

Messtechnische Verfahren in und an EWS und EWS-Bohrungen



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

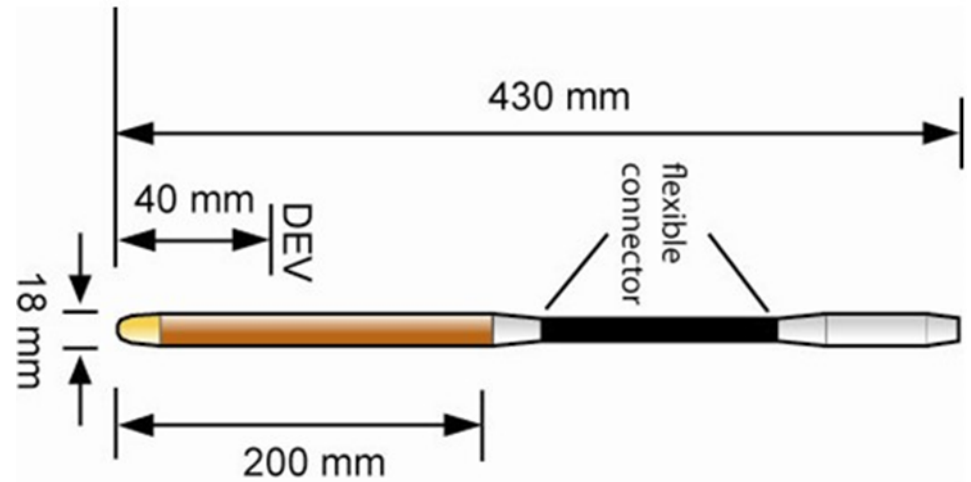
Eingeschränkter Durchfluss oder Flüssigkeitsverlust des Übertragers

- 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



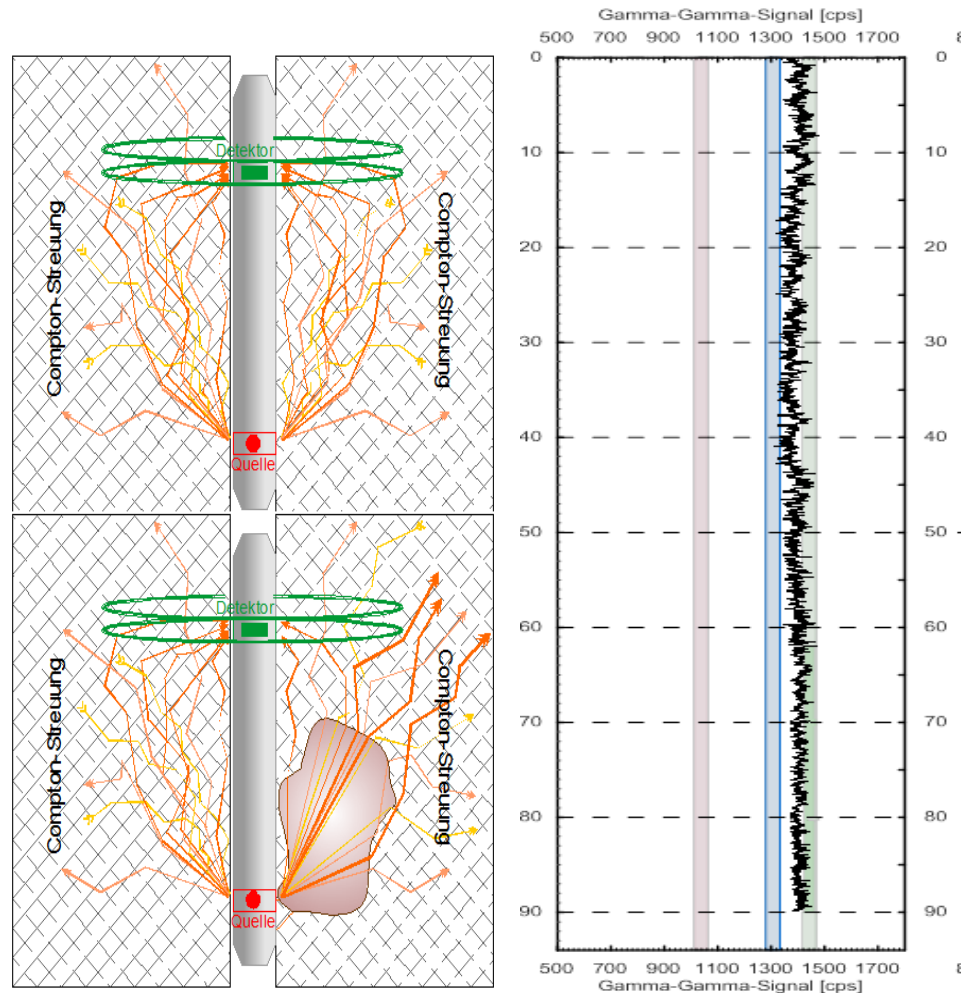
Quelle: Terratec GmbH, Heitersheim

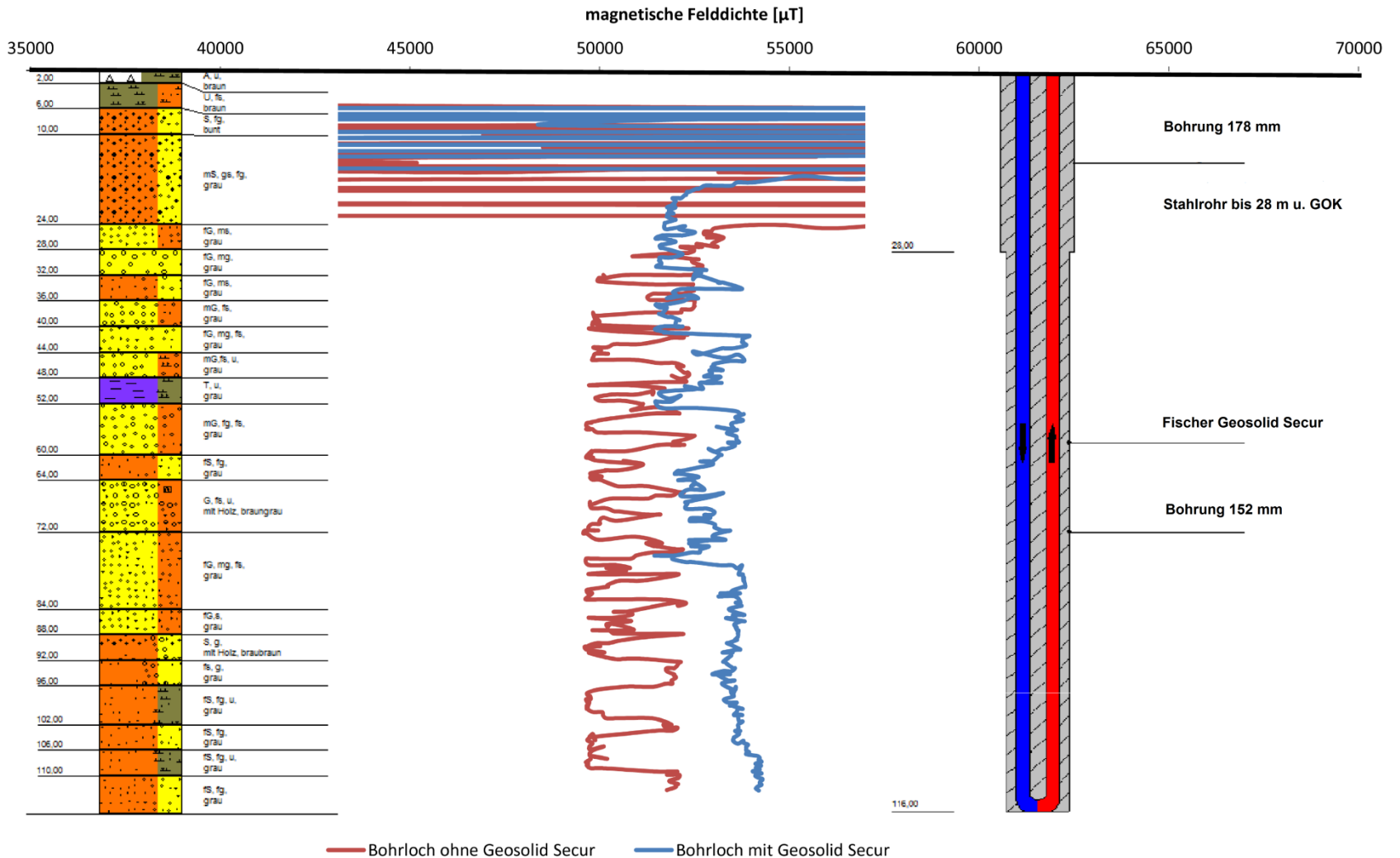
Gamma-Gamma-Dichtemessung mit aktiver Strahlenquelle

Compton-Streuung - Interaktion zwischen Hüllelektronen und Gamma-Photonen

Havariegefahr?

Quelle: A. Voutta

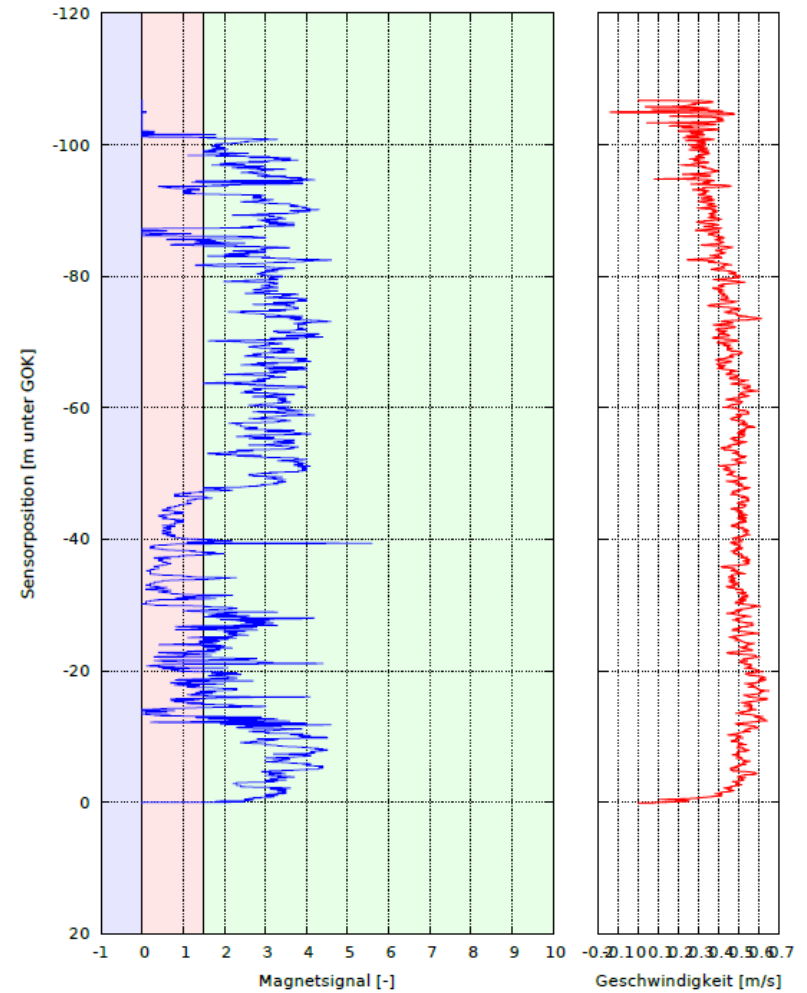




Die Messungen zeigen lediglich,
dass der Baustoff vorhanden ist.

