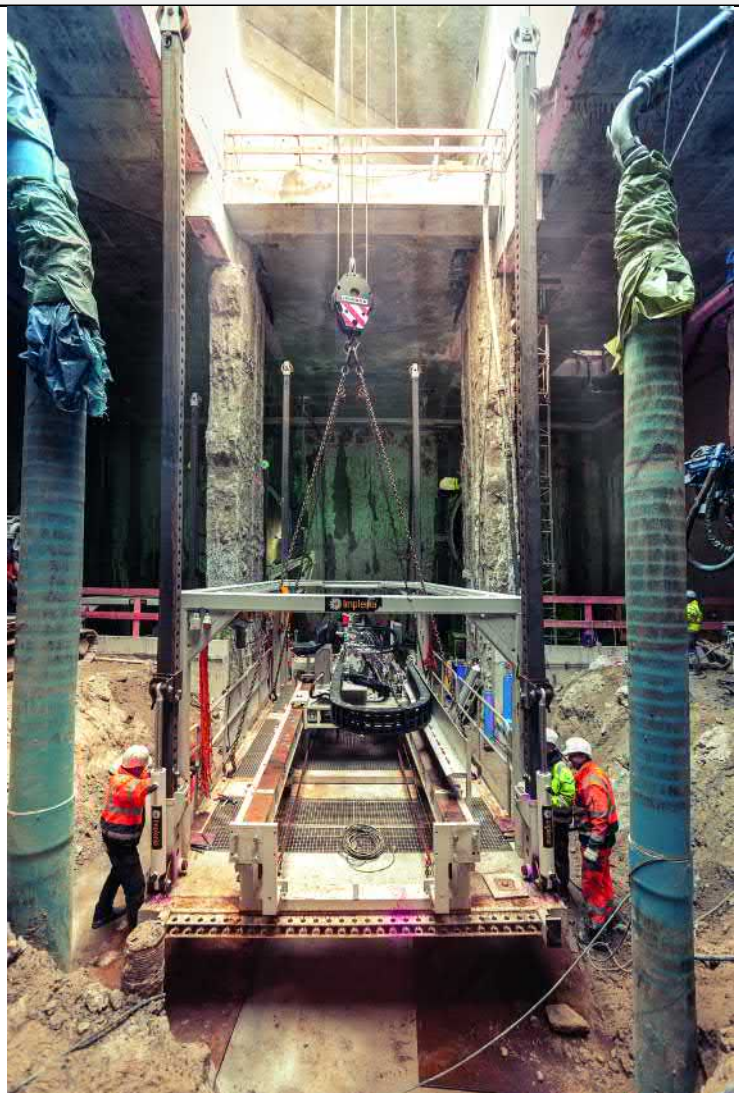


Bodenvereisung



**Implenia Spezialtiefbau GmbH**

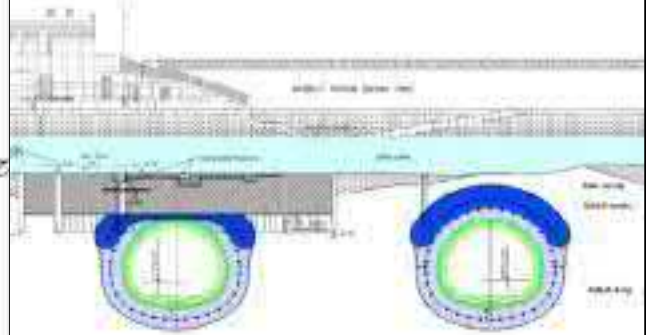
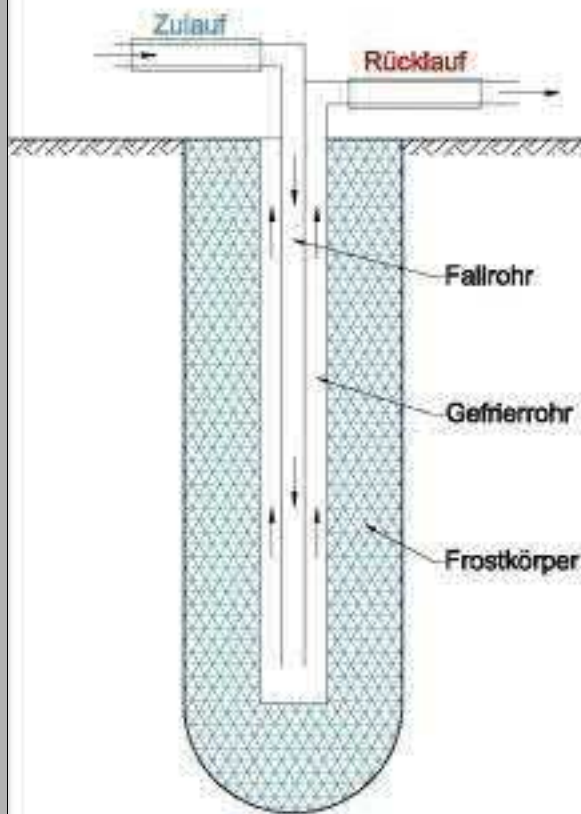
Robert-Bosch-Straße 25  
63225 Langen

