

Schildvortrieb – die Natur stand Pate

Für die Methode des Schildvortriebs stand die Natur Pate, denn der Tunnelbohrer arbeitet ähnlich wie der so genannte Schiffsbohrwurm. Der Wurm ist eigentlich eine Muschel und bohrt sich mit der Schale vorwärts durch die Erde. Den gebohrten Tunnel verstärkt er dann mit eigenen kalkhaltigen Ausscheidungen. Die Schildvortriebsmaschine funktioniert nach demselben Prinzip: Vorne gräbt sie den Tunnel mit ihrem Schneidrad bestückt mit Schälmessern und Meißeln, hinten baut sie die Röhre mit Ringen aus Stahlbetonbauteilen, den Tübbingen. Um sich vorwärts zu bewegen, drückt sie sich am gerade montierten Betonring ab, schiebt sich nach vorn und gräbt den Tunnel dabei weiter, bis hinten der nächste Ring Platz findet.

Das Schneidrad zermahlt, zertrümmert und zerkleinert das Erdreich an der sogenannten Ortsbrust. Dieser Begriff stammt aus der Bergmannssprache und bezeichnet den „Tatort“, an dem der Stollen vorwärts gegraben wird. Der abgebaute Boden wird mit einer Bentonit-Suspension zu einem pumpfähigen Gemisch vermengt und durch eine mitgeführte Rohrleitung durch die fertig gestellte Tunnelröhre zurückbefördert. In der HafenCity werden Erdreich und Bentonit wieder getrennt, das Bentonit wird wiederverwendet und durch ein weiteres Rohr erneut zur Maschine geleitet. Damit die Ver- und Entsorgungsleitungen immer vorhanden sind, müssen die Rohre und elektrischen Leitungen zur HafenCity während des Tübbingeinbaus verlängert werden.

Die Ortsbrust ist ständigem Druck ausgesetzt: Von oben lasten Boden und Grundwasser auf ihr, und in der Waagerechten drückt der Schildvortrieb. Damit die Erdmassen unter solchem Druck nicht nachgeben und einbrechen, wird die Ortsbrust mit einer Stützflüssigkeit – wie beim Schlitzwandverfahren – stabilisiert. Dazu verwendet man hier wiederum die Bentonit-Suspension.

Ultraschall ersetzt die Augen

In der „Kommandozentrale“ im vorderen Teil der Maschine sorgen die Techniker für einen reibungslosen Ablauf und stimmen die verschiedenen Arbeitsschritte aufeinander ab. Sie bedienen sich dabei vieler Messmethoden wie zum Beispiel Ultraschall, die die fehlenden Augen der Riesensäge ersetzen. Die Techniker senden Schallwellen in das Gestein vor der Maschine und empfangen Reflexionen, die ihnen ein genaues Bild des Bodens liefern. Mehr als ein Tagewerk weit schauen sie so voraus und wissen deshalb immer genau, was sie dort erwartet. Ändert sich das Gestein oder liegt ein dicker Brocken vor dem Bohrer, so müssen sie vielleicht die Schälmesser wechseln. Hat der Gesteinsbrocken mehr als 50 Zentimeter Durchmesser, müssen sie sogar selbst in den Kopf der Maschine einsteigen und den „Querulanten“ durch das Schneidrad hindurch im Handbetrieb so weit zerkleinern, dass die Rollmeißel und Schälmesser wieder greifen und die Reste verarbeiten können.

Die Tübbinge werden für das U4-Bauprojekt so genau berechnet und hergestellt, dass der Tunnelring insgesamt nur maximal 10 Millimeter vom festgelegten Maß abweichen darf, damit der Tunnel passgenau seine Strecke einhält. Eine kleine Lorenbahn bringt die 3,8 Tonnen schweren Stahlbetonbauteile zur Maschine. Hier hebt sie ein Kran auf ein Förderband, das die Tübbinge zum Erektor transportiert. Dieser riesige Arm stemmt die Stahlbetonteile in einer genau festgelegten Reihenfolge an die Wand.

Ring für Ring entsteht die Röhre

Ein Ring im Tunnel besteht aus sechs wasserundurchlässigen Betonteilen und einem Schlussstein, wobei die montierten Tübbinge zusätzlich mit einer Dichtung umgurtet sind. Die Maschine verschraubt die Bauteile automatisch. An jeden Ring schließt sich ein nächster an. Pro Ring braucht sie ungefähr vier Stunden. Ist sie an ihrem Ziel angekommen, ist auch die Röhre mit den Tübbingen fertig ausgekleidet.

Nachdem die Tunnelbohrmaschine den Anleger Jungfernstieg zum ersten Mal erreicht hat, wird sie für ihren zweiten Einsatz durch den Tunnel in die HafenCity zurückgezogen und in die Startposition für die zweite Röhre gebracht. Weil der erste Tunnel bereits mit Tübbingen ausgekleidet ist, passt zwar die Maschine, nicht aber mehr das Schneidrad hindurch. Also wird es abmontiert, auf dem Anleger Jungfernstieg herausgehoben und oberirdisch in die HafenCity zurückgebracht. Hier werden Maschine und Schneidrad dann noch einmal an den Start gehen und den zweiten Tunnel graben.