Sie zeigen nicht, ob

- der Baustoff kraftschlüssig ist
- vertikalabdichtend wirkt



Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie (2021) 26:135–153

<https://doi.org/10.1007/s00767-021-00476-0>

FACHBEITRAG



Hinterfüllkontrolle für Erdwärmesonden – Beurteilung einer magnetischen Methode

Olaf Ukelis¹ · Julian Link² · Roman Zorn¹ · Hagen Steger³ · Viktor Zelinski¹

Eingegangen: 29. April 2020 / Überarbeitet: 25. Oktober 2020 / Angenommen: 7. Januar 2021 / Online publiziert: 22. Januar 2021

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2021

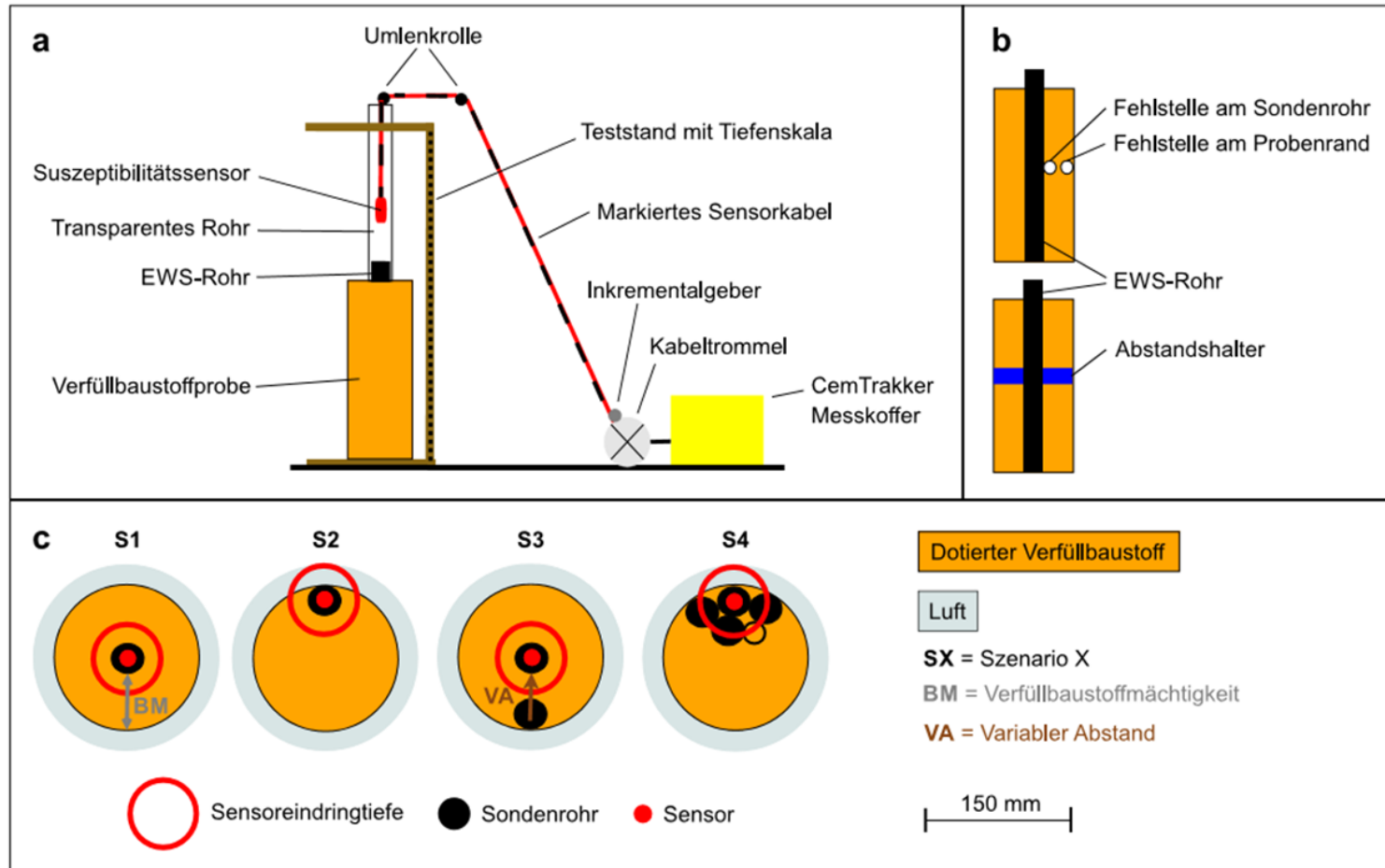
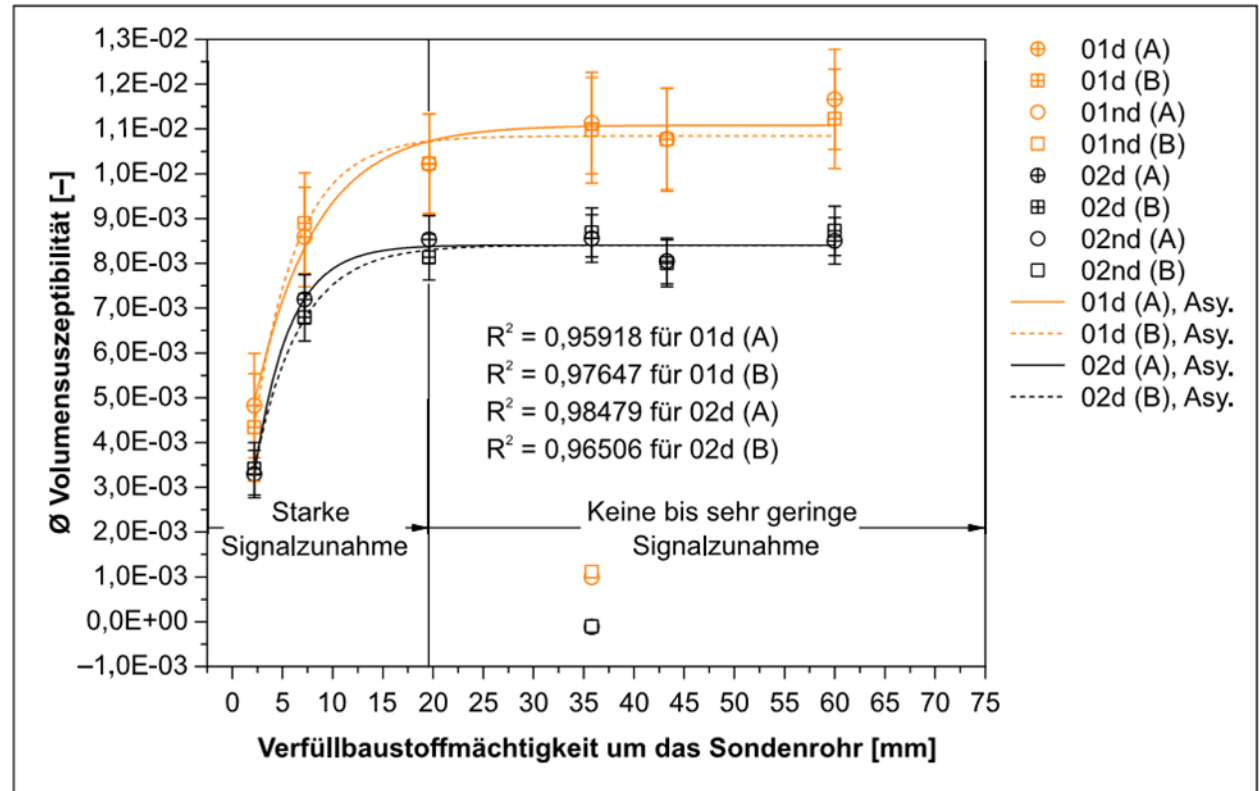


Abb. 1 CT-Messtand im Labor (a), Fehl- und Störstellen im Probenlängsschnitt (b) und verschiedene Sondenrohr-Szenarien im Probenquerschnitt (c)

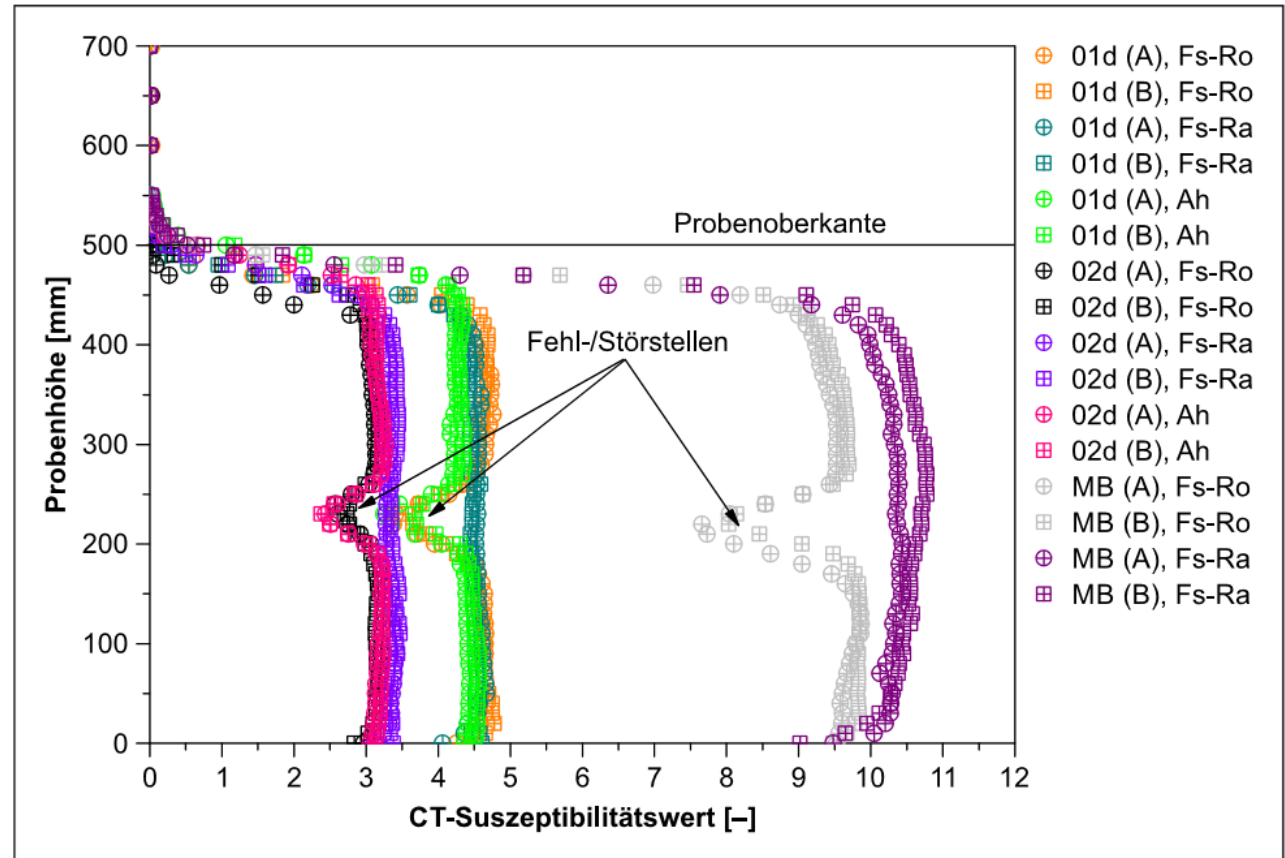
Quelle: Ukelis, et al, 2021

Abb. 3 Eindringtiefe des MS2H-Sensors; *d* mit Magnetit, *nd* ohne Magnetit, *Asy.* Asymptotisch
Fig. 3 MS2H penetration depth; *d* with magnetite, *nd* without magnetite, *Asy.* asymptotic

