

Einheitliche Materialprüfung für frost-tau-wechselwiderstandsfähiges Verpressmaterial in der oberflächennahen Geothermie – der aktuelle Stand

Hauke Anbergen, KED Ingenieure und TU Darmstadt



KED
INGENIEURE



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT


Hamburg

Behörde für
Stadtentwicklung
und Umwelt

Vorstellung



Referenten:

Dipl.-Ing. Hauke Anbergen

Knabe Enders Dührkop Ingenieure GmbH
Gasstraße 18 Haus 4
22761 Hamburg

Mail: h.anbergen@ked-ingenieure.de
Tel.: (040) 800 803-180
Web: www.ked-ingenieure.de

Technische Universität Darmstadt
Schnittspanstraße 9
64289 Darmstadt

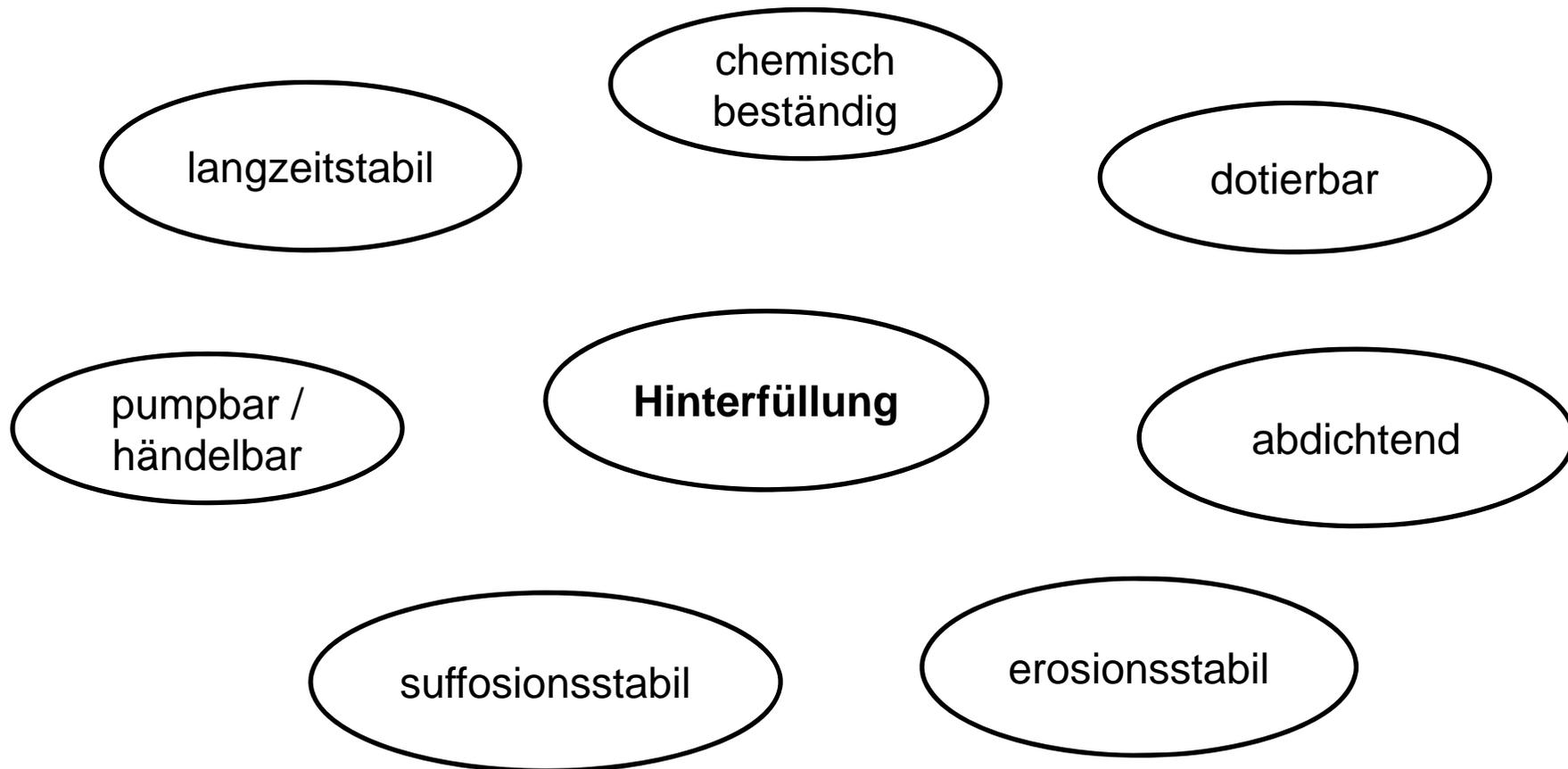
Mail: anbergen@geo.tu-darmstadt.de
Web: www.iag.tu-darmstadt.de

Dipl.-Ing. Dipl.-Geol. Dr. Jens Frank

Knabe Enders Dührkop Ingenieure GmbH
Gasstraße 18 Haus 4
22761 Hamburg

Mail: j.frank@ked-ingenieure.de
Tel.: (040) 800 803-404
Web: www.ked-ingenieure.de