Schildvortrieb vor 200 Jahren: Pioniere des Tunnelbaus

Erfunden hat den Schildvortrieb der französische Ingenieur Sir Marc Isambert Brunel (1769 – 1849) Anfang des 19. Jahrhunderts. Der Ingenieur konstruierte eine Bauweise – vorne graben und hinten sichern –, die er sich 1818 patentieren ließ, und entwickelte mit ihr ein ehrgeiziges Projekt: Mitten in London wollte er einen Tunnel im Schildvortrieb unter der Themse hindurch bauen. 1843 schließlich wurde der 400 Meter lange Tunnel mit zwei Röhren nach fast 20-jähriger Bauzeit eröffnet. Heute unterquert die U-Bahn-Linie East London Line in dem renovierten Tunnel die Themse.

Tunnelausbau mit Ziegelwänden

Wie funktionierte der Schildvortrieb von Marc Brunel? Der Ingenieur hatte einen rechteckiges Schild mit 12 nebeneinander stehenden Stahlrahmen und drei übereinander liegenden Arbeitsbühnen konstruiert. Der Schild war dadurch in 36 Kammern unterteilt, in denen je ein Tunnelarbeiter arbeiten konnte. Vor dem Schild befanden sich zur Abstützung der Ortsbrust horizontale

Holzbohlen in Breite der Kammern. Jeder Arbeiter entfernte jeweils eine Bohle, grub ungefähr einen halben Meter tief ins Erdinnere, setzte die Bohle anschließend wieder als Stützung in die Wand. Wenn alle Bohlen um den „halben Meter“ vorgerückt waren, konnte der Schild ebenfalls einen halben Meter weiter nach vorn geschoben werden. Dann begann die Arbeit erneut. Nach dem Vorrücken kleideten Maurer sofort die 50 Zentimeter lange neue Tunnelstrecke mit Mauerwerk aus. Bei dieser Konstruktion war der „halbe Meter“ unmittelbar hinter dem Schild bis zum Erhärten des Mauerwerks nicht abgestützt, so dass hier häufig Wasser eindrang und Arbeiter wie Arbeit gleichermaßen bedrohte. Zwischenfälle waren an der Tagesordnung.

Im Lauf des 19. Jahrhunderts änderten sich die Schilde, die Betriebsart – die Dampfmaschine war entwickelt worden – und die Auskleidungen des Tunnels: 1869 setzten die Ingenieure James Henry Greathead und Peter William Barlow beim Bau eines zweiten Tunnels unter der Themse bereits einen kreisrunden Schild ein. Und zugleich verwendeten sie hier zum ersten Mal gusseiserne Tübbinge zur Sicherung des neuen Tunnels.

Druckluft gegen Wassereinbrüche

In den 80er Jahren des 19. Jahrhunderts wurde ein neues Verfahren entwickelt und für den Schildvortrieb nutzbar gemacht: die Verwendung von Druckluft. Um Wassereinbrüche zu verhindern, die den Bau des ersten Themse-Tunnels so schwer gemacht hatten, setzte man nun die gesamte Baustelle unter einen Überdruck: So konnte kein Wasser von außen in die Baustelle eintreten. Beim Bau der Londoner U-Bahn 1886 bediente man sich als eines der ersten Male des Druckluft-Schildvortriebs. Damit die Arbeiter in dem höheren Luftdruck arbeiten konnten, mussten sie in einer Druckkammer an die höheren Werte angepasst werden. Dabei war der Weg zurück die gefährliche Etappe: Die Dekompression, also die Gewöhnung vom überhöhten an den atmosphärischen Druck, durfte nicht zu schnell passieren. Dann nämlich konnten sich Stickstoffbläschen im Körper bilden, die nicht selten zu Gelenkschmerzen, bedrohlichen Atemlähmungen und manchmal sogar bis zum Tod führten.

Flusseisen-Tübbinge

Anfang des 20. Jahrhunderts plante man auch in Hamburg eine Fluss-Unterquerung – die der Elbe: bereits 1907 begannen die Bauarbeiten für den Alten Elbtunnel im Schildvortrieb unter Druckluft, 1911 wurde er fertiggestellt. Damals war der Tunnel mit den beiden Röhren und Fahrstühlen für Pferdekutschen schlichtweg die Sensation. Beide Röhren unter der Elbe hindurch sollten, so die amtliche Anforderung, eine Höhe von sechs Metern haben: „für eine Kutsche mit aufgestellter Peitsche“. 426,5 Meter ist jede der beiden Röhren des Tunnels lang. Zur Sicherung wurden – wie heute – Tübbinge eingesetzt, die damals noch aus Flusseisen bestanden und vernietet wurden.