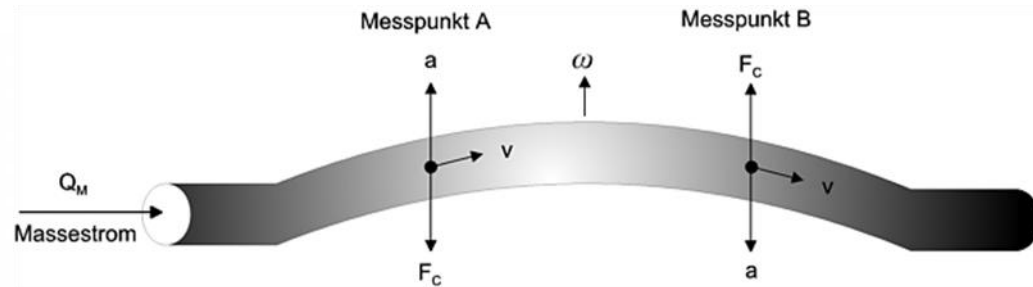


Quelle: Ukelis, et al, 2021

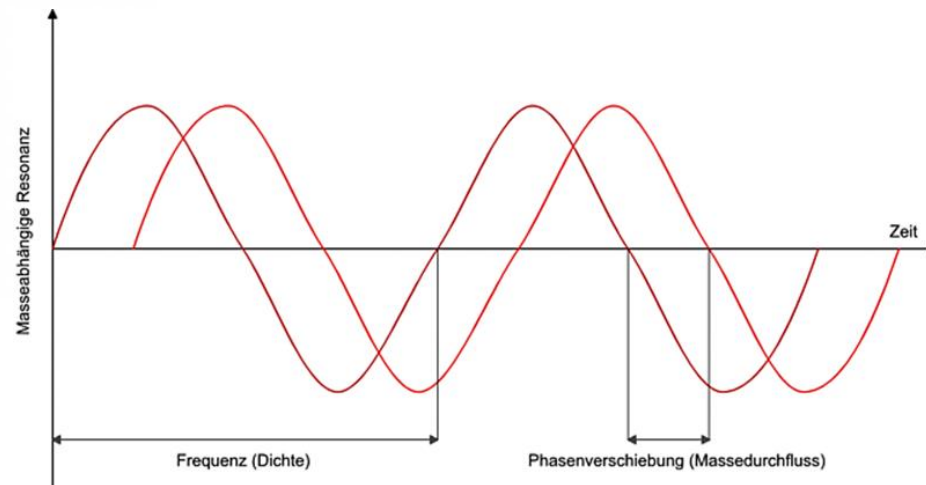
Abb. 5 Fehlstellen am Sondenrohr (Fs-Ro), am Probenrand (Fs-Ra) und Abstandshalter (Ah) als Störstellen; *d* mit Magnetit
Fig. 5 Cavities on the tube (Fs-Ro), on the sample rim (Fs-Ra) and spacers (Ah) as defects; *d* with magnetite

