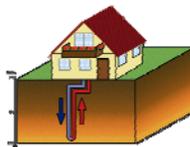


# Frost-Tauwechsel-Beständigkeit von Verfüllbaustoffen

Dipl.-Geol. Verena Herrmann  
Geologisches Büro Dr. Behringer, Aalen

*Fachgespräch Erdwärmesonden*  
*Thermische Auswirkungen, Sonderformen der Nutzung*  
26. August 2008, Idstein



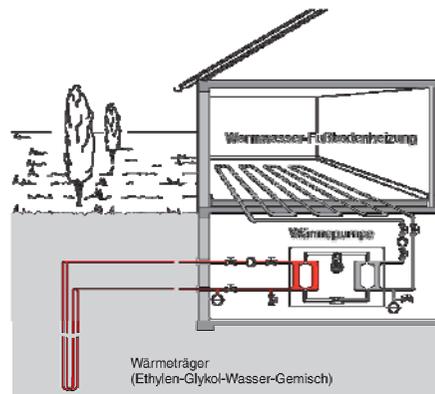
## Gliederung

- Einleitung
- Anwendung in Praxis
- Problematik
- Ergebnisse der Forschung
- Handlungsempfehlungen

## ● ● ● | Oberflächennahe Geothermie

**Indirekte Nutzung  
- mit geschlossenen  
Wärmeüberträgersystemen:**

- Erdwärmekollektoren
- Erdwärmesonden
- Erdberührte Bauteile



Quelle: VDI-Richtlinie 4640, Blatt 1 (2000)

## ● ● ● | Bau von Erdwärmesonden

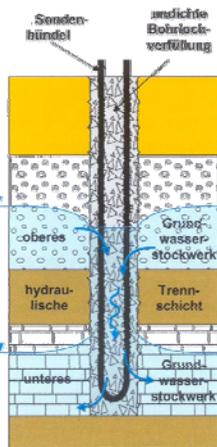
Herstellung der Bohrung

↓  
Einbau Sonden- und  
Verfüllrohre

↓  
Verpressung/  
Bohrlochhinterfüllung



## Funktionen der Hinterfüllung



VDI-Richtlinie 4640 „Thermische Nutzung des Untergrundes“, Blatt 2 (2001):

- ⇒ Wärmeübertragung vom Gestein zu den Sondenrohren
- ⇒ Stabilisierung und Abdichtung des Bohrlochs
- ⇒ Schutz der Rohre
- ⇒ Grundwasserschutz

Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz (2006)

## Problematik

Richtlinie VDI 4640, Blatt 2 (2001):

Die Suspension muss „nach Aushärtung eine dichte und dauerhafte, physikalisch und chemisch stabile Einbindung der Erdwärmesonde in das umgebende Gestein gewährleisten.“

**Mangelhafter Ausbau**  
Hohlräume bei Verfüllung  
Inhomogenitäten etc.

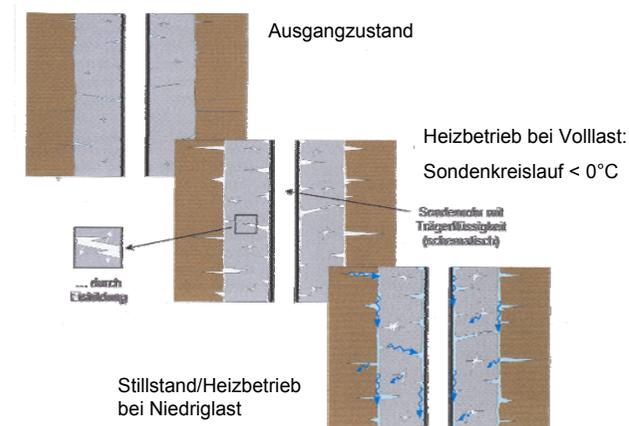
**Frosteinwirkung**  
Unterkühlung des Sondenkreislaufes

**Langzeitstabilität**  
chemischer Angriff  
Austrocknung

## Verfüllbaustoffe

- Baustoffe aus Brunnenbau: Zement-Bentonit-Gemische als Fertigprodukte, oft so genannte „Dämmer“ (0.8 – 1.1 W/mK)
- Erstellung von Mischungen gemäß VDI 4640 Blatt 2 (2001) auf der Baustelle:
  - Zement/Bentonit/Quarzsand (1.0 – 2.0 W/mK)
  - Im GWL: Feinkies oder feinkörniges Bohrgut
  - Keine Verfüllung bei nicht standfestem Untergrund
  - Bohrspülung + „Dämmer“
- Spezielle thermisch verbesserte Baustoffe für Erdwärmesonden als Fertigprodukte (~2 W/mK)
- Schweiz: Zement + Bentonit gemäß Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz (FWS) 2004 (0.8 W/mK)

## Frost-Tauwechselbeständigkeit



Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz (2006)

## Frost-Tauwechselbeständigkeit



Frosthebungen über den Zuleitungen



vereister Erdwärmesondenverteiler

Bassetti et al. (2005)

## Problemstellung

- Keine standardisierte Untersuchungsmethodik:
  - Langzeitstabilität:
    - Auslaugungsverhalten
    - Umweltverträglichkeit
  - Stoffeigenschaften:
    - Wärmeleitfähigkeit
    - Durchlässigkeit
    - Druckfestigkeit
    - Frost-Tau-Verhalten
- Keine Abstimmung auf geologische Besonderheiten, GW-Chemismus
- Keine Bauaufsichtliche Zulassung (DiBt)
- Keine Eignungsprüfungen

