

# Prüfverfahren zur Frost-Tau-Wechsel-Widerstandfähigkeit von Verpressmaterialien - Möglichkeiten und Grenzen -



**Hartmut Dittrich**  
Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Hamburg



**Ingo Schäfer**  
Geologischer Dienst NRW



## Ausgangslage „Grundwasserschutz“

- Der Schutz des Grundwassers hat eine grundsätzliche 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.



## Grundwasserschutzziele bei der Nutzung von Erdwärme

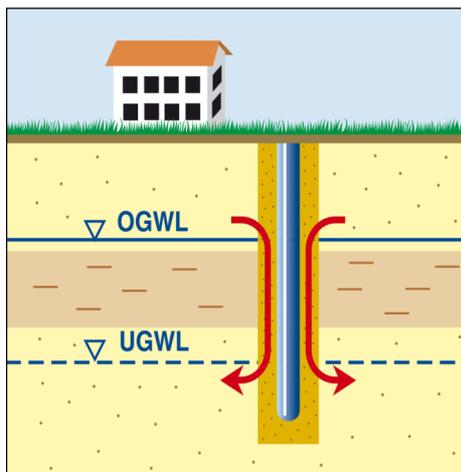
- Keine Beeinträchtigungen der Belange der öffentlichen Trinkwasserversorgung und der Notwasserversorgung
- Keine nachteiligen Veränderungen der chemischen/physikalischen/biologischen Eigenschaften des Grundwassers
- Verhinderung von Wasserwegsamkeiten zwischen natürlich voneinander getrennten Grundwasserleitern



## Anforderungen an Bau und Betrieb von Erdwärmeanlagen

- Regionale Einschränkungen (hydrogeologisch begründet)
- Bauliche und technische Anforderungen

## Auswirkungen hydraulischer Kurzschlüsse



z. B. Stockwerksbau & Druckpotenzialunterschiede

- Absenkung des GW-Standes
- Aufhöhung des GW-Standes
- Wasseraustritt
- Mischung
- Stoffeintrag
- Gasdifusion

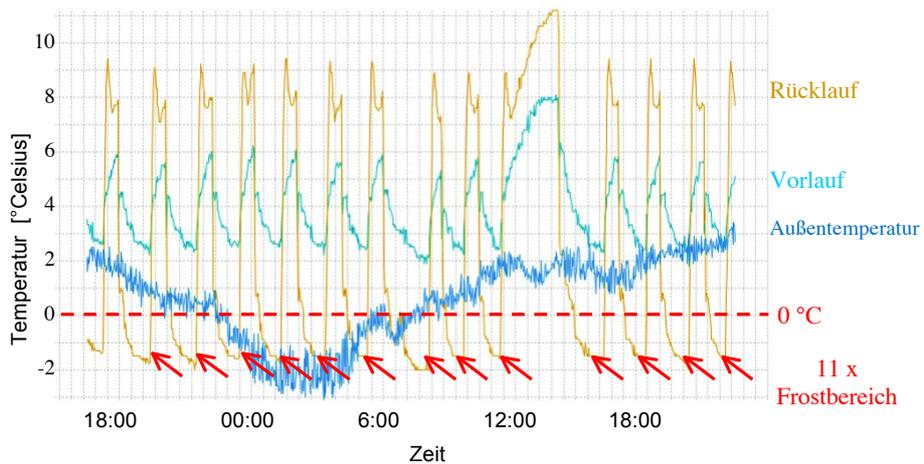
### Gegenmaßnahmen in Bezug auf

- ▶ Bohrerlochdurchmesser
- ▶ Verpressung
- ▶ Zentrierung
- ▶ Tiefenbegrenzung

## Temperaturbedingungen beim Erdwärmesondenbetrieb

- ungestörte Temperatur im Untergrund ca. 9 – 12° C
- Temperaturdifferenz der zurückkehrenden Sole soll nicht größer als 11 K (17 K bei Spitzenlast) gegenüber der ungestörten Erdreichtemperatur sein (VDI 4640)
- Konsequenz: Temperatur des Fluids kann auf ca. - 2 bis - 5 °C, in Ausnahmen sogar darunter absinken.