Tel.: +49 6103 988 345

Fax: +49 6103 988 277

E-Mail: [info.spezialtiefbau@implenia.com](mailto:info.spezialtiefbau@implenia.com)

[www.spezialtiefbau.implenia.com](http://www.spezialtiefbau.implenia.com)



1

2

3

### Einführung

Die Gefriertechnik ist ein Verfahren, das ursprünglich aus dem Bergbau stammt. Beim Abteufen von Bergwerksschächten in England (1862) und Deutschland (1883) wurde diese Technik zum ersten Mal eingesetzt.

Die Bodenvereisung ist eine temporäre Bauhilfsmaßnahme, bei der die positiven Eigenschaften einer hohen Festigkeit und der Wasserundurchlässigkeit von gefrorenem Boden genutzt wird.

### Prinzip der Vereisung

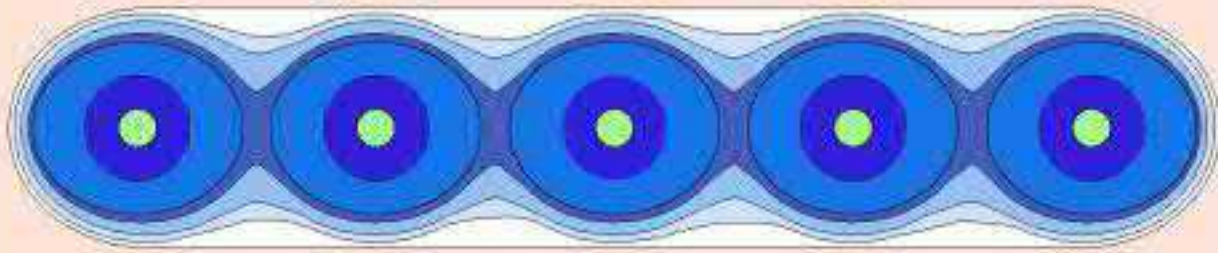
Bei der Bodenvereisung besteht die grundlegende Idee darin, den Boden durch künstlichen Wärmeentzug zu vereisen. Bei der Vereisung gefriert das Poren- und Kluftwasser im Boden, dieses verfestigt den Boden und macht ihn wasserundurchlässig (Eis ist wasserundurchlässig). Das Verfahren kann bei allen wassergesättigten Böden und Materialien angewandt werden. Nicht wassergesättigte nichtbindige Böden können durch eine kontrollierte Zugabe von Wasser (Verrieselung) für die Bodenvereisung aufbereitet werden.

Um den Boden zu gefrieren, werden in berechneten Abständen Gefrierrohre in den Boden eingebracht. Diese bestehen aus zwei konzentrisch ineinander liegenden Rohren. Das Kältemittel strömt am Kopf der Eislanze in das innere Rohr, das Fallrohr, hinein und tritt an dessen Fuß wieder aus. Im Zwischenraum von innerem und äußerem Rohr, dem Gefrierrohr, fließt es dann zum Kopf der Eislanze zurück. Beim Zurückströmen vom Fuß zum Kopf des Gefrierrohres wird dem angrenzenden Boden Wärme entzogen.

1 Prinzip der Vereisung  
(Gefrierlanze mit Gefrierkopf)



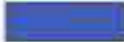
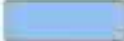
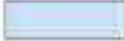

2 kombinierte Stickstoff /  
Solevereisung unter Donaukanal  
für U-Bahn-Bau U2/1, Wien

3 Eisschirme zum Schutz von  
Brunnen während Rohrvortrieb,  
Großkraftwerk Mannheim, Block 9



 Gefrierrohr

Frost-  
körper

	Nach 1 Tag
	Nach 2 Tagen
	Nach 3 Tagen
	Nach 4 Tagen
	Nach 5 Tagen
	Nach 6 Tagen: Erstellung beendet, Beginn der Haltephase

1

Wird der Gefrierpunkt des Bodens erreicht, so bildet sich ein Frostkörper aus, welcher ausgehend von den Eislanzen nach außen radial anwächst. Während der Schließzeit wachsen die einzelnen Frostkörper der verschiedenen Eislanzen zu einem geschlossenen Frostkörper zusammen. Anschließend nimmt die Dicke des Frostkörpers weiter zu und die Kerntemperatur im Frostkörper kühlt weiter ab. Die Weiterleitung des Kältemittels in weitere Eislanzen erfolgt mittels Ringleitungen.