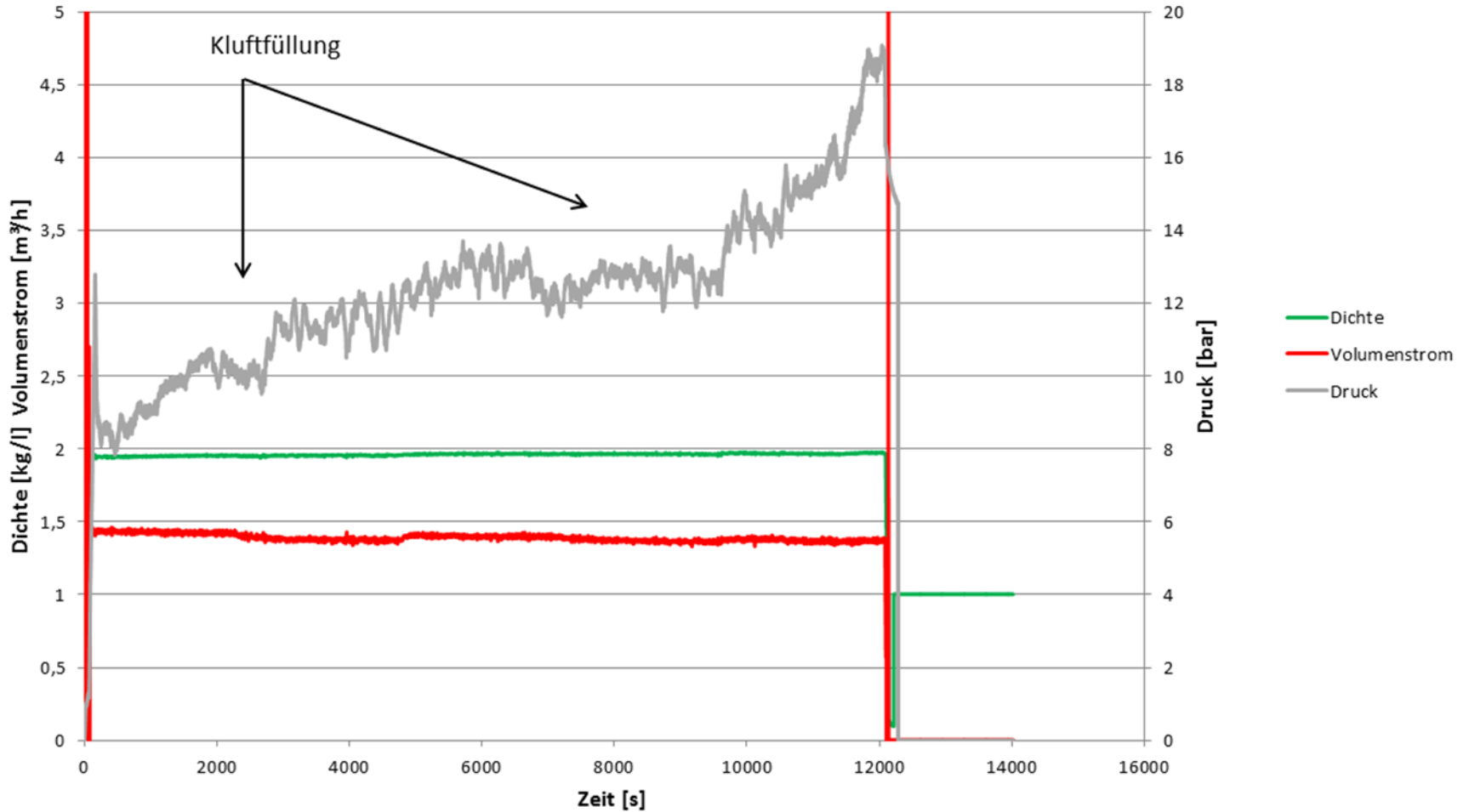


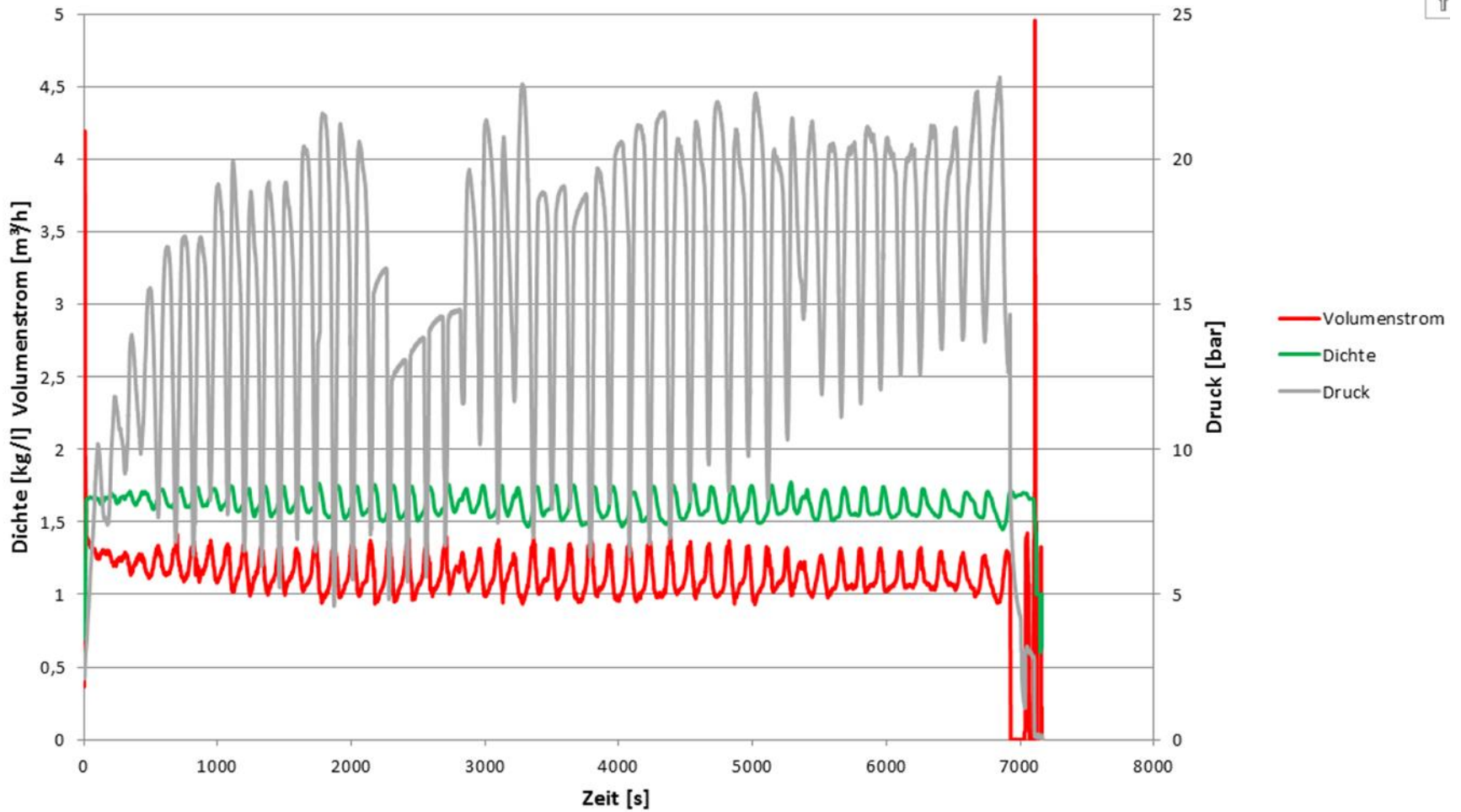
Quelle: Ukelis, et al, 2021

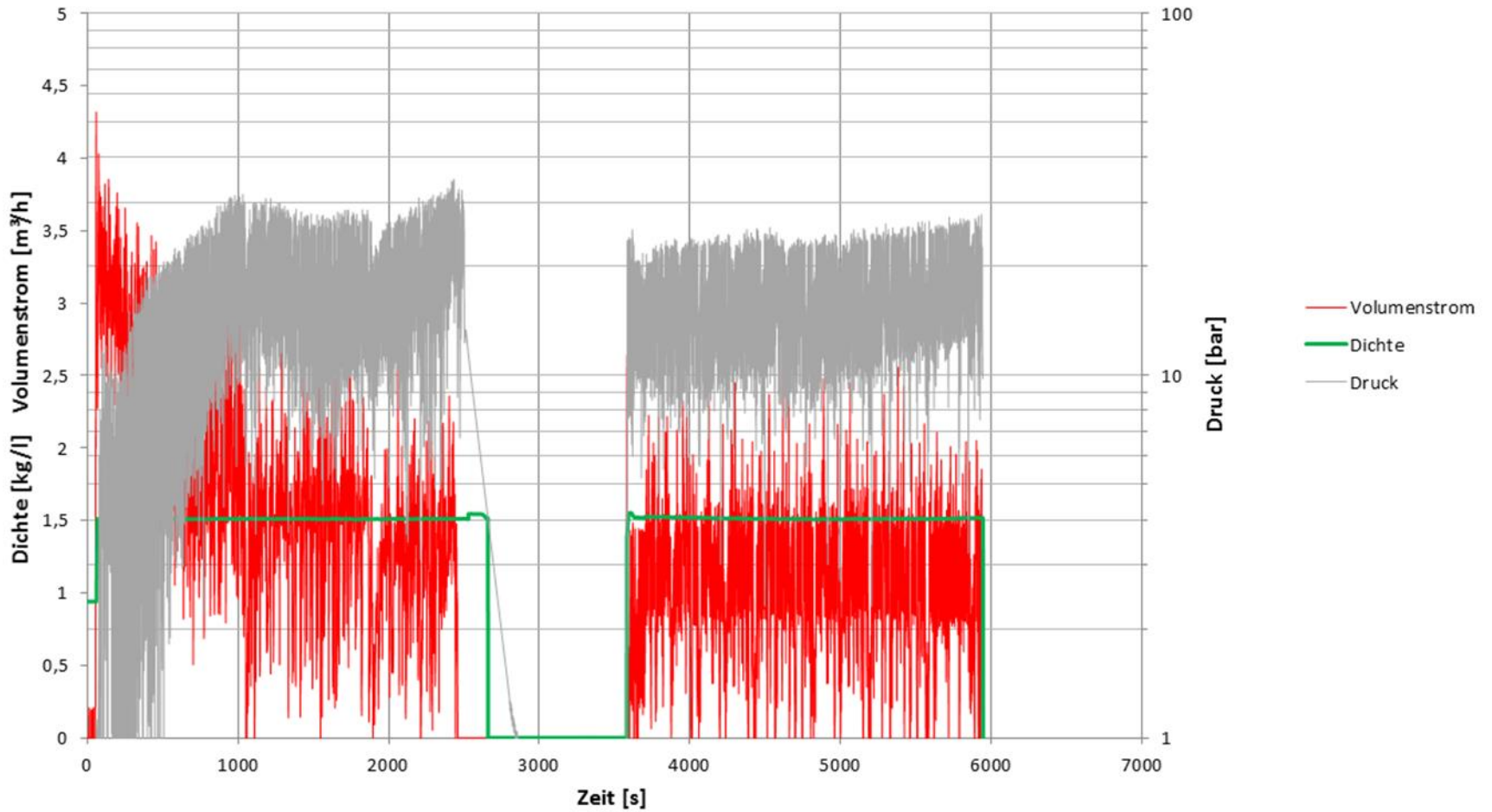


Ein mit der Eigenresonanz ω angeregtes Rohr wird mit dem Massestrom Q_M durchströmt. Durch die Beschleunigung a und die Gegenkraft F_C wird die Eigenfrequenz moduliert. Hierdurch kommt es zu einer Phasenverschiebung. Diese kann durch zeitgleiche Messung der Auslenkung des Messrohrs an unterschiedlichen Punkten gemessen, sowie der Massestrom berechnet werden







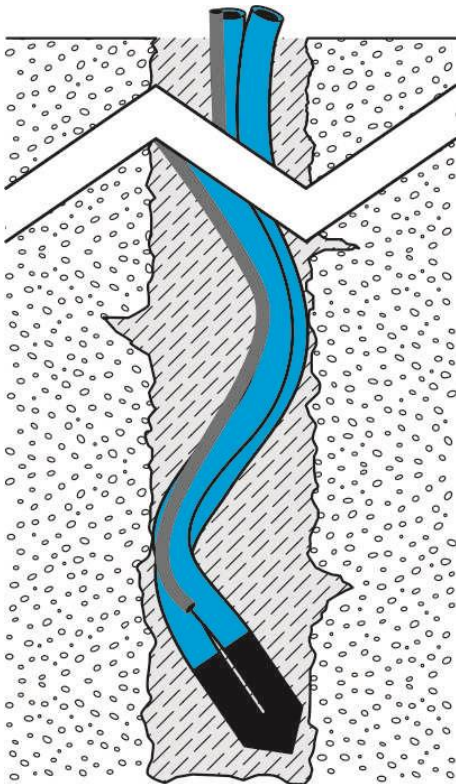




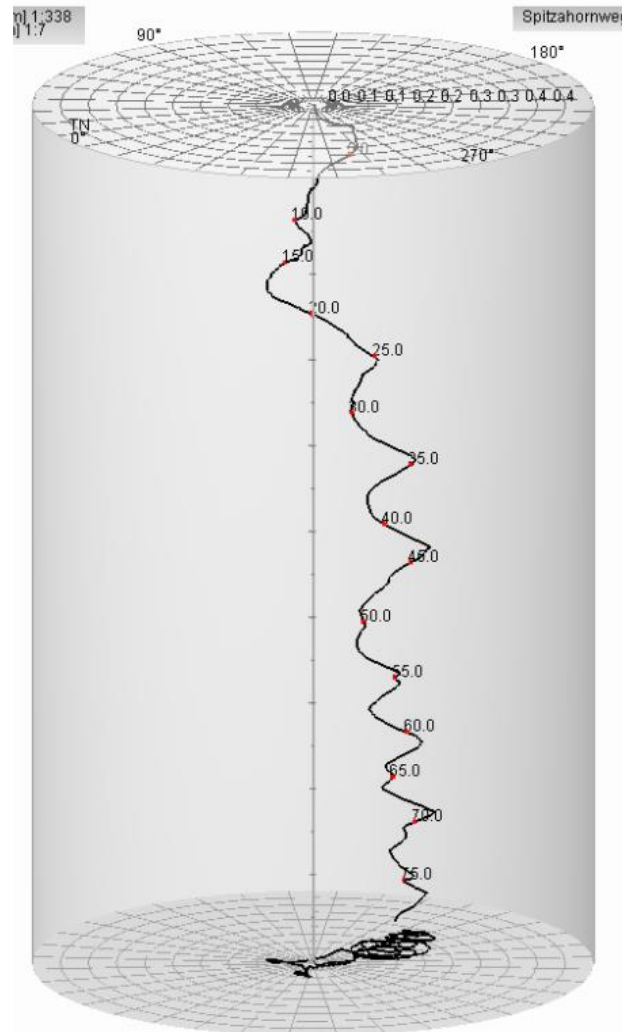
Kamera-Befahrung

Quetschung in 30 m
Tiefe.

Verlaufsmessung



Quelle: EA Geothermie



Fachgespräch "Erdwärmennutzung in Hessen"

