

Prüfverfahren zur Frost-Tau-Wechselbeständigkeit von Verpressmaterialien für EWS in Hamburg

Dipl.-Ing. Hartmut Dittrich

Freie und Hansestadt Hamburg
Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt
Schutz und Bewirtschaftung des Grundwassers

Ausgangslage

- Der Schutz des Grundwassers hat eine Vorrangposition und muss bei allen Nutzungen, die auf das Grundwasser einwirken, besonders beachtet werden.
- Im Zusammenhang mit der Genehmigung von Vorhaben ist zu prüfen, ob durch die beantragte Nutzung nachteilige Auswirkungen auf das Grundwasser zu erwarten sind.
- Hierzu gehört bei jeglichen Nutzungen der Erhalt der natürlichen Schutzfunktion hydraulisch wirksamer Trennschichten.

Wasserhaushaltsgesetz

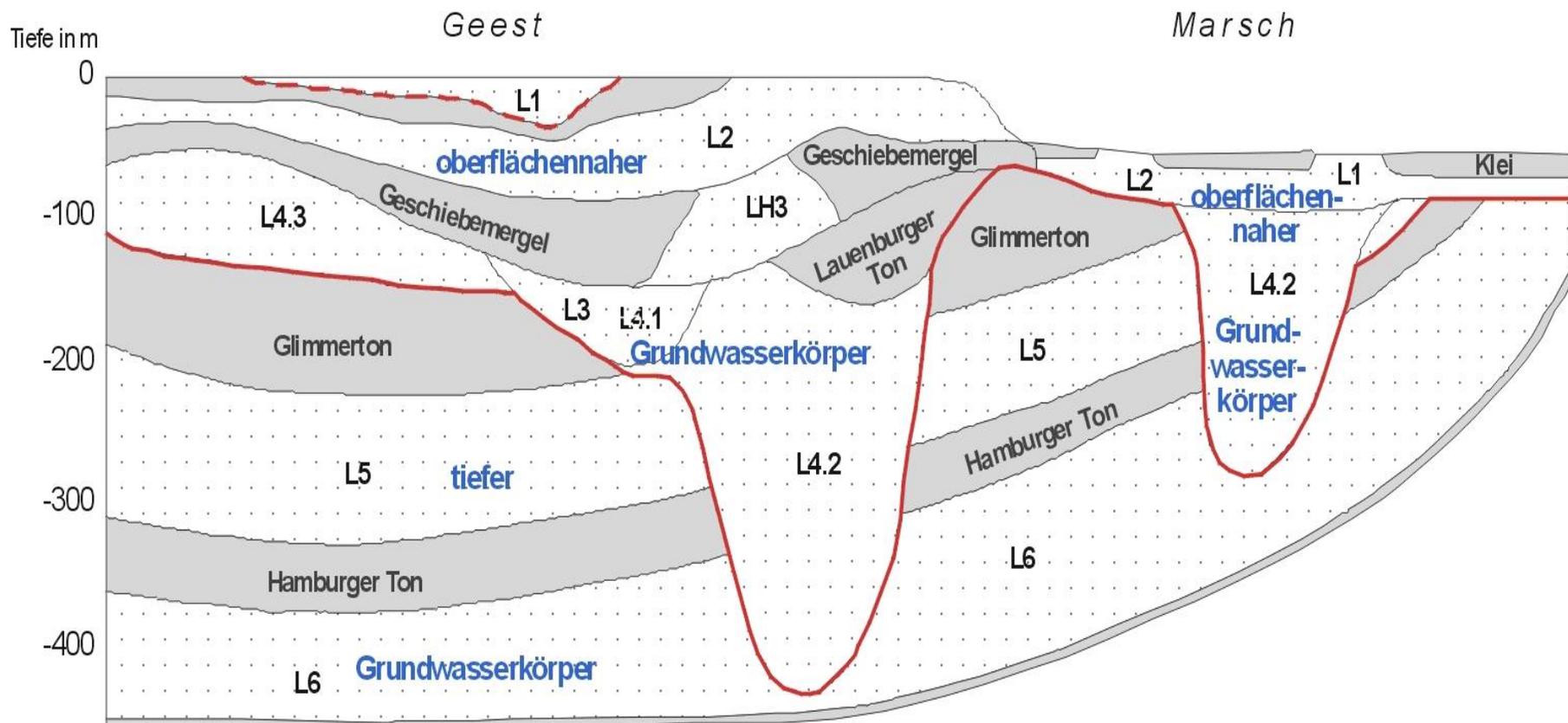
- **Allgemeine Sorgfaltspflicht (§ 5 Absatz 1):**

„Jede Person ist verpflichtet, bei Maßnahmen, mit denen Auswirkungen auf ein Gewässer verbunden sein können, die nach den Umständen erforderliche Sorgfalt anzuwenden, um ... eine nachteilige Veränderung der Gewässereigenschaften zu vermeiden ...“