1 Frostkörperentwicklung

In der **Gefrierphase** wird das Kühlaggregat so lange unter Vollast betrieben, bis sich der Frostkörper vollständig ausgebildet und seine erforderliche statische Dicke erreicht hat.

Für die eigentlichen Baumaßnahmen, die im Schutze des Frostkörpers ausgeführt werden sollen, wird die Kühlleistung dann auf die Kompensation der Wärmemengen, welche aus dem Baugrund und über den freiliegenden Teil des Frostkörpers zufließen, beschränkt. Bei dieser **Haltephase** wird oftmals ein intermittierender Betrieb gefahren, d. h. die Gefrieranlage nur zeitweise mit regelmäßigen Unterbrechungen betrieben.

Nach Fertigstellung der relevanten Baumaßnahmen erfolgt die **Auftauphase**. Hierbei wird die Kühlung des Bodens vollständig und dauerhaft abgeschaltet und der Frostkörper taut aufgrund der Umgebungswärme allmählich auf.

Grundsätzlich können Frostkörper in beliebiger Form hergestellt werden, wenn hierfür die notwendigen Gefrierrohre in den passenden Positionen eingebracht werden.



1



2



3



4

## Anwendungen

Die Durchführung einer Vereisung bietet sich u.a. an:

### im Tunnelbau

- Firstvereisung
- Rundumvereisung
- Vortriebssicherung in Abschnitten
- Erstellung von Querschlägen
- Abdichtung von Fugen zwischen Tübbing und Schlitzwand
- Frostkörperherstellung aus Pilotstollen zur Vortriebssicherung und Abdichtung

### im Schachtbau

- Wiederherstellung von eingestürzten oder verfüllten Grubenbauten

### bei Baugruben

- Sanierung von Undichtigkeiten in Bohrpfehl-, Spund- und Schlitzwänden
- Baugrubenumschließungen bei schwierigen Randbedingungen
- Unterfangungen
- Sohlabdichtungen
- Temporärer Lückenschluss für spätere Durchströmung
- Anschluss von vorhandenen Tunnelbauwerken
- Temporäre Verlängerung von Verbauwänden

### bei Sonderlösungen

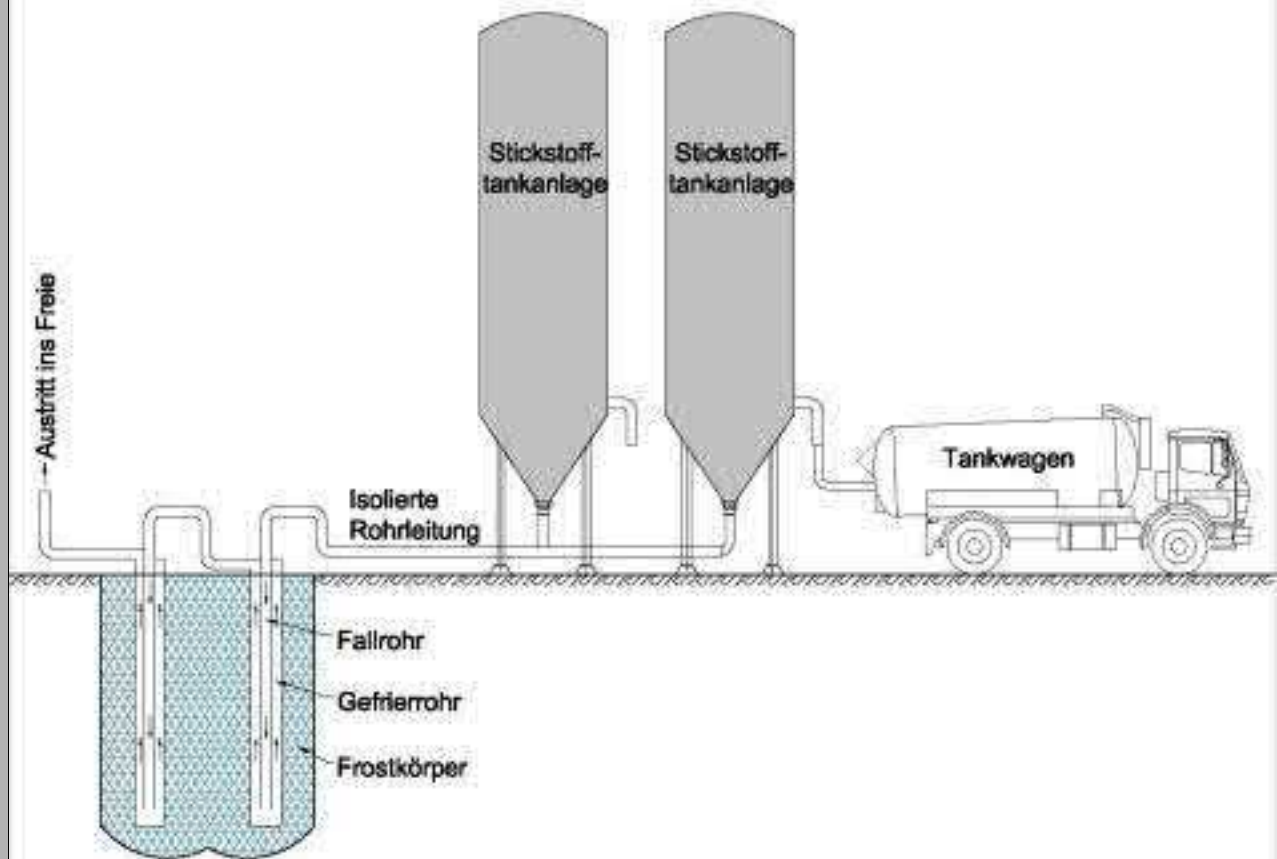
- Entnahme von ungestörten Bodenproben
- Altlastensanierung
- Durchpressen von Eisenbahnunterführungen
- Sanierung von Verbrüchen im Tunnelbau