## Konzept der Untersuchungen an der Universität Karlsruhe

- Untersuchung in der Praxis  
verwendeter Hinterfüllkonzepte
- Entwicklung und Test von  
Untersuchungsmethodik
- Entwicklung neuer Frost-Tau  
beständiger Baustoffe

- Chemische Eigenschaften
- Physikalische Eigenschaften
  - Frost-Tau-Verhalten
  - Wärmeleitfähigkeit
  - Druckfestigkeit
  - Durchlässigkeit
- Strukturelle Untersuchungen
  - Mikroskopie (REM, etc.)
  - Quecksilberporosimetrie
- Adaptierte  
Kleintechnikumsversuche

## Frostschädigung



Baustoff im Grundzustand



Baustoff nach 2 Frost-Tau-Zyklen

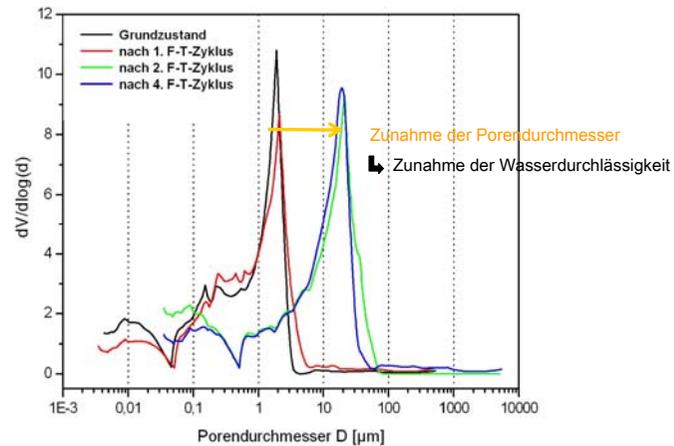
Probekörper im Grundzustand (links), nach 2 Frost-Tau-Zyklen (rechts)  
Höhe: 18 cm, Durchmesser 10 cm

→ Schädigung der  
Hinterfüllmasse

→ Ablösen der Sondenrohre  
von der Hinterfüllung

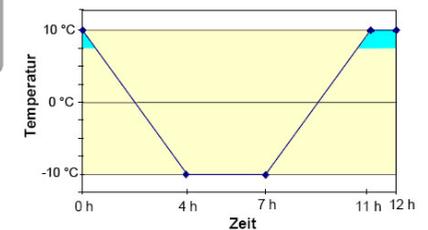
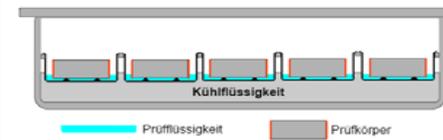
→ Schädigung der  
Sondenrohre

## Frostschädigung: Quecksilberporosimetrie



## Frostbeständigkeit / Frost-Tau-Verhalten

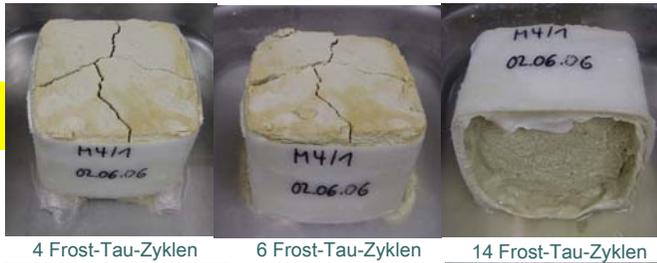
**CIF-Tests**  
(Capillary Suction, Internal Damage and Freeze-Thaw-Tests)  
nach DIN CEN/TS 12390-9 (2006)



Setzer et al. (2001)

## Frost-Tau-Verhalten im CIF-Test

Praxisüblicher  
Baustoff



Frostbeständiger  
Baustoff



## Ergebnisse

In der Praxis verwendete Hinterfüllbaustoffe werden bei Frost-Tauwechseln strukturell geschädigt.

- ↳ Schlechtere Anbindung an Untergrund
- ↳ Abnehmende Wärmeleitfähigkeiten
- ↳ Entstehung von Wasserwegsamkeiten
- ↳ Schädigung/Versagen der Anlagen
- ↳ Geotechnische Probleme im Umfeld der Anlage

## ● ● ● | Handlungsempfehlungen



## ● ● ● | Systemsicherheit & Frostbeständigkeit

- Planung:  
Ausreichende Dimensionierung der Wärmequelle
- Ausführung: Qualifizierte Firmen und Personal
- Verwendung von Fertigprodukten/geeigneten Baustoffen
- Verpress-Standards: Einhalten der Rezepturen und Mischzeiten
- Verpressen mit geeigneter und funktionstüchtiger Mischanlage  
(mit leistungsfähigen Pumpen)

## Systemsicherheit & Frostbeständigkeit

- Verpressung im Kontraktorverfahren (von unten nach oben)
- Vollständige Bohrlochverfüllung
- Ausreichende Abbindezeiten berücksichtigen
- Qualitätskontrolle:
  - Prüfung beim Verpressen: Dichte, Fließverhalten
  - Rückstellproben: Parameterkontrolle
  - Dokumentation
- Qualitätskontrolle Gesamtsystem: Bohrloch-Logging

➔ **Mindestanforderung:**  
Vollständige Umsetzung der Leitfäden in der Praxis

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

