

Geotechnische Verhältnisse im Zentrum von Leipzig und deren Bedeutung für Planung und Ausführung des Bauvorhabens City-Tunnel Leipzig

Prof. Dr.-Ing.habil. H. Scheffler, Dipl.-Ing. M. von den Berg, Dipl.-Geol. K. Mißling
CDM Jessberger Leipzig GmbH

Dr.rer.nat. R. M. Spang
Dr. Spang Ingenieurgesellschaft für Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik mbH

Zusammenfassung: *Berichtet wird über die geotechnischen Vorarbeiten zur bevorstehenden Unterfahung des Zentrums der Stadt Leipzig mit einem S-Bahn-Tunnel. Der betroffene unterirdische Bau-raum wird durch tiefgründige geologische Erosions- und starke Akkumulationsprozesse im Pleistozän mit ihren Auswirkungen in der tertiären Schichtenfolge geprägt. Ebenso sind die ältere und jüngere historische Entwicklung der Stadt und ihres industriellen Umfelds von bedeutendem Einfluss auf die Lösung der Bauaufgabe. Besondere Bedeutung für Bautechnik und Bautechnologie erlangt die Feststellung und Charakterisierung geologisch bedingter natürlicher sowie auch künstlicher Hindernisse längs der Tunneltrasse, die Verbreitung und Ausbildung des tief liegenden Grundwasserstauers und die sich seit 1992 weiter vollziehenden Veränderungen der Druckverhältnisse in den Grundwasserleitern. Hiervon ausgehend werden Hinweise für Planung und Ausführung des Bauwerks gegeben.*

1. Bauaufgabe

Als wohl bedeutsamstes infrastrukturelles Vorhaben der Stadt Leipzig rückt der Bau des City-Tunnels zur direkten Verbindung zweier außerhalb des Innenstadtrings liegenden Kopfbahnhöfe in das Blickfeld der Region und der Fachwelt. Zwischen Bayerischem Bahnhof (Süden) und Hauptbahnhof (Norden) verläuft die Trasse vollständig unter der Innenstadt. Im Südteil liegt sie bis zum Haltepunkt Wilhelm-Leuschner-Platz unter der breiten Windmühlenstraße mit einer zweigleisigen Straßenbahnlinie, nördlich bis zum Hauptbahnhof unter dichter, mehrgeschossiger Bebauung (Bild 1).

Die Gesamtlänge des Bauvorhabens beträgt einschließlich der Ein- und Ausfahrbereiche 4.654 m und schließt die Haltepunkte für den S-Bahn-Verkehr ein. Die eigentliche, zwischen den o.g. Bahnhöfen bergmännisch aufzufahrende Tunnelstrecke besteht aus zwei Röhren und beträgt jeweils 1.470 m. Letzterer erhält einen Kreisquerschnitt mit 62 m² Ausbruchfläche.

Der Vortrieb der beiden Tunnelröhren (Ausbruchdurchmesser $D = 9,0$ m) soll mit einem

flüssigkeitsgestützten geschlossenen Schild zeitlich versetzt von Süden nach Norden erfolgen. Der Abstand der Röhren untereinander entspricht etwa dem Durchmesser D . Die Überdeckung schwankt zwischen 8 m und 16 m. Der kleinste Abstand zwischen Tunnelschale und Bauwerksgründungen beträgt 2,2 m (Petersbogen). Der Vortrieb erfolgt weitgehend unterhalb des Grundwasserspiegels mit einer auf die Sohle des Tunnels bezogenen Druckhöhe von bis zu 16 m.



Bild 1: Verlauf des City-Tunnels einschließlich der Haltepunkte 1 – Bayerischer Bahnhof, 2 – Wilhelm-Leuschner-Platz, 3 - Markt, 4 – Hauptbahnhof

In mehreren Erkundungs- und Untersuchungsphasen wurden seit 1997 alle geotechnischen und hydrogeologischen Untersuchungen für das Bauvorhaben geplant, durchgeführt, überwacht und ausgewertet. Über einige der das Bauvorhaben bestimmenden Erkenntnisse und Folgerungen wird im weiteren berichtet.

2. Erkundungs- und Untersuchungsergebnisse

2.1 Ingenieurgeologie

Der Untergrund im Stadtgebiet besteht im Wesentlichen aus quartären und tertiären Lockersedimenten. Insgesamt wurden anhand der Lithologie 13 quartäre und 10 tertiäre Schichten auskartiert (Bild 2).

Besonders im Süden und im mittleren Abschnitt treffen wir unter den Auffüllungen bis 10 m mächtige, pleistozäne Geschiebemergel mit ihren Bändertonen an (S 6 /S 9). In erstere können Findlinge mit bis zu 1 m Durchmesser eingelagert sein. Es folgen ca. 17 m mächtige Flussschotter der Weißen Elster (S 12). Im Nordteil hingegen lagern unter den Auffüllungen und den Auesedimenten ca. 10 m mächtige Flussschotter der Mulde (S 7).

Unter den Flussschottern liegt im Zentrum der Trasse die bis ca. 9 m mächtige Folge des Bitter-

felder Flözkomplexes (S 14). Sie besteht aus Mittelsanden mit Braunkohlenschluff- und -tonlagen sowie in Senken abgelagerten, geringmächtigen Braunkohlenflözresten. Ebenfalls angetroffen werden hier Xylithe und silifizierte Baumstammreste. Von besonderer Bedeutung für das Bauvorhaben sind jedoch die in zwei Horizonten, im Hangenden und Liegenden nachgewiesenen, bis 4 m mächtigen silifizierten Tertiärquarzite in linsenförmiger Ausbildung.