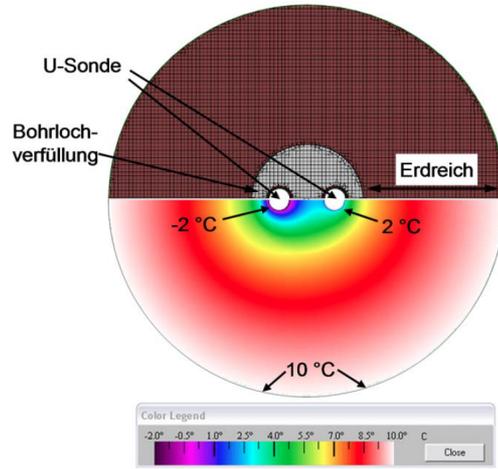
## Temperatur-Log einer Wärmepumpe (Monat: Februar)



(nach Wenzel, 2012)

In einer Heizperiode sind mehrere Frost-/Tauwechsel bei Spitzenlast möglich.

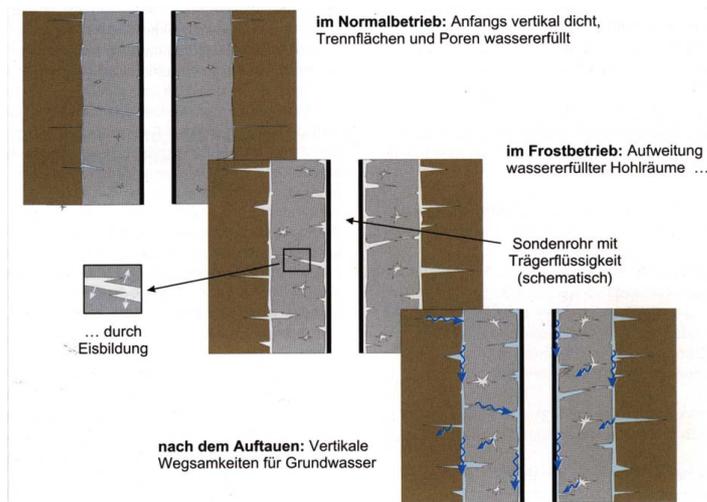
## Einfluss der minimalen Fluidtemperatur auf das Verpressmaterial



(Königsdorf 2013)

Geologischer Dienst NRW

## Prozesse durch den Frost-Tau-Wechsel



(Amt für Umweltschutz, Stuttgart)

Geologischer Dienst NRW

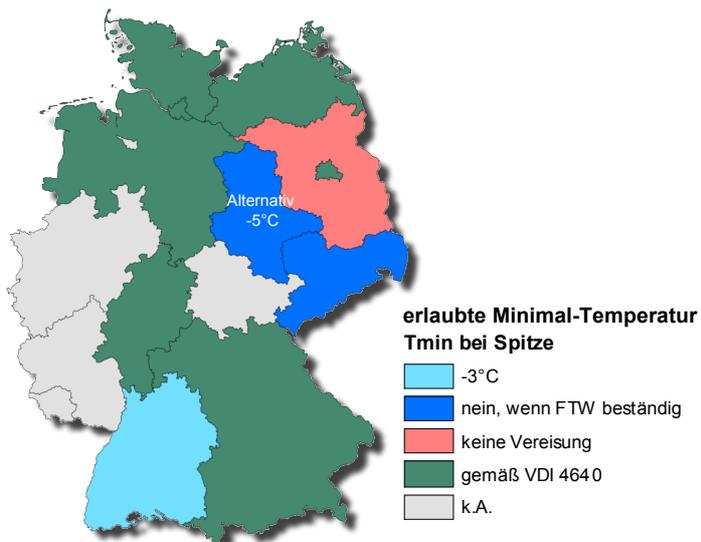
## Schlussfolgerungen für den Bau und Betrieb von Erdwärmesonden



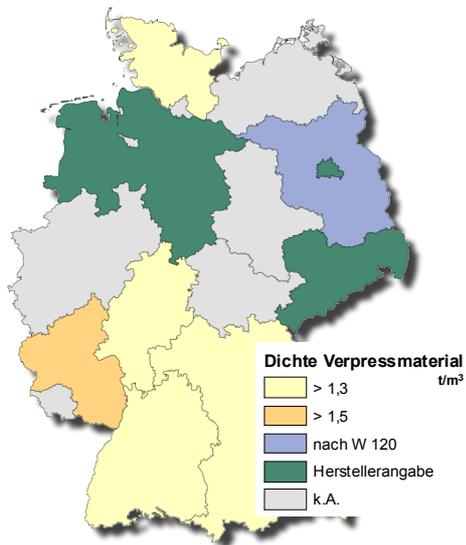
Quelle: unbekannt

- Verpressmaterialien müssen beständig sein gegen Frost-Tau-Beanspruchung
- Materialprüfung nach einem einheitlichen, standardisierten Prüfverfahren
- Sind die Materialien nachweislich nicht beständig gegen F-T-Beanspruchung, sollte zur Verhinderung hydraulischer Kurzschlüsse der frostfreie Betrieb bzw. eine Tiefenbegrenzung in der wasserrechtlichen Erlaubnis zu fordern.