1 Rundumvereisung U-Bahn Los U2/1, Wien

2 Vereisung U5 Berlin, Los1

3 Baugrubenumschließung aus Bodenvereisung, Chemiepark Marl

4 Eislanzen zur Schlitzwandverlängerung, Wehrhahn-Linie Düsseldorf



1

## Verfahren

Bei der Baugrundvereisung werden im Bauwesen zwei verschiedene Verfahren eingesetzt, die Stickstoff- und die Sole-Vereisung.

### Stickstoffvereisung

Bei diesem Verfahren wird als Kältemittel verflüssigter Stickstoff eingesetzt. Stickstoff ist ein ungiftiges nicht brennbares Gas und zu 78 % Bestandteil der Luft. Der verflüssigte Stickstoff wird mit  $-196^{\circ}\text{C}$  in speziell isolierten Tankwagen auf die Baustelle geliefert und dort in Tankanlagen zwischengelagert. Über hochwertig isolierte Rohrleitungen wird der flüssige Stickstoff in die Fallrohre eingeleitet, tritt am Fuß der Fallrohre aus und wird bei Kontakt mit den relativ warmen Gefrierrohren gasförmig. Der gasförmige Stickstoff strömt durch den eigenen Expansionsdruck durch weitere Gefrierrohre oder direkt zum Abgasrohr, wo er mit ca.  $-100^{\circ}\text{C}$  bis  $-60^{\circ}\text{C}$  in die Atmosphäre zurückgeleitet wird. Durch den Verdampfungsvorgang wird dem umgebenden Boden Energie entzogen und der Boden gefriert. Die Versorgung der Gefrierrohre erfolgt durch den Eigendruck des verdampfenden Stickstoffs im Tank. Die Menge an Stickstoff, die zum Gefrieren oder zum Aufrechterhalten des Frostkörpers benötigt wird, wird für jedes Gefrierrohr durch ein Magnetventil/Temperaturfühler Regelkreis bestimmt. Regelparameter für die Schaltvorgänge der Ventile sind die Temperaturen des aus den Gefrierrohren austretenden Stickstoffgases. Jedes Gefrierrohr kann durch die Vorgabe einer anderen Abgastemperatur mit einer anderen Gefrierleistung betrieben werden. Alle Temperaturen und Schaltvorgänge werden an einer zentralen Mess- und Steuereinheit beobachtet, dokumentiert, beurteilt und, falls erforderlich, geändert.

