



# NORD-SÜD STADTBAHN KÖLN

## Eiszeit unter Tage



- Technik der Bodenvereisung
- Einsatz an drei Haltestellen
- Geschichte der künstlichen Vereisung

Gefrorene Erde ist hart. Beim Tunnelbau schützt künstlich vereister Boden die Durchbrüche zu den Tunnelröhren, bis elementare Baukörper tragfähig sind.



## Inhalt

NORD-SÜD STADTBAHN KÖLN  
**Eiszeit unter Tage**

### 4 U-Bahn-Bau im Grundwasser

Die Trockenzonen

### 8 Die Kältemaschine

Verdampfungswärme macht Kälte

### 9 Historie

Seit 1862 wird Boden künstlich vereist

### 10 Kartäuserhof und Rathaus

Eisiges Flechtwerk

### 12 Der Durchbruch

Querschlag zu den Tunneln

### 16 Severinstraße

Der Vereisungstunnel

### 18 Bechergasse

Neun Mikrotunnel

# U-Bahn-Bau im Grundwasser

## Die Trockenzonen



Das Erdreich wird vereist und damit temporär stabilisiert. Hier wird der Tunnel aufgebrochen und mit der Haltestelle verbunden.

## Mit dem Vereisungsverfahren wird Grundwasser aus dem Baubereich der Haltestellen herausgehalten.

Die künftigen Haltestellen der Nord-Süd Stadtbahn liegen im größten Teil des Streckenbereichs unterhalb des Grundwasserspiegels. Um dennoch bauen zu können, wurden zunächst Baugrubenumschließungen aus sogenannten Schlitzwänden errichtet. Diese reichen rund 45 Meter tief bis in die wasserundurchlässigeren Schichten des Tertiärs. Auf diese Weise wird das Grundwasser nahezu gänzlich aus dem Baubereich herausgehalten.

Im Schutz der Schlitzwände kann das Erdreich bis auf das benötigte Niveau ausgeschachtet und die spätere Station gebaut werden. Das wenige Wasser, das

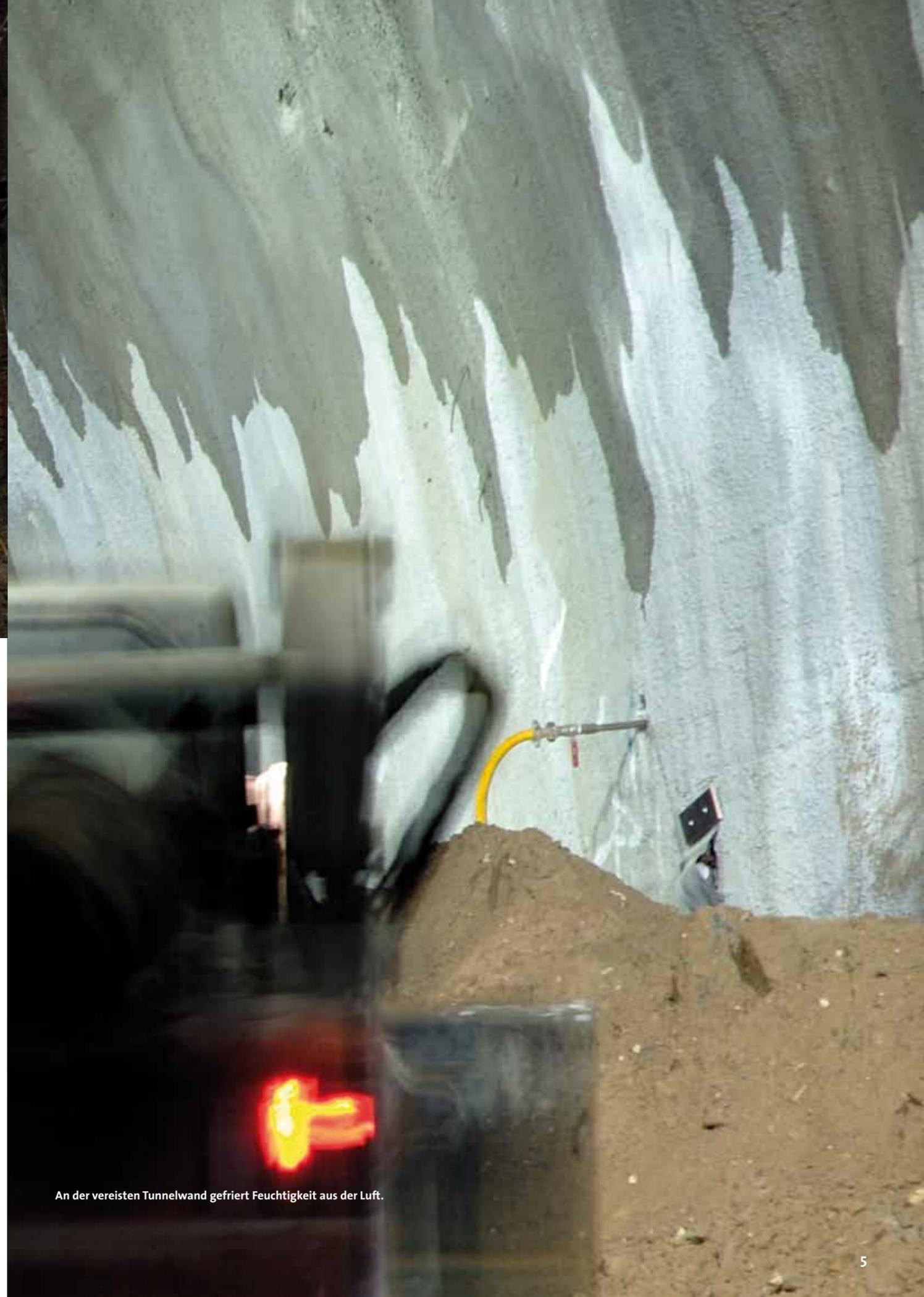
dennoch in den Arbeitsbereich eindringt, wird abgepumpt und über Rohrleitungen in den Rhein geleitet.

