

# NORD-SÜD STADTBAHN KÖLN

## Auswirkungen der Schildfahrt



- Sicherung der Bebauung
- Kontrolle der Bodensetzungen
- Schadensregulierung

# Die Baumethode

## Unterirdischer Schildvortrieb

Die Nord-Süd Stadtbahn Köln wird unterirdisch im Schildvortrieb gebaut. Dass man sich in Köln für dieses Bauverfahren entschied, hat gleich mehrere gute Gründe:

Eine offene Bauweise ließe sich in einer so dicht bebauten Metropole unmöglich realisieren, da die Auswirkungen auf Alltagsleben, Anwohner, Geschäftsleute und Verkehr nicht kompensiert werden könnten. Die unterirdische Baumethode bietet sich daher an. Das Verfahren ist mittlerweile so ausgereift, dass es überall auf der Welt erfolgreich zur Anwendung kommt. Es ist schneller und sicherer als alle denkbaren anderen Bauweisen. Schon in Köln-Mülheim machte die Stadt gute Erfahrungen mit dieser Technik, ohne die ein Bau der Nord-Süd Stadtbahn Köln mit der heutigen Trassenführung ausgeschlossen wäre.

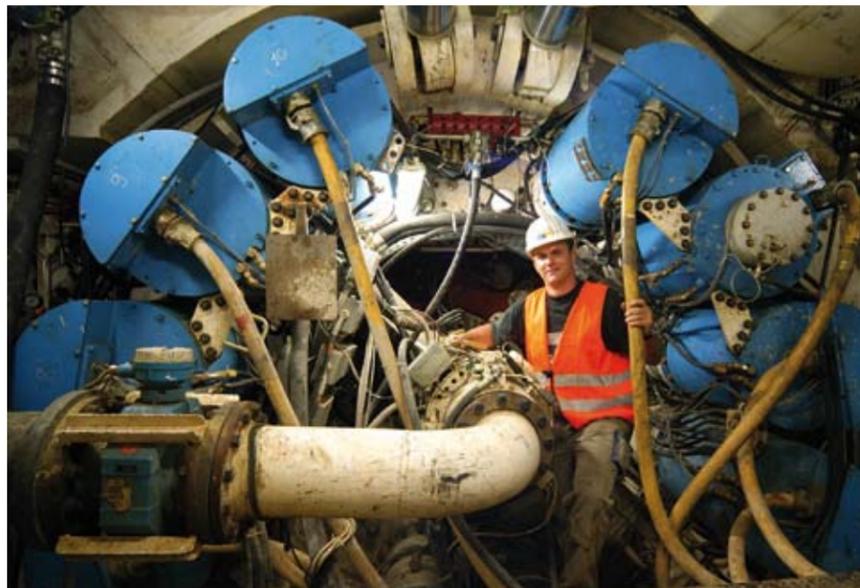
Auch bei der Schildbauweise treten jedoch Schwierigkeiten auf, die bei Planung und Bauausführung berücksichtigt und bewältigt werden müssen. Abgesehen von maschinentechnischen Herausforderungen bei der Schildfahrt selbst betrifft dies vor allem die im Einflussbereich des Tunnelvortriebs bestehende Bebauung, die durch

den Abbau von Erdreich im Untergrund beeinträchtigt werden kann.

Um ein Absacken der Erdoberfläche bei der Herstellung der Tunnelröhren zu verhindern, wird aufgrund der vorhandenen Bodenverhältnisse ein „Hydro-Mix-Schild“ eingesetzt. Die Maschine baut das Erdreich mit einem Schneidrad ab. Dazu wird eine Stützflüssigkeit (Bentonit-Suspension) benutzt, die mit Überdruck in den anstehenden Boden vor dem Schneidrad eindringt und diesen stabilisiert. Somit wird verhindert, dass der umgebende Sand und Kies während des Abbauprozesses nachrutschen kann.

Zeitgleich arbeitet sich die Maschine vorwärts, indem sie sich von dem zuletzt gebauten Tunnelring mittels Hydraulikpressen abdrückt. In der Maschine wird – sobald genügend vorgefahren wurde – erneut ein Ring gebaut. So entstehen niemals Hohlräume, in die Boden nachsacken könnte. Es verbleibt lediglich ein sogenannter Ringspalt. Dieser entsteht dadurch, dass der Durchmesser der fertigen Tunnelröhre wenige Zentimeter geringer ist als die Schildmaschine selbst. Der Ringspalt wird mit Mörtel kontinuierlich „verpresst“, so dass keine Setzungen entstehen.

