

Crossrail - Eine neue Verbindung durch Londons Unterwelt

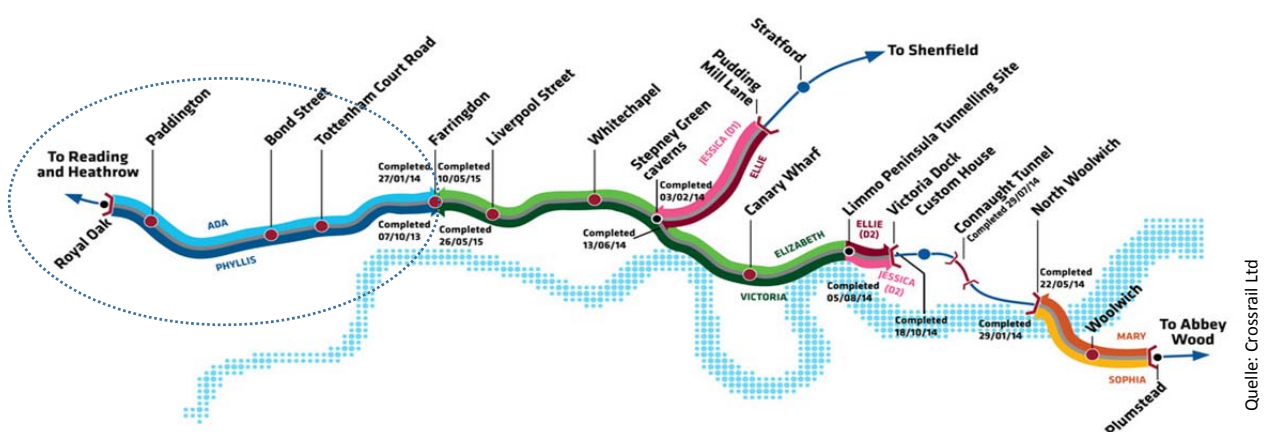
Dipl.-Ing. Christoph Stieler - Wayss & Freytag Ingenieurbau AG

Die Konstruktion von Tunnelbauwerken im Innenstadtbereich stellt immer eine besondere Herausforderung dar. Dies gilt auch für die Crossrail-Tunnelvortriebe im Herzen von London. Wenn auch die geologischen Eigenschaften des London Clays im Sinne des Tunnelvortriebs als gutmütig und relativ leicht beherrschbar einzuschätzen sind, so sind die städtischen Randbedingungen umso herausfordernder: Theater, High-End-Wohngebäude, renommierte Tonstudios und international bekannte, historische und moderne Bauwerke zeichnen die Londoner Innenstadt aus. Dazu kommen zahlreiche kreuzende U-Bahnlinien und Versorgungstunnel, bzw. Leitungen mit minimalen Abständen zu der neuen Tunneltrasse.

Die Arbeitsgemeinschaft BFK (BAM Nuttall – Ferrovial – Kier) wurde Anfang 2011 mit dem Projekt Crossrail C300/410 über einen Sondervorschlag beauftragt. Wayss & Freytag ist im Rahmen des BAM Konzerns in das Joint Venture BFK integriert.

Das Los C300/410 durchläuft das Londoner Zentrum auf einer Strecke von fast 7 km von Paddington im Westen bis Farringdon in der City of London. Hierbei wurde das rein maschinelle Los C300 (zwei Streckentunnel mit Querschlägen) mit dem rein bergmännischen Los C410 (Haltestellen Bond Street (BOS) und Tottenham Court Road (TCR)) kombiniert. Die angewandte „TBM first“-Strategie ermöglichte es dem Kunden Crossrail Ltd, den Bauablauf so zu optimieren, dass die Streckentunnel vor Herstellung der unterirdischen Haltestellen aufgefahren wurden: das aufwändige Durchziehen der beiden Tunnelbohrmaschinen durch die zuvor bergmännisch herzustellenden größeren Plattformtunnel im Bereich der Haltestellen konnte entfallen.