## Länderspezifische Anforderungen



## Länderspezifische Anforderungen



Geologischer Dienst NRW

## Frost-Tauwechsel-Beständigkeit - Prüfmethode

- 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 des WHG:

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

Geologischer Dienst NRW

## Kriterien für ein einheitliches Prüfverfahren

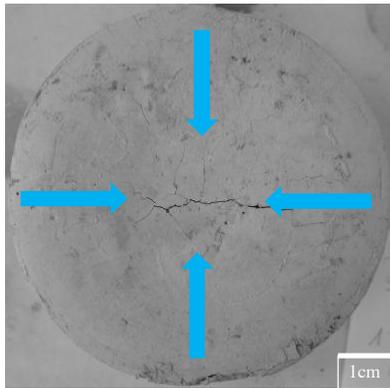
1. entscheidender Parameter ist die hydraulische (System-)Durchlässigkeit nach Frost-Tau-Wechsel.
2. Der Prüfkörper muss während des gesamten Prüfablaufs allseitig dehnungsbehindert sein.
3. Die Durchfrostung des Prüfkörpers muss von innen nach außen erfolgen.
4. Übertragbarkeit auf das Gesamtsystem Sonde-Verpressmaterial-Bohrlochwand
5. Ein standardisiertes Prüfverfahren sollte in „normalen“ Erdbaulaboratorien durchführbar sein unter der Maßgabe einer Kalibrierung, um gleichwertige Ergebnisse erzielen zu können.

## Bestehende Prüfverfahren

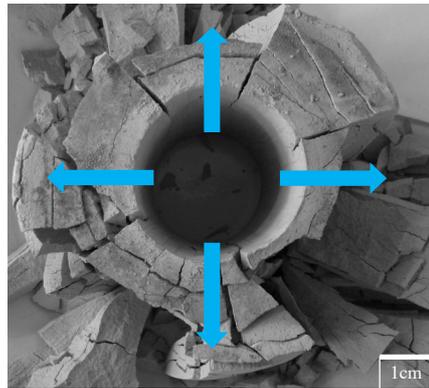
- **DIN EN 12371: 2010-07**  
Prüfverfahren für Naturstein – Bestimmung des Frostwiderstandes
- **DIN CN/TS 12390-9: 2006**  
Prüfung von Festbeton. Teil 9: Frost und Frost-Tausalz-Widerstand – Abwitterung
- **DIN 52104-1: 1982-11**  
Prüfung von Naturstein – Frost-Tau-Wechsel-Versuch, Verfahren A bis Q.



## Die Bewegungsrichtung der Gefrierfront ist entscheidend für Stabilität der Verpressung



(Anbergen)



## Aufbau der Frost-Tau-Wechsel-Messzelle

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



(Anbergen)



(Dittrich et al)

## Aufbau der Frost-Tau-Wechsel-Messzelle

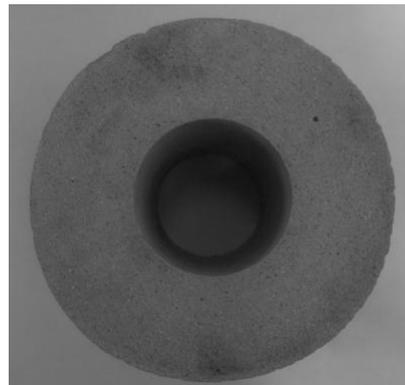
BSU Hamburg mit TU Hamburg-Harburg, KED-Ingenieure Hamburg, TU Darmstadt

Prüfkörpergeometrie	
PE-Rohr	
Länge	35,00 cm
Durchmesser (innen)	3,10 cm
Durchmesser (außen)	4,00 cm
Verpresskörper	
Höhe	7,00 cm
Durchmesser (außen)	9,60 cm
Anströmfläche	59,82 cm <sup>2</sup>