Hinterfüllungen in der oberflächennahen Geothermie



Anforderungen an Erdwärmesonden

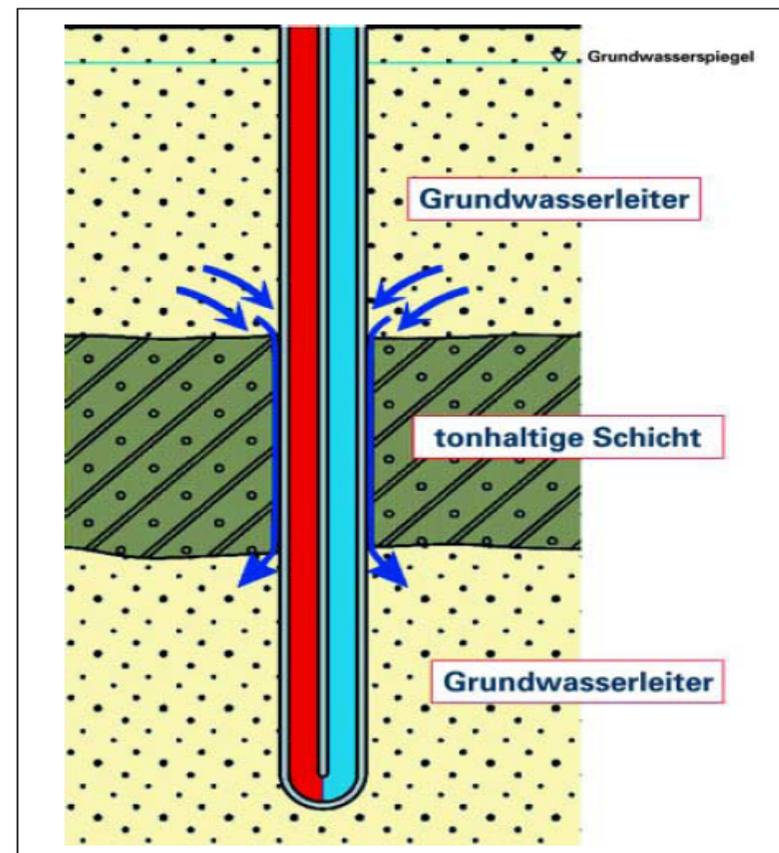
Auszug aus der VDI 4640 Blatt 2

Verfüllung des Bohrlochringraumes

Nach dem Einbringen der Erdwärmesonde muss der Anschluss der Wärmeübertragerrohre an dem Untergrund durch eine einwandfreie Hinterfüllung hergestellt werden. Dazu muss der Bohrlochringraum vom Sondenfuß bis zur Oberfläche vollständig und lückenlos verfüllt werden; diese Hinterfüllung muss aus mehreren Gründen sachgemäß und sorgfältig durchgeführt werden:

- Sicherstellung des Wärmetransports vom Gestein an das Wärmeträgermedium bei Wärmeentzug bzw. umgekehrt bei Wärmeeinspeisung
- Abdichtung des Bohrloches nach oben, um den Eintrag von Schadstoffen zu unterbinden und um evtl. durchteufte Grundwasserleiter untereinander abzudichten

Zitat VDI 4640 - 2



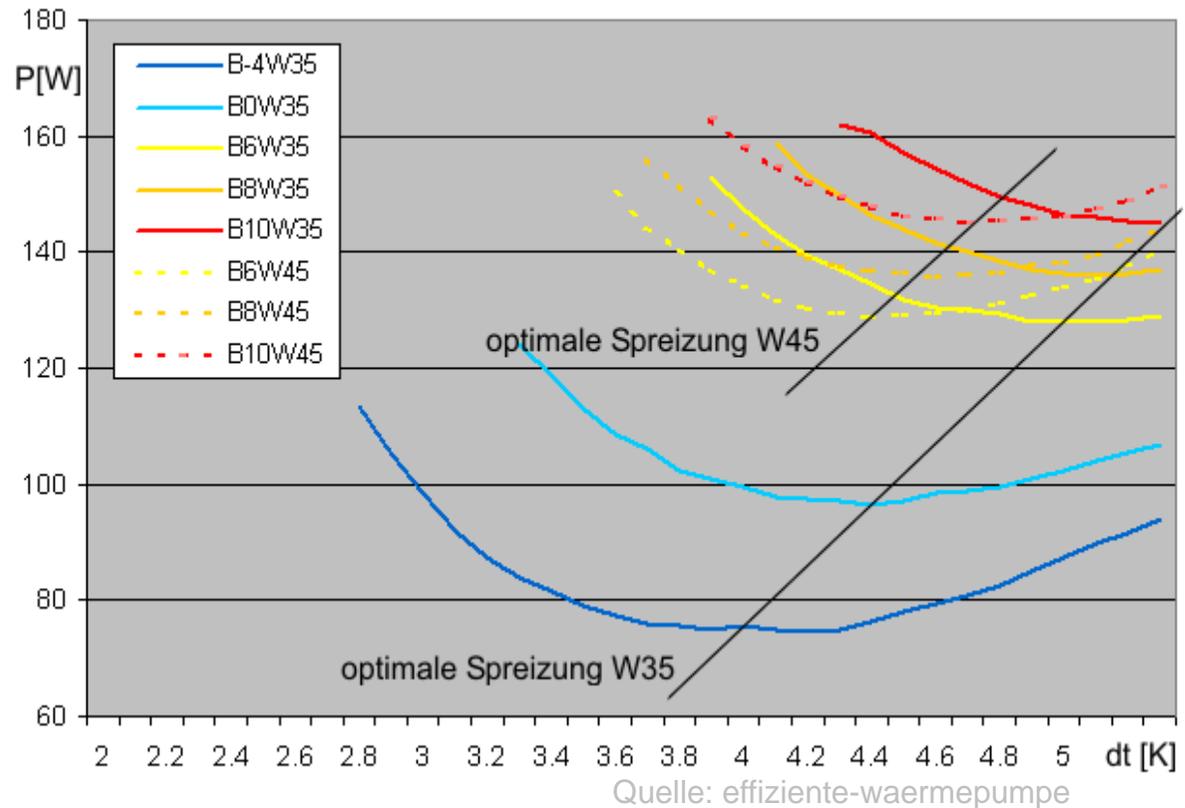
Quelle: Geothermie in Schleswig-Holstein, LANU SH, 2006

Anforderungen der Wärmepumpen



- Mindest-Temperaturspreizung von i.d.R. 4 bis 5 Kelvin

- Phasenwechsel
flüssig/fest der
Wärmeträgerflüssigkeit
bei < -5 °Celsius wenn
Betrieb bis 0 °C