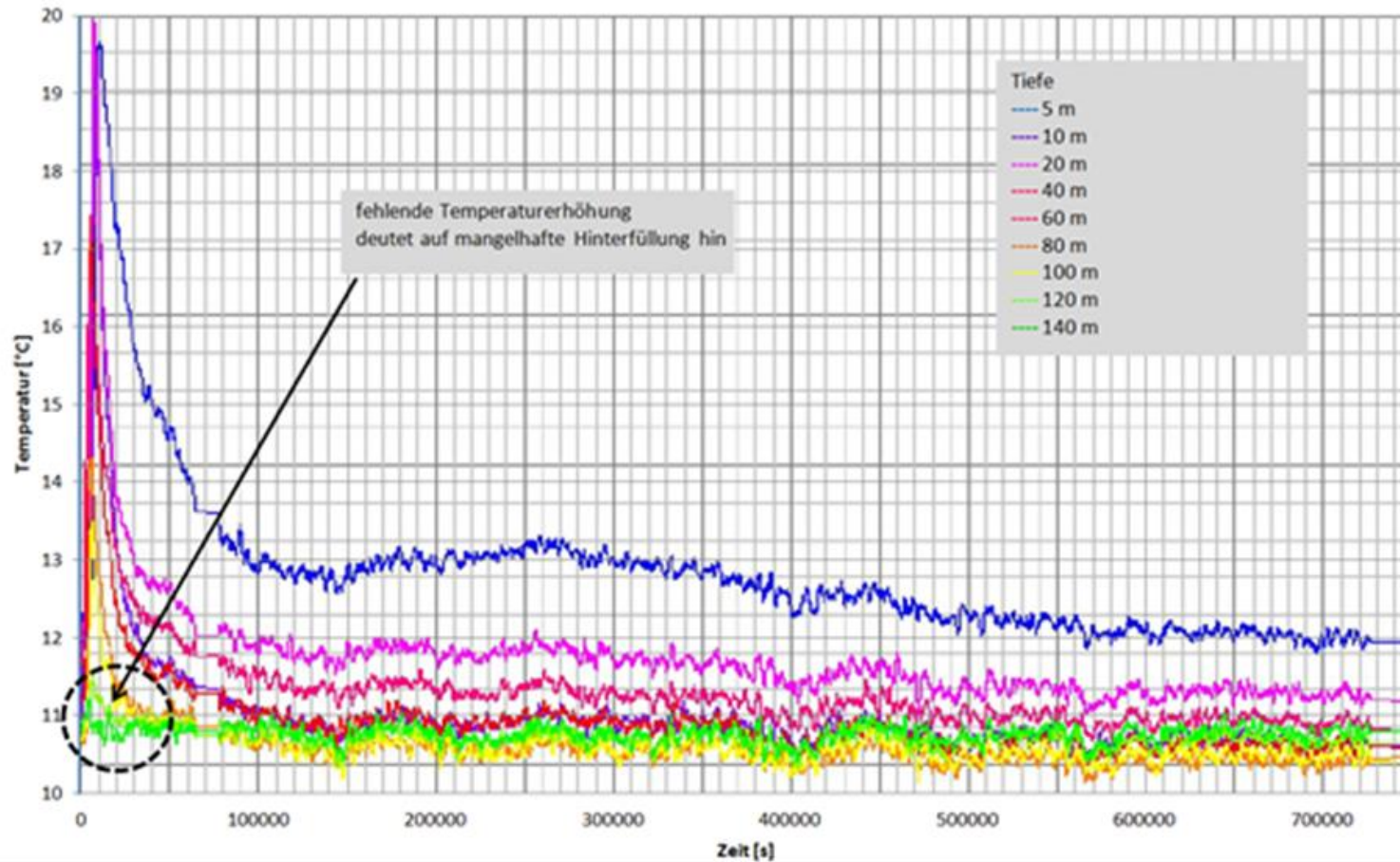
Thermische Messverfahren

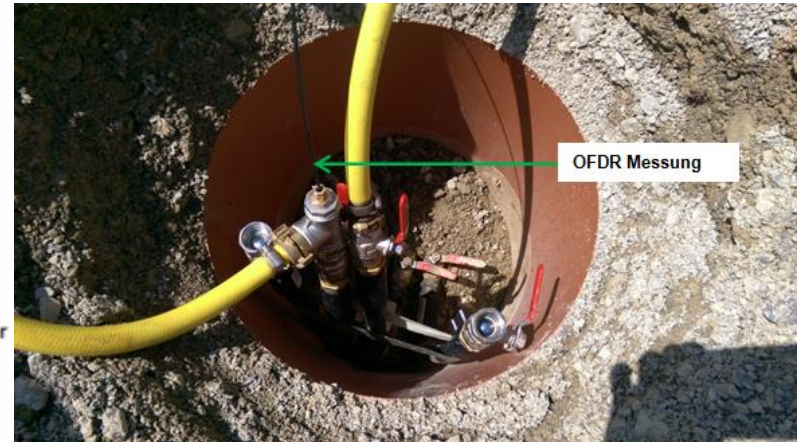
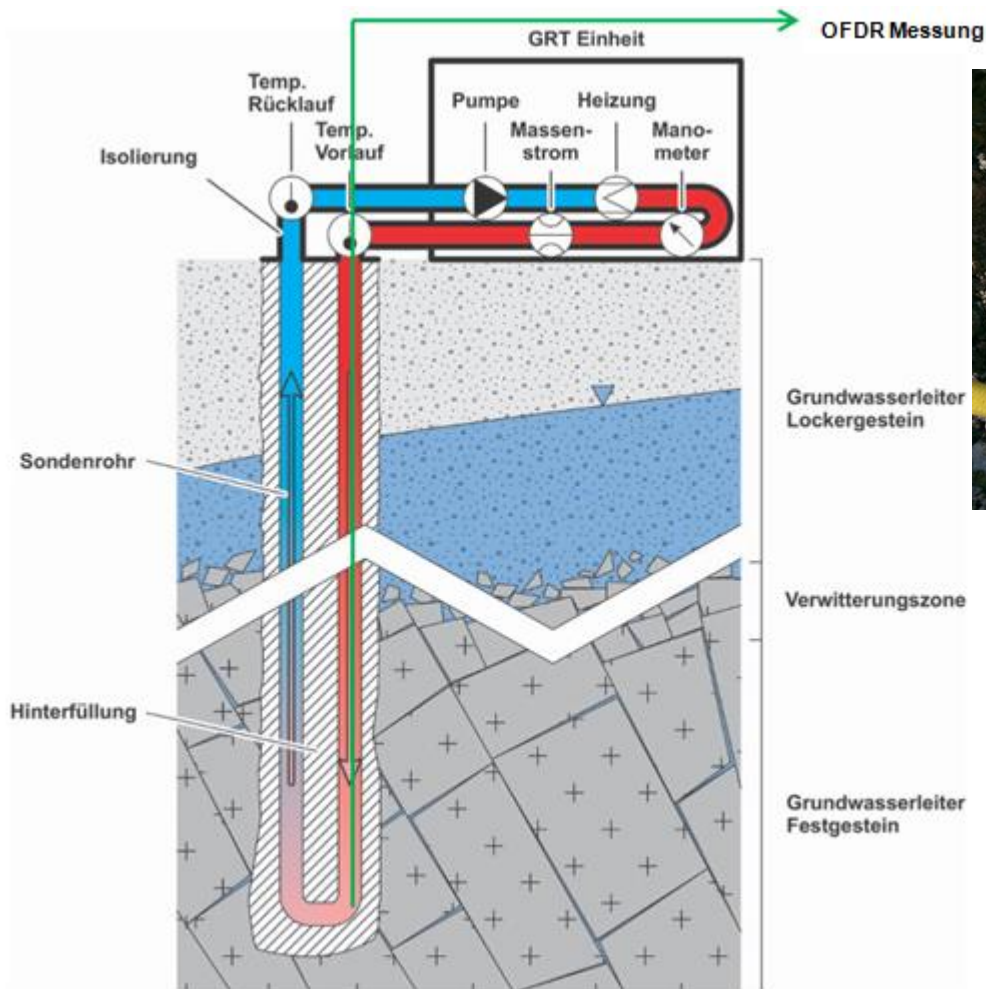
Temperatur-Tiefen-Log

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

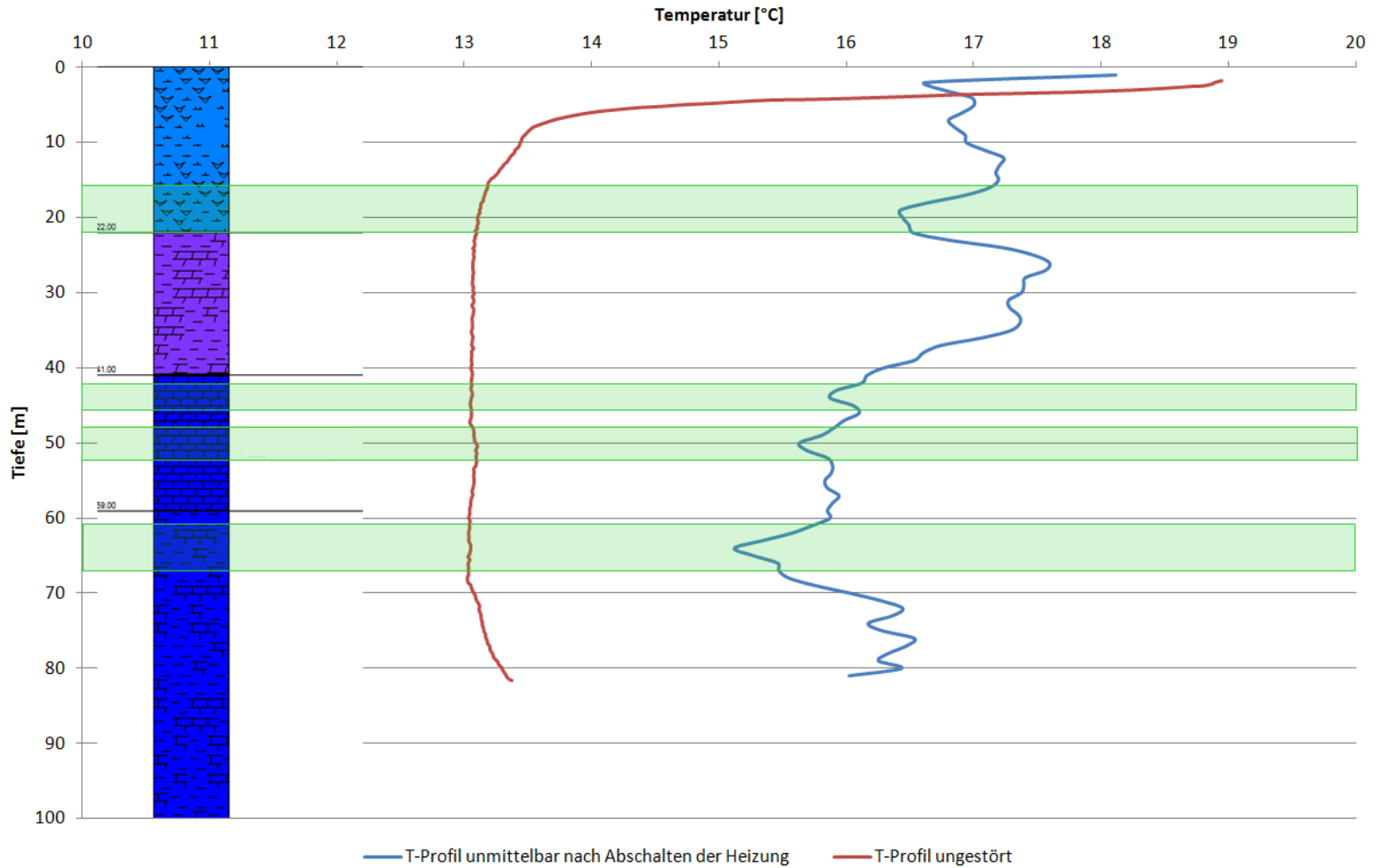
Kurzzeit GRT/ Heat-Pulse-Methode

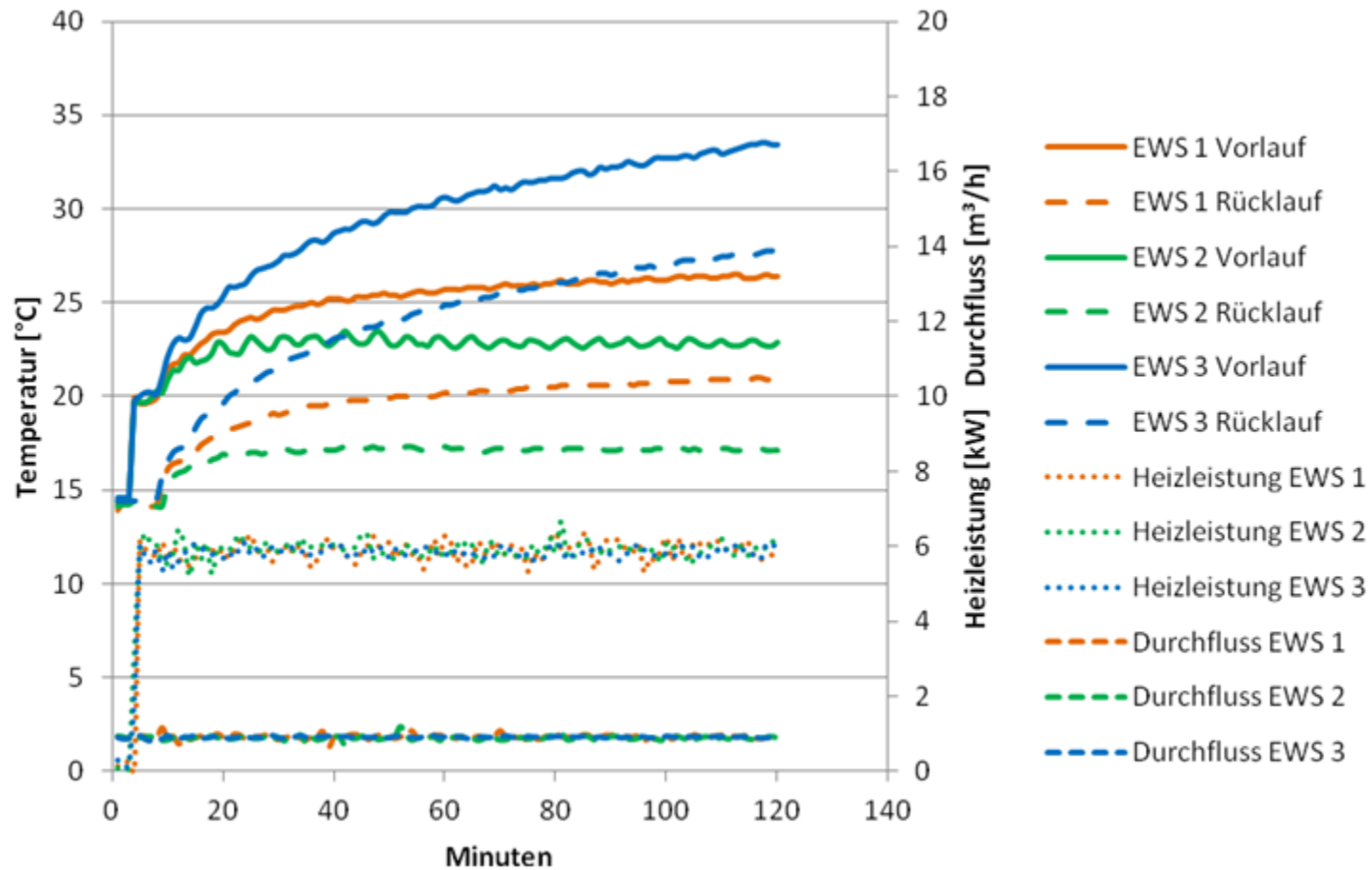
Hydratationswärmeentwicklung nach Hinterfüllvorgang