Die darunter folgenden tertiären Schichten bestehen im Zentral- und Nordteil aus Fein- und Mittelsanden des so genannten Bitterfelder Sandkomplexes (S 15) mit einer Mächtigkeit von 7 m bis 16 m. Ihnen schließt sich, besonders im Süd- und Zentralteil, der bis 15 m mächtige, so genannte Grüngrauer Schluff (S 17) an. Schließlich ist entlang der gesamten Tunneltrasse die markante Schichtenfolge des so genannten Muschelschluffes (S 19) als regionalgeologisch bedeutender Stauer mit 4 m bis 8 m Mächtigkeit ausgebildet.

Besonders kompliziert gestalten sich die Lagebedingungen im mittleren Abschnitt der Tunneltrasse. Die weitgehend flachwellige Struktur der tertiären Schichten wird hier durch tiefe pleistozäne Erosionsrinnen durchbrochen. Stehen gebliebene tertiäre Schichtenfolgen kommen hingegen am Wilhelm-Leuschner-Platz bis zur Oberfläche vor (Bild 2).

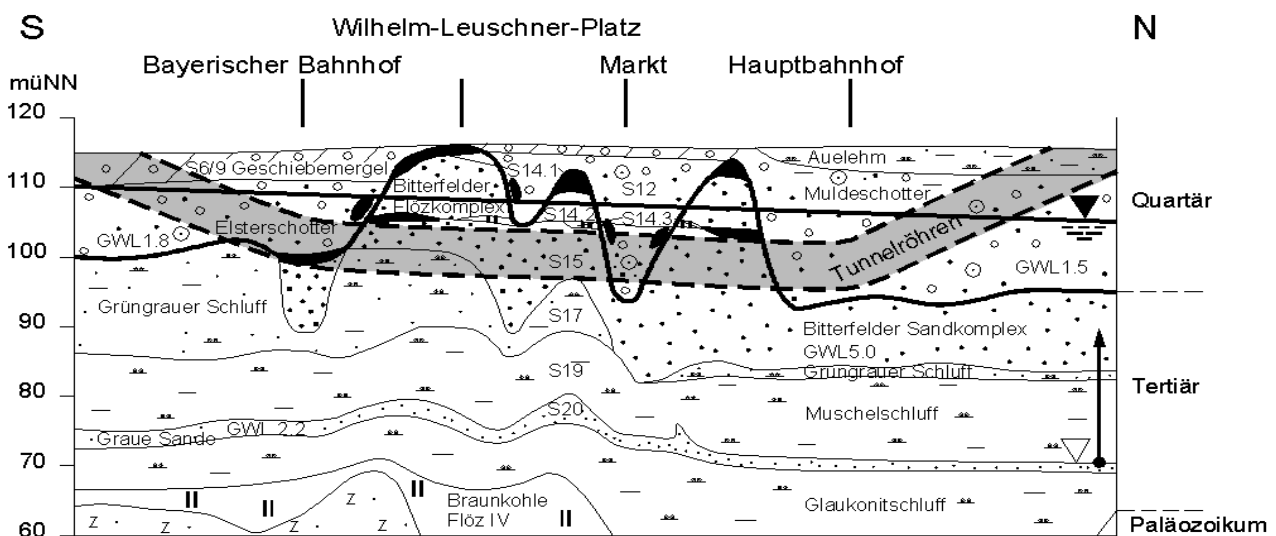


Bild 2 Schematisches geologisches Modell der Gesamttrasse. Schwarz hervorgehoben: Tertiärquarzite in autochthoner und allochthoner Lagerung

Das Hauptproblem stellen hierbei die Tertiärquarzite dar. Diese lagern primär linsenförmig in unterschiedlicher Mächtigkeit zunächst an der Oberfläche und an der Basis der Fein- und Mittelsande des Bitterfelder Flözkomplexes. Sie wurden jedoch durch die starken Erosionsprozesse im Pleistozän unterspült, dabei verstellt und sind teilweise in die Erosionsrinnen der alten eiszeitlichen Flussläufe abgerutscht und auch verschleppt. Somit kommen Tertiärquarzite in unregelmäßigen und unterschiedlichen Tiefenlagen vor, besonders in der Nähe der stehen gebliebenen tertiären Schichtenfolgen. Lokal kann es zu blockfeldähnlichen Anhäufungen von unterschiedlich mächtigen Tertiärquarzitlinsen kommen. Obwohl für die zu lösende Bauaufgabe von besonderer Wichtigkeit, können Lage, Größe und Anordnung der Tertiärquarzite mit vertretbarem Aufwand nicht durch Bohrungen erkundet werden. Die Erkenntnisse dazu bleiben immer unvollständig.

2.2 Hydrogeologie

Die Hauptgrundwasserleiter werden im Stadtgebiet von Leipzig durch pleistozäne Flussschotterterrassen und tertiäre Sande gebildet. Durch tiefgründige Erosions- und starke Akkumulationsprozesse stehen die meisten Grundwasserleiter untereinander in direkter Verbindung. In Abhängigkeit von der Ausbildung der einzelnen Aquifere weisen diese unterschiedliche Durchlässigkeitsbeiwerte auf. Für den mittleren Abschnitt der Tunneltrasse um den Haltepunkt Markt sind sie für die oberen Grundwasserleiter in Tabelle 1 zusammengestellt.

Schicht	GWL	Anzahl der Bodenproben	k_f -Wert in m/s	
			Min.	Max.
S 12	1.8	80	$2,5 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-2}$
S 15	5.0	108	$2,5 \times 10^{-8}$	$8,4 \times 10^{-4}$

Tabelle 1: Durchlässigkeitsbeiwerte der oberen Grundwasserleiter um den Haltepunkt Markt

Im Rahmen von Pumpversuchen wurden repräsentativ folgende Durchlässigkeitsbeiwerte ermittelt:

$$\text{GWL 1.8} \quad k_f = 2,1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$\text{GWL 5.0} \quad k_f = 3,6 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

Die generelle Fließrichtung in den pleistozänen Grundwasserleitern ist an alte Flussläufe gebunden, die in nordwestlicher Richtung entwässern (Bild 3). Das tertiäre Grundwasser fließt in nördliche Richtung.