Auch die Tunnel selbst liegen im Grundwasser. Sie werden durch „Hydro-Mix-Schilde“ in einem modernen Vortriebsverfahren aufgeföhren. Während das Schneidrad das Erdreich abträgt, wird in der Schildmaschine die Tunnelröhre gebaut und zugleich gegen das Eindringen von Wasser abgedichtet. Der Tunnel bleibt von vornherein gänzlich trocken.

Vier der insgesamt acht Haltestellen der Nord-Süd Stadtbahn entstehen in ähnlicher Weise: Die Tunnelröhren führen

seitlich rechts und links an den Schlitzwandbaugruben vorbei. Die Röhren, in denen die Gleise der neuen Stadtbahnverbindung untergebracht werden, müssen mit der späteren Haltestelle, die innerhalb der Schlitzwände entsteht, verbunden werden. Dazu werden Schlitzwände und Tunnelröhren an den entsprechenden Stellen aufgebrochen. Auch hierbei muss jedoch das Grundwasser aus dem Baubereich herausgehalten werden. Dies kann mit unterschiedlichen Methoden erreicht werden.

Bei der Nord-Süd Stadtbahn Köln hat man sich entschieden, an drei der zu bauenden Haltestellen ein Vereisungsverfahren einzusetzen. Dabei werden Grundwasser und Erdreich rund um den aufzubrechenden Bereich eingefroren. Das gefrorene Wasser verfestigt die anstehenden Sande und Kiese. Im Schutz dieses „Eispanzers“ kann das Erdreich ausgehoben werden. Zeitgleich wird eine wasserdichte Betonkonstruktion hergestellt. Ist diese ausgehärtet und stabil genug, kann die Vereisung aufgehoben werden.



An der vereisten Tunnelwand gefriert Feuchtigkeit aus der Luft.

**Kartäuserhof: Bis die entstehende Haltestelle ihre endgültige Statik erreicht hat, müssen tragende Wände während der Bauphasen gestützt, geschützt und versteift werden.**



# Die Kältemaschine

Verdampfungswärme macht Kälte



## Sole ist ein Gemisch aus Salz und Wasser. Sie wird als Kälte­träger für die Vereisung genutzt.

Die Sole wird in einer Kältemaschine unter Einsatz von Ammoniak auf minus 35 Grad Celsius heruntergekühlt. Dabei nutzt die Kältemaschine den physikalischen Effekt der sogenannten Verdampfungswärme. Dies ist die Wärme, die benötigt wird, um eine Flüssigkeit in einen gasförmigen Zustand zu bringen, sie also zu verdampfen.

Das Ammoniak, das sich in einem geschlossenen Kreislauf bewegt, wird nacheinander in unterschiedliche Aggregatzustände versetzt. Es wird zunächst in einem Kompressor „verdichtet“. Dies funktioniert ähnlich wie die

Verdichtung von Luft in einer Luftpumpe, wenn die Düse, der „Ausgang“, zugehalten wird. Das unter Druck stehende Gas wird in einem Kondensator vom gasförmigen in einen flüssigen Zustand überführt. Die bei dieser Umwandlung frei werdende Wärmeenergie wird in einem Platten-Wärmetauscher vom vorbeigeleiteten Grundwasser aus der Restwasserhaltung der Baugrube aufgenommen.