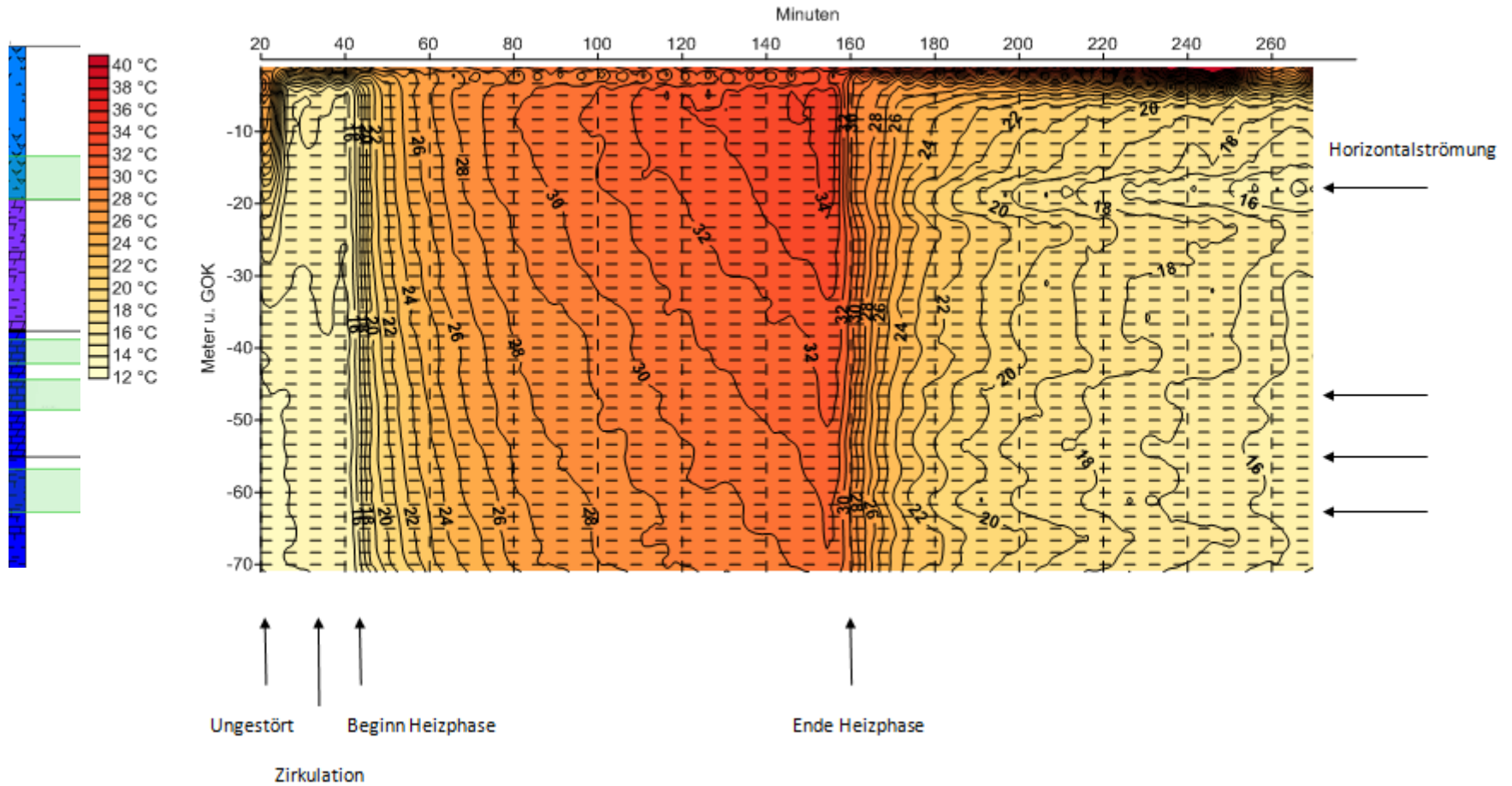


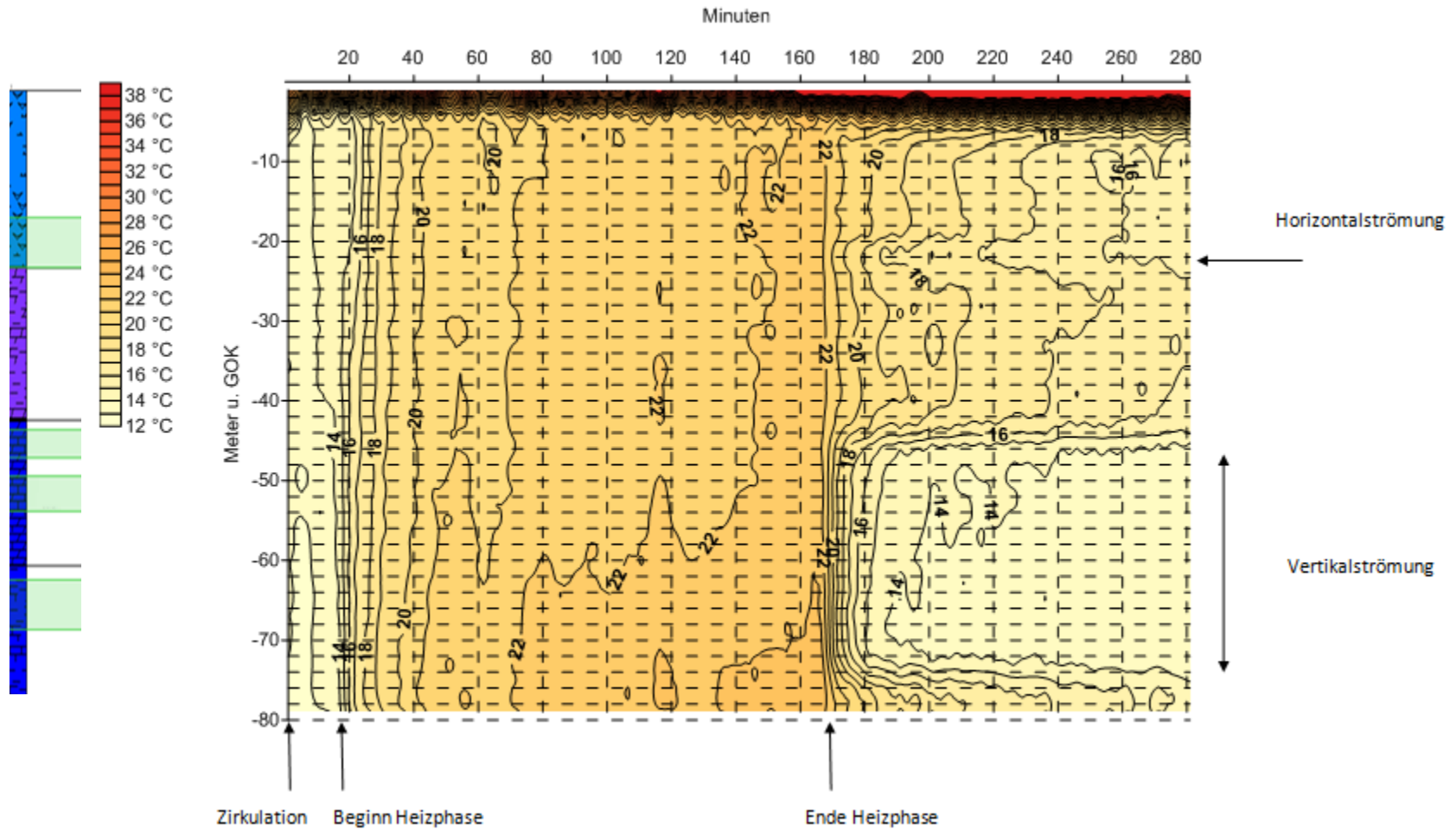


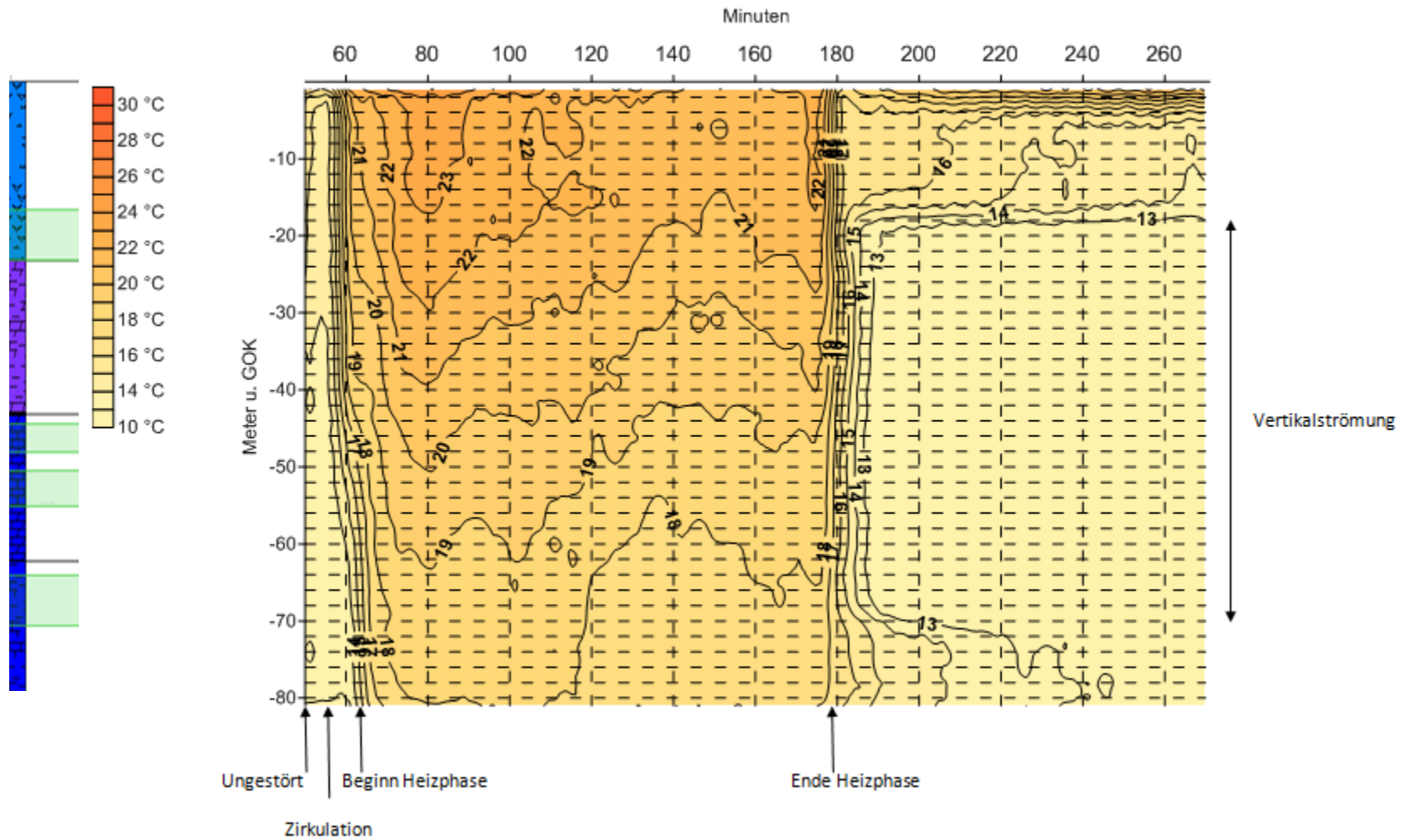
OFDR-Chrono-Thermografie











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

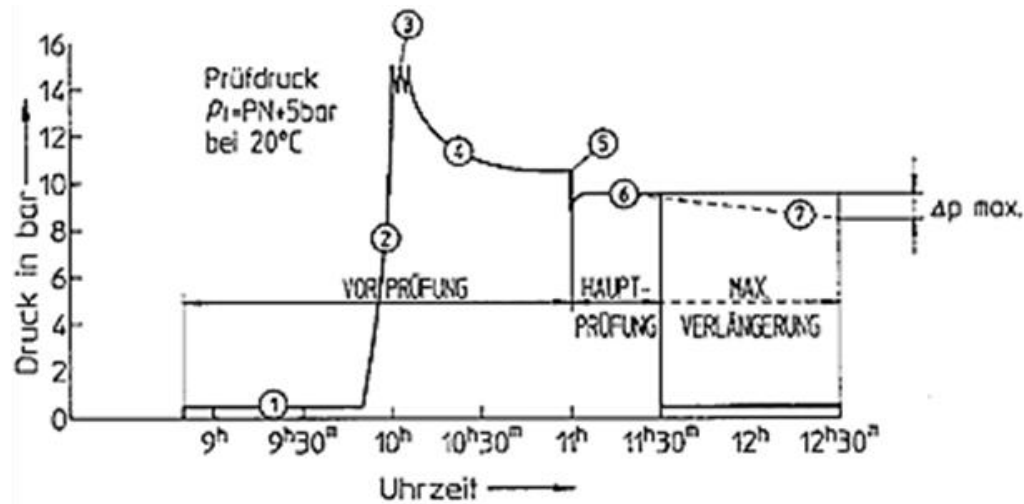
Vornorm DIN V 4279-7 (zurückgezogen)

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 |

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 |

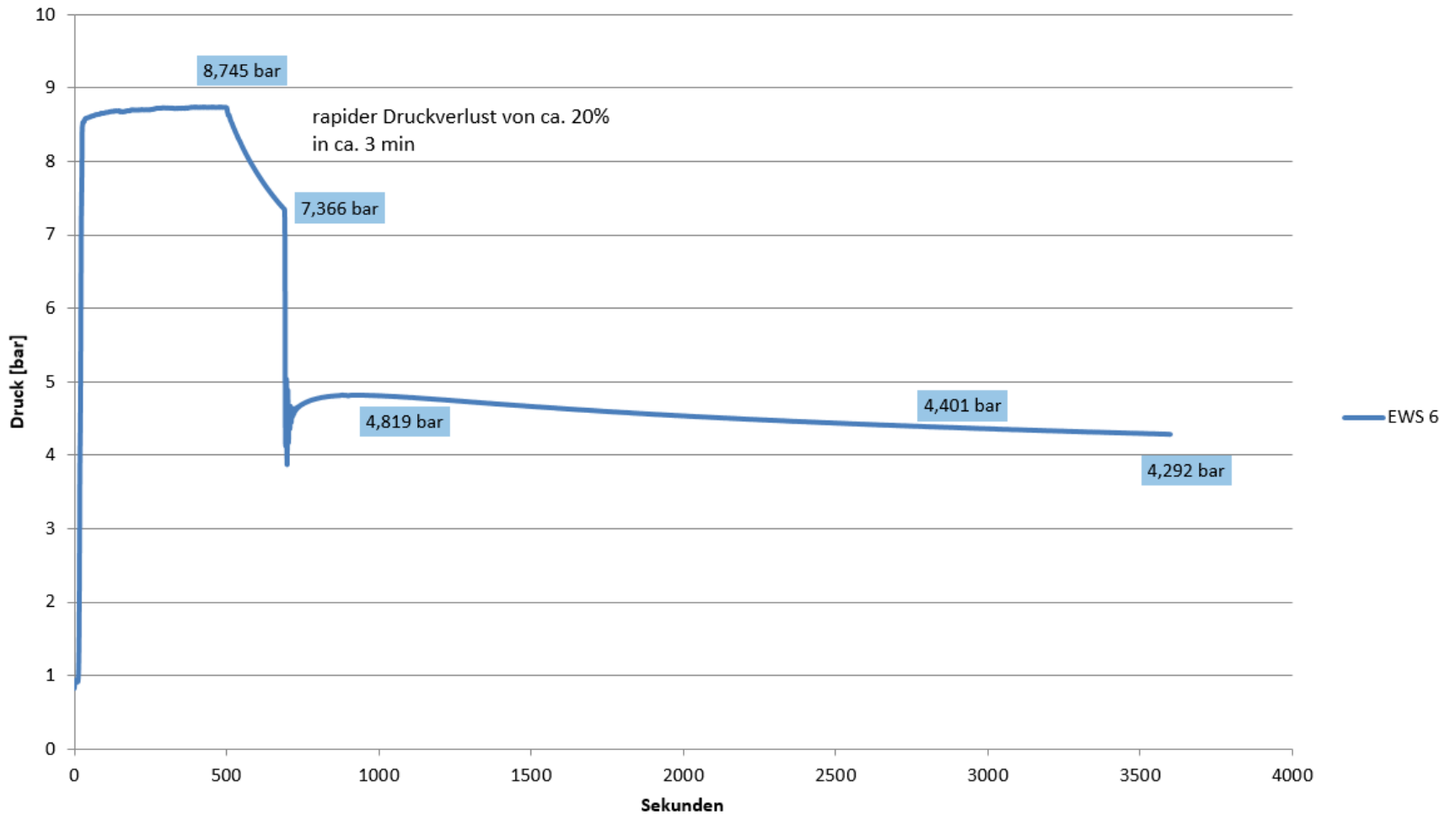
Beispiele für E-Modul-Angaben unterschiedlicher Hersteller: Teilweise werden von Herstellern keine oder unterschiedliche Angaben zu einzelnen Materialien gemacht.

