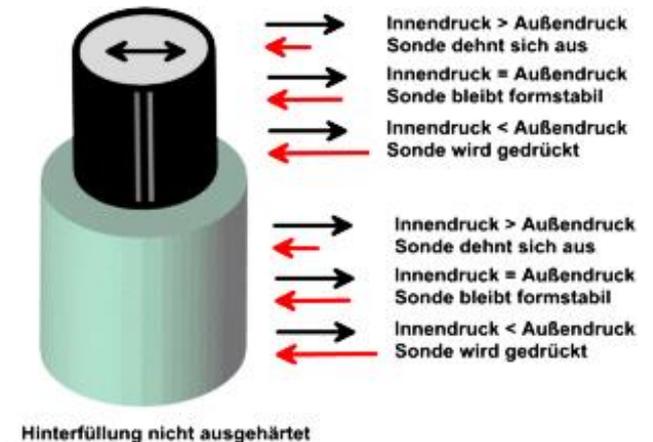




- | | |
|---|--------|
| 1 Entspannungsphase (drucklos) | 1 h |
| 2 Aufbau des Prüfdrucks (abhängig von Bohrungstiefe und Dichte der Hinterfüllung)
(nach DVGW W 400-2 30 min) | 10 min |
| 3 Druckhaltung | 10 min |
| 4 Expansionsphase | 1 h |
| 5 Druckabsenkung (10% des Prüfdrucks, abgelassene Wassermenge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

Die Kontraktionsprüfung für eine Hinterfüllungskontrolle muss nach Aushärten der Hinterfüllsuspension erfolgen.

Dem hydrostatischen Druck in der wassergefüllten Sonde steht die Masse der kraftschlüssigen Hinterfüllung entgegen.



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:

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

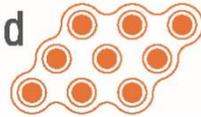
- V_{max} maximal zulässiges Volumen [ml]
- P_{Abs} Druckabsenkung [bar]
- l Länge der geprüften Leitung [m]
- f Faktor zur Berücksichtigung der Restluft in den Rohren
- d_i Innendurchmesser des Rohres [mm]
- s Wanddicke des Rohres [mm]
- E_R Kurzzeit E-Modul des Rohrwerkstoffs [N/mm²]
- K_w Kompressionsmodul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

Qualität und Wirtschaftlichkeit durch:

Differenzierte Anforderungen nach
Standort und standortspezifischen Georisiken.

„Stand der Technik“



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