Im Herbst 2011 wurde die Arbeitsgemeinschaft BFK zusätzlich mit dem Los C435, Farringdon Station (FAR), durch Crossrail Ltd beauftragt. Eine weitere Optimierung des Gesamtprojektes wurde möglich. Unter anderem konnte so die Schildfahrt bis zur östlichen Bahnsteighalle an der Haltestelle Farringdon verlängert werden.



Quelle: Crossrail Ltd

Crossrail Tunnel in London (blau: Los C300/410)

Die parallelen Streckentunnel haben eine Gesamtlänge von jeweils 6.850 m und einen Innendurchmesser von 6,2 m. Die Firma Herrenknecht wurde mit der Lieferung von zwei Erddruck-

Tunnelbohrmaschinen (EPB) beauftragt, die auf der Baustelleneinrichtungsfläche Westbourne Park montiert und dann aufgrund der beengten Platzverhältnisse mit Schwerlasttransportern zum Startschacht am Royal Oak Portal transportiert wurden. Von dort aus machten sich beide TBMs auf ihre Reise durch den Londoner Untergrund. Der Materialabtransport erfolgte im Tunnel und den angrenzenden Oberflächen-bereichen mit Förderbändern. Auf einer baustelleneigenen Bahnverladestelle wurde der Abraum in Züge verladen und in den Osten von London transportiert. Dort wurde das Material weiter auf Schiffe verladen und wird nun für die Einrichtung des „Wallasea Eiland Wild Coast Project“ – ein einmaliges Wildreservat im Bereich der Themsemündung - genutzt. Alle Materialanlieferungen zu den Tunnelbohrmaschinen wurden mit 900mm Schmalspurzügen und zweiachsigen 40t Lokomotiven mit hydrostatischem Antrieb realisiert.



Quelle: BFK

Transport der TBMs zum Startschacht

Im Fertigteilwerk Old Oak Common stellte das Joint Venture in Eigenproduktion die ca. 10.000 Tübbingringe her, wobei jeder 1,60m breite Tübbingring aus sieben Segmenten plus einem kleinen, keilförmigen Schlussstein besteht. Pro Tag wurden in der Standfertigungsanlage 20 Ringe hergestellt. Die Betonrezeptur wurde auf die spezifischen Anforderungen an Lebensdauer und Brandschutz abgestimmt: Stahlfasern zur Bewehrung und Polypropylen Fasern als Brandschutz. Für statisch höher beanspruchte Tunnelabschnitte wurden Sondertübbinge mit zusätzlicher Stabstahlbewehrung hergestellt. Alle Tübbinge wurden per LKW zur etwa 16km entfernten Baustelle gebracht.

Die Bettung der Tübbinge erfolgte mit einem 2-Komponenten Mörtel, bei dem die beiden Komponenten Suspension (A) und Beschleuniger (B) erst unmittelbar vor dem Injizieren im Bereich des Schildschwanzes der TBM vermischt werden. Die hohe Frühfestigkeit von bis zu 1MPa bereits nach 12h hat sich im dichtgelagerten London Clay gut bewährt.

Die oben erwähnte Optimierung des Bauablaufs ließ eine Verlängerung der Schildfahrt bis zur östlichen Haltestelle Farringdon zu. Gleichzeitig konnte der Bauablauf der Haltestellen jedoch nicht

so an die neue TBM-Ankunft angepasst werden, dass die TBMs ohne immense Zusatzkosten innerhalb der Haltestelle hätten demontiert werden können. In einem gemeinsamen Entscheidungsprozess mit dem Auftraggeber Crossrail wurde daher beschlossen, die beiden Tunnelbohrmaschinen im Boden außerhalb des eigentlichen Tunnelquerschnittes zu „parken“ und dauerhaft einzubetonieren. Die Demontagekosten hätten andernfalls die durch den Rückkauf generierten Erlöse bei weitem überschritten. Die Nachläufer beider TBMs wurden dagegen in den beiden Tunnelröhren teildemontiert, zum westlich davon liegenden Schacht Fisher Street zurückgezogen und dort geborgen.