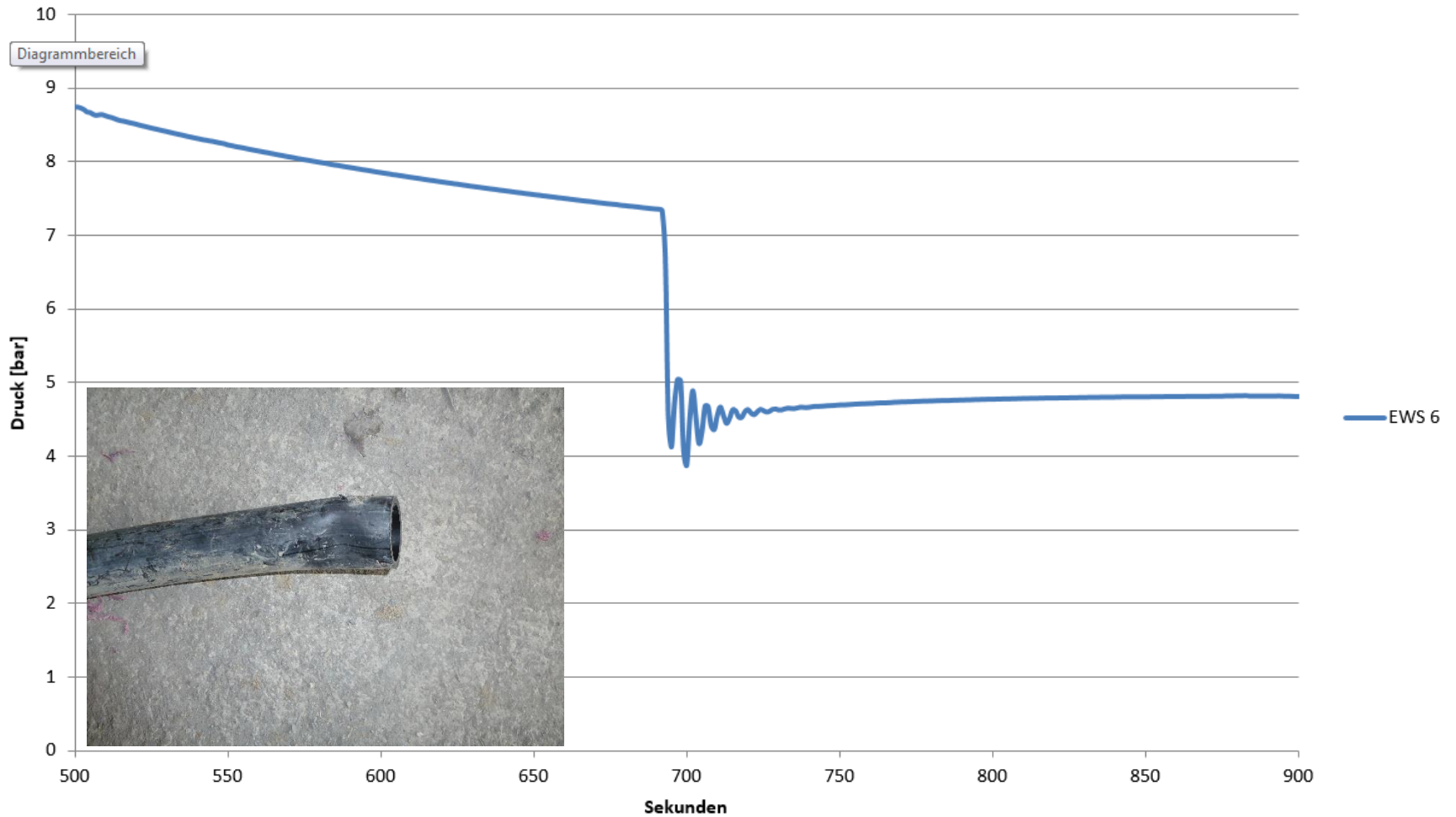
Die maximal zulässige abgelassene Wassermenge kann für die unterschiedlichen Sondenmaterialien nach folgende Formel ermittelt werden:

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

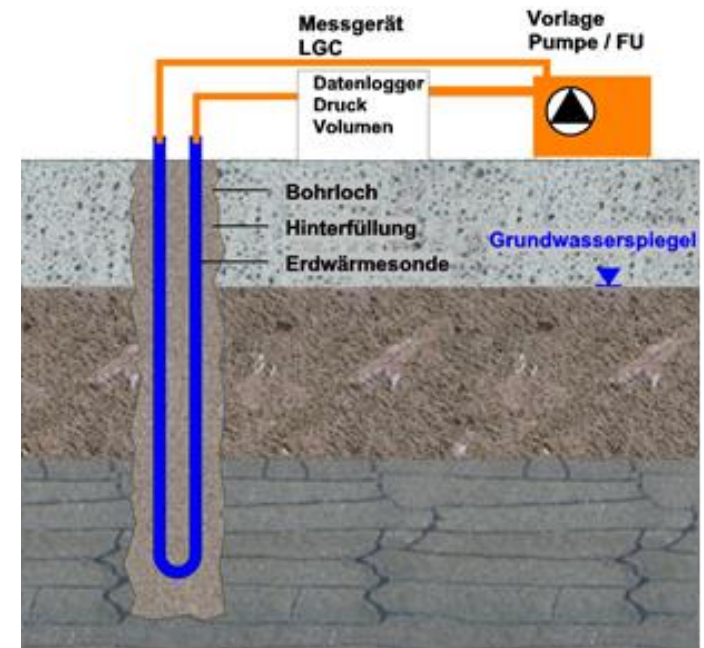
- V_{max} maximal zulässiges Volumen [ml]
- P_{Abs} Druckabsenkung [bar]
- l Länge der geprüften Leitung [m]
- f Faktor zur Berücksichtigung der Restluft in den Rohren
- d_i Innendurchmesser des Rohres [mm]
- s Wanddicke des Rohres [mm]
- E_R Kurzzeit E-Modul des Rohrwerkstoffs [N/mm²]
- K_w Kompressionsmodul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