Über eine dicke Rohrleitung wird die Stützflüssigkeit vor das Schneidrad gepumpt.



Tunnelbohrmaschinen



Steuerstand



Lorenbahn



Ringbau

# Abbau von Erdreich

## Auswirkungen auf die Bebauung

Trotz dieser Technik kommt es durch den Abbau von Boden zu unvermeidbaren Veränderungen und Umlagerungen der Spannungsverhältnisse im Boden sowie damit einhergehenden Verformungen im Bodengefüge. Dies führt letztlich zur Bildung sogenannter Setzungsmulden. Diese leichten Absenkungen des Erdreichs entwickeln sich dreidimensional über dem aufgefahrenen Tunnel.

Vereinfacht kann man eine in Längs- und eine in Querrichtung zur Schildachse verlaufende Setzungsmulde beschreiben. Die Längsentwicklung der Senkungsmulde ist – in Abhängigkeit zur Höhe der Überdeckung – nur sehr flach geneigt. Sie entsteht schon vor der Tunnelbohrmaschine und erreicht ihren tiefsten Punkt direkt über der Maschine.

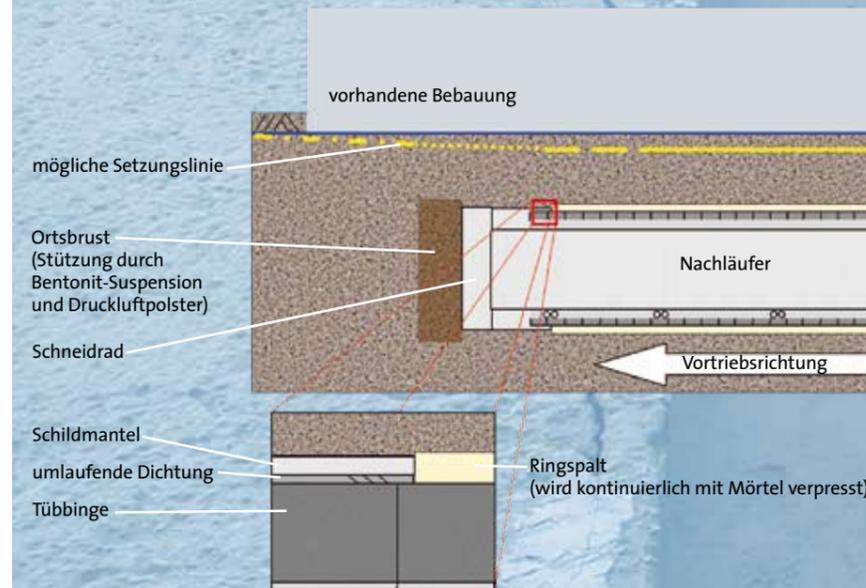
Die sich muldenartig ausbildenden Setzungen, die quer zur Schildachse entstehen, rufen stärkere Neigungswinkel hervor. Sie können letztlich dazu führen, dass durch minimale Schiefstellungen der Fun-

damente Rissbildungen in den unmittelbar beeinflussten Gebäuden auftreten.

Die verformungsbedingte Verdrehung der Fundamente hängt ab von dem Abstand der Fundamente zueinander, von den jeweiligen Senkungseinflüssen sowie auch von der Bausubstanz. Die möglichen Auswirkungen der Schildfahrt werden aus diesem Grund für jeden Standort und jedes Gebäude individuell bewertet.

Sämtliche Häuser wurden/ werden einzeln betrachtet und beurteilt. Auf Grundlage dieser Betrachtung wird festgelegt, welche Sicherungsmaßnahmen durchzuführen sind. Diese lassen sich gliedern in vorlaufende, baubegleitende und nachlaufende Maßnahmen.

Verglichen mit den Standards, die bei innerstädtischen Tunnelbaumaßnahmen in anderen Städten zugrunde gelegt werden, sind die beim Bau der Nord-Süd Stadtbahn Köln vorgegebenen und realisierten Sicherungsmaßnahmen in jedem dieser Bereiche außergewöhnlich hoch.