- **Erlaubnispflicht (§§ 8, 9) für Gewässerbenutzungen:**

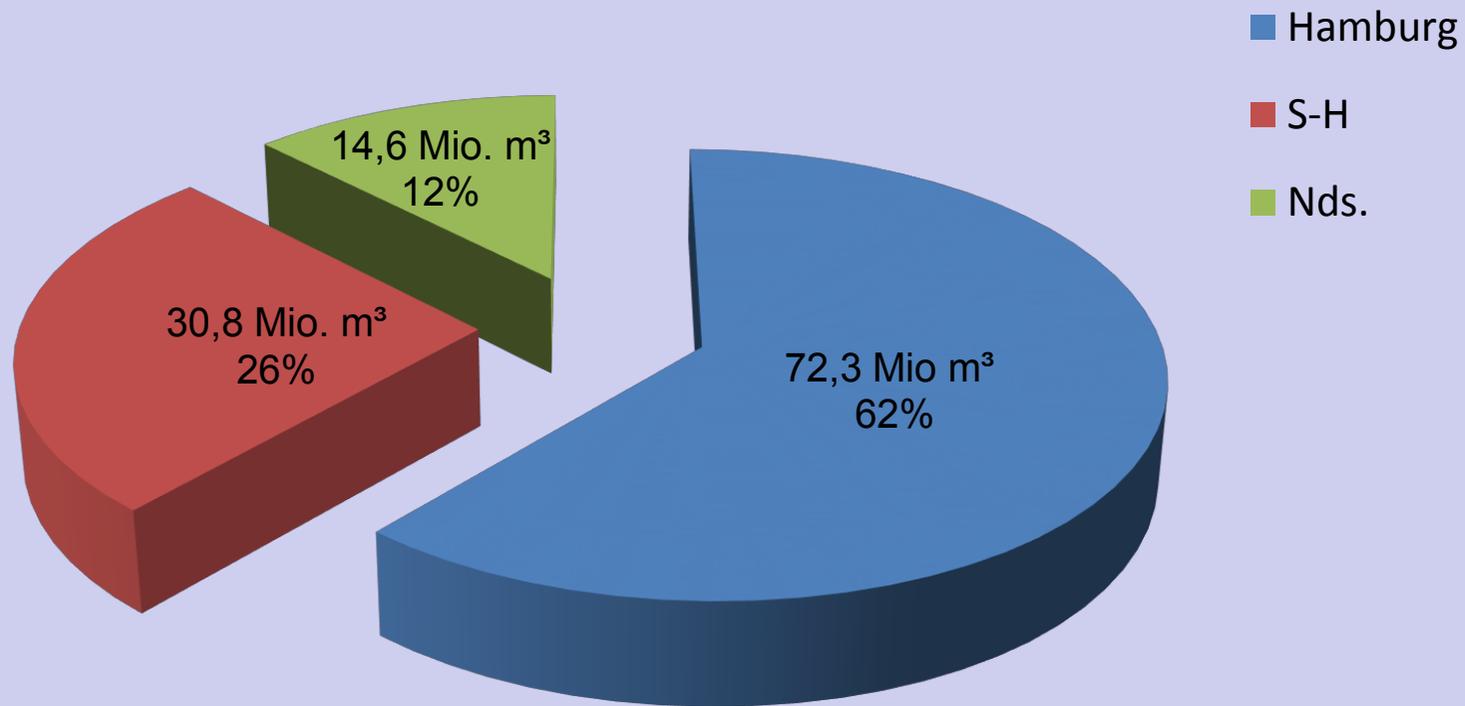
u. a. „Maßnahmen, die geeignet sind, dauernd oder in einem nicht unerheblichen Ausmaß schädliche Veränderungen der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit des Wassers herbeizuführen.“

Grundwasserleiter (schematisch) in Hamburg



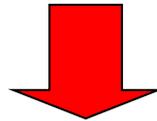
Grundwasserförderung der HWW 2011

Gesamtfördermenge: 117,7 Mio. m³



Grundwasserschutzziele bei der Nutzung von Erdwärme

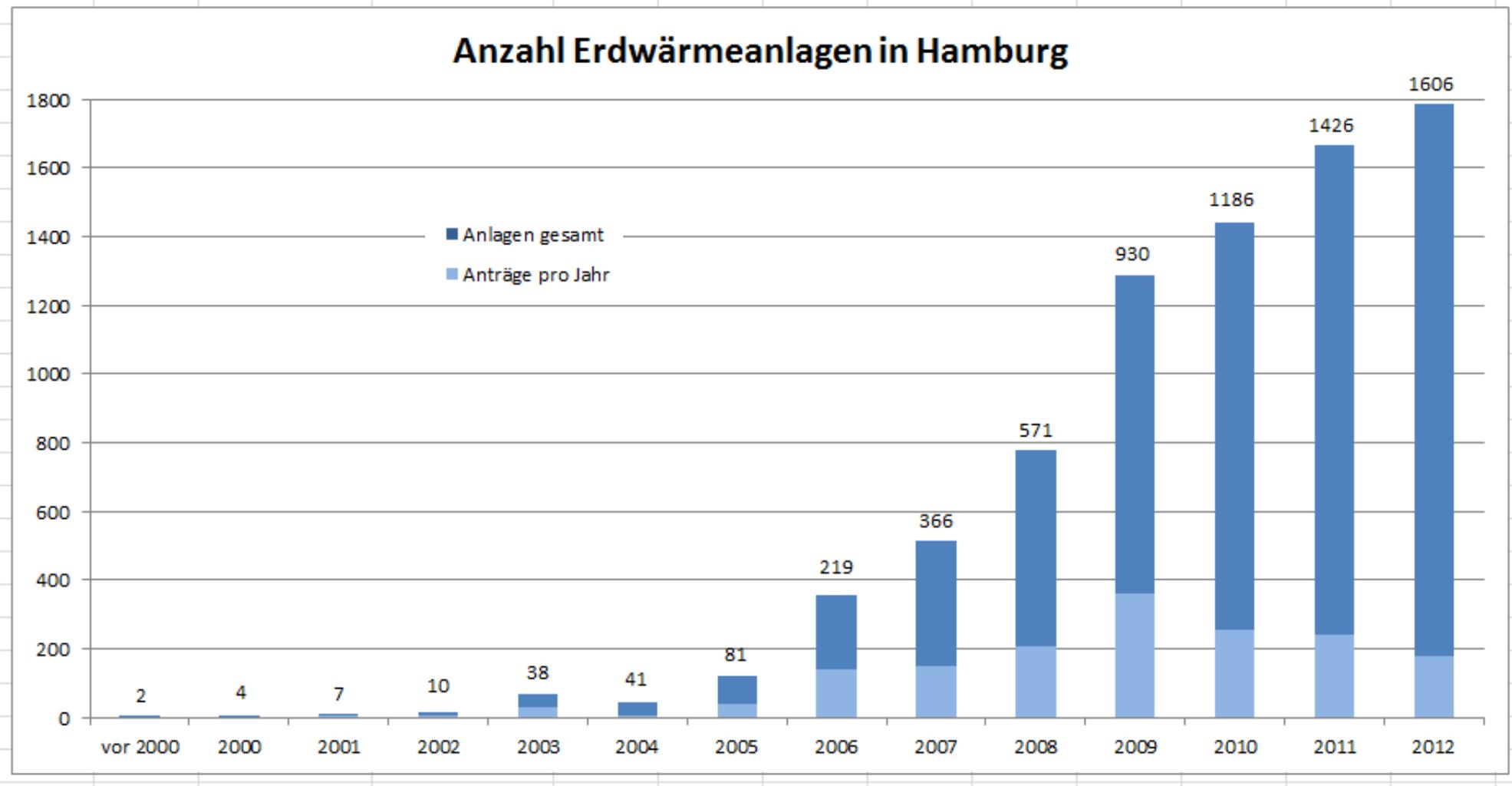
- Keine Beeinträchtigungen der Belange der öffentlichen Trinkwasserversorgung und der Notwasserversorgung
- Keine nachteiligen Veränderungen der chemischen/physikalischen Eigenschaften des Grundwassers
- Verhinderung von Wasserwegigkeiten zwischen natürlich voneinander getrennten Grundwasserleitern