Frost-Tauwechselbeständigkeit



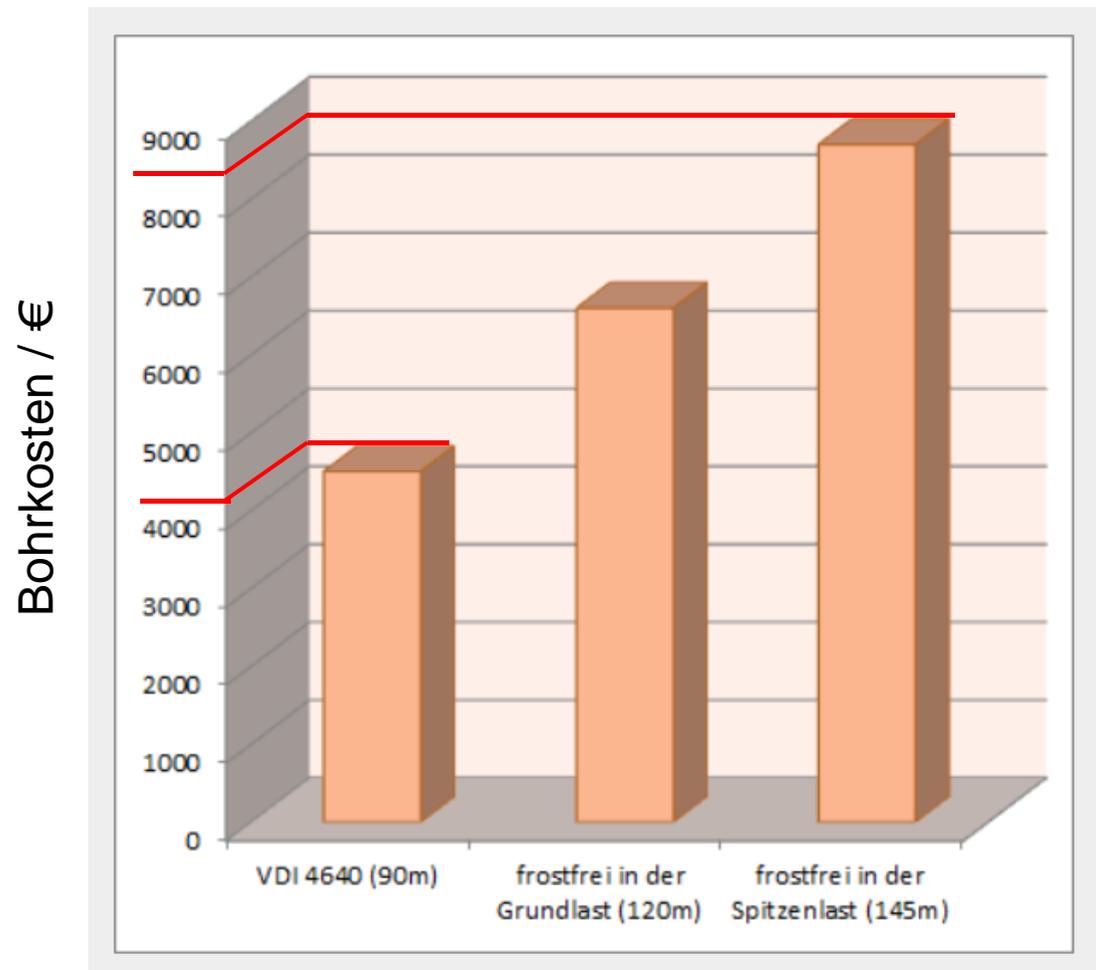
Zitat der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Geologie, Personenkreis Geothermie, 2011:

Fachbericht zu bisher bekannten Auswirkungen geothermischer Vorhaben in den Bundesländern

Ebenso ist die ausreichende Dimensionierung der Erdwärmesondenanlage eine Grundvoraussetzung, um die dauerhafte Dichtheit der Ringraumverpressung zu erhalten. Da bislang kein allgemein anerkanntes Prüfverfahren zum Nachweis der Frost-Tauwechselbeständigkeit der Verpressmaterialien vorliegt, kann der Nachweis einer Frost-Tauwechselbeständigkeit noch nicht erbracht werden. Anlagen sind somit so zu dimensionieren, dass ein Durchfrieren der Ringraumverpressung vermieden wird.

Bei bekanntem Grundwasserstockwerksbau kann mit einer Bohrteufenbegrenzung auf den oberen Grundwasserleiter eine Verbindung mehrerer Grundwasserleiter vermieden werden.