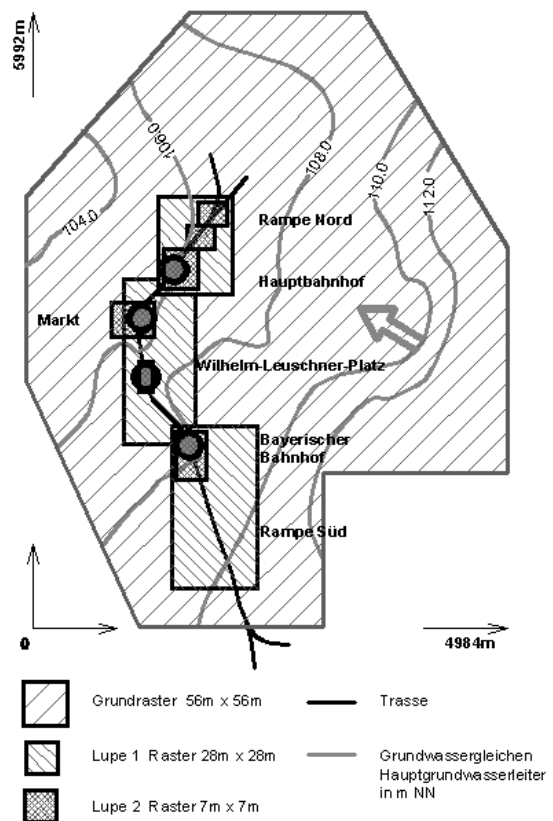


Bild 3 Geohydraulisches Modellgebiet mit den Isolinien der Hauptgrundwasserleiter GWL 1.8/GWL 5.0

Der regionale Grundwasserstand der oberen Grundwasserleiter GWL 1.8/GWL 5.0 liegt bei 105 m bis 111 m NN. Die Grundwasserstände passen sich dem Hauptvorfluter Weiße Elster an.

Die Grundwasserflurabstände entlang der geplanten Trasse sind sehr unterschiedlich und liegen zwischen ca. 3 m (Haltepunkt Hauptbahnhof) und 18 m.

Die Tieflage des Tunnelbauwerkes bewirkt, dass die Tunnelröhren fast durchgängig unterhalb des Grundwasserspiegels liegen und somit ein Strömungshindernis darstellen (Bild 2). Es war zu erwarten, dass es bei der Erstellung der bis 24,5 m tiefen Baugruben der Haltepunkte zu einem lokalen Totalverbau der Hauptgrundwasserleiter (am Haltepunkt Markt S 12 und S 15) kommt.

Seit 1998 erfolgten daher umfangreiche Erkundungsarbeiten zur Ermittlung geohydraulischer Parameter. Der Aufbau verdichteter Messnetze war insbesondere im Bereich der geplanten Haltepunkte erforderlich. Parallel dazu wurde zur Feststellung der Auswirkungen der Baumaßnahme auf die geohydraulischen Verhältnisse und in Vorbereitung des Planfeststellungsverfahrens ein numerisches 3-D-Strömungsmodell auf Basis des Programmsystems PCGEOFIM[®] aufgebaut und kalibriert, im weiteren fortgeschrieben, präzisiert und dem jeweiligen Planungs- und Erkundungsstand angepasst. Gleichlaufend wurde neben den Modelleingangsparametern auch die Form und Größe des Modellgebietes präzisiert. Es erfasst aktuell ca. 30 km² (Bild 3). Im Bereich der Haltepunkte und der Rampe Nord wurden Lupen mit 1/8 der Grundrastergröße (56 × 56 m²) gebildet.

Der Aufstau an Bauwerken sowie die Umleitung von Grundwasserströmen stellen wasserrechtliche Tatbestände dar. Als stadtplanerische Vorsorgemaßnahme leitet sich hieraus die Forderung ab, den Verbrauch des städtischen Tiefverbaupotentials planend und vorsorgend zu gestalten. Die Aufstaubeträge am geplanten Bauwerk waren daher entsprechend Planfeststellungsbescheid City-Tunnel Leipzig nach Tabelle 2 zu bewerten.

Bewertungskriterium	Klassifizierung	Aufstau
max. Stauhöhe am aufstauenden Bauwerk	verträglich	≤ 0,1 m
	unverträglich	> 0,1 m

Tabelle 2: Bewertungskriterien für Aufstaubeträge gemäß Planfeststellungsbescheid

Darüber hinaus wurden die Aufstaubeträge auch einzelfallbezogen nach folgenden Kriterien bewertet:

- potentielle zusätzliche Vernässung von Gebäuden im Umfeld der Baumaßnahme und
- Einschränkung des Tiefverbaupotentials.

Die Untersuchungen ergaben, dass zur Minimierung der Einflüsse des Tunnelbaus auf die natürlichen Grundwasserverhältnisse die Planung von Ausgleichsmaßnahmen zur Grundwasserkommunikation im Bau und Endzustand an den Haltepunkten Wilhelm-Leuschner-Platz, Markt, Hauptbahnhof und an der Nordrampe unvermeidlich ist.

2.3 Baugrund

Ausgehend von der skizzierten komplexen geologischen Situation ist auch die Folge der Baugrundsichten wechselhaft. Hierfür war insbesondere die Überprägung der tertiären Schichtenfolge durch die mehrfachen Eisvorstöße im Pleistozän mit jeweils mehreren Grundmoränen von besonderem Einfluss und für das Bauwerk von ebensolcher Bedeutung. Letzteres soll am Beispiel der Situation im komplizierten Zentralbereich des Tunnels um den Haltepunkt Markt (Länge 148 m, Breite 28 m) exemplarisch erläutert werden.