1 Prinzip der Stickstoffvereisung



1



2



3

### Vorteile der Stickstoffvereisung

- schnelles Frostkörperwachstum
- größere Festigkeit des Frostkörpers als bei der Sole-Vereisung
- relativ einfache Baustelleneinrichtung
- Grundwasserströmung bis max. 10 m/d möglich
- Kühlmittel nicht umweltgefährdend
- geringer Platzbedarf der Baustelleneinrichtung

### Nachteile der Stickstoffvereisung

- sehr hohe Verbrauchskosten
- kontinuierliche Anlieferung des Stickstoffs muß sichergestellt sein
- Kälteverbrennungsgefahr bei Kontakt
- in geschlossenen Räumen (Tunnel) Lüftungseinrichtungen erforderlich wegen Erstickungsgefahr

### Sole-Vereisung

Bei der Sole-Vereisung wird eine Salzlösung als Kältemittel verwendet. Dabei kommt häufig eine Kalziumchloridlösung ( $\text{CaCl}_2$ ) mit einem Massegehalt von ca. 30 % zum Einsatz. Im Gegensatz zur Stickstoffvereisung handelt es sich bei diesem Verfahren um ein geschlossenes System, bei dem die Lösung in einer isolierten Ringleitung zirkuliert und mit einem Kühlaggregat immer wieder neu abgekühlt wird.

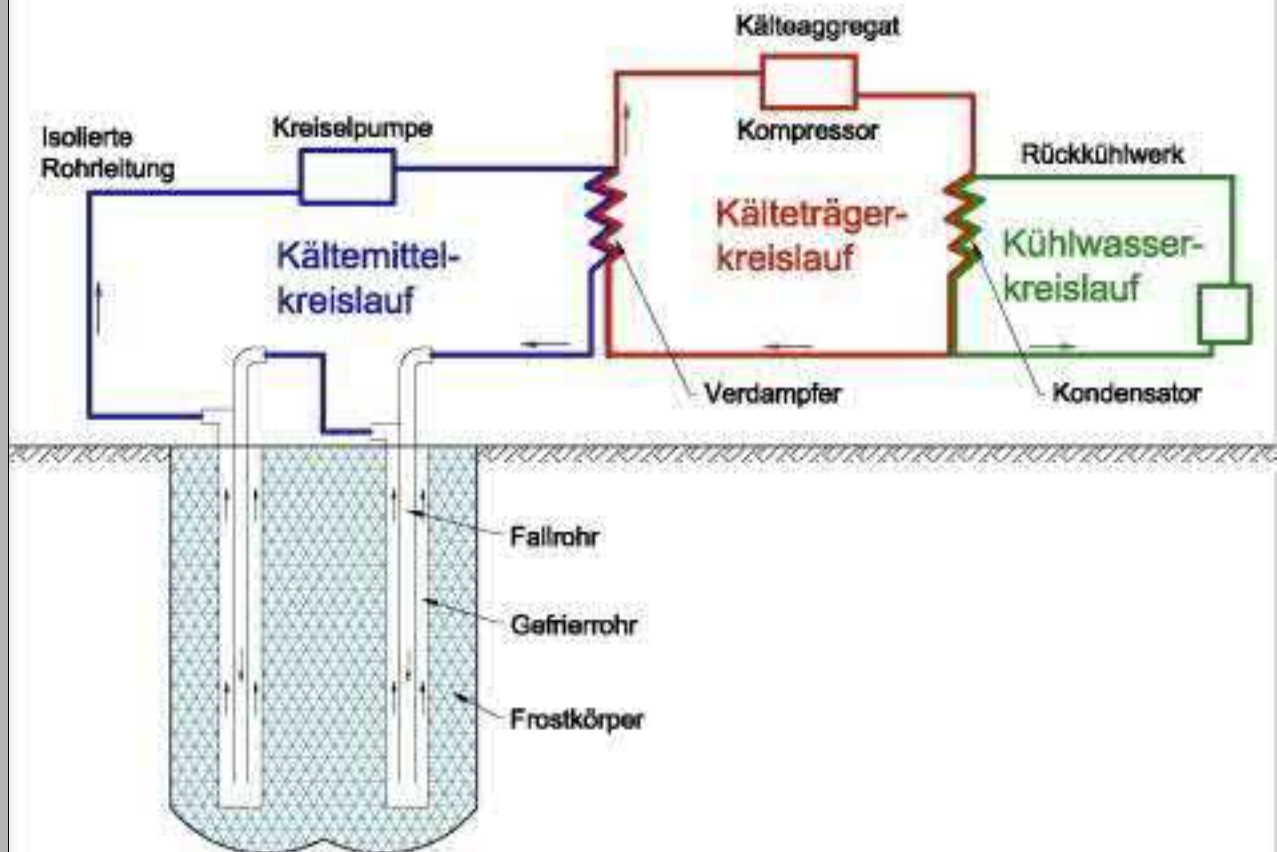
In dem Kühlaggregat wird die Solelösung mit Hilfe von Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) auf die gewünschte Vorlauftemperatur herunter gekühlt. Die Anlage besteht aus den folgenden drei Wärmekreisläufen