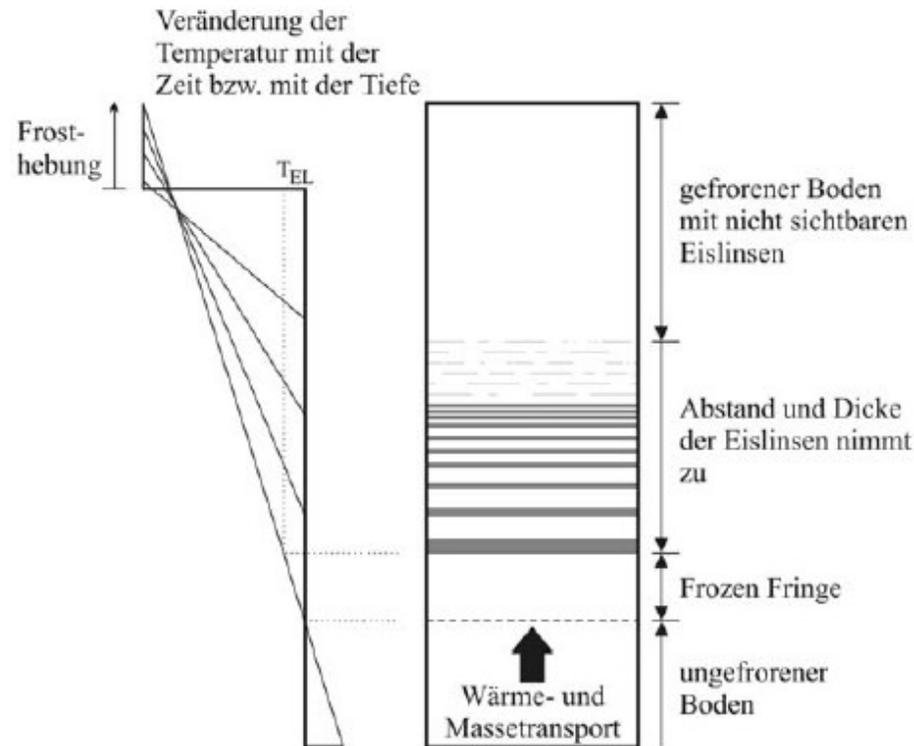
Beispielrechnung: Bohrkosten



Quelle: erdwärme-heute

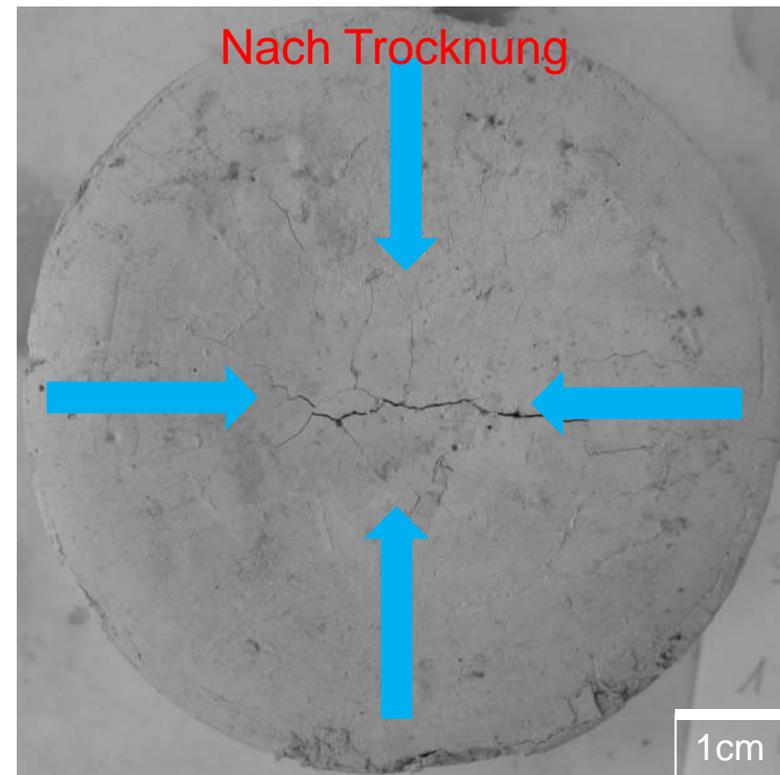
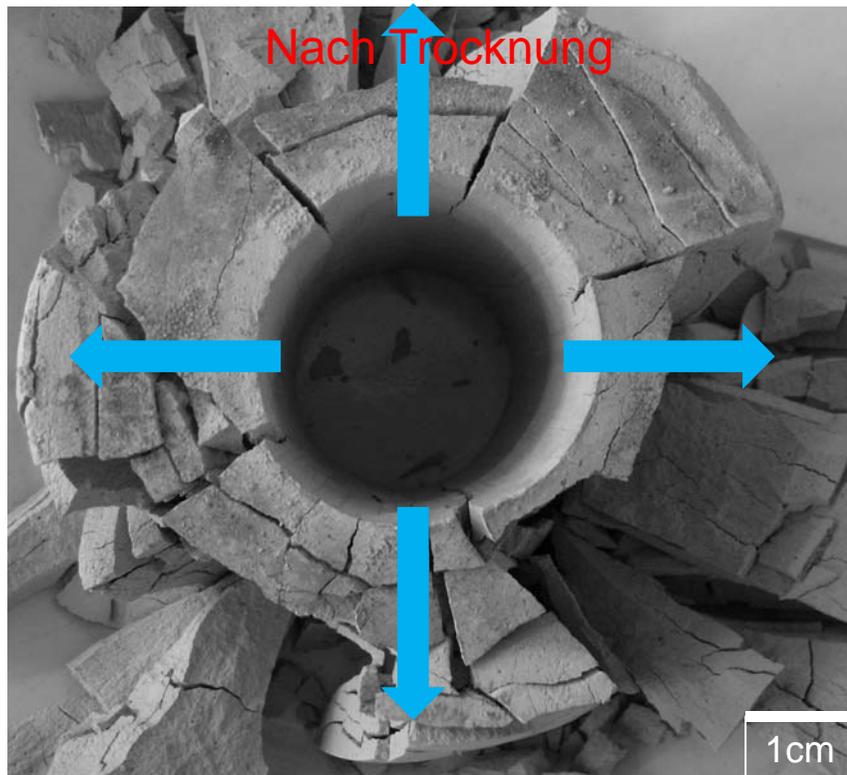
Durchfrostung

Durchfrostungsprozess



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

Einfluss der Richtung der Gefrierfront



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

Einfluss der Richtung der Gefrierfront (2)