Anschließend wird das flüssige Ammoniak in einem „Druckentlastungskessel“ in zwei Stufen verdampft. Diese – auch Entspannung genannte – Aggregatzustandsänderung von flüssig nach gas-

förmig hat einen hohen Wärmeenergiebedarf. Diese Wärmeenergie wird der Sole entzogen. Hierfür wird im nachgeschalteten zweiten Wärmetauscher das „entspannte“ Ammoniak unter Aufnahme von Wärme an der Sole vorbeigeführt.

Nach Einleiten der gekühlten Sole ins Erdreich und dortiger Aufnahme der Umgebungswärme, durch die letztlich die Vereisung bewirkt wird, beginnt der Kreislauf von vorn. Auf diese Weise kann die Sole immer wieder mit der gleichen konstant niedrigen Temperatur auf den Weg gebracht werden.

# Historie

Seit 1862 wird Boden künstlich vereist

Bereits 1862 wurde in einem Bergwerk in Südwales eine künstliche Bodenvereisung hergestellt. 1883 meldete der deutsche Bauingenieur Hermann Poetsch das Patent auf dieses Verfahren an, das in modifizierter Weise auch heute beim Bau der Nord-Süd Stadtbahn Köln angewandt wird:

In vertikale Bohrlöcher werden doppelwandige Rohre eingebracht. Ins Innere der Rohre wird ein Kälte­träger geleitet, der über den äußeren Bereich zurückfließt und dabei das im Boden befindliche Wasser gefriert.

Intensive Grundlagenforschungen für den sicheren Einsatz des Verfahrens wurden in den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts betrieben. So wurde die Bodenvereisung zu einem verlässlichen und umweltfreundlichen Verfahren – ins-

besondere für vorübergehende Stützbauwerke im Tiefbau.

Auch die Grundlage der heute noch für Bodenvereisungen benutzten Kältemaschinen stammt aus den 1870er Jahren.

Der deutsche Industrielle Carl von Linde veröffentlichte 1871 einen Aufsatz zu Kältetechnikverfahren, für die sich besonders die deutschen Bierbrauer interessierten. Die Brauer suchten nach Methoden, ihr Bier länger frisch und kühl zu halten. Die Münchener Spaten-Brauerei bot dem Erfinder schließlich die Möglichkeit, seine Entdeckung auszuprobieren.

Schon 1876 arbeiteten von Lindes Kältemaschinen mit Ammoniak als Kältemittel. Auch Kühlschränke, die Kältemaschinen für den Hausgebrauch, sind auf dasselbe Verfahren zurückzuführen.



Erste Kälte­zeugungs­maschine von Linde.

## 1926: Der erste Kühlschrank geht bei General Electric in Serie.

Kältemaschinen arbeiten im Prinzip nicht anders als Kühlschränke. Auch in diesen wird keine Kälte erzeugt, sondern vielmehr Wärme entzogen: Ein Thermostat prüft, ob es im Kühlschrank kühl genug ist. Wenn nicht, wird der Kühlkreislauf für einige Minuten in Gang gesetzt und der Kühlschrank „brummt“.

Für den Kreislauf ist ein Kühlmittel nötig, eine Flüssigkeit, die schon bei Minusgraden verdampft. Dieses Kühlmittel befindet sich in einem kleinen Rohrleitungssystem, das meistens an der inneren und äußeren Rückseite des Kühlschranks verläuft. Im Außenbereich ist das Kühlmittel flüssig, da es hier unter Druck steht. Der Druck beträgt ein bar – das ist in etwa der Druck, der in zehn Metern Wassertiefe herrscht. Wird der Kühlkreislauf in Gang gesetzt, gelangt das Kühlmittel durch den „Verdampfer“ in die Leitungen, die im Inneren des Kühlschranks verlaufen. Beim Verdampfen von Flüssigkeiten entsteht Gas. Für diesen Prozess wird Wärme benötigt, die dem Kühlschrankinneren entzogen wird. Auf diese Weise bleiben die sich darin befindenden Lebensmittel kalt.

Durch eine Pumpe wird das Gas aus dem im Kühlschrank liegenden Rohrleitungssystem wieder hinausgesaugt. Bei diesem Prozess verdichtet die Pumpe das Gas. Es wird erneut unter Druck gesetzt und verflüssigt. Hierbei entsteht Wärme, die durch das außen liegende Rohrleitungssystem an die Luft abgegeben wird. Der Kreislauf kann nun von vorne beginnen.