## Widerstandseigenschaften der Verfüllbaustoffe gegenüber Frostbeanspruchung sind stark unterschiedlich



nicht frost-tau-widerstandsfähig

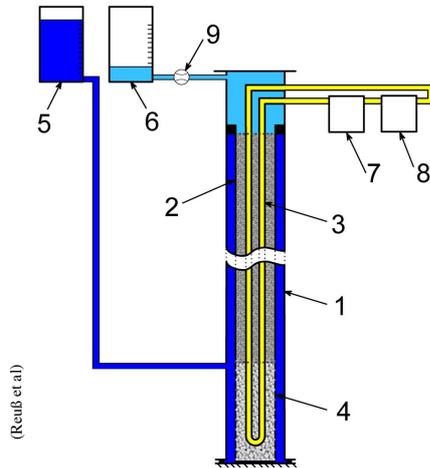


frost-tau-widerstandsfähig

(Anbergen)

## Aufbau des Großversuchstandes

ZAE Bayern



1. Druckbehälter
2. Verfüllmaterial
3. Sondenrohre
4. Probenfuß
5. Wasserzulauf
6. Wasserablauf
7. Heizung
8. Kühlung
9. Durchflussmessgerät

## Aufbau des Großversuchstandes

ZAE Bayern



- Probenlänge: 2.750 mm
- Proben-Ø: 150 mm
- Doppel-U-Sonde
- Temperaturkreis: -10° C bis 80° C

## Möglichkeiten der Prüfverfahren

Laborversuche liefern belastbare Werte und Einschätzungen, ob Materialien frosttauwechselbeständig sind (Materialvergleich)

KED-Versuch ist praktikabler in der Anwendung (Versuchsreihen schneller durchführbar).

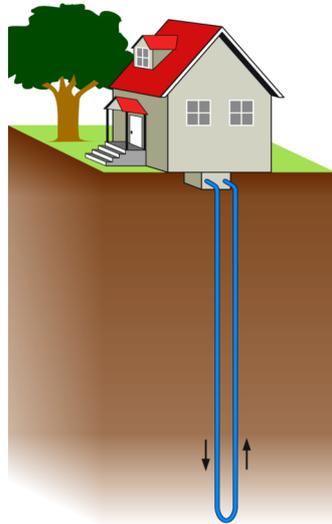
ZAE-Versuch kommt der Abbildung der Verhältnisse in einem realen Bohrloch näher

## Grenzen der Prüfverfahren

Die **Systemdurchlässigkeit** im Bohrloch wird derzeit durch kein bekanntes Verfahren bestimmt.

Übertragbarkeit auf die tatsächlichen Verhältnisse im Bohrloch zurzeit noch nicht gegeben:

- Heterogenität der Untergrundverhältnisse
- verschiedenen Bohrlochgeometrien
- Sondengeometrie (Manteloberfläche)
- Lage der Sonde im Bohrloch (Zentrierung)

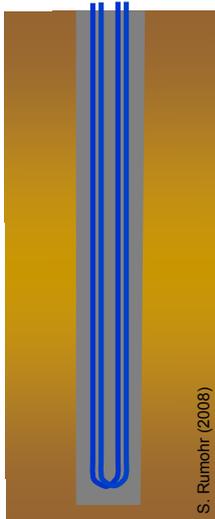


**JEDE** Anlage ist ein Eingriff in die Schutzgüter Boden, Grundwasser und Gestein.

Es muss definiert werden, welche Auswirkungen **nachteilig** und welche **akzeptabel** sind.

An das Ergebnis müssen **Erlaubnisbescheide**, **Zertifizierungsverfahren**, **Normen** und **Ausbildungsinhalte** angepasst werden.

### Idealvorstellung einer Erdwärmesonde...



- ✓ „minimal-invasiver Eingriff in den Untergrund“
- ✓ vollständige wasserundurchlässige Verfüllung des Bohrlochs zur Trennung von Grundwasserstockwerken
- ✓ vollständige wasserundurchlässige Umhüllung der Sondenrohre
- ✓ dauerhaft beständige Materialien
- ✓ geringe thermische Beanspruchung
- ✓ Verwendung nicht wassergefährdender Stoffe

## bundesweiter Arbeitskreis der Staatlichen Geologischen Dienste

Bund-/Länderausschuss  
Bodenforschung (BLA-Geo)

Direktorenkreis der  
Staatlichen Geologischen Dienste

Bodeninformationssysteme  
(BIS-Steuerungsgruppe)

Ad-hoc-AG Boden

Ad-hoc-AG Hydrogeologie

Ad-hoc-AG Geologie

Ad-hoc-AG Rohstoffe

Empfehlungen für die  
Anforderungen an die hydraulischen  
Systemdurchlässigkeiten von  
Erdwärmesondenbohrungen

PK Systemdurchlässigkeit

## Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



(Dittrich 2013)

Was befindet sich in diesem Schacht?

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