Um die gefürchteten Wassereinbrüche beim Bau des Tunnels zu verhindern, verwendeten die Ingenieure hier Druckluft von 2,6 bar. Allerdings musste man erst lernen, mit ihr und der Dekompression umzugehen: Fast 700 der 4400 Arbeiter hatten mit der Druckluftkrankheit, heute sagt man auch Taucherkrankheit, zu kämpfen, drei starben sogar an ihr. Mit dabei waren immer Tiere, weil die schneller auf Luftveränderungen reagieren. Acht Stunden Tunnelbau in stickiger heißer Luft unter Überdruck und dann 90 Minuten in der Dekompressionskammer: Es dauerte, bis die Arbeiter wieder das Tageslicht sahen. Extrem harte Arbeit, die mit einer monatlichen Druckluft-Zulage von 100 Mark sehr gut bezahlt wurde.

Schildvortrieb bei der HOCHBAHN

Ende der fünfziger Jahre wurde der Schildvortrieb in Hamburg auch für den U-Bahn-Bau eingesetzt. 1955 beschloss der Senat die Erweiterung des Streckennetzes vom Jungfernstieg über Meißberg, Hauptbahnhof Süd und Lübecker Straße bis nach Wandsbek-Gartenstadt. Die Arbeiten begannen 1956. Zwischen Hauptbahnhof und Steinstraße musste der Tunnel unter den Bahngleisen gebaut werden, um den Eisenbahnbetrieb nicht zu beeinträchtigen. Deshalb setzte man hier 1958 eine Schildvortriebsmaschine ein: Unterirdisch grub ein gewaltiger Schild von 6,40 Metern Durchmesser die beiden Tunnelröhren unter dem Hauptbahnhof hindurch. Die Röhren bestehen aus Beton-Tübbing. 1963 wurde die gesamte Strecke bis nach Wandsbek-Gartenstadt in Betrieb genommen.

Auch beim Bau der Linie U2 ab 1965 wurde ein längerer Abschnitt im Schildvortrieb realisiert: Eine „Riesenraupe“ bohrte die Verbindung zwischen Berliner Tor und Schlump tief unter der Erde und der Alster hindurch. Hier bestehen die Röhren jedoch aus Guss-Eisen-Tübbing. Wie beim Alten Elbtunnel benutzte man Druckluft, um den Tunnel vor Wassereinbruch zu sichern. Die Bauleute gewöhnten sich in Schleusen an den jeweiligen Druck. Medizinische Untersuchungen hatten im Lauf des Jahrhunderts mehr Aufschluss über die Taucherkrankheit geliefert und zu vielfältigen Sicherheitsvorkehrungen geführt: 1935 bereits ist die erste Verordnung über Arbeiten unter Druckluft in Kraft getreten und seitdem mehrfach überarbeitet und angepasst worden.

Startrampen des Tunnelbohrers befanden sich damals am Georgsplatz/Hauptbahnhof Nord und in der Karolinenstraße. Nur die Haltestelle Jungfernstieg war noch einmal eine offene Baustelle. Die Bauleute hatten sie mit Spundwänden in der Alster „trockengelegt“. 1973 schließlich wurde sie spektakulär mit fünf übereinander liegenden Ebenen – Straßenverkehr, Alsterschiffahrt, U1, S-Bahn und U2 – eröffnet.

Heute im Einsatz: Hydroschilde

Die Maschinenbauer experimentierten weiter. Welche Möglichkeiten, so fragten sie, gibt es denn neben der Druckluft noch, um den Tunnelbau vor eindringendem Wasser zu schützen? In den 60er Jahren schließlich fanden sie eine Lösung: Jetzt wurden die ersten Hydroschilde erprobt. Sie verwenden, statt die gesamte Baustelle unter Überdruck zu setzen, eine Stützflüssigkeit, um die Ortsbrust zu stabilisieren und das Wasser fernzuhalten.

Das Schneidrad bewegt sich in einer mit Stützflüssigkeit gefüllten Kammer. Der Abraum wird mit der Flüssigkeit vermischt und abgepumpt. In der Regel benutzt man dafür eine Bentonit-Suspension.

Viel hat sich getan in den fast 200 Jahren, seit Brunel seine geniale Idee des Schildvortriebs entwickelte. Beim Bau der U4 kommt heute ein Hydroschild zum Einsatz, der Aushub wird durch Rohre nach draußen geleitet, die Beton-Tübbinge sind maßgeschneidert und werden von der Maschine automatisch an die richtige Stelle gesetzt. Die Arbeit geschieht nun nicht mehr mit Hacke und Schaufel im stickigen Tunnel, dafür dirigieren Bauleute die gigantische Vortriebsmaschine und hinterlassen fertige und fast staubfreie Röhren. Die „Riesenraupe“ ist seit ihren Anfangstagen nun leiser, schneller, sauberer und sicherer geworden.

Weitere Informationen zum U4-Projekt auch auf der U4-Aktionssite unter www.hochbahn.de

Kontakt

Christoph Kreienbaum – Pressesprecher

Tel.: 040 3288-2121 – Mobil: 0178 628 2121