# Kartäuserhof und Rathaus

## Eisiges Flechtwerk

Von der Kältemaschine aus wird die Sole über ein Rohrleitungsnetz in die Baugrube hinein- und wieder herausgebracht. Im Baustellenbereich verästelt sich das Leitungssystem nahe den Baugrubenwänden. Die Sole wird weitergeleitet in „Gefrierrohre“. Diese wurden parallel zum Erdaushub innerhalb der Baugrube durch die 80 Zentimeter dicke Schlitzwand bis hin zum äußeren Bereich der Tunnelröhre gebohrt oder gerammt. Dabei musste gegen den bis zu 1,5 bar hohen Wasserdruck gearbeitet werden, der im umgebenden Erdreich herrscht.

Die eiskalte Sole läuft bis an das vordere Ende der Gefrierrohre an der Tunnelaußenseite und von hier aus wieder durch das Rohrleitungsnetz zurück bis zur Kältemaschine. Auf dem Hinweg zur Tunnelröhre beträgt die Temperatur der Sole im

Gefrierrohr bis zu minus 35 Grad Celsius, beim Rücklauf hat sie sich auf bis zu minus 30 Grad „erwärmt“.

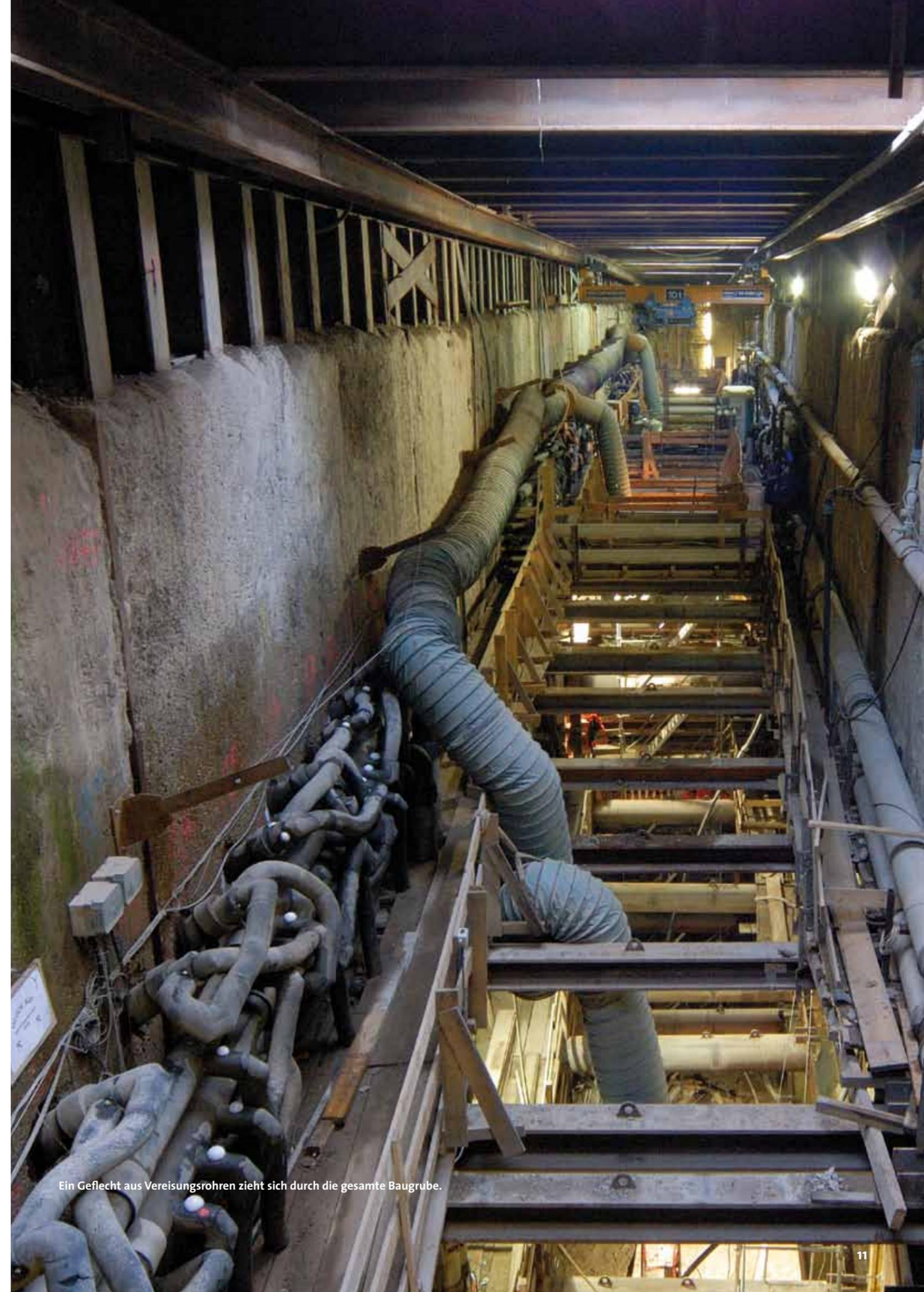
Die Kälte der Sole wird im Bereich zwischen Schlitzwand und Tunnelröhre an das umgebende Grundwasser und Erdreich abgegeben. Dadurch entsteht nach und nach in einem Radius von etwa 60 Zentimetern um die Gefrierrohre herum eine kompakte Eismasse. Sie darf keine „Lücken“ aufweisen und muss, um genügend Tragkraft und Stabilität aufzubieten, gleichzeitig eine flächendeckende Längsausdehnung von mindestens 1,50 Meter erreichen. Um dies zu gewährleisten, wurden am Kartäuserhof pro „Querschlag“ zwischen Baugrube und Tunnel je 95 Gefrierrohre auf einer Gesamtlänge von 507 Metern eingesetzt. Sechs Querschläge werden dort gebaut.