- Kühlwasserkreislauf
- Ammoniakkreislauf
- Solekreislauf

1 Stickstofftank, U-Bahn-Los U5, Berlin

2 Anlieferung Stickstoff, U-Bahn-Los U5, Berlin

3 Galerie Gefrierlanzen, Anschluß an Bestand U6, U-Bahn-Los U5, Berlin



1

Dabei wird in einem Kreislaufprozess das gasförmige Ammoniak angesaugt und in einem Verdichter (Kompressor) stark verdichtet. Das unter hohem Druck stehende Gas wird anschließend in einem Wärmetauscher (Kondensator) wieder vom gasförmigen in den flüssigen Aggregatzustand übergeführt. Die bei der Aggregatzustandsänderung freigegebene Wärmeenergie wird vom Kühlwasser aufgenommen, welches in einem Kühlturm wieder abgekühlt wird. Der entstandene flüssige Ammoniak wird zu einem Drosselorgan (Verdampfer) geleitet und entspannt. Bei der Expansion im Sole-Ammoniak-Wärmetauscher nimmt der Kältemitteldruck ab, der Ammoniak verdampft und kühlt dabei die Sole ab. Die vom Ammoniak zur Verdampfung benötigte Energie (Verdampfungswärme) wird der Solerlösung entzogen, die sich dabei auf ca.  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  abkühlt. Der Verdichter saugt das verdampfte Kälte­träger wieder an und der Kreislaufprozess ist geschlossen.

Das Gefrieraggregat sowie der Kühlturm werden im Bedarfsfall zusätzlich mit einem Schallschutz versehen.

#### Vorteile der Sole-Vereisung

- geringere Betriebskosten als Stickstoffvereisung (primär Strom)
- einfache Steuerung des Energieflusses
- Kältemittel wiederverwendbar

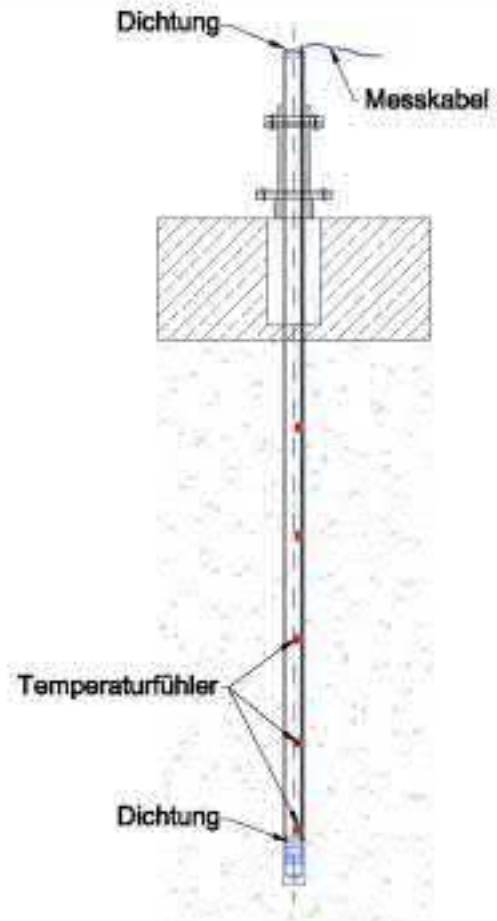
#### Nachteile der Sole-Vereisung

- langsames Frostkörperwachstum
- geringere Festigkeit des Frostkörpers
- aufwändige Baustelleneinrichtung
- hoher Installations- und Wartungsaufwand
- Grundwasserströmung nur bis max. 2 m/d möglich

1 Prinzip der Sole-Vereisung



1



2

### Vereisungs- und Temperaturmessbohrungen

Vereisungsbohrungen werden mit Kleinbohrtechnik meist in Abständen von 0,8 m bis 1,5 m ausgeführt. Die Lagegenauigkeit der Bohrungen ist dabei von großer Bedeutung - die maximale Abweichung sollte i.d.R. nicht mehr als 1,0 % der Bohrlänge betragen. Die Bohrungen werden deshalb baubegleitend messtechnisch überwacht. Bei längeren horizontalen Bohrungen wird häufig mit steuerbarem Bohrkopf gearbeitet.