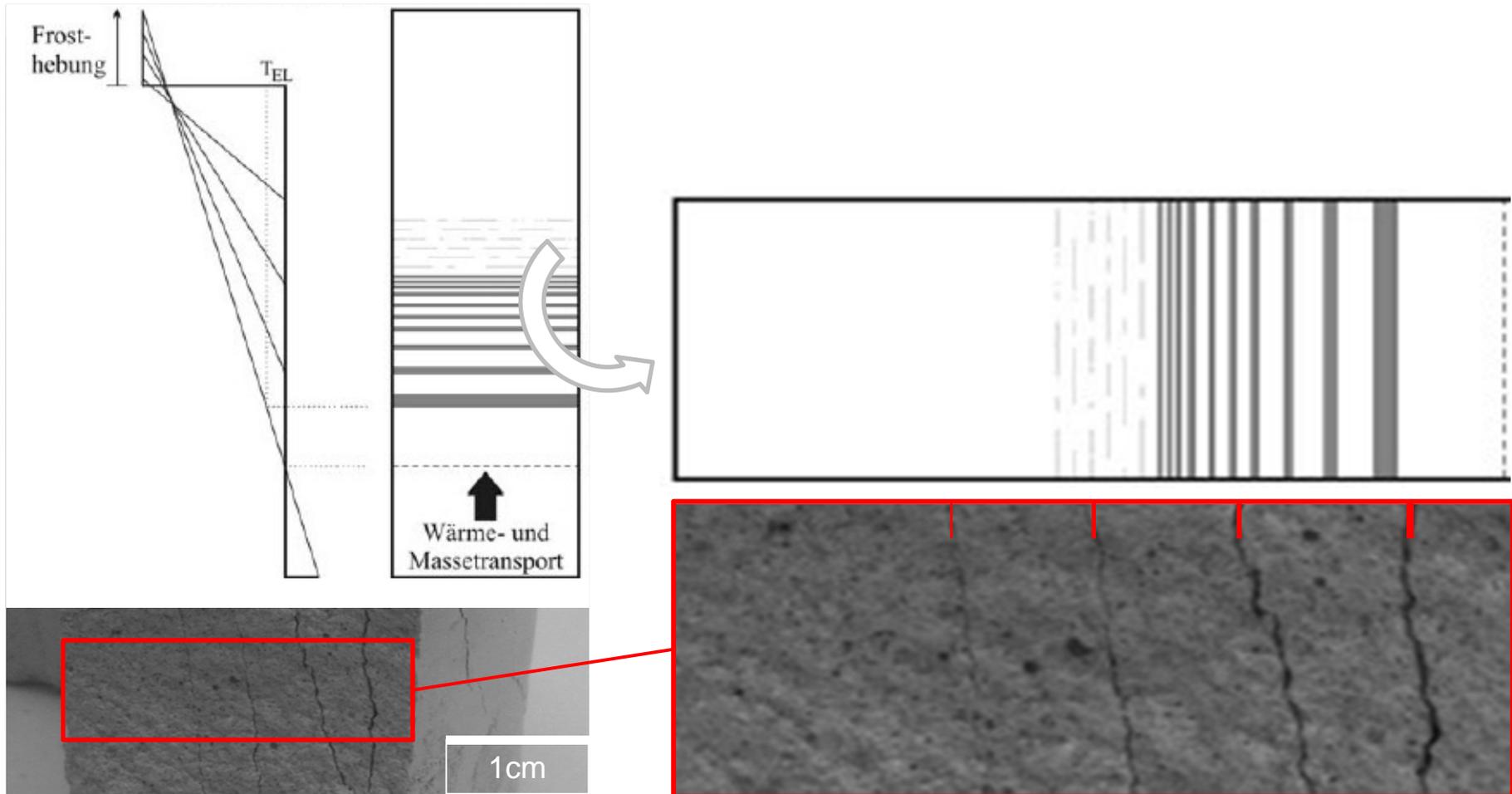


nicht frost-tau-widerstandsfähig



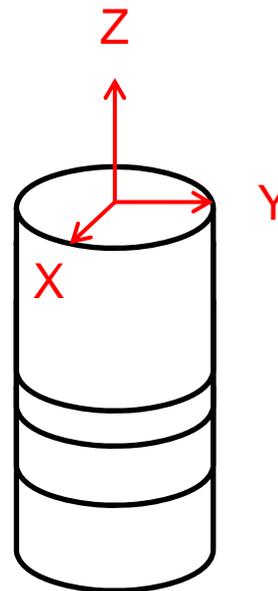
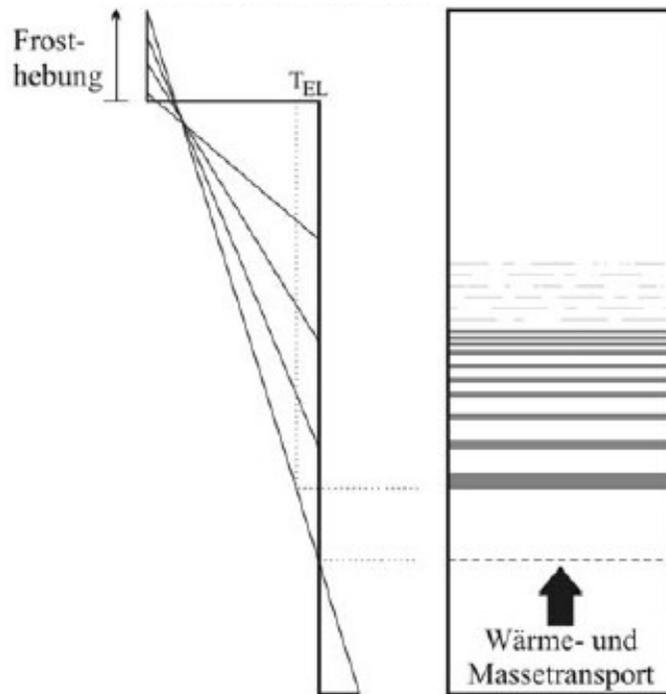
frost-tau-widerstandsfähig

Einfluss der Richtung der Gefrierfront (3)



Einfluss der Richtung der Gefrierfront (4)

Auslängen in der Z-Achse



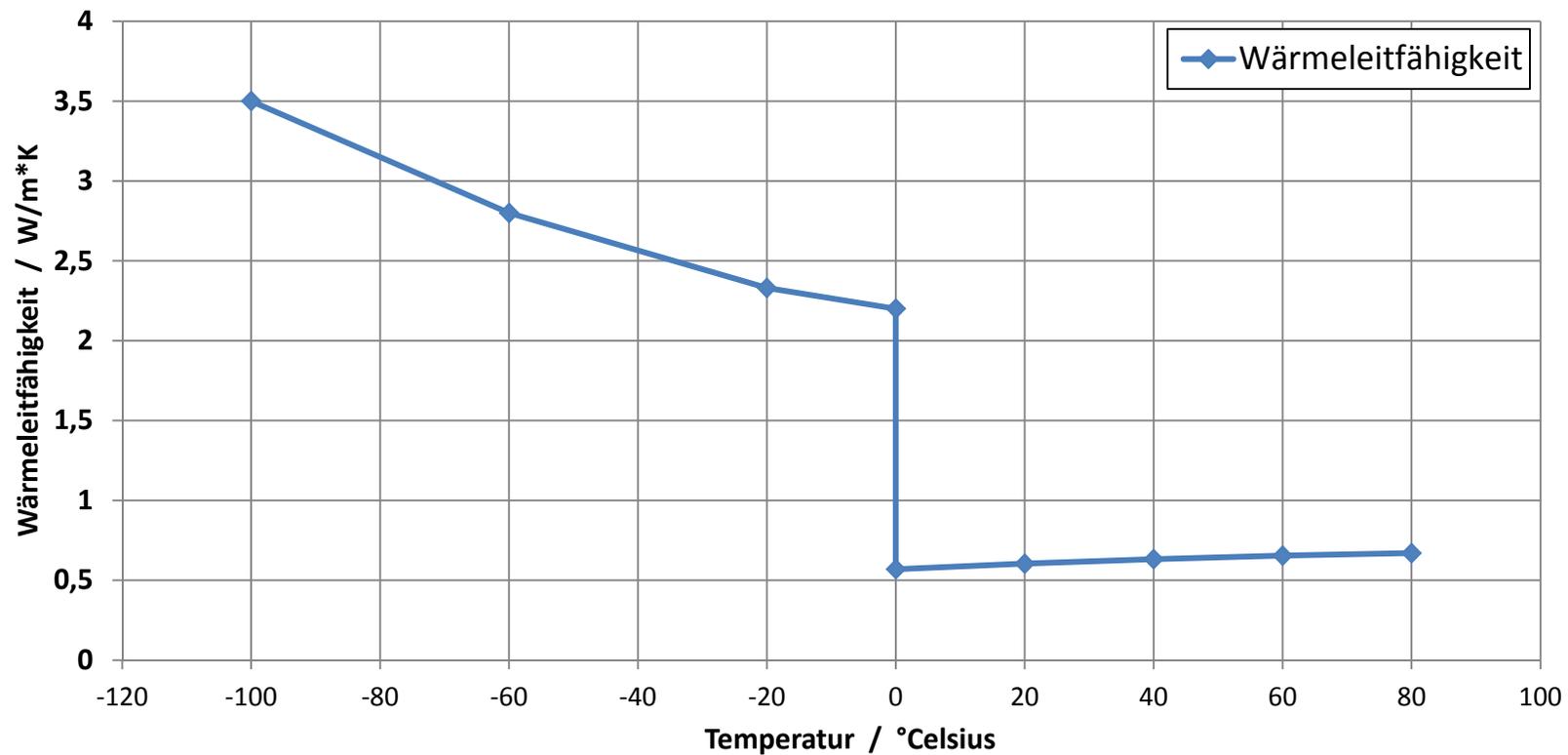
Quelle: KED



Quelle: Diss. Hermann

Thermodynamische Vorteile durch Eisbildung

Wärmeleitfähigkeit von H₂O



Forderung nach einer Qualitätskontrolle



- Aufgabe des Verpressmaterials:
 - Wärmetransport
 - Abdichtfunktion

- kein einheitliches Prüfverfahren, das qualifizierte Aussagen zulässt speziell bei der Prüfung des Frost-Tau-Wechselwiderstands