Die Gefrierrohre befinden sich im Abstand von etwa 120 Zentimetern in zwei Lagen übereinander. Um sicherzustellen, dass die Temperatur an jedem Gefrierrohr gleich ist, wurden Temperaturfühler in kleine Bohrungen eingelassen. Jeder Temperaturwert wird in regelmäßigen Abständen automatisch erfasst. Auf Schwankungen kann so jederzeit reagiert werden. Unregelmäßigkeiten können zum Beispiel durch Luft in den Leitungen entstehen. Diese müssen dann, ähnlich wie die heimische Heizung, entlüftet werden.

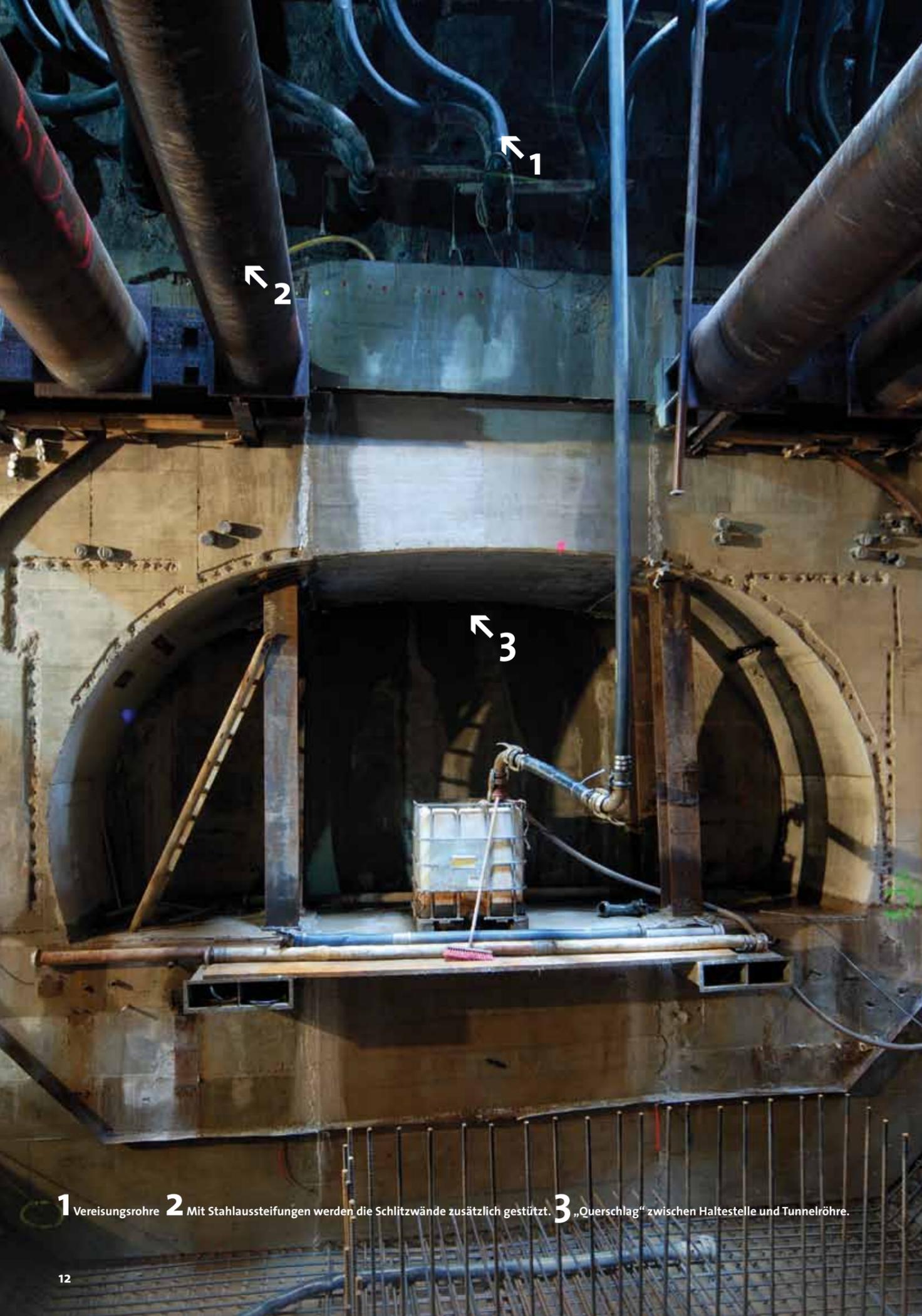
Die Vereisung an der Haltestelle Rathaus funktioniert ganz ähnlich wie die am Kartäuserhof. Es werden dort jedoch lediglich fünf Querschläge gebaut. Pro Querschlag werden hier 99 Gefrierrohre auf einer Gesamtlänge von 492 Metern eingesetzt.