Entweder verbleibt das Bohrrohr (verlorene Bohrkrone) als Gefrierrohr im Boden und wird nach einer Druckprüfung mit dem Fallrohr bestückt oder es wird ein Gefrierrohr in die Bohrung eingebaut und das Bohrrohr unter Ringraumverpressung gezogen. Nach Druckprüfung des Gefrierrohres wird auch hier das Fallrohr eingebaut und anschließend an die Ringleitung angeschlossen.

Die Temperaturmessbohrungen werden wie Vereisungsbohrungen hergestellt, allerdings kann ggf. der Bohrdurchmesser reduziert werden, da der Durchmesser der Temperaturmessrohre geringer ist.

In das Temperaturmessrohr wird anstelle eines Vorlauffallrohres eine Temperaturmesskette eingebaut. Diese hat in definierten Abständen Temperaturgeber. Die Anzahl der Sensoren variiert je nach Bohrlochlänge bzw. Kontrollbereich. Zur Gewährleistung einer optimalen Wärmeübergabe wird das Temperaturmessrohr mit Sole befüllt.

Die genaue Kenntnis der Ist-Lage des Temperaturmessrohres zu den benachbarten Vereisungsrohren ist von besonderer Bedeutung, da über die Thermoelemente die Entwicklung des Frostkörpers kontrolliert wird.

1 Innenansicht Gefrieraggregat

2 Temperaturmessrohr





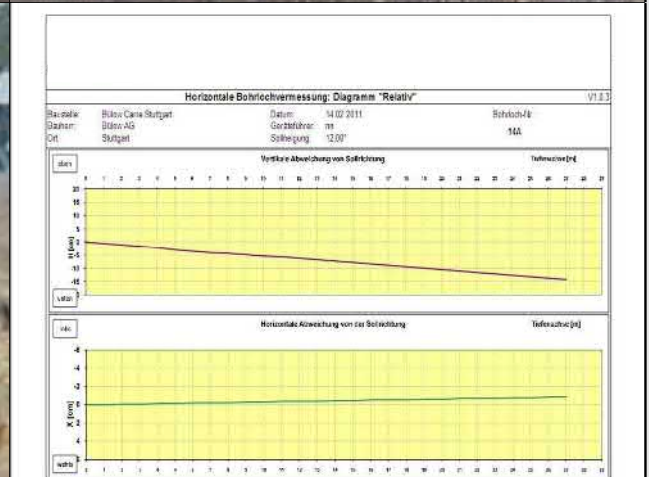
1



2



3



4

### Messtechnik - Qualitätssicherung

Die Lagekontrollmessungen der Vereisungs- und Temperaturmessbohrungen ebenso wie die Druckprüfungen auf Dichtigkeit der Gefrierrohre sind zwingende Voraussetzung für die Ausführung.. Das Dickenwachstum und die Temperatur des Frostkörpers wird mit Hilfe der Temperaturmessketten kontrolliert. Die Temperaturmessdaten werden kontinuierlich über ein Databuskabel zu einem PC im Container übertragen und dort gespeichert.

Außerdem wird die Sole-Temperatur in der Rücklaufleitung an jedem Vereisungskopf, Sole-Temperatur, Sole-Druck und Sole-Durchfluss am Vorlauf und Rücklauf am Gefrieraggregat und an der Sammel-Vorlauf- und Rücklaufleitung gemessen und im PC registriert.

Die Daten werden tabellarisch und als Diagramm aufbereitet und ausgewertet.

### Planung von Bodenvereisungen

Bei der Planung von Bodenvereisungen sind u.a. folgende Randbedingungen und Parameter Voraussetzung für die gefriertechnische Berechnung:

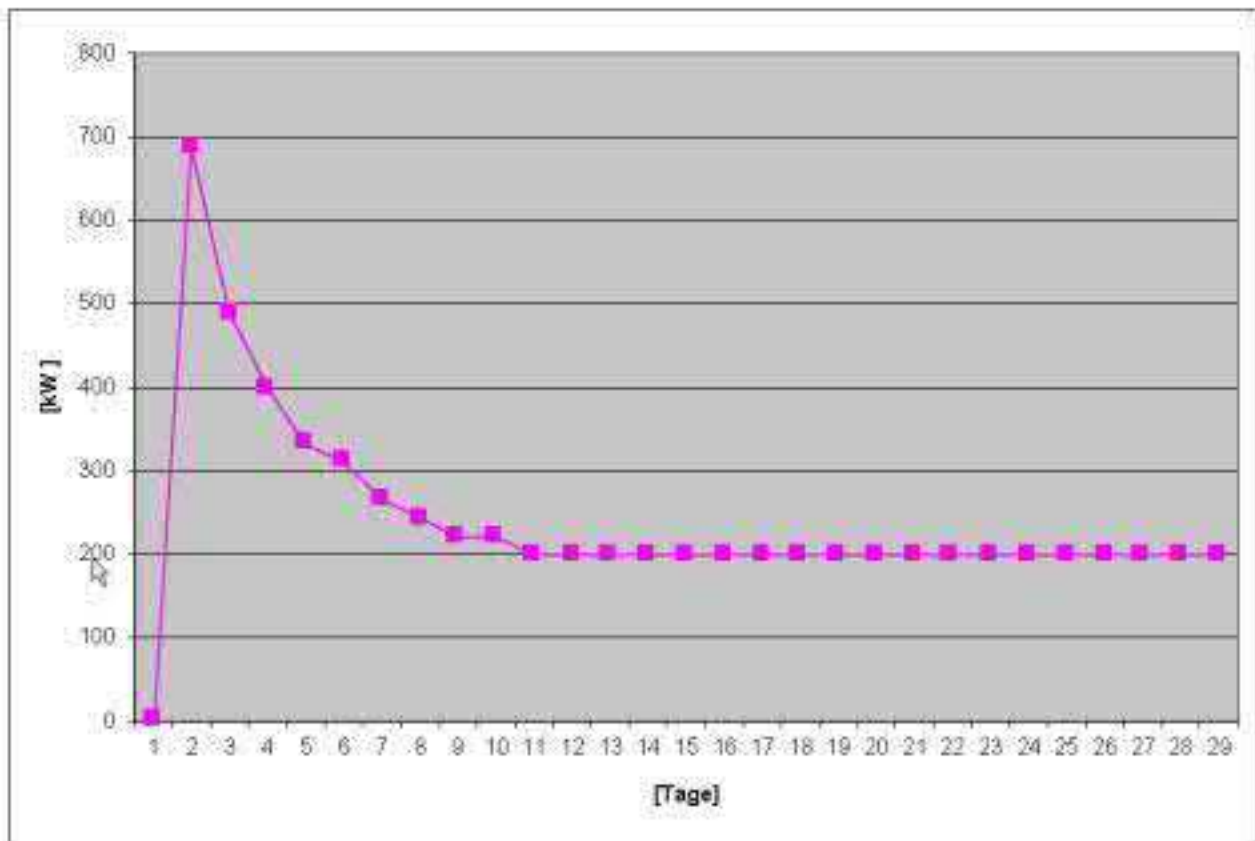
- Art und Struktur, d. h. Kennwerte der anstehenden Bodenschichten
- Fließgeschwindigkeit sowie -richtung des Grundwassers
- Temperatur des Bodens und des Grundwassers zum Beginn der Vereisung
- Geometrie des geplanten Frostkörpers
- Bohrgenauigkeit sowie Abstand der Bohrungen (=Eislanzen)
- Kerntemperatur und Isothermen des statisch wirksamen Frostkörpers

1 Vereisungsversuch Nord-Südstadtbahn Köln, Los 2 Süd, Kühllanzen und Kühlturm

2 Horizontale Bohrlochvermessung - Horizontalsonde HBLV 1.0

3 Vereisungsversuch Nord-Südstadtbahn Köln, Los 2 Süd, Kühllanzen und Kühlaggregat

4 Horizontale Bohrlochvermessung - Ergebnisdokument



1

- Lage und Temperatur von Wärmeträgern nahe der geplanten Vereisung z. B. Leitungen, Kanäle

1 Theoretischer Energiebedarf der Anlage gemäß gefriertechnischer Berechnung

Ergebnisse der gefriertechnischen Berechnung sind u.a:

- Dauer der Gefrierphase
- Energiebedarf
- erforderliche Leistung der Kühlanlage

#### Fazit Bodenvereisung

- Stickstoffvereisung ist für kurzzeitige kleinere Baumaßnahmen oder als Übergangsphase für anschließende Sole-Vereisung ein gut geeignetes Verfahren.
- Sole-Vereisung hat Vorteile durch die geringeren Betriebskosten und eignet sich besonders bei längerfristigen und größeren Vereisungsmaßnahmen.
- umweltschonendes Bauverfahren, da der Eingriff in den Grundwasserhaushalt gering ist (keine Grundwasserabsenkung erforderlich)
- das Verfahren ist praktisch in allen Böden anwendbar
- hohe Sicherheit bei intaktem Frostkörper (Auftauen des Körpers braucht Zeit)
- einfache und zuverlässige Kontrollmöglichkeiten (Temperaturmessung, Zuleitungen, Kühlmittel)