- bisher Anlehnung an Normen und Richtlinien zur Prüfung anderer Baustoffe wie Beton oder Naturstein, welche nicht den Fokus auf die Abdichtfunktion legen

- Untersuchungsauftrag durch die BSU Hamburg an KED

Prüfkriterien für ein einheitliches Messverfahren



-
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

Ablauf des Prüfverfahrens

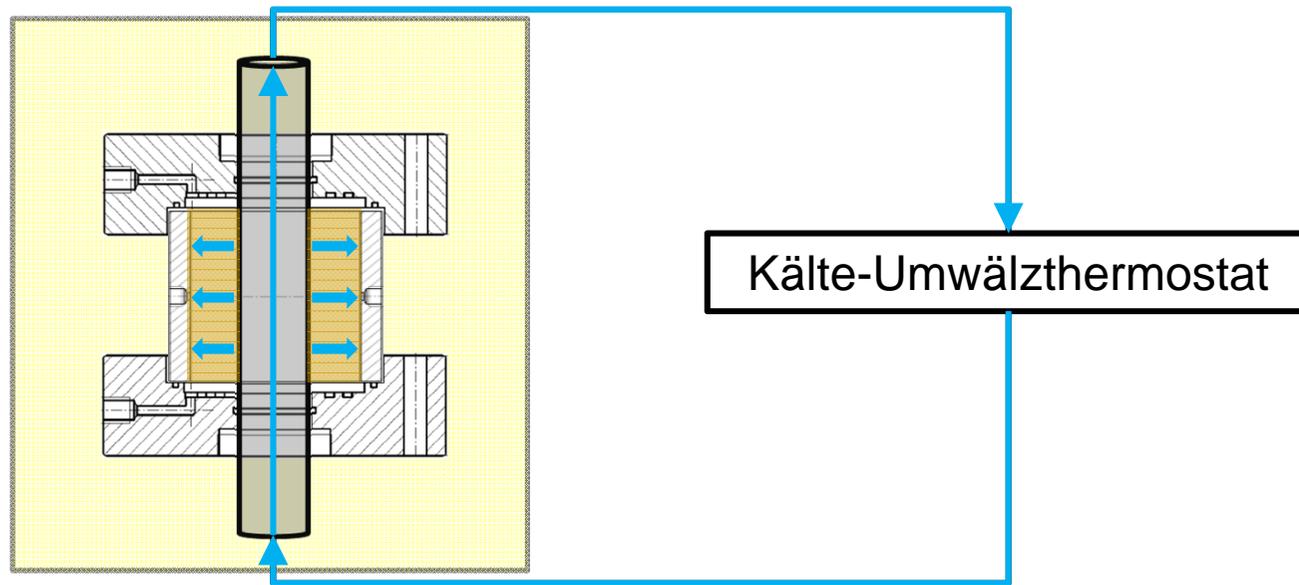


- Gießen des Prüfkörpers
- Abbinden und Lagerung bei in-situ Temperaturbedingungen

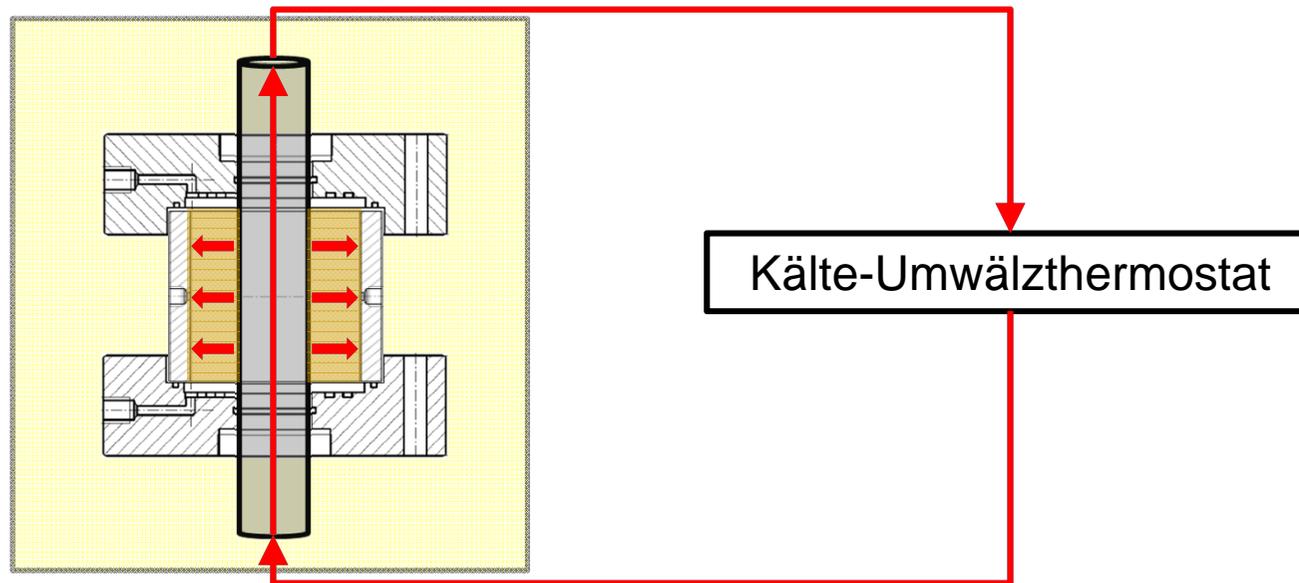
- Einbau in die Messzelle, Aufsättigung und Durchlässigkeitsmessung
- Frost-Tau-Wechsel
- Erneute Durchlässigkeitsmessung
- ...