Durch die Rohre fließt extrem kalte Sole.



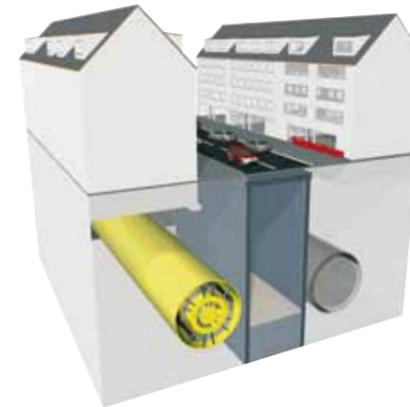
Ein Geflecht aus Vereisungsrohren zieht sich durch die gesamte Baugrube.



**1** Vereisungsrohre **2** Mit Stahlaussteifungen werden die Schlitzwände zusätzlich gestützt. **3** „Querschlag“ zwischen Haltestelle und Tunnelröhre.

## Der Durchbruch Querschlag zu den Tunneln

Die Haltestelle wird im Schutz von Schlitzwänden gebaut, die die Baugrube umschließen. Die Tunnel entstehen seitlich des Schlitzwandkastens.



Haben die Tunnelbohrmaschinen (gelb) die zukünftige Haltestelle passiert, muss eine Verbindung zwischen den beiden Bauwerken geschaffen werden.



Für den Bau der Bahnsteigebene werden Schlitzwände und Tunnel aufgebrochen und verbunden. Die Verbindung wird Querschlag genannt.



Schalung für den Bau des Querschlags.



Die **1** Schlitzwand ist durchbrochen. Hinter dem Querschlag ist der **2** Tunnel zu erkennen.



Der Querschlag von der Tunnelröhre aus gesehen.

Vereisung bei der Nord-Süd Stadtbahn Köln: ❄️ 1.900 Gefrierrohre mit einer Gesamtlänge von 12.500 Bohrmeter ❄️ 3.000 Meter Rohrleitungen ❄️ 5.700 flexible Schlauchleitungen ❄️ 3.300 Gefrierrohre als Kühlschleifen in den Mikrotunneln ❄️ 5 Kältemaschinen mit einer Leistung von insgesamt 2.000 Kilowatt (kW) ❄️ 150 Kubikmeter Sole ❄️





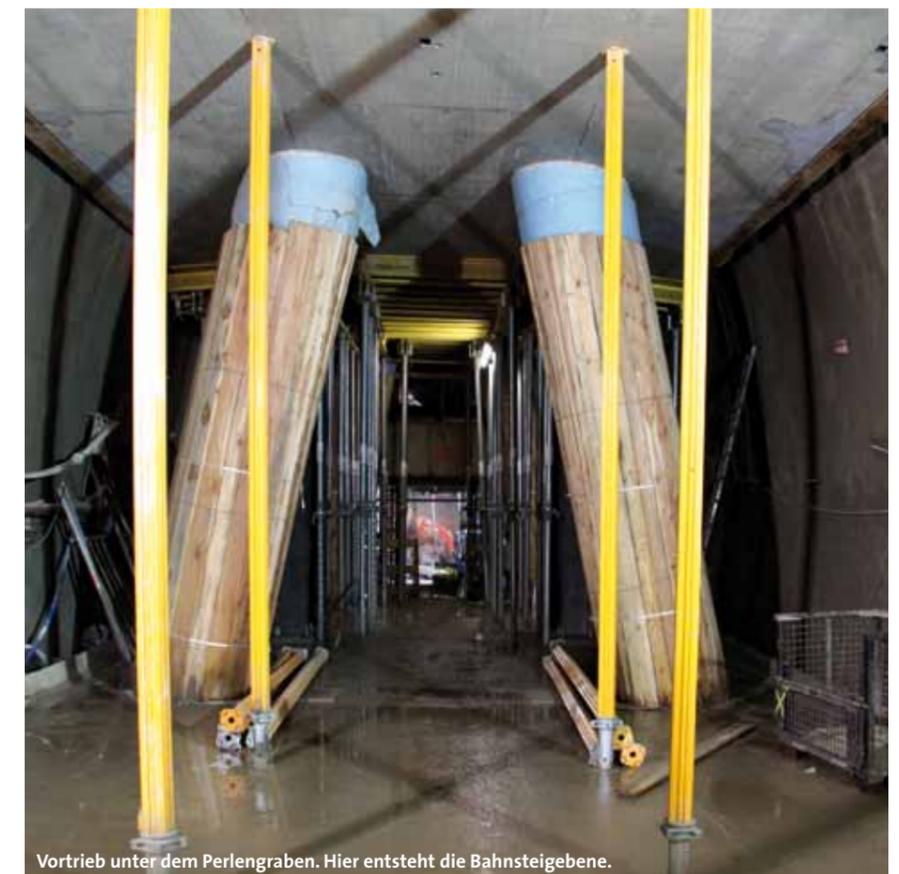
Im Vereisungstunnel oberhalb der Tunnelröhren. Von hier wird das Erdreich vereist.