# Bodenstabilisierung durch unterschiedliche Verfahren

Es muss ausgeschlossen werden, dass durch den Schildvortrieb gegebenenfalls Setzungen entstehen, die eine Gefährdung von Gebäuden nach sich ziehen. Daher werden im Vorfeld einer Baumaßnahme wie der Nord-Süd Stadtbahn Köln umfangreiche Bodenuntersuchungen angestellt, um die Beschaffenheit des Untergrundes und dessen Festigkeit zu überprüfen. Wo es erforderlich ist, werden vorlaufende Bodenverfestigungsmaßnahmen durchgeführt. In Köln wurden je nach Bedarf und Praktikabilität unterschiedliche Verfahren zur Stabilisierung des Bodens angewandt, bei denen Zement bzw. Zementsuspension aus den Kellern der Gebäude heraus oder

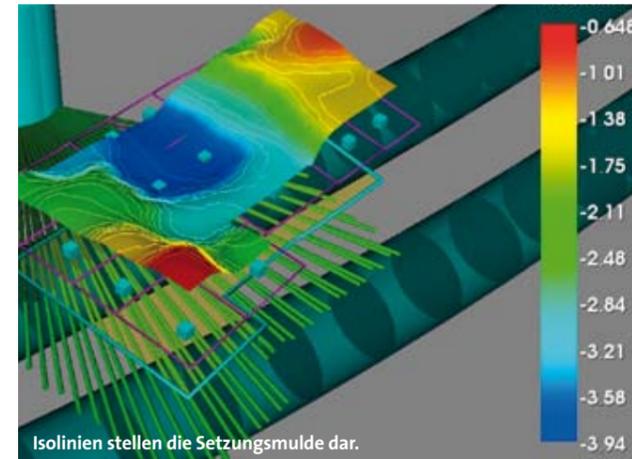
von außerhalb der Gebäude in das Erdreich verpresst wurden (Hochdruckinjektionen und Feststoffeinpessungen). In bestimmten Bereichen wurden aus eigens hierfür hergestellten Schächten auch sogenannte Kompensationsinjektionen vorgenommen. Diese dienen im Vorfeld der Unterfahrung mit den Tunnelbohrmaschinen der Bodenverbesserung, werden aber insbesondere auch als begleitende Maßnahme während der Schildfahrt eingesetzt. Aus den Schächten heraus werden auf unterschiedlichen Höhen Gestänge fächerförmig in den Boden getrieben, durch die ebenfalls Zementsuspension in einem Bereich von bis zu 55 Metern Umkreis in

den Boden eingebracht werden kann. Durch ein elektronisch überwachtes „Schlauchwaagen-Messsystem“ wird jede Veränderung an den umliegenden Gebäuden ab einer Größe von einem Zehntel Millimeter gemessen. Ziel dieser Kompensationsinjektionen ist es, die vortriebsbedingt entstehenden Senkungen durch das gezielte vorlaufende und baubegleitende Einpressen von Feststoffen in den Boden auszugleichen. Somit sollen schädigende Verformungseinwirkungen auf die Gebäude verhindert werden. Auch nach Beendigung der Schildfahrt sind bei Bedarf noch „Ausgleichsinjektionen“ möglich.

Aus einem Schacht heraus wird über das fächerförmig angelegte Rohrgestänge Zementsuspension in den Boden verpresst.



Mit einem Spezialgerät wird durch Hochdruckinjektionen der Boden verfestigt.



Die Schlauchwaage registriert kleinste Bewegungen.

## Auswertung und Dokumentation der Messdaten

Zur Steuerung der Kompensationsinjektionen wurde eine Software entwickelt, die die Daten aus Setzungsmessungen und Injektionen zusammenführt und diese grafisch darstellt. Nach Bewertung der Daten können die erforderlichen Nachinjektionen abgeleitet und Sollwerten bereitgestellt werden. Die Vorbereitung weiterer Injektionen ist damit möglich. Zudem archiviert „SOFIA“ (Software für Injektionsarbeiten) die Mess- und Injektionsdaten und ermöglicht somit eine unmittelbare Qualitätskontrolle. Der Überwachungsmonitor zeigt den Gebäudegrundriss und die Position der Schlauchwaagen mit den aktuellen Messwerten an. Das automatische „Schlauchwaagen-Messsystem“ dient der Überwachung der Bewegungen aller Grundrisspunkte, an denen sich die Lasten konzentrieren. Entsprechend der Schlauchwaagenlage wird der Gebäudegrundriss in Flächen unterteilt, wobei jede Teilfläche den Einflussbereich einer Schlauchwaage darstellt. SOFIA dokumentiert, inwieweit Setzungen vorhanden oder fortgeschritten sind. Die Messwerte werden automatisch in die interne Datenbank eingelesen und am Monitor sichtbar, so dass kritische Situationen frühzeitig erkannt werden. Überschreiten die Messwerte einen vorher definierten Grenzwert, leuchten die entsprechenden Schlauchwaagensymbole blau oder rot auf. Über Abstand und Setzungsdifferenz benachbarter Schlauchwaagen können die Schiefstellungen errechnet, überwacht und korrigiert werden.