Anlagentechnik

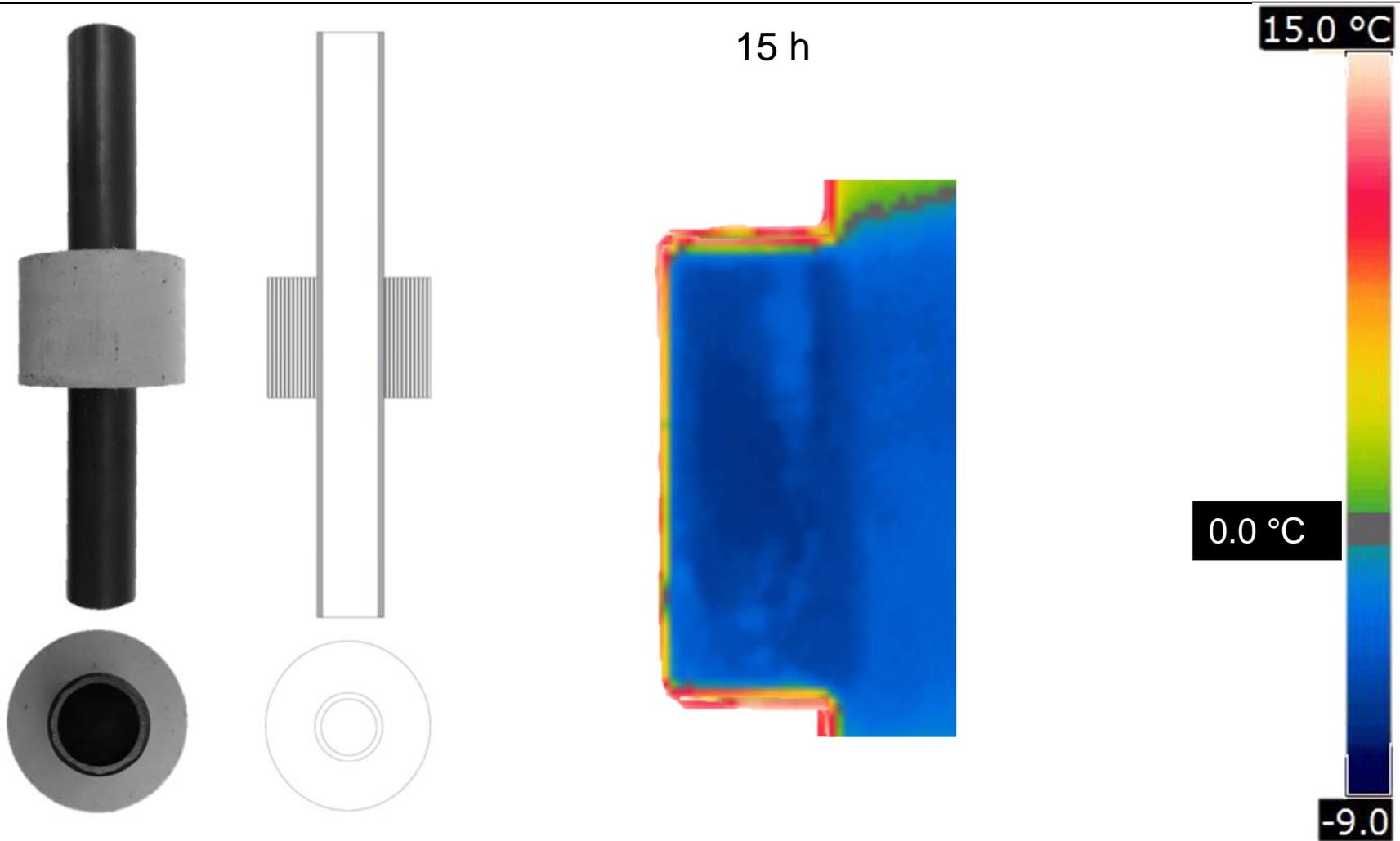
Versuchsaufbau für Frost-Tau-Wechsel



Versuchsaufbau für Frost-Tau-Wechsel

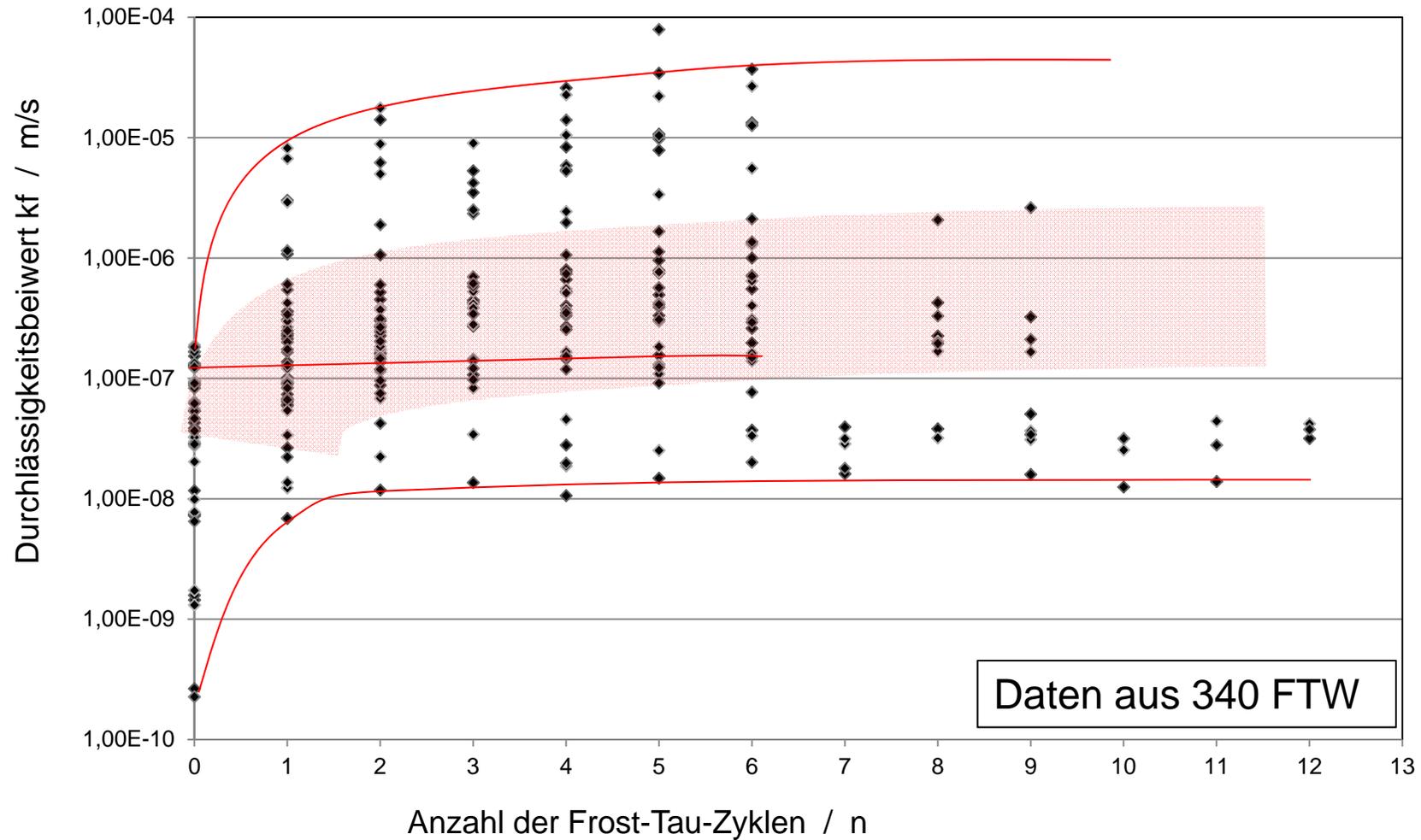


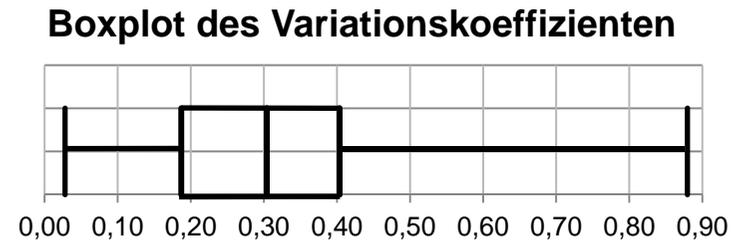
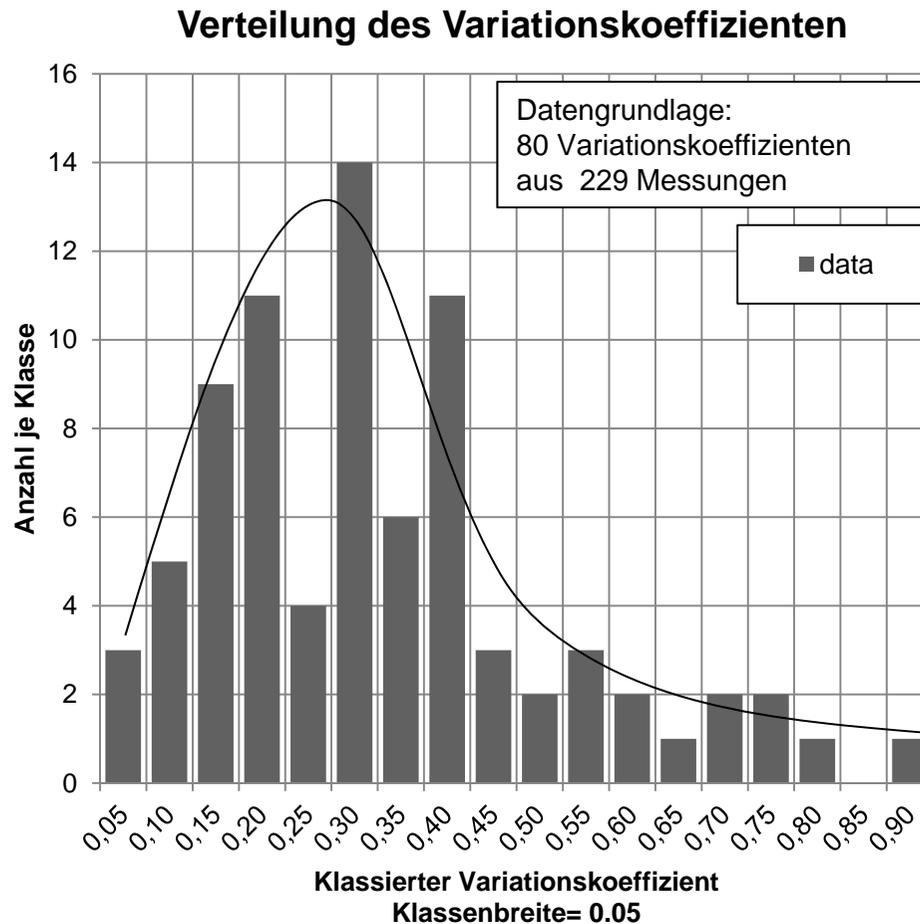
Thermografieaufnahmen der Durchfrostung



Messergebnisse

Messergebnisse aus Frost-Tau-Wechselversuchen





Mit einem mittleren Variationskoeffizienten von ca. 0,3 ist eine hohe statistische Sicherheit gegeben

Folgerungen aus den Messergebnissen



- Die hydraulische Durchlässigkeit steigt aufgrund von Frost-Tau-Beanspruchungen an

- Die Änderungsrate der Durchlässigkeit nimmt mit steigender Anzahl von Frost-Tau-Wechseln ab
 - Die ersten Frost-Tau-Wechsel sind entscheidend

Visuelle Beurteilungen

Rissbild (1)



Rissbild (2)



Rissbild (3)



Folgerungen aus den visuellen Beurteilungen



- Die Richtung der Durchfrostung ist von entscheidender Bedeutung
- Gefügeveränderungen bedingt durch Frost-Tau-Wechsel sind zum äußeren Rand hin stärker, als am PE-Rohr
- Die vertikalen Gefügeveränderungen stellen begünstigte vertikale Wasserwegigkeiten dar. Ob diese Gefügeveränderungen tatsächlich hydraulisch wirksam sind, kann durch das Messverfahren geprüft werden.

Zusammenfassung und Ausblick



- Das vorgestellte Prüfverfahren liefert zuverlässig reproduzierbare Ergebnisse
- Die Messzelle ist ohne größeren Aufwand in jedes Erdbaulabor implementierbar
- Mit den bisher über 400 Frost-Tau-Wechsel-Simulationen und Durchlässigkeitsmessungen hat sich die Versuchsanordnung bewährt
- Bisher wurden elf Verpressmaterialien geprüft (weitere in Planung bzw. angefragt)
- Derzeit Prüfung im Richtlinienausschuss der VDI 4640
- Hamburg setzt das Prüfverfahren verbindlich um

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Hauke Anbergen
Dr. Jens Frank

h.anbergen@ked-ingenieure.de
j.frank@ked-ingenieure.de



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Behörde für
Stadtentwicklung
und Umwelt