## Severinstraße

### Der Vereisungstunnel

Der Perlengraben, eine auf die Severinsbrücke führende Hauptverkehrsader in Ost-West-Richtung ist extrem stark frequentiert. Auch für den Bau der neuen unterirdischen Haltestelle Severinstraße kann der Individual- und Stadtbahnverkehr nicht unterbrochen werden. Mit dem Vereisungsverfahren wird der Bau trotzdem möglich.

An der Severinstraße wird die neue Bahnstation aus zwei getrennten Baugruben am nördlichen und am südlichen Ende der Haltestelle errichtet, die unterhalb des Perlengrabens miteinander verbunden werden müssen. Dazu werden aus der Nordbaugrube heraus zunächst mithilfe einer Tunnelbohrmaschine mittig oberhalb und unterhalb der Tunnelröhren für die spätere Stadtbahn Stollen mit einem Durchmesser von circa drei Metern aufgeföhren. Aus diesen Röhren heraus werden nach der beschriebenen Methode „Vereisungsschirme“ hergestellt, so dass die Erde zwischen den beiden Baugruben ausgehoben werden kann, um Platz für die spätere Bahnsteigebene mit insgesamt sechs Querschlägen zu schaffen.



Vortrieb unter dem Perlengraben. Hier entsteht die Bahnsteigebene.

# Bechergasse

## Mit neun Mikrotunneln

Zwischen dem Kurt-Hacken-berg-Platz und der zukünftigen Haltestelle Rathaus entsteht ein sogenanntes Verflechtungs- bauwerk, das Platz für vier Gleise und die für den Betrieb der Nord-Süd Stadtbahn benötigten Weichenverbindungen bie- tet. Bahnen können von hier aus sowohl den Breslauer Platz, als auch – über einen nach Westen führenden Abzweig – die

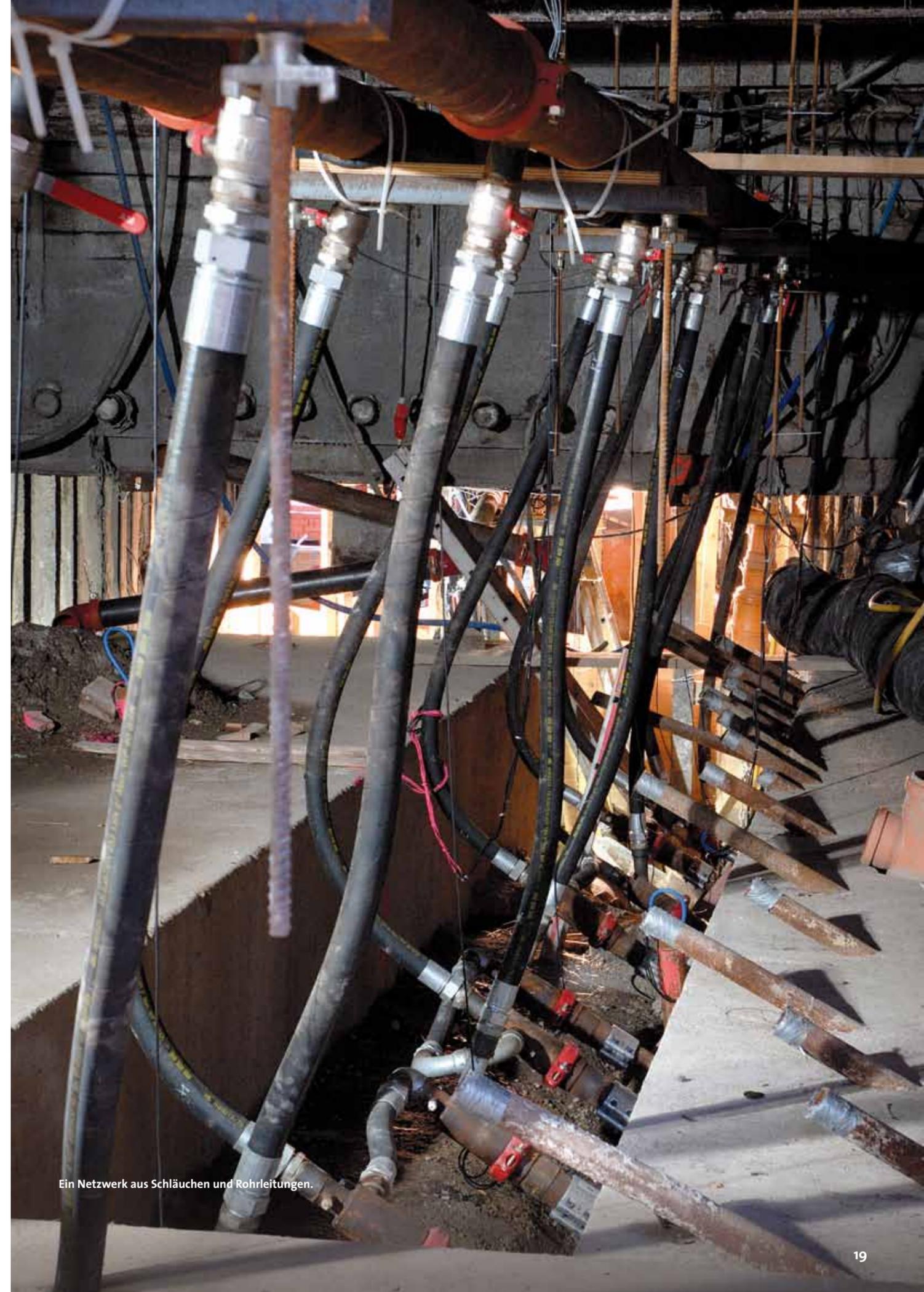
Haltestelle Dom/ Hauptbahnhof anfa- hen und umgekehrt.

Um den entsprechenden Bereich unter- irdisch ausschachten und ausbauen zu können, werden aus der Baugrube unter der Bechergasse heraus Vereisungslan- zen oberhalb der Tunnelröhren für den Stadtbahnbetrieb in den Boden gebracht.

Die Vereisung unter den Tunnelröhren er- folgt aus insgesamt neun Mikrotunneln mit einem Durchmesser von je 80 Zenti- metern. Diese führen vom Kurt-Hacken- berg-Platz bis einige Meter vor den Hal- testellenbereich Rathaus. In jeden dieser Tunnel werden auf der gesamten Länge je vier Gefrierrohre eingebaut, über wel- che die Vereisung durchgeführt wird.



Unter der **1** Tunnelröhre werden insgesamt neun **2** Mikrotunnel für die Vereisung gebaut.



Ein Netzwerk aus Schläuchen und Rohrleitungen.



Vereiste Schlitzwände in der Baugrube Kartäuserhof.

## Bauherrin

Kölner Verkehrs-Betriebe AG  
Scheidtweilerstraße 38  
50933 Köln  
Telefon: 0221 / 547 - 0  
Fax: 0221 / 547 - 3950  
E-Mail: [info@kvb-koeln.de](mailto:info@kvb-koeln.de)

## InfoCenter der Nord-Süd Stadtbahn Köln

Bechergasse 2  
50667 Köln  
Telefon: 0221 / 547 - 47 80  
Fax: 0221 / 547 - 47 81  
E-Mail: [info@nord-sued-stadtbahn.de](mailto:info@nord-sued-stadtbahn.de)

## Impressum

Herausgeber:  
Kölner Verkehrs-Betriebe AG  
Scheidtweilerstraße 38  
50933 Köln  
Telefon: 0221 / 547 - 33 04  
Fax: 0221 / 547 - 31 15  
E-Mail: [presse@kvb-koeln.de](mailto:presse@kvb-koeln.de)

Verantwortlich i.S.d.P.:  
Franz Wolf Ramien

Redaktion und Konzept:  
Gudrun Meyer  
Kölner Verkehrs-Betriebe AG  
Unternehmenskommunikation

Gestaltung:  
Algermissen Kommunikations-Design

Text: Gudrun Meyer, Esther Linnenberg  
Fotos: KVB, Christoph Seelbach, Linde AG