Schicht	Geologische Bezeichnung	GWL
Holozän		
S 1	Auffüllung	
Pleistozän		
S 6/S 9	Geschiebelehm/-mergel	
S 12	Flussschotter	1.8
Tertiär		
S 14.1	Helle Tertiärquarzite	
S 14.2	Bunte Sande	4.0
S 14.3	Braunkohlenschluff, Braunkohle, Xylite	
S 14.4	Dunkle Tertiärquarzite	
S 15	Bitterfelder Sande	5.0
S 17	Grüngrauer Schluff	
S 19	Muschelschluff	
S 20	Grauer Sand	2.2

Tabelle 3: Maßgebende geologische Schichten am Haltepunkt Markt.

Die 23 m tiefe Baugrube quert den Markt diagonal und liegt im Süden (Messehaus am Markt und Marktgalerie) und Norden (Hypovereinsbank und Alte Waage) unmittelbar neben zu schützenden Bauwerken (Bild 4).

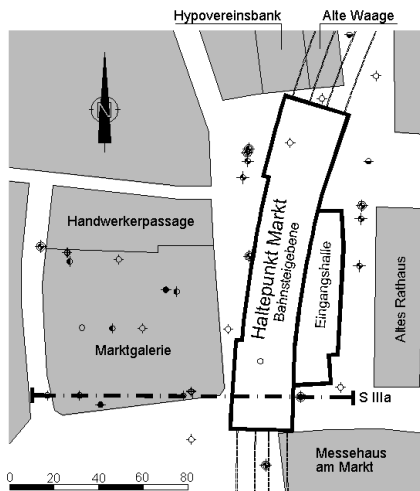


Bild 4 Lageplan Haltepunkt Markt mit Aufschlusspunkten, einschließlich jener der Marktgalerie

Geotechnisch sind hier von maßgeblicher Bedeutung

- für den Tunnelbau die Flussschotter (S 12), die Schichten S 14.1 bis S 14.4 des Bitterfelder Flözkomplexes sowie die Bitterfelder Sande (S 15) und der Grüngraue Schluff (S 17),
- für den Bau der Haltepunkte darüber hinaus der Muschelschluff (S 19) und der Graue Sand (S 20).

Als Bestandteil der Schichtenfolge des Bitterfelder Flözkomplexes waren Tertiärquarzitbänke und -schollen grundsätzlich bekannt. (Bild 5). Es handelt sich um regellos verschleppte Blöcke oder Blockpackungen der Tertiärquarzite. Sie waren bei den Gründungen und Baugruben der alten Bebauung des Stadtzentrums von untergeordneter Bedeutung bzw. wurden gar nicht erschlossen. Mit der Herstellung tiefer Baugruben bis 16 m unter Gelände (Petersbogen, Marktgalerie) seit 1998 und mit den bis 24,5 m tiefen Baugruben der Haltepunkte Wilhelm-Leuschner-Platz und Markt werden nun jedoch die Tiefenlagen der Tertiärquarzite sowohl in ursprünglicher als auch in verschleppter Lage erreicht.

Anschaulich vermitteln dies die Bilder 6 und 7 am Aufschluss der Baugruben Petersbogen und Marktgalerie.

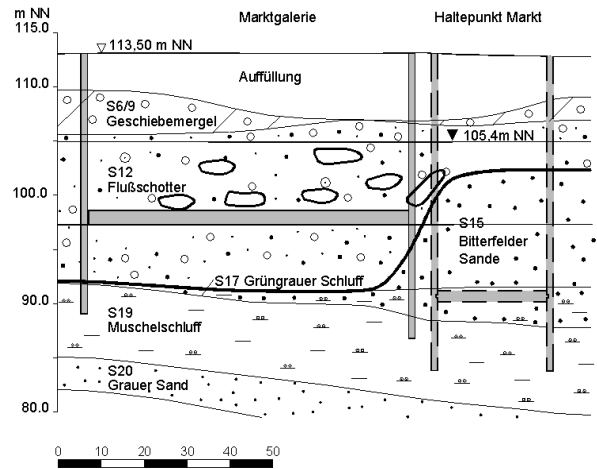


Bild 5 Überhöhter geologischer Schnitt S IIIa am Haltepunkt Markt mit Tertiärquarziten zwischen 98 m NN und 105 m NN

Letztere lag unmittelbar neben dem künftigen Haltepunkt Markt des City-Tunnels. Die Abmessungen der dokumentierten Blöcke schwanken zwischen Längen von ca. 0,5 m bis 7,5 m, Breiten von 0,4 bis 4,0 m und Höhen von 0,3 bis 3,0 m. Sie liegen hier verkantet im frühlsterkaltzeitlichen Flussschotter (S 12) und den tertiären Bitterfelder Sanden (S 15). Im Bild 7 ist gut zu erkennen, dass sich die Tertiärquarzite als Störkörper im Bereich um die Tunnelfirste konzentrieren!



Bild 6: Tertiärquarzitblock in der Baugrube Petersbogen, Länge ca. 4,5 m, Breite ca. 2,5 m, Höhe ca. 1,8 m