# Statische Prüfung und Gebäudesicherungen



Ein Setzungsmessbolzen wird überprüft.

Jedes Gebäude im Einflussbereich der Schildfahrt wurde von Bautechnikern und Statikern auf seine Bausubstanz hin begutachtet und beurteilt.

Wo Setzungsberechnungen und Zustand des Gebäudes es erforderlich machten, wurden/ werden Sanierungsarbeiten und gegebenenfalls auch zusätzliche Sicherungsmaßnahmen durchgeführt.

Bei letzteren kann es sich beispielsweise um Giebelabstützungen zwischen zwei Häusern handeln, in deren Mitte ein wesentlich niedrigeres Haus steht, aber auch – wenn nötig – um Abstützungen innerhalb eines Hauses.

Zur Überprüfung der stattfindenden Bewegungen im Erdreich wurden Messbolzen an jedem Haus angebracht. Oberhalb der Schildachse befinden sich im Abstand

von rund 25 Metern weitere Bodenmesspunkte. Ausserdem wurden sogenannte Extensometer ins Erdreich eingebracht. Mithilfe dieser Messeinheiten ist es möglich, die durch die Schildfahrt verursachten Baugrundbewegungen kontinuierlich zu überwachen.

Zusätzlich zu diesen Maßnahmen sind während der Schildfahrt in dem jeweiligen Streckenabschnitt, in dem der Vortrieb gerade stattfindet, „Gebäudebeobachter“ unterwegs.

Sie begehen alle im Einflußbereich der Tunnelröhre liegenden Häuser regelmäßig im Abstand von wenigen Stunden, überprüfen, ob Risse entstanden sind oder sich verändert haben, dokumentieren diese, melden sie weiter und beobachten deren Entwicklung.



Vorsorgliche Hausabsicherung durch ein Stahlgerüst.

# Beweissicherung und Schadensregulierung

Bevor der Tunnelbau der Nord-Süd Stadtbahn Köln begann, wurde ein Beweissicherungsverfahren durchgeführt. Dabei wurde eine Bestandsaufnahme jedes einzelnen Hauses in der Trasse der Schildfahrt vorgenommen, der Zustand dokumentiert und protokolliert.

Die Unterlage bietet die Basis dafür, möglicherweise durch die Bauarbeiten verursachte Beschädigungen oder Veränderungen an den Gebäuden während und nach Abschluss der Arbeiten festzustellen und notwendige Wiederherstellungsmaßnahmen zu ergreifen.

Alle Schäden, die in direktem Zusammenhang mit dem Bau der Nord-Süd Stadtbahn Köln entstehen, werden von einem spezialisierten „Schadensbüro“ reguliert. Die KVB hat über ihre Versicherung ein

entsprechendes Unternehmen mit dieser Aufgabe betraut.

Ein Schadensfall wird dem Büro seitens der Eigentümer, Mieter, der KVB oder der bauausführenden Firmen angezeigt. In Fällen, die eine sofortige Reaktion erfordern (klemmende Tür o.ä.) genügt auch eine telefonische Meldung. In jedem Fall setzt sich das mit der Schadensregulierung beauftragte Ingenieurbüro mit dem Eigentümer oder Anlieger in Verbindung.

In dringenden Fällen kann der Anlieger/ Eigentümer kurzfristig einen Handwerker beauftragen, der diesen Schaden behebt. Die weiteren Reparaturen, die nicht zeitabhängig sind, werden nach Abschluss der Bauarbeiten zwischen dem Schadensregulierer und den Anliegern/ Eigentümern geregelt.



Mit Gipsmarken werden Risse überwacht.



Gebäudebeobachter dokumentieren Schäden.



Giebelabsicherung zwischen zwei Häusern.



Vor der Unterfahrung durch die Tunnelbohrmaschinen wurde das historische Bauwerk verstärkt und abgestützt.

## Bauherrin

Kölner Verkehrs-Betriebe AG  
Scheidtweilerstraße 38  
50933 Köln  
Telefon: 0221 / 547 - 0  
Fax: 0221 / 547 - 3950  
E-mail: 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

## 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

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

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

Gestaltung:  
Algermissen Kommunikations-Design

Fotos: KVB, David Rossi, Christoph Seelbach