Anforderungen an Bau und Betrieb von Erdwärmeanlagen

- Regionale Einschränkungen
- **Bauliche und technische Anforderungen**

6. Norddeutsche Geothermietagung am 23. und 24. Oktober 2013





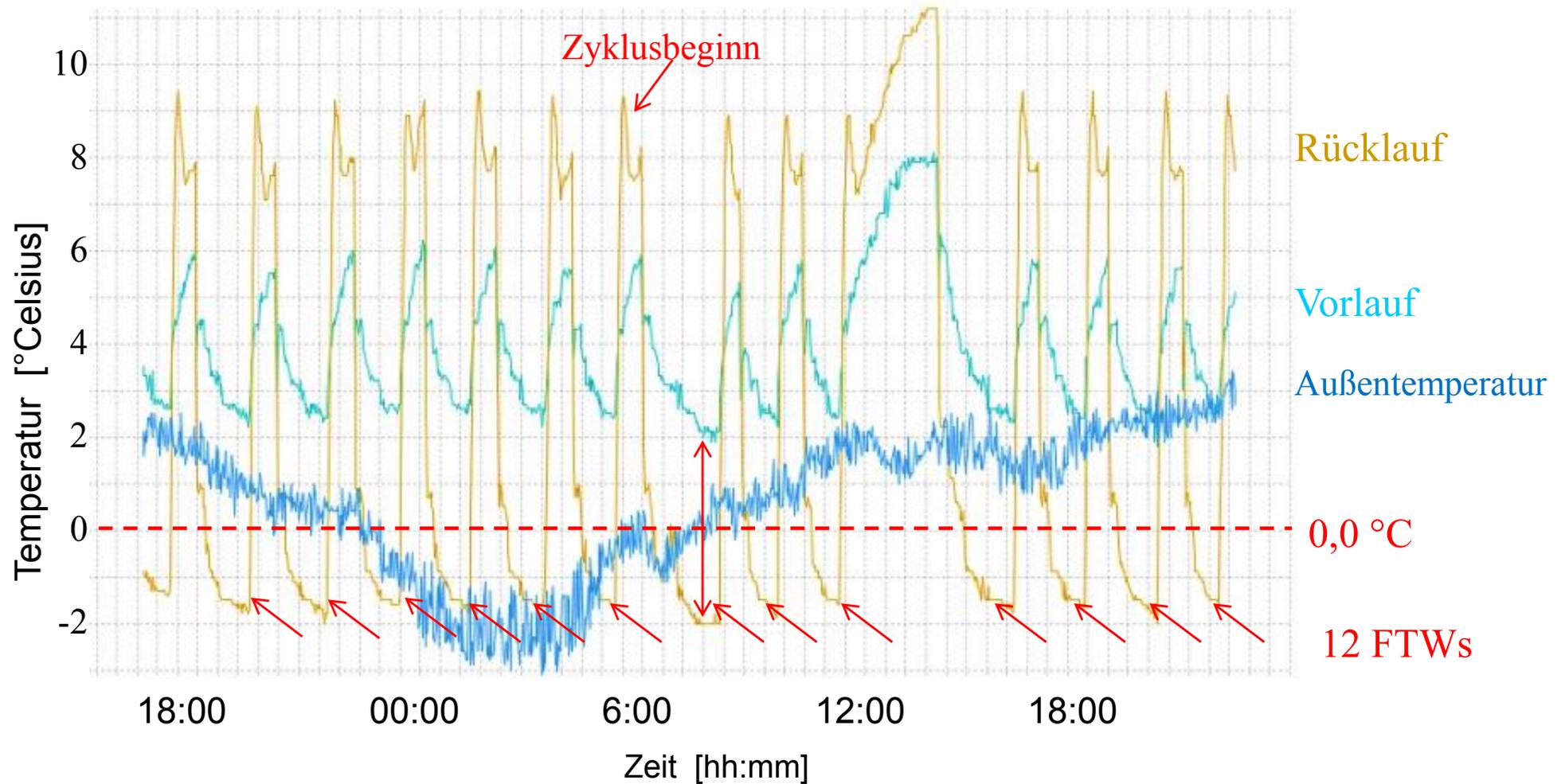
Was befindet sich in diesem Schacht?

- a. Eiswürfelbereiter
- b. Frostraum
- c. Schneekanone
- d. Kondensammelleitung

Temperaturbedingungen beim Erdwärmesondenbetrieb

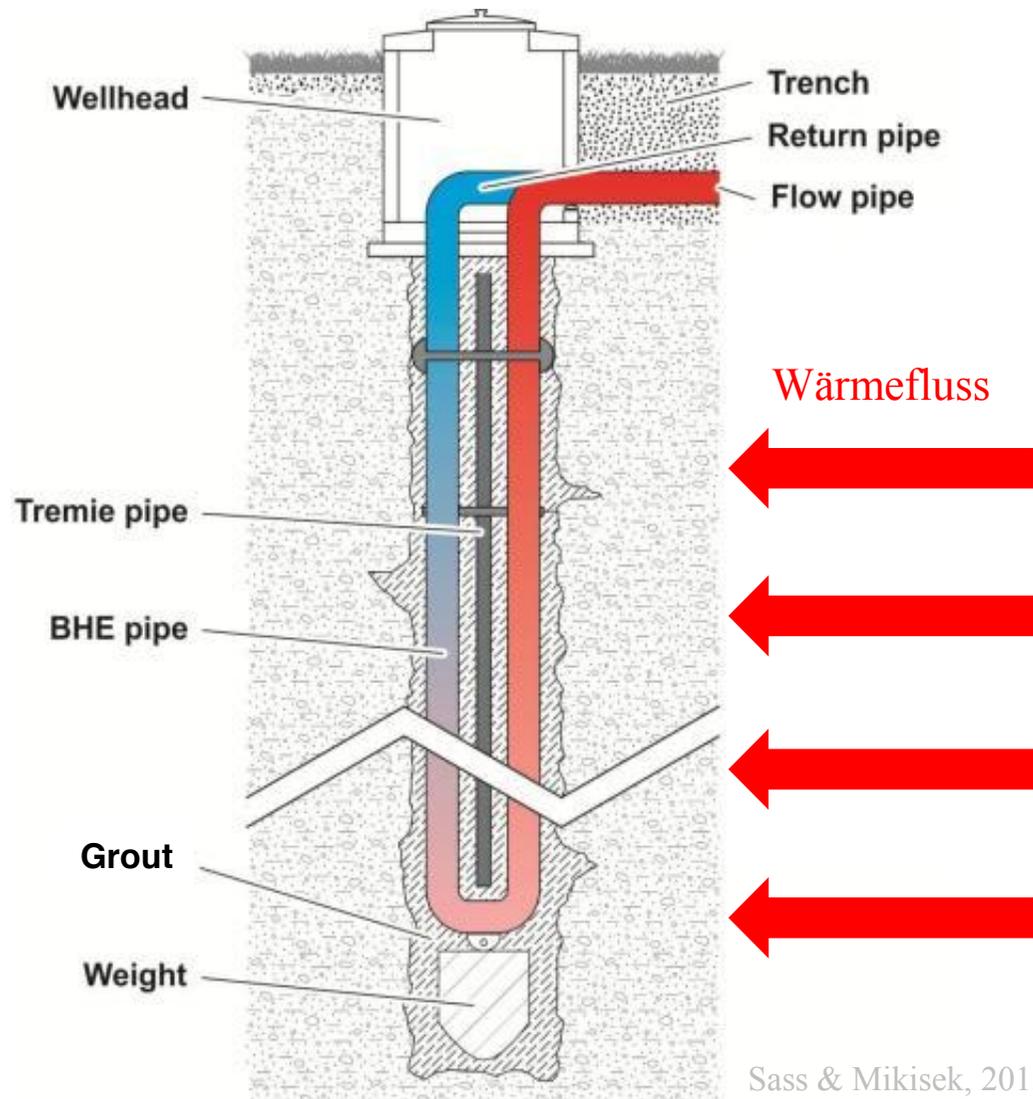
- Temperatur im Untergrund ca. 9 – 12° C
 - Temperatur der zurückkehrenden Sole soll nicht kleiner als 11 K (17 K bei Spitzenlast) gegenüber der ungestörten Erdreichtemperatur sein (VDI 4640)
 - Temperatur des Fluids kann auf ca. - 2 bis - 5 °C , bzw. in Ausnahmen sogar darunter absinken.
- **In einer Heizperiode sind mehrere Frost-/Tauwechsel bei Spitzenlast möglich.**