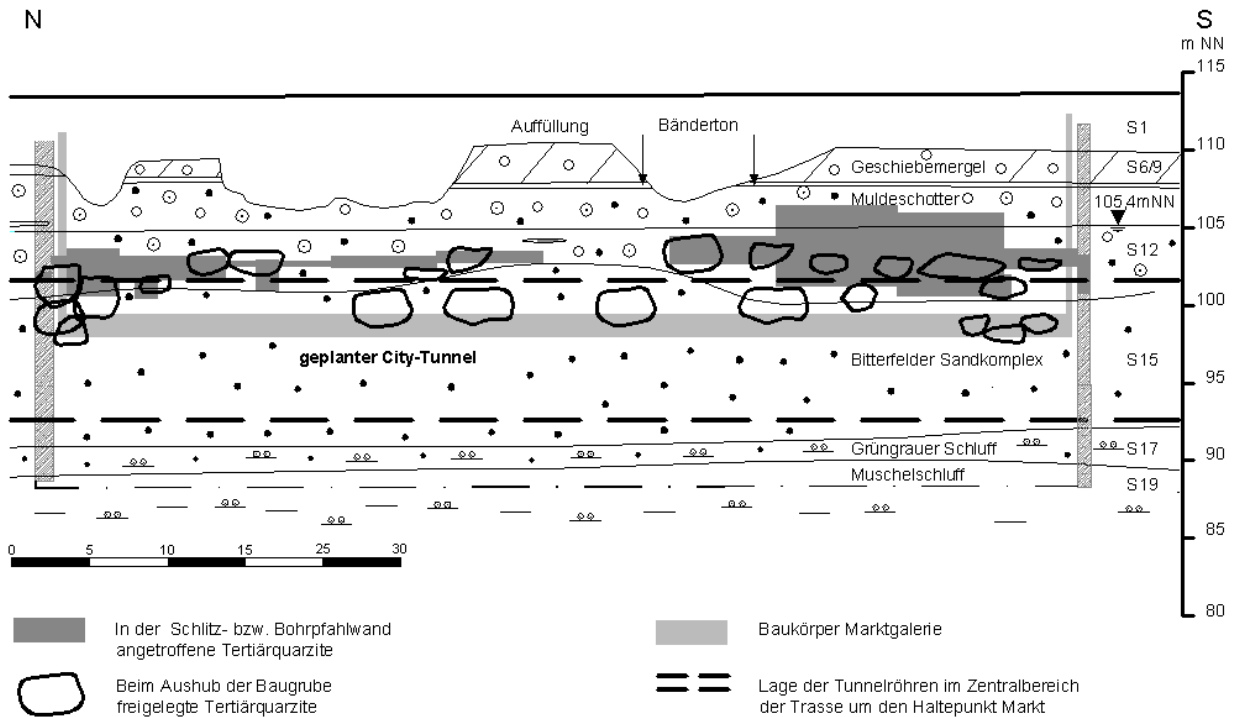


Bild 7: Baugrube Marktgalerie, Bereich entlang der Baugrubenseite zum Haltepunkt Markt

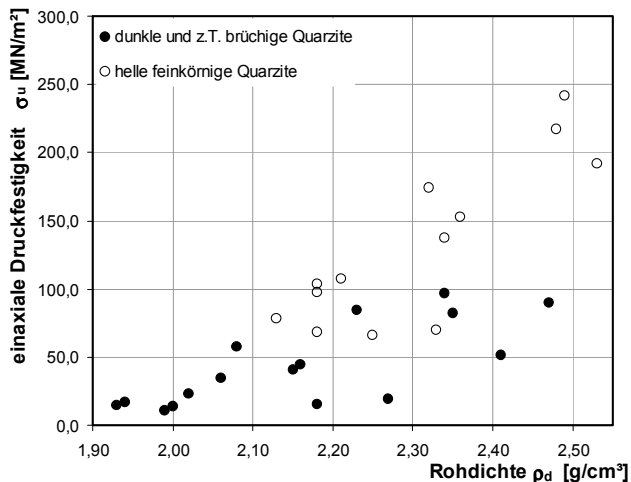


Bild 8: Einaxiale Druckfestigkeiten der Tertiärquarzite längs der Trasse zwischen den Haltepunkten Wilhelm-Leuschner-Platz und Markt

Die im Bild 8 dokumentierten einaxialen Druckfestigkeiten weisen mit $\sigma_u = 11 \dots 242 \text{ MN/m}^2$ eine große Streubreite auf. Die Spaltzugfestigkeit wurde mit $\sigma_z = 0,75 \dots 12,9 \text{ MN/m}^2$ bestimmt. Die ermittelten Festigkeiten korrespondieren deutlich mit der Rohdichte.

Die Tertiärquarzite sind damit als feste bis sehr feste und spröde ($\sigma_u / \sigma_z > 10/1$) Gesteine einzustufen. Sie sind bei kompakter Ausbildung nicht

rammbar und schwer bohrbar (Bodenklasse 7 nach DIN 18 300 bzw. Bohrbarkeitsklasse FD 4 nach DIN 18 301).

Die für den Tunnelbau wichtigen rolligen Schichten sind

- die dicht gelagerten früheister-kaltzeitlichen Flussschotter (S 12) mit einem Kornspektrum vom eng abgestuften Sand bis zum weit abgestuften Kies sowie
- die dicht gelagerten Bitterfelder Sande (S 15), die sich weitgehend im Bereich der eng abgestuften Sande bewegen.

Von den durch die eiszeitlichen Überlagerungen hoch vorbelasteten, bindigen Schichten des Tertiärs interessieren hier

- für den Tunnelbau der Grüngraue Schluff (S 17) in seiner Ausbildung als leichtplastischer Schluff bis mittelpastischer Ton und
- für die tiefen Baugruben der in sich nochmals differenzierte Muschelschluff (S 19), der in seiner oberen und in der unteren Teilschicht als gebänderter mittelpastischer Ton bis ausgeprägt plastischer Ton vorliegt.

Für den Muschelschluff, der als hinreichend dichte Schicht technisch genutzt werden soll, war die Überprüfung seiner durchgängig flächenhaften

Verbreitung wesentlich. Mit einer Dicke von 4,0 m bis 7,2 m im Bereich der Haltepunkte ermöglicht er die sichere Einbindung der bis ca. 30 m unter Gelände reichenden Baugrubenwände und kann somit als natürliche horizontale Abdichtung der Baugruben ($5 \times 10^{-11} \text{ m/s} \leq k_f \leq 4 \times 10^{-10} \text{ m/s}$) genutzt werden.

Bezüglich der hydraulischen Stabilität der tiefen Baugruben verdient schließlich der zuunterst liegende Graue Sand (S 20) als Grundwasserleiter GWL 2.2 besondere Aufmerksamkeit. In seinen Eigenschaften entspricht er einem schluffigen Feinsand bis leicht plastischen Schluff bzw. Ton. Die verschiedenen Ausbildungen sind miteinander verzahnt. Dort, wo er als schluffiger Feinsand vorliegt, wird eine Grundwasserdruckhöhe bis 32 m angetroffen! Seine Ergiebigkeit ist hingegen durch die gerade erwähnte unterschiedliche Faziale Ausbildung eher gering. Der aus der Korngrößenverteilung und aus den Untersuchungen an ungestörten Bodenproben ermittelte Wasserdurchlässigkeitskoeffizient schwankt stark zwischen $1 \times 10^{-6} \text{ m/s} \leq k_f \leq 2,8 \times 10^{-9} \text{ m/s}$. Mittels Pumpversuch wurde repräsentativ ein Wert von $5,03 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ bestimmt.

2.4 Folgen der Stadtentwicklung und der veränderten Industriestruktur im Raum Leipzig

Als Folge der Stadtentwicklung, vor allem seit etwa 1960, wurden im unterirdischen Bauraum längs der Tunneltrasse zahlreiche Wände bzw. Baubehelfe einschließlich Anker und Pfähle vermutet und im Ergebnis der historischen Recherchen und der Erkundung auch bestätigt. Dort, wo sie im unmittelbaren Umfeld der Tunnelröhren liegen, sind sie für die Bautechnologie und die Sicherheit beim Tunnelvortrieb von erheblicher Bedeutung.

Schließlich hat die Veränderung der Industriestruktur und ihre Neuorientierung nach 1990 deutliche und weiter fortdauernde Folgen vor allem durch

- die Stilllegung der großen Tagebaue im Süden von Leipzig mit ihrer in den verbleibenden Restlöchern durch die Flutung gegebenen hydraulischen Verbindung aller angeschnittenen Grundwasserleiter sowie
- die starke Reduzierung der Grundwasserentnahmen durch die Industrie.

Beides führte seit 1992 zu einem deutlichen Anstieg des ungespannten oberen Grundwasserspiegels wie auch des Druckpotentials im Grauen Sand (S 20) als Grundwasserleiter GWL 2.2. Durch die noch nicht abgeschlossene Flutung der Tagebaue wird sich dieser Anstieg weiter fortsetzen. Dies darf bei der Festlegung der verschiedenen Bemessungswasserstände an den Haltepunkten der Trasse nicht übersehen werden.

3. Tunnelbau und Schutz der Bebauung

Der bergmännische Tunnel durchfährt die vorwiegend aus rolligen Lockergesteinen bestehenden Schichten der Flussschotter (S 12) und der Bitterfelder Sande (S 15) sowie den bindigen Grüngrauen Schluff (S 17). Als natürliche Hindernisse sind die oben beschriebenen verschlepten Tertiärquarzite nachgewiesen. Weiterhin können fossile, z.T. verkieselte Baumstämme vorkommen. Ferner werden Braunkohle- und Xylithorizonte durchfahren. An zwei Stellen wird darüber hinaus der ehemalige Stadtgraben mit einem vertikalen Abstand zwischen Tunnelfirste und ehemaliger Grabensohle von etwa 4 m unterquert.

Die überwiegend rolligen und ein Teil der bindigen Lockergesteine sowie die Tertiärquarzite sind abrasiv. Die im Grüngrauen Schluff zu durchfahrenden plastischen Tone können zur Verklebung des Schneidrads und der Eintrittsöffnungen führen (Bild 9). Sie erfordern deshalb Zusatzmaßnahmen in Form einer Konditionierung der Stützflüssigkeit. Die rolligen Schichten sind erodierbar und lassen sich hydraulisch abbauen. Die aufgrund der Kornverteilung bestehende Gefahr einer Verflüssigung der enggestuften Bitterfelder Sande (S 15) wird wegen der hohen Lagerungsdichte als gering eingeschätzt.

Beachtet werden muss die zum Teil deutliche Aufsalsung des Grundwassers, die zu einem erhöhten Betonangriff führt und die Ausflockung/Koagulation einer hierauf nicht eingestellten Stützflüssigkeit/Bentonitsuspension verursachen kann.

Im Querschnitt des Tunnels und im Bereich der Dichtblöcke beidseitig der Haltepunkte werden künstliche Hindernisse erwartet. Diese bestehen aus im Untergrund verbliebenen Baubehelfen, wie Litzentankern aus der Sicherung einer tiefen Baugrube, aus Dicht-, Bohrpfahl- und Spund-

wänden sowie Verpresspfählen. Exemplarisch sei hierfür der Tunnelabschnitt im Bereich des neu errichteten Petersbogens und des gegenüber liegenden Gebäudes Stenzlers Hof in der Petersstrasse genannt (Bild 10). Hier sind insgesamt 14 Lizenanker der damaligen Sicherung der Baugrubenwände des Petersbogens direkt bzw. im Bereich um die künftigen Tunnelröhren verblieben.

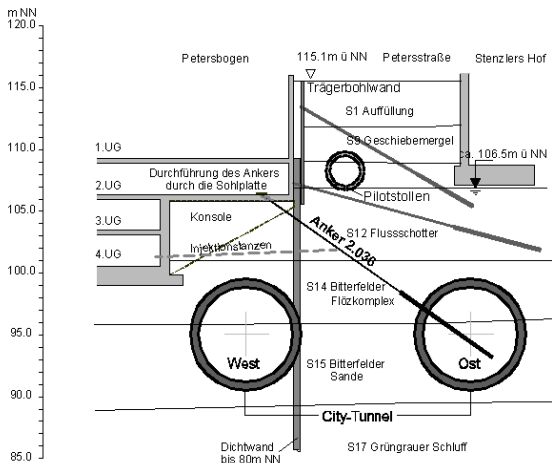


Bild 9 Trassenquerschnitt mit im Untergrund verbliebenen Baubehelfen und Ankern am Petersbogen

Über die vorstehend genannten künstlichen Hindernisse hinaus werden aus der Ankerherstellung und aus unzureichend verfüllten Altbohrungen Hohlräume im Untergrund vermutet, die für die Aufrechterhaltung des Stützdrucks beim Tunnelvortrieb kritisch sein können. Auch Altbrunnen sind in der Trasse bekannt.

Ein Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf den zu erwartenden Bauwerks- und Baugrundinteraktionen. Beim Auffahren der Tunnel lässt sich auch bei sorgfältiger Arbeitsweise ein Bodenzug nicht vollständig vermeiden, so dass dem Tunnel vorauslaufend eine Senkungsmulde entsteht. Zur Reduzierung des Bodenzugs sind zunächst tunnelbautechnische Maßnahmen vorzunehmen. Außer von der Größe des Bodenzugs hängt die Geometrie der Senkungsmulde u.a. von der Überdeckung und der Scherfestigkeit der Überlagerung ab. Die Gesamtbreite der Senkungsmulde wird zwischen etwa 60 m und 80 m liegen. Die vorgesehenen umfangreichen Sicherungskonzepte für die Gebäude werden an anderer Stelle beschrieben.

Als Voraussetzung für die Auswahl geeigneter Verfahren wurden die Bauakten der betroffenen Gebäude eingesehen, die Gründungskoten durch Bohrungen und mittels geophysikalischer Verfahren überprüft und der Baugrund erkundet. Außerdem wurden Konstruktion und Zustand der Gebäude erhoben, um deren Anfälligkeit für Senkungsdifferenzen bzw. Pressungen und Zerrungen abschätzen zu können.

Die aufgeführten technischen Eigenschaften sowie die Hindernisse im Untergrund erfordern eine hohe Anpassungsfähigkeit der Schildmaschine. Sie führen jedoch auch zu Erschwernissen bei der Herstellung der Dichtblöcke in den Ein- und Ausfahrbereichen der Haltepunkte. Soweit möglich, sollen die Blöcke von Über tage gegreifert werden. Aufgrund aufstehender Bebauung sind örtlich jedoch Sonderverfahren wie DSV-Dichtblöcke erforderlich, bei denen Maßnahmen zur Vermeidung von DÜsschatten, Einschnürungen und unzureichenden Festigkeiten vorgesehen werden müssen. Aufgrund des Schadens am Landwehrkanaltunnel in Berlin sind Dichtigkeitsprüfungen vor Inbetriebnahme zwingend erforderlich. → Gudehus!

4. Tiefe Baugruben der Haltepunkte Wilhelm-Leuschner-Platz und Markt

Insbesondere bei der Herstellung der Schlitzwände der Baugruben der Haltepunkte Wilhelm-Leuschner-Platz und Markt ist mit beträchtlichen Erschwernissen durch im Schlitzwandverlauf auftretende Tertiärquarzite zu rechnen. Sowohl die Gerätetechnik als auch die Bautechnologie müssen darauf abgestimmt werden. Besonders zu beachtende Umstände können sein:

- erhöhter Aufwand beim Einsatz von Schlitzwandgreifern,
- Schutz der Nachbarbebauung vor unverträglichen Erschütterungen,
- Inhomogenitäten der Schlitzwand (Dichtigkeit, Stützwirkung) sowie
- Herstellungsdifferenzen und mögliche Auswirkungen.

Die Fachfirmen werden im Rahmen der technischen Planung und Kalkulation zu prüfen haben, ob unter Berücksichtigung der besonderen Verhältnisse und der Festigkeit und Lage der Störkörper der Einsatz von Frästechniken Vorteile bietet.

Auch beim Aushub der Baugrube ist mit ähnlichen Behinderungen durch eingeschlossene Tertiärquarzite als Blöcke und Blocklagen zu rechnen.

Unter Bezug auf die möglichen Höhenlagen von natürlichen und künstlichen Einschlüssen bedarf die Anordnung von Verankerungen hinsichtlich der Herstellbarkeit und der Funktionsfähigkeit besonderer Beachtung.

Bei der Herstellung von stützenden und dichten Baukörpern mittels Düsenstrahlverfahren ist besonders auf folgende Risiken aus der konkreten Baugrundsituation hinzuweisen

- Hindernisse durch Findlinge und Tertiärquarzite, die über mehrere Düskörper reichen können,
- hindernisbedingte Bohr-/Lageabweichungen, überlagert durch die mit der Bohrtiefe zunehmenden, verfahrensbedingten Abweichungen sowie
- Dichtigkeitsprobleme durch Lageabweichungen sowie durch unterschiedliche Säulendurchmesser u. a. beim Übergang von den rolligen Bitterfelder Sanden (S 15) zu den bindigen grüngrauen Schluffen (S 17, Tonkorngehalt i.d.R. 10 – 20 %), wobei erstere zusätzlich durch Braunkohlenschluffe und Braunkohle (S 14.3) überlagert sein können (Bild 11).



Bild 11 Im Niveau der Baugrubensohle Petersbogen (ca. 98,9 m NN) ausgeräumter Braunkohlenschluff und Braunkohle (S 14.3) des Bitterfelder Flözkomplexes

An den Haltepunkten Wilhelm-Leuschner-Platz und Markt ist für die Sicherheit gegen Aufbruch der Baugrubensohle die temporäre Entspannung des unterhalb des dichtenden Muschelschluffs (S

19) liegenden Grundwasserleiters GWL 2.2 (S 20) erforderlich. Die Anzahl der notwendigen Entspannungsbrunnen und das Absenkungsverfahren wird durch die beschriebenen Merkmale des Grundwasserleiters und seine örtlich schwankenden Wasserdurchlässigkeitskoeffizienten bestimmt.

5. Grundwasser-Kommunikationssysteme

Die Haltepunkte Bayerischer Bahnhof, Wilhelm-Leuschner-Platz und Markt werden im Schutz von Schlitzwandtrögen hergestellt, die bis in den Muschelschluff reichen. Bei aktiven hydraulischen Längen zwischen 150 m und 250 m und Längsachsen gemäß Bild 3 senkrecht bis spitzwinkelig zum Grundwasserstrom führen diese zu einem Aufstau zwischen 0,15 m und 0,60 m und überschreiten damit den nach Tabelle 2 zulässigen Betrag. Grundwasserkommunikationssysteme werden somit erforderlich.

Bauzeitlich erfolgt die Grundwasserkommunikation durch Vertikalbrunnen, aus denen auf der Anstromseite Wassermengen zwischen 2 m³/h (Haltepunkt Leuschner-Platz) und 45 m³/h (Teilbereich am Haltepunkt Hauptbahnhof) entnommen und auf der Abstromseite wieder versickert werden.

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurden aus allen größeren U-Bahn-Baumaßnahmen in Deutschland, bei denen Grundwasserkommunikationsanlagen ausgeführt worden waren, Ausführungsvarianten und Betriebserfahrungen gesammelt. Außerdem wurden die Grundwässer chemisch und bakteriologisch auf die Gefahr von Ausfällungen und Verschleimungsrisiken untersucht. Im Ergebnis wurde für die permanente Grundwasserkommunikation ein System von Horizontalbrunnen, die von tiefreichenden Schächten aus hergestellt und gewartet werden, vorgeschlagen. Die Horizontalbrunnen erreichen bei Durchmessern von 150 mm Längen von bis zu 100 m, sie werden fächerförmig hergestellt. Von der Anstromseite auf die Abstromseite wird das Wasser in geschlossenen Rohrleitungen unter den Haltepunkten gedükert. Der Transport des Wassers erfolgt allein durch den geringen natürlichen Gradienten mit der maximal zulässigen Aufhöhung auf der Anstromseite von 10 cm.

Die Schächte werden als Ausstülpungen aus den Schlitzwandträgern der Haltepunkte hergestellt und reichen bis unter deren Bauwerkssohle. Über Revisionsöffnungen ist die Kontrolle und die Spülbarkeit der Horizontaldränagen auf Dauer gewährleistet. Bei nachlassender Leistung besteht die Möglichkeit, von den Schächten an vorbereiteten Positionen weitere Horizontaldränagen herzustellen.

6. Fazit

Der Bau des City-Tunnel Leipzig ist ausgehend von den geotechnischen und hydrogeologischen Verhältnissen längs der Trasse, seiner innerstädtischen Lage und nicht zuletzt auch seiner zeitlich vorgegebenen Randbedingungen der Bauausführung ein in jeder Hinsicht besonders schwieriges Bauvorhaben entsprechend der geotechnischen Kategorie III (DIN 4020).

Erst die Kenntnis und Nutzung der regionalgeologischen Zusammenhänge, der historischen und künftigen Entwicklung der Stadt und ihres Umfelds schafft in Verbindung mit der umfassenden Nutzung direkter Aufschlüsse (hier der tiefen Baugruben Petersbogen und Marktgalerie) und indirekter Aufschlüsse sowie der Untersuchung und kritischen Bewertung der betroffenen Baugrundsichten die notwendigen geotechnischen Voraussetzungen zur erfolgreichen Planung und wirtschaftlichen Lösung der Aufgabe.

Den Fragen der Qualitätssicherung gemäß den Vorgaben der Bauplanung wie auch jenen baubegleitenden internen und externen Qualitätsüberwachung und -kontrolle kommt nun bei der Ausführung des Bauwerkes eine vorrangige Bedeutung zu. Auf die Notwendigkeit der Vorbereitung und Umsetzung bauwerksbezogener Sicherheitskonzepte wird ausdrücklich hingewiesen. Eine umfassende baubegleitende geotechnische und messtechnische Überwachung durch qualifizierte Fachbüros ist erforderlich.

Nur ein enges, jedoch jederzeit kritisches Zusammenwirken von Bauherr, Fachplanern und -gutachtern mit den künftig beteiligten Bauunternehmen wird es ermöglichen, den City-Tunnel in der verlangten hohen Qualität termingerecht fertigzustellen. Das Bauen im Blickpunkt der Öffentlichkeit, der Ausgleich unterschiedlicher Interessen aller Beteiligten erfordert nicht zuletzt ein

hoch professionelles Management der Gesamtaufgabe.

Quellenachweis

- (1) Ingenieurgemeinschaft CDM Jessberger Leipzig / Dr. Spang: City-Tunnel Leipzig – Geotechnisches Gutachten zur Planfeststellung, 31.07.98
- (2) Ingenieurgemeinschaft CDM Jessberger Leipzig / Dr. Spang: City-Tunnel Leipzig - Vertiefende Erkundungen und Untersuchungen der Trasse des geplanten City-Tunnels im Zuge des Baugrubenaushubs der Juridicum-Passage Leipzig. 31.08.1999
- (3) Ingenieurgemeinschaft CDM Jessberger Leipzig / Dr. Spang: City-Tunnel Leipzig - Geotechnischer Bericht nach DIN 4020, City-Tunnel Leipzig, Haltepunkt Markt. 14.09.2001
- (4) Ingenieurgemeinschaft CDM Jessberger Leipzig / Dr. Spang: City-Tunnel Leipzig - Hydrogeologisches Gutachten. 20.12.2001
- (5) Ingenieurgemeinschaft CDM Jessberger Leipzig / Dr. Spang: City-Tunnel Leipzig – Bauvorhaben Marktgalerie Leipzig. Vertiefende Erkundungen und Untersuchungen im Zuge der Baugrubenherstellung und des Baugrubenaushubs. 14.11.2003
- (6) CDM Jessberger Leipzig: Geotechnischer Bericht nach DIN 4020, Hauptuntersuchung Marktgalerie Leipzig. 08.06.2001
- (7) Kleffner, H.-J. und R. Maidl: Baugrundtechnische Herausforderungen beim Bau des City-Tunnels Leipzig im Schildvortrieb. Vorträge der Baugrundtagung 2004 in Leipzig. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. Verlag Glückauf GmbH (im Druck)