Quelle: BFK

Fertigteilverwerk Old Oak Common

Durch die Kombination aller drei Bauabschnitte und die „TBM-first Strategie“ mussten die mit den TBMs aufgefahrenen Tübbingtunnel im Bereich der Haltestellen BOS, TCR und FAR nach Abschluss der Vortriebsarbeiten auf das größere Querschnittsprofil der Plattformtunnel der Haltestellen aufgeweitet werden. Die großen Querschnitte mit einem Durchmesser von 10,50m lassen sich unter den gegebenen Randbedingungen (Setzungen und Verformungen) eigentlich nur mit einem Pilotstollen auffahren – die „TBM-first“ Strategie konnte hierzu optimal genutzt werden: temporäre 1,0m breite Ringe im „TBM-Pilottunnel“ entsprachen der vom Bauherrn vorgegebenen Abschlagslänge.

Für den Abbruch der temporären Betonsegmente und das Aufweiten auf den großen Plattformquerschnitt wurden Tunnelbagger vom Typ Liebherr 944 eingesetzt. Eines der Tunnelförderbänder der Streckentunnel blieb solange in Betrieb, dass nahezu der gesamte Aushub der Plattformtunnel über das Band abtransportiert werden konnte. Auf diese Weise wurden der Londoner Innenstadt unzählige LKW-Fahrten erspart.

Die Außenschale, Abdichtungsmembran und Innenschale sowie die Brandschutzschicht der bergmännisch erstellten Abschnitte wurden vollständig im Spritzverfahren (Sprayed Concrete

Lining/SCL) aufgetragen. Die Bewehrung der Außen- und Innenschale erfolgte dabei ausschließlich mit Stahlfasern.

Noch vor der Durchfahrt der TBMs wurden sogenannte „Wrap-Arounds“, kurze Quertunnel an beiden Plattfortuntunneln - Bond Street und Tottenham Court Road – in Spritzbetonbauweise aufgeföhren. Diese hatten im Bereich der Bahnsteige bereits die endgültige Größe und wurden nach Fertigstellung mit einem kostengünstigen Luftporenbeton wiederverfüllt. Diese Maßnahme gewährleistete nicht nur die ungestörte TBM-Durchfahrt, sondern später auch ein sicheres Starten der Aufweitungsarbeiten für die Plattfortuntunnel.

Sechs Querschläge zwischen den Streckentunneln sowie verschiedene Technikverbindungen wurden ebenfalls bergmännisch hergestellt; Stahlsegmente im Tübbingtunnel ermöglichten den Zugang.



Quelle: BFK

Herstellung der Plattfortuntunnel

Als Vorabmaßnahmen wurden an den Haltestellen BOS, TCR und FAR zahlreiche Schächte mit einem Innendurchmesser von rund 4,0m im „Segmentlining-Verfahren“ bis in Tiefen von zirka 20 m abgeteuft. Horizontale, verrohrte Bohrungen (Tube-à-Manchette/TAM-Rohre) in einem dichten Netz etwa 2m über der endgültigen Tunnelfirste der Spritzbeton-Tunnel wurden zur Durchführung von Hebungsinjektionen verwendet. Bevor die bergmännischen Tunnel in Spritzbetonbauweise aufgeföhren werden konnten, wurde eine erste Hebungsinjektion (Nullverpressung) durch die TAM Rohre durchgeführt, um den anstehenden „London Clay“ komplett zu sättigen. Hunderte Messpunkte an der Oberfläche aller drei Haltestellen wurden mit einem vollautomatischen System überwacht, um so auf mögliche Setzungen reagieren zu können.

Im Anschluss an die Vortriebsarbeiten der Streckenvortriebe und parallel zu den Stationsarbeiten erfolgte der Einbau der Betonsohle (First-Stage-Concrete), die als Basis für die Fahrbahnplatten dient. Aufgrund kurzer Streckenlängen und sehr beschränkten Zugangsmöglichkeiten erfolgte der Einbau der Sohle mit konventionellen Methoden.