Temperatur-Monitoring einer optimierten erdgekoppelten Wärmepumpe



Temperatur-Log einer Wärmepumpe, 03.02.2010

Wenzel, 2012



Sass & Mikisek, 2013

Thermische Anforderung an die Verpressung von EWS

Wärmefluss in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit des Verpressmaterials

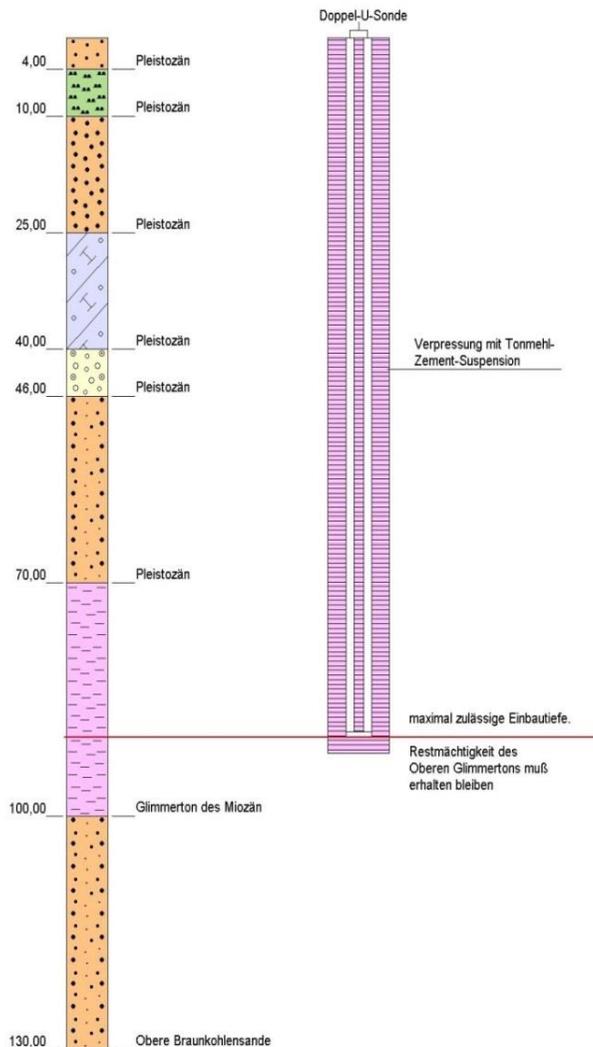
Reine Zementmischungen

$$\lambda_{\text{saturated}} < 1.0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Thermisch verbesserte Verpressmaterialien

$$\lambda_{\text{saturated}} \approx 2.0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

6. Norddeutsche Geothermietagung am 23. und 24. Oktober 2013



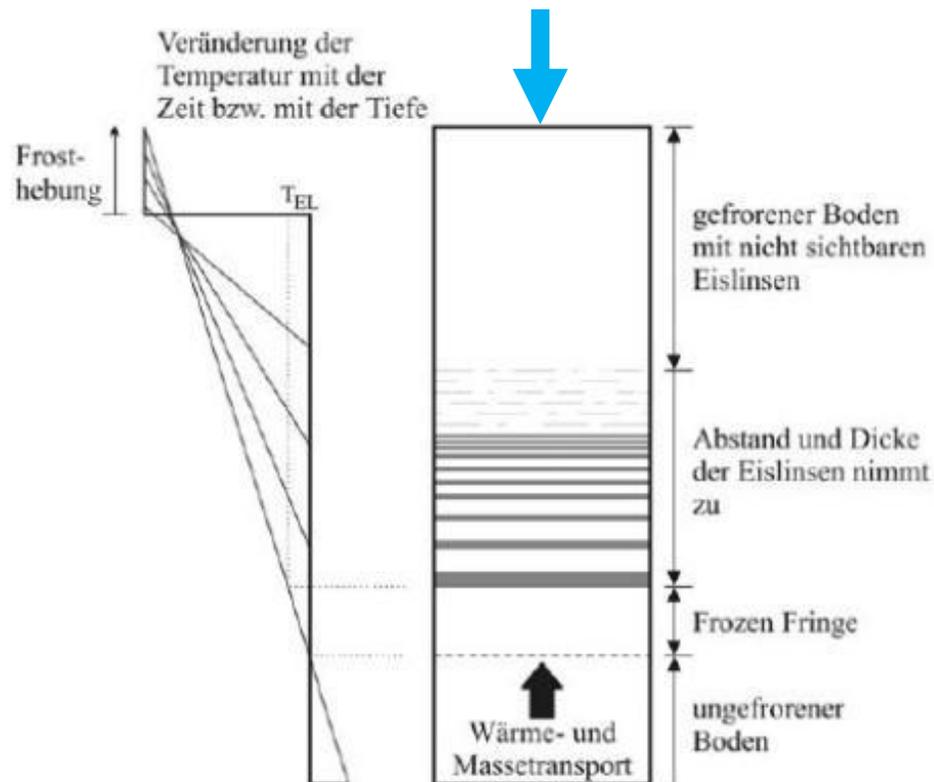
Schlussfolgerungen für den Bau und Betrieb von Erdwärmesonden

- Verpressmaterialien müssen beständig sein gegen Frost-Tau-Beanspruchung
- Materialprüfung nach einem einheitlichen, standardisierten Prüfverfahren
- Sind die Materialien nachweislich nicht beständig gegen F-T-Beanspruchung, ist der frostfreie Betrieb in der wasserrechtlichen Erlaubnis zu fordern.

Prüfkriterien für ein einheitliches Baustoffprüfverfahren

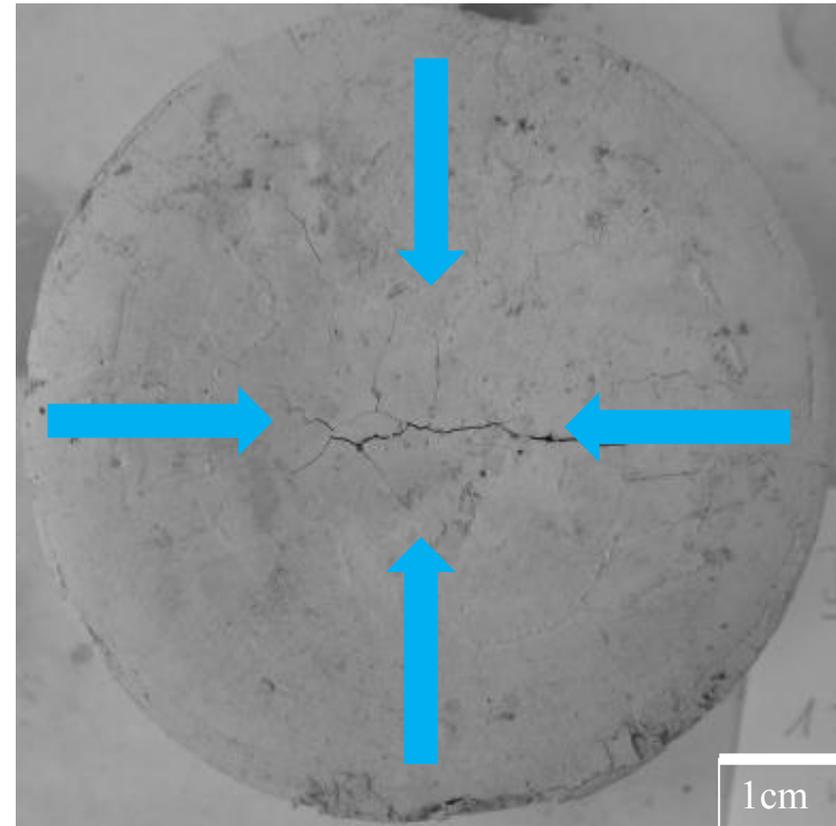
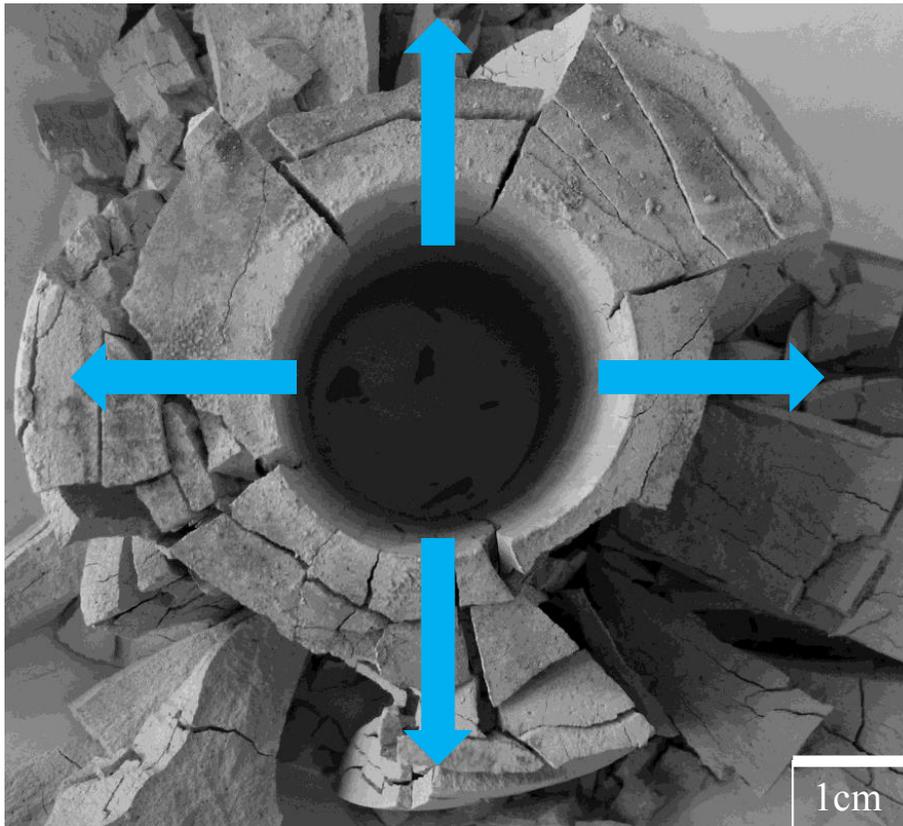
1. Heranzuziehender Parameter ist die hydraulische Durchlässigkeit.
2. Entscheidend ist auch die hydraulische Durchlässigkeit nach Frost-Tau-Wechsel.
3. Der Prüfkörper muss während des gesamten Prüfablaufs allseitig dehnungsbehindert sein.
4. Die Durchfrostung des Prüfkörpers muss von innen nach außen erfolgen.

Durchfrostungsprozess bei feinkörnigen Böden



Schematische Darstellung der rhythmischen Eislinnenbildung, Zunahme von Abstand und Dicke der Eislinnen in Abhängigkeit der Tiefe sowie Temperaturgradient zu verschiedenen Zeiten (Konrad und Morgenstern 1980)

Die Bewegungsrichtung der Gefrierfront ist entscheidend für den Ort der Eisbildung

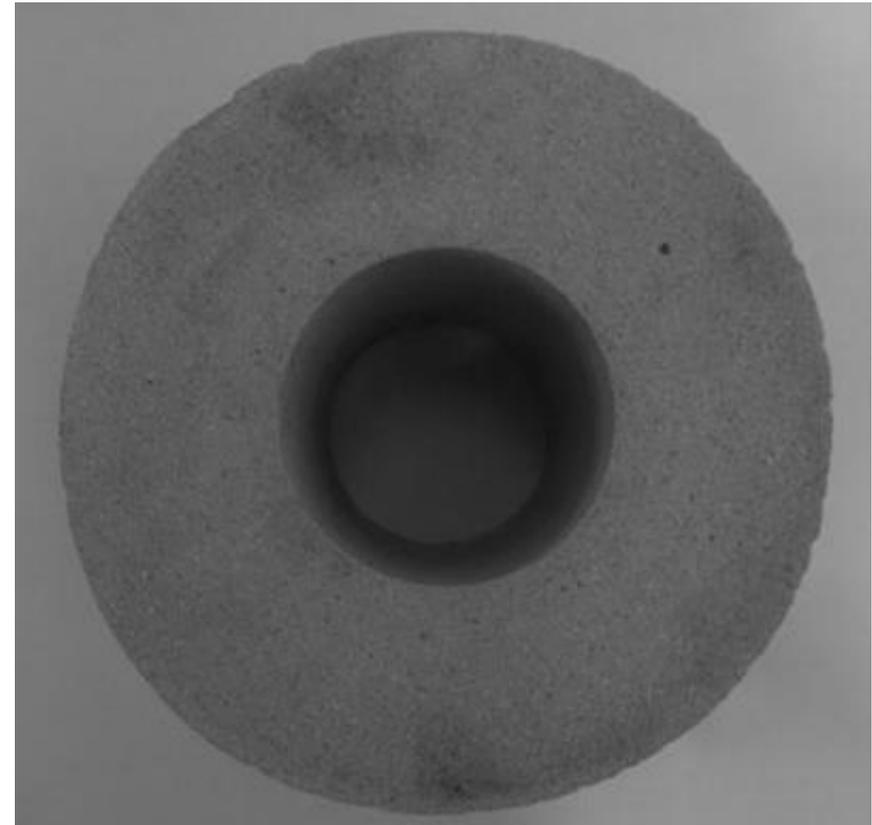


laut Hersteller nicht frost-tau-wechsel-widerstandsfähiges Material
nach Trocknung im Trockenofen

Widerstandseigenschaften der Verfüllbaustoffe gegenüber Frostbeanspruchung sind stark unterschiedlich



nicht frost-tau-widerstandsfähig



frost-tau-widerstandsfähig

Frost-Tauwechsel-Beständigkeit - Prüfmethoden

- Keine Norm für Hinterfüllbaustoffe von Erdwärmesonden vorhanden, die die vorgenannte Problematik berücksichtigt.
- Untersuchungen im Untergrund wurden bisher nicht durchgeführt.
- Folge: **große Verunsicherung beim wasserbehördlichen Vollzug.**

Konsequenz im Sinne von § 5 WHG:

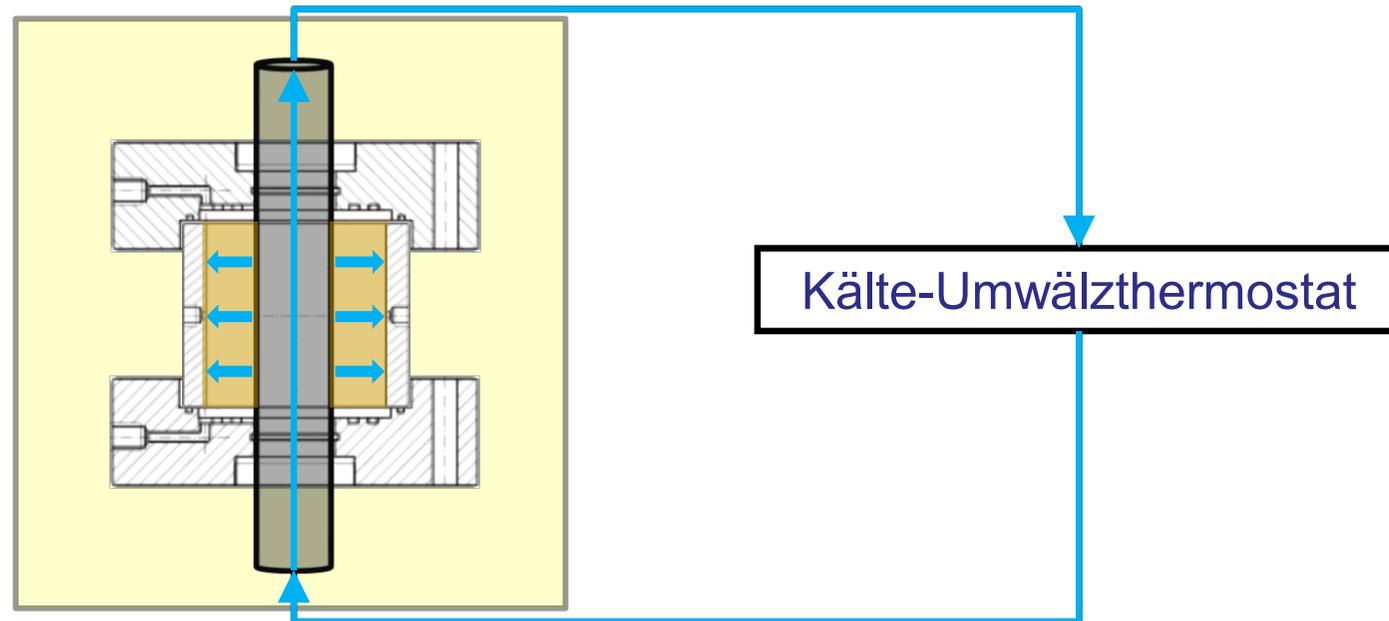
Entwicklung eines Prüfverfahrens, welches die Möglichkeit bietet, gute und geeignete von nicht geeigneten Baustoffen im Hinblick auf die Frost-Tauwechsel-Beständigkeit nach einer einheitlichen Methode zu unterscheiden.

Zusammenarbeit mit TU Hamburg-Harburg, KED-Ingenieure Hamburg, TU Darmstadt

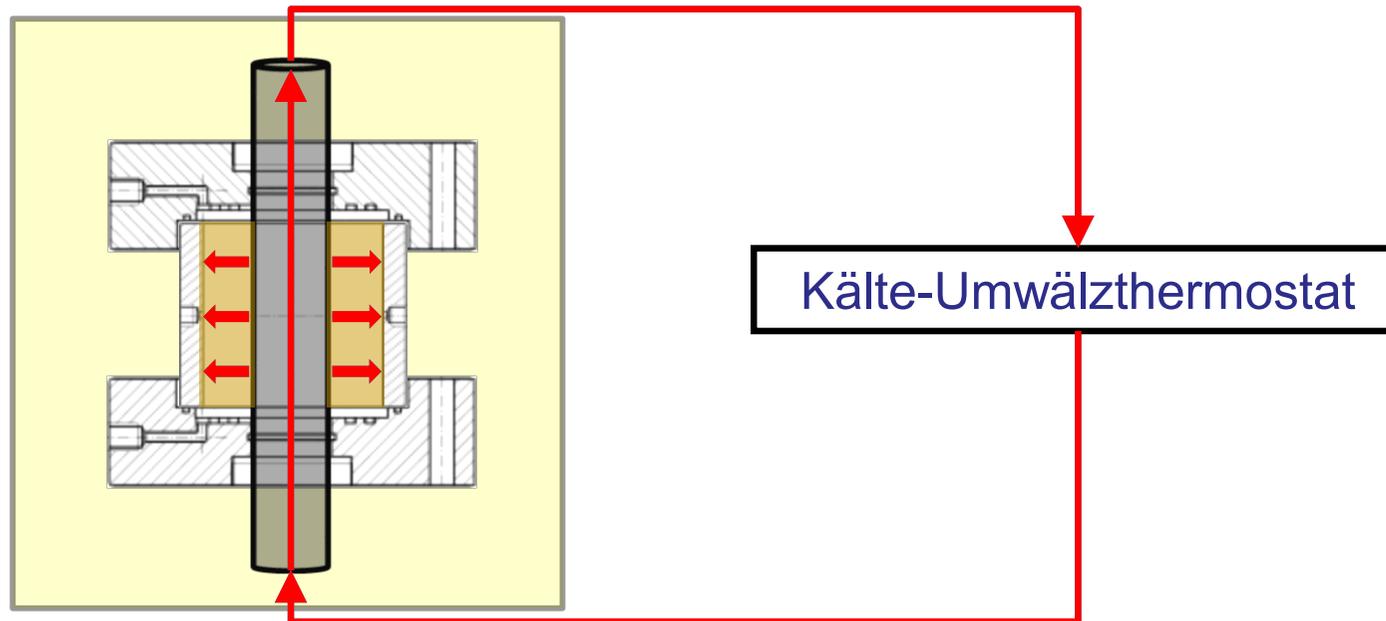
Aufbau der Frost-Tau-Wechsel-Messzelle



Versuchsaufbau für Frost-Tau-Wechsel



Versuchsaufbau für Frost-Tau-Wechsel

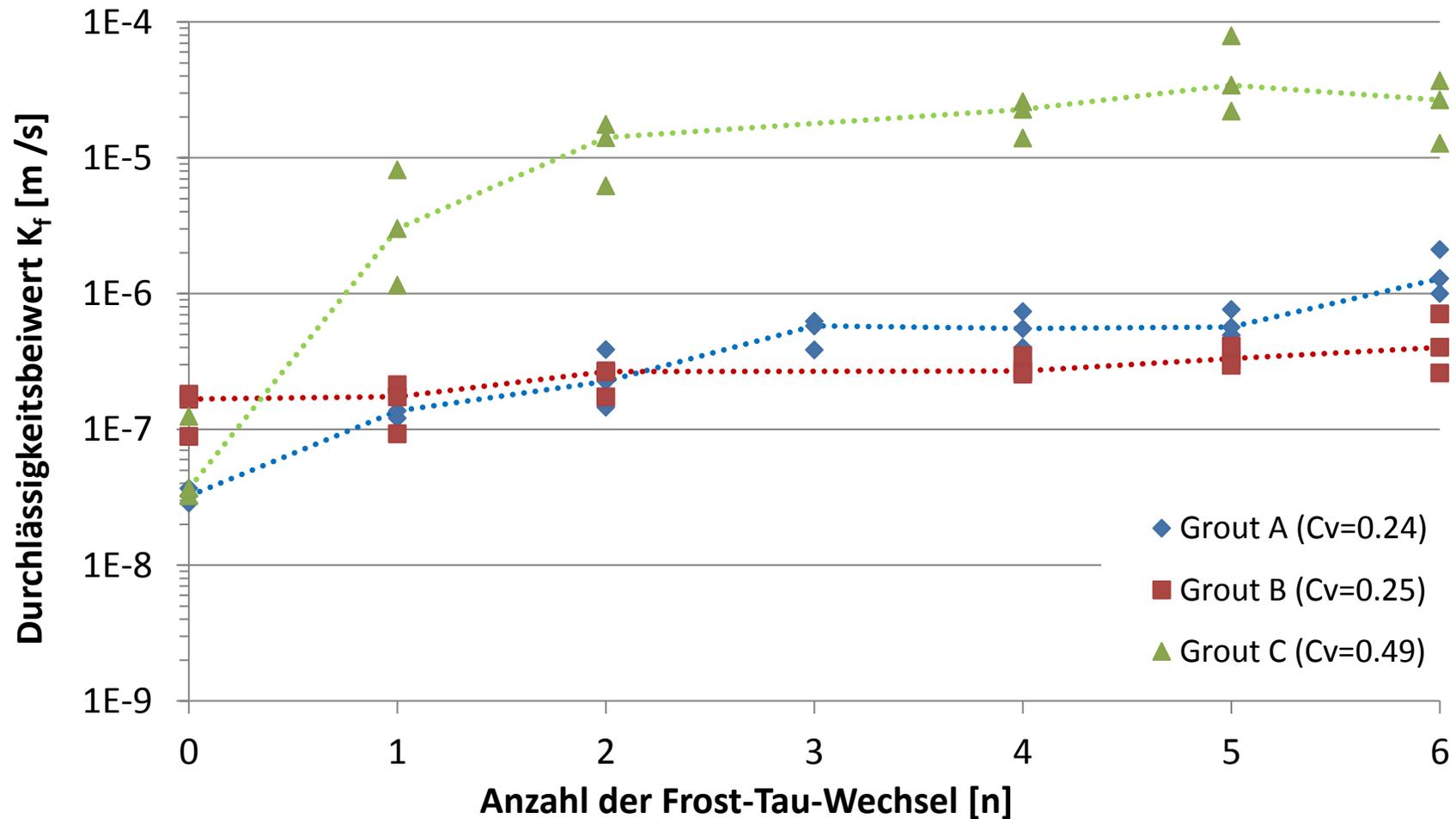


Darstellung ausgewählter Verpressmaterialien

Vergleich dreier handelsüblicher Verpressmaterialien.
Von jedem Material wurden 3 Prüfkörper getestet.

| | Thermisch verbessert | Enthält quellfähige Tone |
|------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Material A | + | - |
| Material B | + | + |
| Material C | - | - |

Ergebnisse der Durchlässigkeitsmessungen in Abhängigkeit von der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel

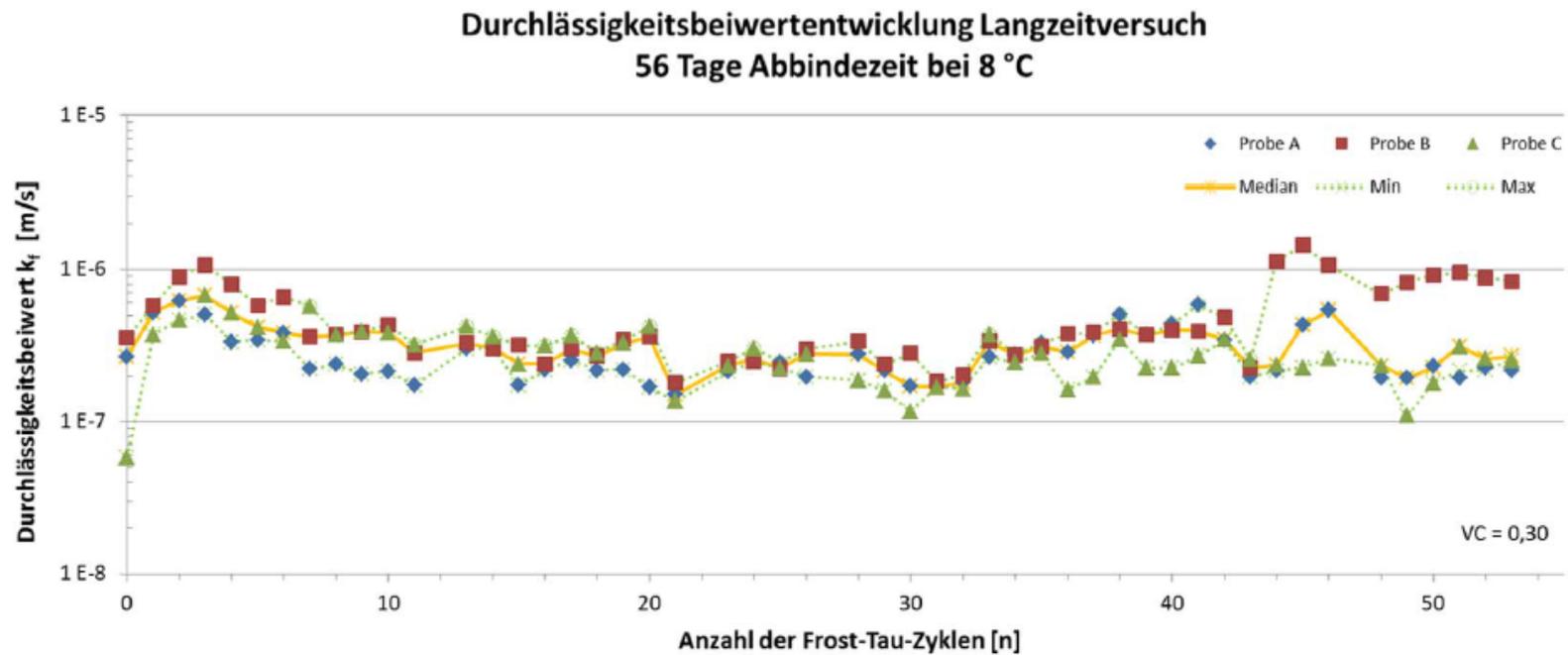


Dreifachtest von 3 Verpressmaterialien, gepunktete Linie verbindet die Medianwerte

Bewertung der Messergebnisse

- Die Durchlässigkeitsbeiwerte in der Systemprobe unterscheiden sich von den reinen Materialwerten um ca. zwei 10er-Potenzen.
- Die hydraulische Durchlässigkeit im Rahmen des Versuchs steigt aufgrund der Frost-Tau-Beanspruchungen an.
- Die Änderungsrate der Durchlässigkeit nimmt mit steigender Anzahl von Frost-Tau-Wechseln ab.
 - Die ersten Frost-Tau-Wechsel sind entscheidend.
- Bei geeigneten Materialien beträgt die Erhöhung des Durchlässigkeitsbeiwertes durch Frost-Tau-Wechsel ca. eine 10er-Potenz.
- Die Eignung hängt auch von den erreichten absoluten Durchlässigkeitsbeiwerten im System ab.

Langzeitversuch mit 50 Frost-Tau-Wechseln



Zusammenfassung und Ausblick (I)

- Das vorgestellte Prüfverfahren liefert zuverlässig reproduzierbare Ergebnisse.
- Die Messzelle ist ohne größeren Aufwand in jedes Erdbaulabor implementierbar.
- Mit den bisher über 600 Frost-Tau-Wechsel-Simulationen und Durchlässigkeitsmessungen hat sich die Versuchsanordnung bewährt.
- Bisher wurden 11 Verpressmaterialien von 8 Herstellern geprüft. (weitere in Planung bzw. angefragt)
- Messzellen in Hamburg, Darmstadt und Höxter
- Kalibrierung mit definierten Materialien
- Baustellenproben möglich

Zusammenfassung und Ausblick (II)

- Prüfverfahren ermöglicht die für die wasserbehördlichen Entscheidungen notwendigen Unterscheidungen der Verpressmaterialien in „geeignet“ und „nicht geeignet“
- Für Hamburg gilt ein Durchlässigkeitsbeiwert von höchstens 5×10^{-7} m/s nach 6 F-T-Wechseln als geeignet.
- Positivliste weist derzeit 6 Materialien aus.
- Wiederholungsprüfungen nach Rezeptur-/Materialänderungen in der Diskussion
- Bundesweite Einführung als Stand der Technik?

6. Norddeutsche Geothermietagung am 23. und 24. Oktober 2013

Ein herzliches Dankeschön

- an Herrn Dr. Frank
- an Herrn Anbergen, KED, und
- für Ihre Geduld und Aufmerksamkeit!

Leitfaden zur Erdwärmennutzung in Hamburg