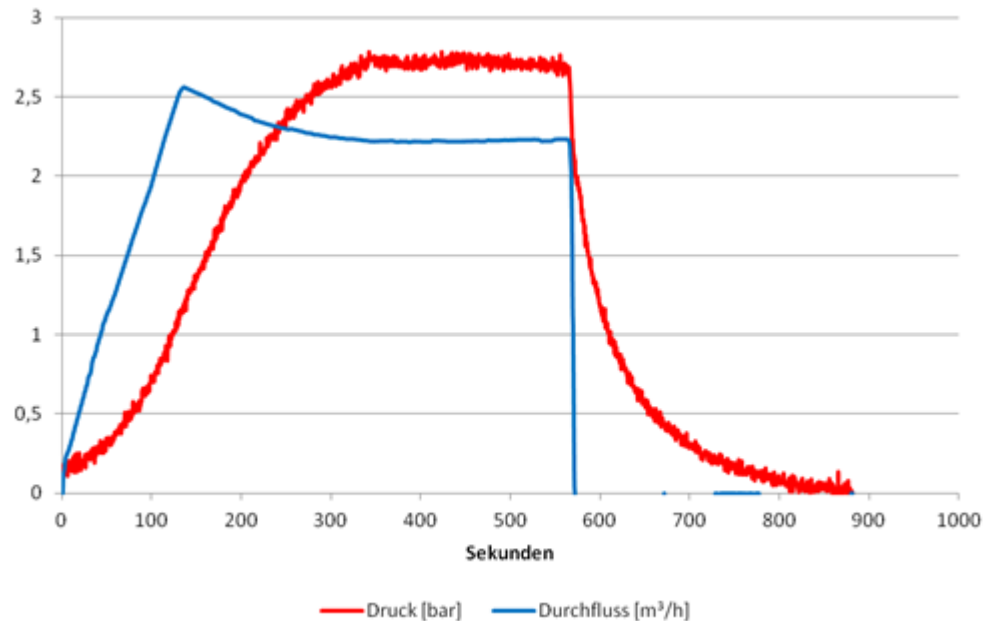


Führt man die Durchflussprüfung mittels einer frequenzgesteuerten Pumpe und automatisierter Datenaufzeichnung durch (Druck, Volumenstrom), kann anhand der Messkurven eine belastbare Aussage zum Zustand der Erdwärmesonden gemacht werden.

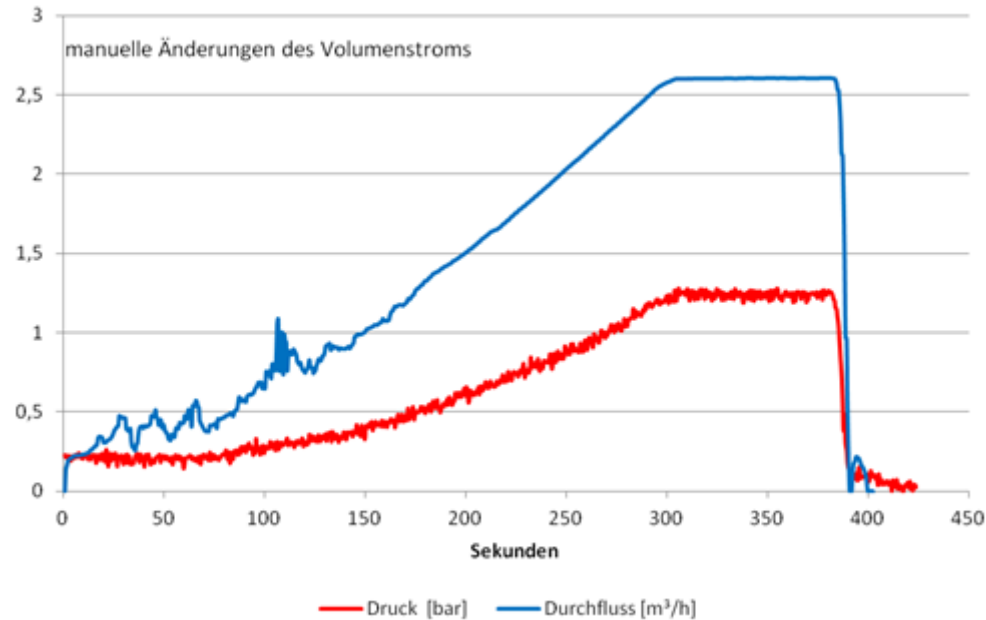


Die folgend vorgestellten Messungen, erfolgten mit einer Vorlage im offenen Kreislauf, um eine Verfälschung der Messwerte durch die Pumpencharakteristik (Saugen, Drücken) zu verhindern.

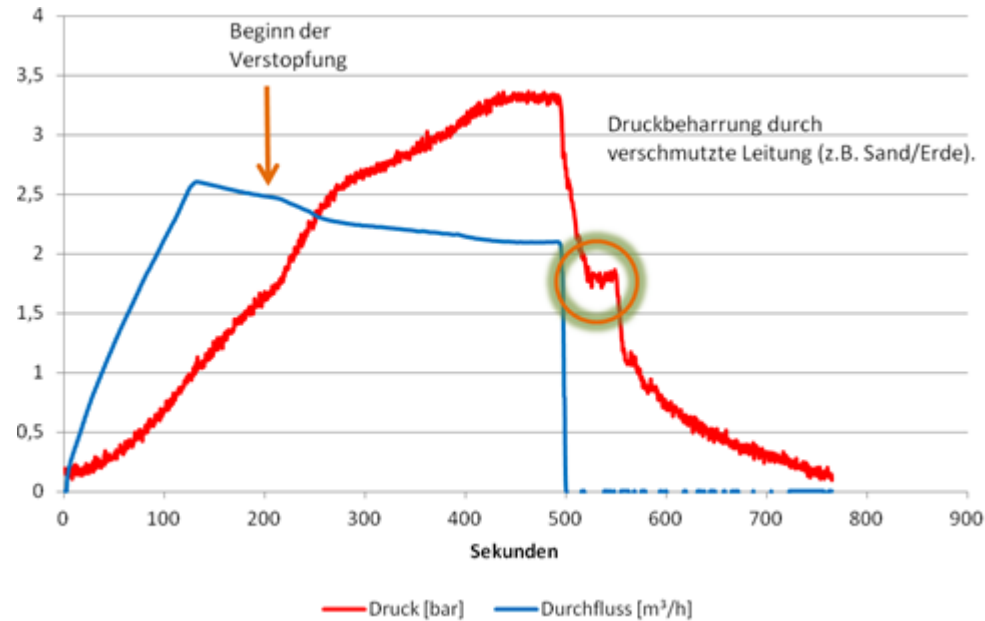
Zur Durchflussmessung wird der Volumenstrom kontinuierlich gesteigert und dabei der Volumenstrom und der Vordruck mit einer zeitlichen Auflösung von 0,5 s aufgezeichnet. Nach Abschalten der Pumpe wird die Druckentlastungsphase beobachtet.



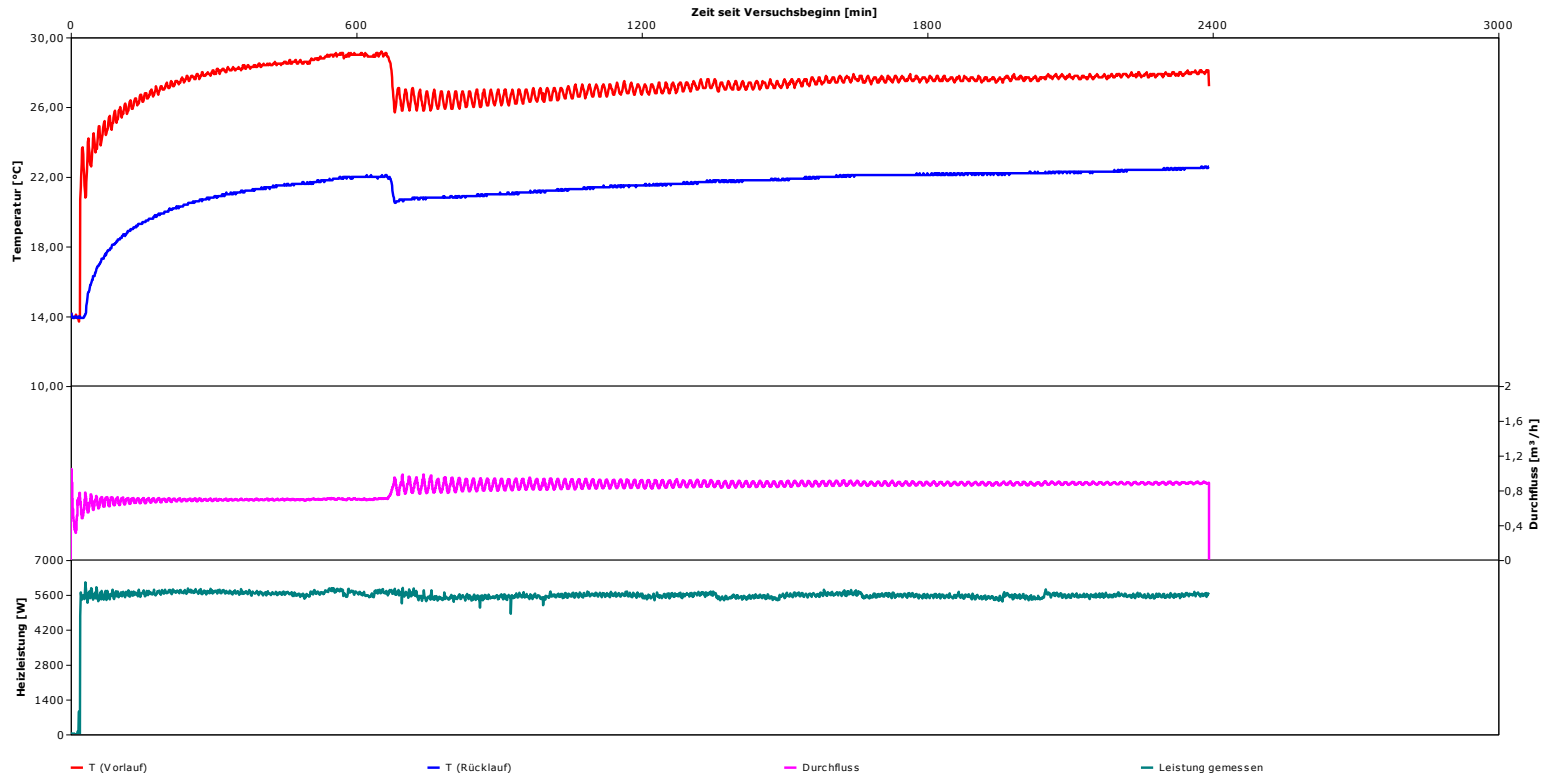
Messkurve einer Leitung mit Lufteinschlüssen



Frei durchgängige Sonde ohne Luftteinschlüsse.



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



Die Messkurve zeigt eine durch Schmutz teilweise blockierte Erdwärmesonde. Nach ca. 700 Minuten wird der zweite Schenkel der Sonde frei. Die frei beweglichen Schmutzpartikel erzeugen Durchflussschwankungen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !