



Der alte Hamburger Elbtunnel

vom Fachbereich Bauingenieurwesen der Fachhochschule Potsdam
zur Erlangung des Leistungsnachweises im Ingenieurprojekt:
„Bildarchiv der Philipp Holzmann AG“

Finn Glowatzki und Maksym Kostkiewicz

Gutachter: Prof. Dr. phil. A. Kahlow

Potsdam, Januar 2011

Ingenieurprojekt FH Potsdam

„Holzmann-Archiv“

Der alte Hamburger Elbtunnel

Geschichte

Im November 1906 wurde der Bau eines Tunnels unter der Elbe, als Verbindung der Stadtteile St. Pauli und den Industrie- und Hafengebieten Steinwärder und Kuhwärder, beschlossen. Der Hamburger Bausenat wollte die zu diesem Zeitpunkt bestehende Fährschiff-Verbindung für den Personenverkehr und die landfeste Verbindung durch eine am oberen Ende der Seeschiffhäfen existierende Brücke für den Materialverkehr ablösen. Die Effizienz der Fähren und der Brücke waren unzureichend für den Personen- und Materialtransport und sollten einer besseren, wirtschaftlicheren Lösung weichen.

Zum damaligen Zeitpunkt gab es mehrere Lösungsvorschläge für dieses Unterfangen.

Eine vorgeschlagene Brücke wäre aufgrund der vorhandenen Platzverhältnisse nicht wirtschaftlich gewesen. Ebenso hätte sie dem Wunsch des Senats, einen reibungsfreien Schiffsverkehr auf der Elbe herzustellen, nicht genüge geleistet.

Der Vorschlag größerer Fährschiffe hätte zwar den Personenverkehr besser regeln können, wäre aber der Forderung nach Entlastung des Verkehrs auf der Elbe ebenso nicht nachgekommen.

Dem Senat war es wichtig eine andauernde, beständige Verbindung für den Personen- und Materialverkehr, sowie einen reibungsfreien, nicht durch kreuzende Fähren behinderten, Schiffsverkehr herzustellen.

Die Lösung aller Probleme brachte dann - nach mehrjährigen Verhandlungen - der neu aufgegriffene Vorschlag des damaligen Baurats Wendemuth mit einem Tunnel unter der Elbe.

Es gab bis dato nur geringe Erfahrungen im Bereich des Unterwassertunnelbaus in Deutschland und somit sollte der Tunnel zu einem Meilenstein in der Geschichte der deutschen Ingenieurbaukunst werden.

Erste Unterwassertunnel in Deutschland, England und Amerika

Neben bereits bestehenden Unterwassertunneln in Amerika und England gab es auch in Deutschland damals schon eine Reihe kleinerer Projekte in diesem Bereich des Bauwesens.

in Deutschland:

- Spreetunnel Stralau in Berlin

Von 1895 bis 1899 wurde dieser Tunnel, nach den Plänen von C. Schwebel und Wilhelm Lauter, im bergmännischen Schildvortriebverfahren von der Gesellschaft für den Bau von Untergrundbahnen GmbH erbaut. Teilhaber waren unter anderem die AEG, die Deutsche Bank und Philipp Holzmann & Co. Er war der erste Unterwassertunnel und der erste im Schildvortriebverfahren errichtete Tunnel Deutschlands.

Der Tunnel ist 454 Meter lang (die gesamte Tunnelstrecke mit Rampen belief sich auf 582 Meter), 4 Meter breit und der Scheitelpunkt der Tunnelstrecke liegt in 12 Meter Tiefe unter der an dieser Stelle 195 Meter breiten Spree.

in England:

- Thames Tunnel in London (1825-1841)

Dieser erste Verkehrstunnel unter einem Fluss überhaupt wurde unter der Themse in London zwischen Rotherhithe und Wapping von 1825 bis 1841 mit einer zwischenzeitlichen Unterbrechung von sieben Jahren hergestellt. Er wurde im dem von Marc Isambard Brunel erfundenen Schildvortriebsverfahren hergestellt. Am 25.

März 1843 wurde er für den öffentlichen Verkehr freigegeben. Für Fußgänger wurde er nur bis 1865 genutzt, danach wurde der Thames Tunnel von der East London Railway als Teil der London Underground umgenutzt.

- Blackwall-Tunnel (1897)

Der Blackwall-Tunnel besteht aus zwei Röhren und ist ein reiner Straßentunnel. Er unterquert die Themse und verbindet die beiden Stadtbezirke London Borough of Tower Hamlets und London Borough of Greenwich. Die erste Röhre wurde im 19. Jh. nach Entwürfen von Alexander Binnie gebaut und im Jahr 1897 eröffnet. Die zweite Röhre wurde erst im späteren 20. Jh. ausgeführt und im Jahr 1967 in Betrieb genommen.

Am Bau der ersten Röhre war unter anderem James Henry Greathead als Berater beteiligt, er gilt als einer der Pioniere des Schildvortriebes. Um Platz für die Baustelle zu schaffen mussten 600 Häuser weichen und ihre Bewohner umgesiedelt werden. Der Tunnel war bei seiner Eröffnung mit 1344 Metern der längste Tunnel der Welt, er wurde im Schildvortriebsverfahren unter Druckluft gebaut. Die Baukosten für den Tunnel betrugen damals 1,4 Millionen Pfund.

in Amerika:

- Washington Street Tunnel (1867–1869)

Der erste amerikanische Verkehrstunnel unter dem Chicago River wurde nach zwei Jahren Bauzeit, unter der Leitung von J.L. Lake, am 1. Januar 1869 eröffnet. Der Tunnel war 1605 Fuß lang und kostete 517.000 US-Dollar. Im 1900 Jh. wurde das Dach des Tunnels durch auflaufende Schiffe zerstört und man beschloss unter der Leitung von George W. Jackson einen neuen, größeren Tunnel gleich unter den Alten zu bauen. Dieser neue Tunnel, nach den Originalplänen von J.L. Lake gebaut, wurde im Jahr 1911 eröffnet. Bis zum Jahr 1953 war der Tunnel noch in Benutzung.

Dem Washington Street Tunnel folgte 1905 in Boston die ca. 0,8 km lange Unterquerung des Hafens für die „East Boston Line“ ebenfalls als eines der ersten Projekte auf dem amerikanischen Kontinent im Unterwassertunnelbau.

Die Bauausführung

Als planende und ausführende Firma hatte die Holzmann AG schon ein paar Jahre zuvor den Stralauer Tunnel in Berlin als einen Unterwassertunnel ausgeführt und so war es möglich auf einige Erfahrungswerte zurückzugreifen, wenngleich die Größenverhältnisse beider Vorhaben immens voneinander abwichen.

Der Bau des Elbtunnels unterteilt sich in drei verschiedene Bauabschnitte und Bauverfahren.

Der Schacht St. Pauli erwies sich als verhältnismäßig einfaches Bauvorhaben, wohingegen der Schachtbau Steinwärder sich durch die Bodenbeschaffenheit dort komplizierter gestaltete. Der Tunnelvortrieb war der schwierigste Teil dieser drei Aufgaben.

In der Tunnelstrecke findet sich bei St. Pauli am nördlichen Ufer in der Tiefe ein tertiärer Ton mit überlagerten sandigen Mergelschichten vor. Der dort vorgefundene Ton lag teilweise so fest, dass er gesprengt werden musste. Auf ein Drittel der Tunnellänge fällt die Tonschicht steil ab und wird dort von diluvialen und alluvialen Anschwemmungen überdeckt. Diese bestehen aus feinem und groben Sand, die mit größeren Steinen, Kiesschichten, Holz-, Kohlen-, und Pflanzenresten durchsetzt sind.

Nach den vorgefundenen Bodenverhältnissen konnte der Bau des Schachtes St. Pauli ohne besondere Hilfseinrichtungen mittels Wasserhaltung durch Pumpen ausgeführt werden. Für den Schachtbau Steinwärder und für den Tunnelvortrieb musste dagegen, aufgrund zu hoher Wasserdrücke, mit Druckluft gearbeitet werden. Die gesamte Installation für den Druckluftvortrieb wurde deshalb nach Steinwärder gelegt und später der Vortrieb der beiden Tunnelröhren nur von dieser Seite des Elbufers aus vorgenommen.

Baugeschehen/Bauabläufe

- Schacht Steinwärder

Die Bauarbeiten begannen mit dem Erdaushub der Baugrube bis auf den Grundwasserstand. Parallel zu dem Erdaushub wurde die für die späteren Druckluftarbeiten notwendige Kessel- und Maschinenanlage in ihren Einzelteilen gleich neben der Baustelle montiert. Aufgrund der vorhandenen Bodenverhältnisse war ab Erreichen des Grundwassers eine Fortführung der Schachtabteufung unter Wasserhaltung durch Pumpen bald nicht mehr möglich und der bereits vorgefertigte und zum Teil bereits im Schacht montierte Senkkasten, der sogenannte Caisson, kam zum Einsatz.

Die den Schachtabmessungen angepasste Caissonschnaide wurde noch während der Erdaushubarbeiten unter Pumpenbetrieb in den Schacht montiert. Die Schnaide bestand aus Stahlguss und wurde aus Einzelteilen zusammengelötet.

Drei Meter oberhalb der Schnaide wurde ein Rost aus sich rechtwinklig kreuzenden Gitterträgern auf Konsolen befestigt, die am Caissonmantel angenietet waren. Das Rost diente der Aussteifung der Schachtwände bei späterer Absenkung und wurde am Ende der Abteufung in die Sohle des Schachtes mit einbetoniert, um diese zu einer Stahlbetonkonstruktion zu machen.

Die zwei Meter starke Schachtwand entstand zwischen dem Caissonmantel und einem aufgesetzten Blech mit einer innen angeklebten, wasserdichten Schicht getranter Leinwand.

Als die Wasserhaltung durch Pumpen nicht mehr möglich war wurde der Senkschacht mit Hilfe eines eisernen Deckels luftdicht verschlossen. Um die Druckluftinstallation auch beim späteren Schildvortrieb einfach nutzen zu können, wurde der Deckel in einem Abstand von zehn Metern oberhalb der Schnaide angebracht. Zum Ausgleich des entstehenden Druckes durch die komprimierte Luft wurde auf dem Deckel Sand als Ballast aufgebracht.

Durch Abgraben und Ausschleusen des Bodens unter gleichzeitiger Höherbetonierung der Schachtwandung, wurden die Arbeiten jetzt unter Druckluft fortgesetzt. Um bei ungleichmäßigen Abteufungen Rissbildungen zu vermeiden, wurden in die Schachtwand senkrecht, waagrecht und kreuzweise angeordnete Bewehrungsstäbe eingelegt.

Während der Ausschachtung musste der Druck im Caissoninneren mit zunehmender Tiefe immer weiter gesteigert werden und „er betrug, als die Ausschachtungsarbeiten am 2. September 1908 die projektierte Tiefe von 28 m erreicht hatten, 2,6 atü, was immerhin dem Druck heutiger Lkw-Reifen entspricht“, so Witthöft.

Mit Beendigung der Erdaushubarbeiten und der Fertigstellung der Schachtwandung ging es daran, die Sohle herzustellen. Die Sohle sollte aus einer 4,25 m starken Gewölbekonstruktion bestehen, die später einem Grundwasserdruck von 25 000 kg/m² standhalten musste. Die Schachtsohle erhielt zuerst eine dünne Betonschicht als Ausgleichsschicht und danach eine zwei Millimeter starke Bleihaut, die mit den eisernen Seitenwänden wasserdicht verlötet wurde. Jetzt erst konnte die Ausbetonierung der Sohle als Gewölbe folgen. Als erstes wurde ein runder Betonkörper als Ganzes in der Mitte positioniert, um dann rund um diesen Betonkörper eine Schalkonstruktion, den Windungen eines Schneckenhauses ähnlich, auszulegen und auszubetonieren. Auf diese Weise lagen die Fugen theoretisch dort, wo sie auch bei einem Gewölbe liegen müssen.

Während dieser Arbeiten musste der Luftdruck innerhalb des Caissons zu dem Wasserdruck beständig in Gleichgewicht gehalten werden, da stets die Gefahr eines Durchbruches der bleiernen Dichtungsschicht bestand. Witthöft ergänzt dazu: „Zur Beobachtung dieses sensiblen Gleichgewichts zwischen Druckluft und Wasserdruck war in der Mitte der Betonsohle ein Brunnenrohr offen gelassen worden, in dem der Wasserstand Millimeter genau abgelesen werden konnte“.

Erwähnenswert an dieser Stelle ist, dass die gesamte 12 000 Tonnen schwere Stahlkonstruktion während der Arbeiten an der Sohle die ganze Zeit allein auf dem von der Luft geschaffenen Polster ruhte. Als Schutz gegen ein Herabstürzen des Schachtes bei plötzlichem Druckverlust wurden unter die Schneide ein paar Unterfangungen aus Beton positioniert.

Als die Betonsohle fertiggestellt war hielt man den Druck im Caisson bis zum vollständigen Abbund vorerst konstant. Nachdem der Beton soweit ausgehärtet war, wurde das in der Sohle eingelassene Brunnenrohr verschlossen und der Druck im Inneren ganz allmählich verringert, bis der Ausgleich wieder hergestellt war.

Der erste Abschnitt des Tunnelbaus war damit erfolgreich beendet.

- Schacht St. Pauli

Bei den im Vorfeld der eigentlichen Schachtarbeiten stattgefunden Bohrungen fand man eine vier bis sechs Meter mächtige sandige Mergel- und Lehmschicht vor. Diese Schicht bereitete beim Schachtbau insofern Sorgen, da sie stark wasserführend war

und bei der Abteufung des Schachtes zu Problemen hinsichtlich der Wasserhaltung geführt hätte. Zur Sicherung der Baugrube gegen Wassereinbruch erfolgte deshalb die Herstellung eines bis in die feste Tonschicht reichenden Fangdammes aus Beton als massive Mauer. Die alte, sich in der Nähe befindliche Kaimauer wurde zu diesem Zweck acht Meter tief unterfangen und bis auf zwei unbedeutende Wassereinträge während der Herstellung, blieb die Baugrube in der gesamten folgenden Bauausführung völlig trocken und es konnte auf jeglichen Pumpeneinsatz verzichtet werden.

Nach der Fertigstellung des Fangdammes begann der eigentliche Bau des Schachtes. Primäres Ziel war es, die Schachtwand herzustellen. Als erstes wurde ein ringförmiger Schlitz von 2 ¼ m Breite und 28 m Tiefe mit Hilfe von Förderkränen rings um die Baustelle ausgehoben und mit Holz versteift. Nachdem der Schlitz ausgehoben war, wurde die Schachtwand mit Mauerklinkern von unten nach oben hochgezogen. Von außen wurde das Mauerwerk mit starken Asphaltplatten isoliert und nach Innen wurde der Rest des Schlitzes mit Stampfbeton verfüllt.

Nach dem Hochziehen der Wand bis auf Geländehöhe, wurde der im Inneren stehen gebliebene Erdkern ausgehoben und die Schachtsohle eingebracht. Bauleiter Stockhausen begründete das angewandte Verfahren so: „Die hier angewendete Bauweise hatte besondere technische und finanzielle Vorteile. Hätte man den Schacht in seinem gesamten Volumen mit einem Mal ausgehoben, so wären lange, teure und äußerst komplizierte Versteifungen notwendig gewesen, während sich so kurze Steifen in schon oft erprobter Ausführung bewährt hatten.“

Das Einbringen der Sohle ähnelt dem auf Steinwärder angewandten Verfahren. Es unterscheidet sich hier nur in der Art der Isolierung der Sohle. Durch eine doppelte Lage Asphalt-Isolierplatten, fest mit der Schachtwandung verbunden, wurde eine umfassende Dichtigkeit hergestellt.

Für die später in diesen Schacht mündenden Tunnelrohre wurde die Schachtwand an den betreffenden Stellen flanschartig verstärkt. Gegen möglicherweise eindringendes Grundwasser wurden die Öffnungen durch vorgesetzte Blendscheiben aus Backsteinmauerwerk verschlossen.

- Tunnelröhren Ost/West

Sobald die Druckluft nach Fertigstellung des Schachtes auf Steinwander abgelassen war und noch während der Phase der Erholung der Betonsohle, begannen die Vorarbeiten für den Tunnelvortrieb. Die nötigen Installationen zum Vortrieb montierte man unten auf der Sohle des Schachtes und die 120 Tonnen schweren Bohrschilde wurden außerhalb montiert. Nach fertiger Montage ließ man die Schilde in dreitägiger Arbeit in den Schacht hinab und brachte sie dabei gleich in ihre entsprechende Position. Zu guter Letzt wurde das Antriebssystem für den Vortrieb montiert, die Caissondecke wieder verschlossen und die Arbeiten unter Druckluft konnten fortgesetzt werden. Am Anfang wurde die Schachtwandung unter Zuhilfenahme von Sprengmaterial an den vorher bestimmten Stellen durchbrochen. Nachdem man die Durchbruchstelle sorgfältig mit der Tunnelwandung abgedichtet hatte, konnte der eigentliche Vortrieb des Bohrschildes, die Minierarbeit, beginnen.

Schon im Vorfeld wurden von der Firma Philipp Holzmann, die maßgeblich für den Tunnelvortrieb verantwortlich war, spezielle Kräfte für die Arbeiten im Schild ausgebildet. Von der Schnelligkeit der Arbeiter hing auch ganz entscheidend die Geschwindigkeit des Vortriebes ab. Aus Gründen der Sicherheit wurde zuerst der Osttunnel durchbrochen und einige hundert Meter vorgetrieben bevor schlussendlich auch im Westtunnel der Vortrieb begann.

Die bei diesem Unterwassertunnelbau angewendeten Techniken entsprachen zum Teil bis dato wenig erprobter oder sogar gänzlich neuer Methoden, die meisten entwickelt von der Firma Philipp Holzmann. Eine konstruktive Verbesserung war zum Beispiel die Tunnelverkleidung. Sie wurde nicht wie in England und Amerika aus Gusseisen, sondern aus flusseisernen Walzträgern hergestellt. Das Walzeisen hat den Vorteil, Biegespannungen besser aufnehmen zu können und somit die Gefahr des Bruches von Konstruktionsteilen zu minimieren. Bei einem Druckversuch testete man die Tunnelringe auf ihre Stabilität, indem man sie dafür um einen Meter zusammendruckte. Nach dem Versuch ließen sich trotz der starken Verformung keine nachteiligen Beschädigungen an den Konstruktionsteilen feststellen. Es war selbstverständlich eine beabsichtigte uberbeanspruchung der Konstruktion. Die später größte registrierte Formveränderung betrug am Ende etwa fünf Zentimeter.

Ein kompletter Tunnelring umfasst sechs Segmente, jedes Segment hat die Form eines I-Trägers. Hergestellt und geliefert wurden sie von der *Gutehoffnungshütte*, ein damaliger Aktienverein für Bergbau und Hüttenbetrieb (heute MAN AG). Da es sich

um ein Auftragsvolumen von 4500 Tonnen Stahl handelte, wurde für die Herstellung der Segmente eigens eine spezielle Werkstatt gebaut, in der die einzelnen Stücke gewalzt, vorgebohrt und für den späteren Verbau mit Stoßschuhen an den Enden versehen wurden.

Beim Einbau wurden die Segmente der aufeinanderfolgenden Ringe abwechselnd gegeneinander versetzt, so dass es später möglich sein würde, beschädigte Teilstücke leichter auszutauschen.

An den in der Herstellung bereits angebrachten Stoßschuhen konnten die Segmente miteinander vernietet werden. Die entstandenen Fugen wurden dann im Nachhinein mit Bleiguss verdichtet und verstemmt, ebenfalls eine Neuerung, welche sich später sogar als äußerst wirksam herausstellte. Um die Segmente von außen gegen Rost zu schützen gab es hinreichende Überlegungen und Versuche mit verschiedenen Materialien. Da aber am Ende so gut wie alle durchgeführten Versuche zu keinem befriedigendem Ergebnis führten, kam man schließlich wieder zurück auf den Zementmörtel als alt-bewehrten Schutz. Alle Stücke wurden vor dem Einbau soweit vorgefertigt, dass die Arbeiter im Tunnel sie nur noch verlegen und vernieten mussten.

Für den Verbund entschieden sich die Bauleitenden, Nieten einzusetzen anstatt Schrauben, wie bisher gewohnt. Durchgeführte Versuche mit beiden Verbundmitteln zeigten, dass die Vernietung bezüglich der Dichtigkeit der Schraube wesentlich überlegen war. Die angewandte Methode war im Endeffekt zwar teurer, aber dafür auch sicherer.

Weiterreichende Überlegungen musste man sich dann zur Art der Vernietung im Tunnel selbst machen. Die beim Vernieten entstehende verbrannte Luft musste abgeführt und die Temperatursteigerung durch das entstehende Feuer in Maßen gehalten werden. Zu diesem Zweck gab es ebenfalls verschiedene Versuche und am Ende kam man darauf, ummantelte „Essen“ zu verwenden; Rauchfänge aus isolierten, eisernen Rohren, die mit der Außenwelt verbunden waren. Mit Hilfe des Überdruckes konnten die Rauchgase dann ganz einfach ausgeblasen werden. Trotz Isolierung kam es dennoch vor, dass die Temperatur im Tunnel zeitweise bis auf 42 Grad anstieg.

Der Nietvorgang spielte sich ungefähr 20 bis 50 Meter hinter dem Schild ab, je nach Vortriebsgeschwindigkeit. Die Segmentstücke wurden direkt nach dem Einbau erst einmal miteinander verschraubt und als die Nietkolonne dann entsprechend

vorgerückt war, die Schrauben durch Nieten ausgetauscht. Etwa 10 Prozent der eingebauten Nieten erwies sich später als undicht, sie konnten aber nach Ablassen der Druckluft ohne größere Probleme ausgewechselt werden.

Das mit Abstand interessanteste Verfahren beim Elbtunnelbau war der Schildvortrieb. Es gab in Deutschland schon vorher eine kleine Reihe verschiedener Projekte unter der Leitung der Firma Philipp Holzmann die in diesem Verfahren gebaut wurden, so zum Beispiel der Stralauer Tunnel in Berlin. Auch hier wurde der Schildvortrieb unter Druckluft angewendet, jedoch war der Elbtunnel in seiner Größe und Herausforderung bislang einzigartig.

In Bezug auf den Vortrieb, als auch bezüglich der Druckluftarbeiten musste in völlig neuen Dimensionen gedacht werden.

Der Schild bestand aus einem 52 mm starken Eisenmantel, der die äußere Hülle des Vortriebsschildes bildete. Die lichte Weite war genau 32 mm größer als der Durchmesser der einzubauenden Tunnelringe. Der Schildmantel war durch zwei Querwände versteift, in denen sich mit Türen versehene Öffnungen befanden. Die dem Erdreich zugekehrte Seite, das sogenannte Schildmaul, war durch zwei Senkrechte und zwei waagerechte Längswände in neun Zellen unterteilt. Von hier aus konnten die Arbeiter, die sogenannten Miniere, das an der Brust befindliche Erdreich abbauen.

Zu Beginn des Vortriebes befand man sich mit dem Schild noch in dem auf Steinwälder vorgefundenen weichen Sand, der sich leicht und ohne großen Aufwand abbauen ließ. Als die Maschine in etwa bis zur Mitte der Strecke vorgetrieben war, stieß man auf den auf St. Pauli vorgefundenen tertiären Ton. Der Ton hier war so hart, dass er teilweise mit Dynamit gesprengt werden musste um weiter voran zu kommen. Zum Schutz der Arbeiter in den oberen Zellen war die Brust durch hydraulisch verschiebbare Triebpfähle gesichert, die ein Herabstürzen der Erdmassen von oben verhindern sollten.

Der Vorgang beim Vortrieb lief in etwa so ab: Als der Raum an dem Schildmaul ausminiert war, wurden 16 hydraulische Pressen mit einem Höchstdruck von 450 atü (ca. 450 Bar) in Gang gesetzt und der Schild um 50 Zentimeter nach vorne verschoben. Die Druckkolben stemmten sich dabei mit einem Druck verteilenden Schuh auf die fertige Tunnelverkleidung. Die Gesamtdruckkraft betrug rund 2000 Tonnen (19613,3 KN). Nachdem die Kolben wieder eingezogen worden waren, konnten in dem nun entstandenen Hohlraum, unter dem Schutz des

Schildschwanzes, zwei neue Tunnelringe eingebaut werden. Mit diesem Arbeitsschritt wurde auch bereits die erste Bleidichtung in den Fugen verstemmt. Der beim Verbau entstandene Hohlraum zwischen Schildmantel und Tunnelring wurde zum Schutz gegen Rost mit einem mit Fettkalkzusatz angereicherten Zementmörtel hinterspritzt. Zum Füllen wurden in den Tunnelringsegmenten bereits vorhandene und mit Schrauben verschließbare Hinterspritzlöcher genutzt. Der zweite Hohlraum, der durch die Stärke des Schildmantels entstand, wurde während des Vortriebes selbst hinterspritzt. Da es sich hier um den wesentlicheren Teil des Rostschutzes handelte und weil es hierfür keine Kontroll- noch Nachbesserungsmöglichkeiten gab, wurde diese Arbeit mit größter Sorgfalt ausgeführt.

Zum Positionieren und Vernieten der Ringsegmente, sowie zum Ausführen aller restlichen Arbeiten, wie zum Beispiel das Hinterspritzen, wurde hinter dem Schild „ein auf Rollen laufendes Schleppgerüst“ montiert. Beim Vortrieb des Schildes wurde das Gerüst automatisch mit weitergezogen.

Zum Heben und Einbauen der 220 kg schweren Ringstücke existierte ein an der hinteren Querwand des Schildes befestigter, um den Schildmittelpunkt drehbarer, hydraulischer Kran.

Die Arbeiten am und im Tunnel wurden, insofern es keine Störfälle gab, Tag und Nacht, 24 Stunden am Tag fortgeführt. Der Durchschnitt des Schildvortriebes betrug 1,5 Meter am Tag. Die Tages-Spitzenleistung betrug 3,25 Meter.

Mit dem Vortrieb selbst und den anderen damit verbundenen Arbeiten, wie dem Abtransportieren der abgegrabenen Erdmassen, dem Einbauen der Ringe sowie den beiden Hinterspritzungen und zum Schluss der Vernietung und Verstemmung der Fugen mit Blei, waren die Arbeiten unter Druckluft im allgemeinen beendet. Vor dem Ablassen der Druckluft gab es einzig noch eine Überprüfung der Vernietung und der Bleiverstemmung auf Dichtigkeit und wenn etwaige Arbeiten zur Nachbesserung ebenfalls ausgeführt worden waren, dann konnte die Druckluft abgelassen werden.

Zuletzt erwähnenswert bleiben noch die für den korrekten Verlauf der Tunnelstrecke gemachten Präzisionsmessungen. Um den Verlauf des Tunnels abzustecken war es notwendig, vor jedem gemachten Vortrieb die genaue Lage des Schildes zu ermitteln, denn für eventuelle Korrekturen der eingeschlagenen Richtung gab es nur sehr wenig Spielraum. „Die Crux lag hier im Schildvortrieb selbst begründet.“

Durch, wenn auch nur geringe, Steuerungsmöglichkeiten war es möglich den Kurs mittels Abschalten einzelner Pressen zu korrigieren. Bei jedem Vortrieb wurden die Höhenlage, Höhenneigung, Seitenlage und Seitenneigung genau festgestellt und in ein Protokoll eingetragen. Als Bezug für die Messungen dienten zwei Festpunkte an jeweils beiden Ufern.

Um noch während des Vortriebes eine Zwischenkontrolle durchführen zu können, wurde in der Nähe der St. Pauli-Landungsbrücken ein Loch in das Flussbett gebohrt und darin ein genau anvisiertes Lot, sowie ein Ersatzlot befestigt. Als das Schild bis dicht an die Lote herangefahren war, wurde der Vortrieb für kurze Zeit unterbrochen und ein kleiner Schacht wurde ausgehoben um die Lote freizulegen. Mit Hilfe eines Theodoliten konnte dann die Lage des einen Lots anvisiert. Die daraufhin festgestellte Abweichung betrug nicht mehr als 12 Millimeter. „Ein Fehler über den nicht weiter geredet zu werden brauchte“, schreibt Witthöft, denn der von der Bauleitung festgelegte Fehlerspielraum wurde vorher mit 15 Zentimetern angesetzt. Um später den eingeschlagenen Kurs des Westtunnels zu überprüfen, wurde quer vom Osttunnel her ein Loch bis hinüber in den Westtunnel gebohrt und mit Hilfe einer durchgesteckten Eisenstange die erforderlichen Messungen übernommen.

Ausbetoniert wurde die innere Tunnelverkleidung erst, nachdem die Druckluft abgeblasen, die Verkleidung sorgfältig von Schmutz bereinigt, sowie alle Undichtigkeiten ausgebessert waren.

Arbeiten unter Druckluft im Elbtunnel

Da man mit den Arbeiten unter Druckluft bisher nur geringe Erfahrungen machen konnte, war auch dieser Teil eine Herausforderung für alle am Bau Beteiligten. Es gab eine medizinische Betreuung durch eigens für den Bau abberufene Ärzte. Für die Wissenschaft und um später auf die gemachten Erfahrungen zurückgreifen zu können wurden fortlaufend Untersuchungen an den Arbeiter durchgeführt und dokumentiert.

Neben den medizinischen Versorgungen und Studien gab es noch eine Menge weiterer Vorsichts- und Sicherheitsmaßnahmen. So wurde zum Beispiel der Gefahr durch Feuer mit im Tunnel befindlichen Löscheinrichtungen begegnet. Rauchsichere

Ummantelungen der Treppen, Frischluftzuleitungen zu den Schachtrohren und Schleusen waren neben Drägerschen Apparaten weitere wichtige Sicherheitsmittel. Neben dem Feuer ging ebenfalls eine große Gefahr von einem möglichen Wassereinbruch aus. Die eigentliche Gefahr entstand aber in erster Linie nicht vom Wasser, sondern von der Druckluft. Durch die an der Schildbrust entweichende Luft wurde das dem Tunnel überlagerte Erdreich mit dieser gesättigt und verlor somit an Widerstandsfähigkeit, was wiederum zu der Gefahr eines Luftaus- bzw. Wassereinbruches beisteuerte.

Neben der sukzessiv entweichenden Luft gab es noch weitere Risikofaktoren, wie zum Beispiel die sich mit dem Vortrieb verändernde Bodenbeschaffenheit oder auch die Mächtigkeit überlagerter Erdschichten.

„Das wichtigste Sicherheitsmittel gegen einen Wasserein- bzw. Luftausbruch war ein hochliegender Notsteg, der, vom Schleppgerüst und von der Tunnelstrecke erreichbar, geradewegs zur Personenschleuse führte. Eine sich vom Schildfirst bis nahe zur Tunnelwand erstreckende Querwand (Schürze) mit leicht verschließbarer Tür machte den hinter ihr liegenden Raum bei einem Wassereinbruch zur Taucherglocke, so dass die Arbeiter sich dahin zurückziehen konnten“, schreibt Witthöft.

Am Anfang des Schildvortriebes diente noch der auch schon beim Bau des Schachtes Steinwärder eingesetzte Caisson als hinterer, luftdichter Abschluss des unter Druckluft gesetzten Tunnels. Später, als beide Röhren weit genug vorgetrieben waren, entfernte man den Caisson und an seiner statt wurde eine zwei Meter starke Betonwand in das Tunnelinnere eingebaut. Diese Betonwand, mit zwei Schleusen versehen, eine Material- und eine Personenschleuse, bildete jetzt den hermetischen Abschluss für die Druckluftarbeiten und während die Arbeiten im Tunnel so fortgeführt wurden, konnte man mit dem Ausbau des Schachtes Steinwärder beginnen.

Wie bereits angedeutet war die Brust des Schildes der Schwachpunkt bei den Druckluftarbeiten. So gingen über die Brust anfänglich etwa 10 000 Kubikmeter Luft pro Stunde verloren, später, unter Voranschreiten des Tunnelbaus, waren es noch etwa 7000 Kubikmeter Luft. Die auf Steinwärder stehenden Kompressoren verdichteten pro Stunde etwa 12 000 Kubikmeter Luft, was bedeutet, dass die Maschinen unter ständiger Auslastung standen.

Schon erwähnt wurde die Gefahr von der an der Brust austretenden Luft, sie lockerte aber nicht nur das über dem Tunnel befindliche Erdreich auf, sondern verursachte auch zum Teil starke Auskolkungen auf der Sohle der Elbe, was wiederum zu einer Schwächung der auf der Tunnel liegenden Erddecke führte.

Diese Auskolkungen, oder auch Sandaufspülungen, wurden beobachtet und entsprechend neu verfüllt.

Trotz aller Vorsichtsmaßnahmen kam es durch das unglückliche Zusammentreffen mehrerer Umstände am 24. Juni 1909 zu einem Luftausbruch und in dessen Folge zu einem Bodenbruch im Bereich des Vortriebsschildes. Alle sich zu diesem Zeitpunkt im Tunnel befindlichen Arbeiter konnten sich rechtzeitig in Sicherheit bringen und selbst größere Schäden am Tunnel oder am Schild blieben aus.

„Da der Luftdruck durch die Maschinen wenigstens noch in annähernd genügender Höhe gehalten werden konnte, war das Wasser im Tunnel und im Schacht letztlich doch nur etwa 1,20 bis 1,50 Meter hoch gestiegen“, beschreibt Witthöft die Lage.

Es dauerte zwar eine Weile bis der Tunnelstollen und auch das Schild von den eingebrochenen Sandmassen gereinigt, sowie das Loch geflickt worden war, aber trotz alledem konnten die Arbeiten mit erhöhter Vorsicht wieder aufgenommen werden. Um die verschreckten Arbeiter nach dem Unglück wieder zu motivieren, wurde ihnen, „in dem Fall das sie nass wurden, der doppelte Lohn versprochen“.

Um eine Wiederholung des gefährlichen Luftausbruches zu vermeiden, wurde die Mittelzelle des Brustverbaus bei jedem Vorrücken durch eine zusätzliche, mit Lehm gefüllte, zweite Wand verstärkt. Durch diese Maßnahme war es möglich den Luftdruck an der am meisten gefährdeten Stelle, nämlich der oberen Zelle, beim Vorbau zu reduzieren und somit gleichzeitig ein Entweichen der Luft an der Brust und die Gefahr eines Ausbruches herabzusetzen. Eine weitere Maßnahme war das Verfüllen der Elbsohle an Stellen, wo die Erdschicht über dem Tunnel besonders dünn war. Auskolkungen wurden genauer beobachtet und auf diese wurde entsprechend reagiert. So verfüllte man gefährliche Stellen mit Kies und achtete darauf, dass immer eine gewisse Deckung vorhanden war. Durch diese getroffenen Vorsichtsmaßnahmen gelang es, die Tunnelröhren ohne weitere Zwischenfälle bis in den festen Ton vorzutreiben.

Aufgrund der fehlenden Erfahrungen mit dem Einsatz von Druckluft geschah es, dass 700 der 4400 Arbeiter während der Bauphase und auch teils später mit der

‘Druckluftkrankheit’ zu kämpfen hatten. Insgesamt starben am Bau drei Menschen durch diese Krankheit. Heute weiß man mehr über die Auswirkungen von Druckluft auf den Menschen und die Sicherheitsvorkehrungen sind mittlerweile so hoch, dass es nur noch sehr selten zu Erkrankungen kommt. Nicht zuletzt trugen auch der Bau des Elbtunnels und die fortlaufend gemachten medizinischen Studien zu diesem Erfolg bei.

Schildvortriebsverfahren - Damals und Heute

Bereits im 1800 Jahrhundert entwickelte der französisch-britische Ingenieur, Architekt und Erfinder Marc Isambard Brunel ein Schildvortrieb für den Unterwassertunnelbau. Brunel nahm seine Idee, wie viele Erfinder damals und auch heute noch, aus seinen Beobachtungen in der Natur. So war eine kleine Muschelart, der Schiffsbohrwurm, seine Inspiration. Der Schiffsbohrwurm frisst sich mit großer Vorliebe durch Holz, daher auch sein Name, und benutzt dabei sogenannte Raspeln, zu Zähnen zurückgebildete Schalen. Während er sich vorne durch das Holz frisst, sichert er hinten mit körpereigenen, kalkhaltigen Sekreten den Gang.

Brunel war zusammen mit dem später ebenfalls in diesem Bereich in Erscheinung tretenden Ingenieur James Henry Greathead, einer der Pioniere, die maßgeblich an der Entwicklung der Tunnelbohrmaschine beteiligt waren. Er entwarf und baute den ersten Unterwassertunnel der Welt in England unter der Themse, den „Thames Tunnel“. Zusammen mit seinem Sohn Isambard Kingdom Brunel, als verantwortliche Bauingenieure, begann er 1825 mit dem Bau des Tunnels. Da es keine bis dahin gemachten Erfahrungen in diesem Bereich des Bauwesens gab, war dieser Bau von vielen unvorhergesehenen Ereignissen und Havarien begleitet und zwischenzeitlich wurde der Bau sogar aus technischen sowie finanziellen Gründen für sieben Jahre gestoppt. 1836, mittlerweile unter der alleinigen Leitung Isambard Kingdom Brunels, wurde ein neuer Tunnelbohrschild installiert und die Arbeiten wieder aufgenommen. Bis zum Ende des Baus gab es noch weiterhin viele Unfälle, Havarien und somit Verzögerungen im Bauablauf, dennoch konnte der Tunnel am 25. März 1843 für den Fußgängerverkehr geöffnet werden.

Es bedurfte im Laufe der Zeit immer wieder neuer Instandsetzungs- und Verbesserungsmaßnahmen, aber der Tunnel ist nach wie vor in Betrieb. Er wird heute von der London Underground benutzt.

Tunnelausbau mit Ziegelwänden

Brunels Schild war rechteckig und durch zwölf senkrechte, nebeneinander stehende und drei horizontale, übereinander liegende Stahlrahmen getrennt. Der Schild war dadurch in 36 Kammern unterteilt, in denen je ein Tunnelarbeiter arbeiten konnte. Die Brust des Schildes war dabei durch mehrere Holzbohlen gesichert. Bei jedem Vortrieb entfernten die Arbeiter eine Bohle, gruben sich um einen halben Meter vor und setzten die Bohle wieder ein. Wenn alle Bohlen um einen halben Meter vorgerückt waren, dann konnte das Schild ebenfalls um einen halben Meter nach vorne gerückt werden.

Der Vortrieb des Schildes selbst wird hierbei nicht weiter beschrieben. Nach dem Vorrücken konnten die hinter dem Schild arbeitenden Maurer den neu geschaffenen Platz ausmauern. Dadurch, dass Brunel in seinem Entwurf keinen Schildschwanz, also eine Sicherung bzw. Abstützung der „rohen“ Tunnelwand, vorgesehen hatte, kam es immer wieder zu Unfällen durch herabstürzende Ziegelsteine oder Wassereintritte.

Im Laufe des 19. Jahrhunderts, also mit Einzug der Industrialisierung, wurde die Dampfmaschine entwickelt und dadurch ergaben sich neue technische Möglichkeiten. Die Betriebsart der Schilde verbesserte sich und die Auskleidungen des Tunnels ebenfalls.

1869 setzten die Ingenieure James Henry Greathead und Peter William Barlow beim Bau eines zweiten Tunnels unter der Themse, dem Blackwall-Tunnel, bereits einen kreisrunden Schild ein. Zugleich verwendeten sie hier zum ersten Mal gusseiserne Tübbinge zur Sicherung des neuen Tunnels.

James Henry Greathead und Peter William Barlow trieben die Entwicklung der von Brunel entworfenen Tunnelbohrmaschine entscheidend voran. Greathead entwarf ein eigenes, verbessertes Schildvortriebssystem. Er war als Berater des Blackwall-Tunnels zuständig.

Bis zum Bau des Elbtunnels 1907 gab es weltweit nur wenige maßgebliche Projekte, die die technische Entwicklung im Tunnelbau vorantrieben hatten.

Indem die Firma Holzmann sich dieser bis dahin gemachten Erfahrungen bediente und eigene technische Innovationen hinzufügte, trug sie zu einer zu dieser Zeit ausgereiftesten Entwicklungen im Tunnelbau bei.

Druckluft gegen Wassereinbrüche

Das in den 80er Jahren des 19. Jh. entwickelte Druckluftverfahren gab dem Bauingenieurwesen nochmals einen deutlichen Aufschwung in Sachen Tunnelbau bzw. Unterwasserbau. Das Verfahren erschloss gänzlich neue Möglichkeiten. Durch Verdrängen des Wassers hatte man den Vorteil, dass sich keine Setzungen infolge Grundwasserabsenkung bildeten, ebenso konnte man durch das Verfahren schädliche Eingriffe in die Natur im Hinblick auf Grundwassersperren minimieren. Das Verfahren funktioniert in etwa so: Ein hermetisch abgeschlossener Raum wird mit Druckluftkompressoren unter einen gewissen Überdruck gesetzt, wobei ein Ende des Raumes „offen“ ist, sprich die Luft kann hier entweichen. Dieses offene Ende wird im Bauingenieurwesen „Brust“ genannt. Durch den aufgebrauchten Luftdruck wird das Wasser an der Brust immer weiter verdrängt und ermöglicht so einen sicheren und „trockenen“ Abbau der Erdmassen. Damit die Arbeiter in dem höheren Luftdruck arbeiten können, müssen sie in einer Druckkammer über einen gewissen Zeitraum langsam an die höheren Werte angepasst werden.

Hydroschilde

Durch das stetige Streben nach Verbesserung wurden im Laufe der Zeit immer wieder neue, größere und leistungsstärkere Schildvortriebssysteme entwickelt. Wenn man an die heutigen Verfahrensweisen für den Tunnelbau denkt, dann verbindet man in diesen Fällen hochtechnologisierte und maschinenbetriebene Schilde, die sich fast von allein durch die Erde bohren. Aber so war es nicht immer und auch der Weg dorthin war ein langer. Erst über die mit den Jahren gemachten Erfahrungen erfand man immer wieder neue Methoden um die Arbeiten effizienter und sicherer zu gestalten. Schritt für Schritt wurde das Schildsystem und die Arbeiten

um ihn herum technologisiert und mit den neuesten gemachten Erfindungen ausgestattet.

In den 1960er Jahren erfanden Ingenieure die bis heute noch modernste Methode des Vortriebes, das Hydroschild. Bei dieser Art von Vortrieb wird anstatt der Druckluft eine Stützflüssigkeit verwendet, um die Ortsbrust zu stabilisieren und das Wasser fernzuhalten. Ein Schneidrad baut den Boden an der Brust ab und bewegt sich dabei in einer mit der Stützflüssigkeit gefüllten Kammer. Der gelöste Boden wird mit der Flüssigkeit vermischt und über Rohre abgepumpt. Die Tunnelverkleidung besteht heute aus sogenannten Beton-Tübbing, sie sind maßgefertigt und werden von einer Maschine automatisch an die richtige Stelle gesetzt.

Senkkastenbauweise

Der Senkkasten (französisch: Caisson) ist ein aus der Taucherglocke weiterentwickeltes Prinzip. Bereits 320 v. Chr. beschreibt Aristoteles das Prinzip der Taucherglocke, doch gerät es in der Folgezeit wieder in Vergessenheit. Soweit bekannt, wird eine erste Form der Taucherglocke erst wieder um 1583 in Toledo vorgeführt, allerdings ohne die Versorgung mit Luft. Im Laufe der Jahrhunderte wird das Prinzip immer wieder neu aufgegriffen und weiterentwickelt. So baut John Smeaton 1778 die erste schlauchversorgte Taucherglocke und 1850 setzt der Franzose Cavé den ersten Senkkasten für Bauarbeiten im Nil ein.

Etwa zur Mitte des 19. Jh. bekommt die Idee des Senkkastens einen erneuten Aufschwung und findet alsbald immer häufiger Anwendung in der Praxis.

Es handelt sich bei dem Senkkasten, wie wir ihn heute kennen, in der Regel um ein hohles, zylindrisches oder rechteckiges Gebilde, das als Fundament oder als Arbeitsraum im Wasser oder auch im Erdreich versenkt wird und pneumatisch unter einen abgestimmten Überdruck gesetzt wird, wobei das obere Ende mit einem Deckel verschlossen ist. Das Absenken des Senkkastens geschieht meist durch sein Eigengewicht oder aber auch durch eine aufgebrachte Last. Wenn der Senkkasten an der gewünschten Stelle positioniert ist, kann im Inneren selbst unter „trockenen“ Bedingungen gearbeitet werden.

Eine erste große Bedeutung wurde dem Senkkasten bei dem Bau von Brückenpfeilern zugesprochen. Später entdeckte man den Nutzen auch für Arbeiten

im von Grundwasser durchsetzten Erdreich, wobei das beste Beispiel an dieser Stelle wohl der alte Elbtunnel selbst ist. Ebenfalls Anwendung findet der Senkkasten im Tunnelbau. Hierfür werden mehrere Caissons nebeneinander versenkt und wasserdicht miteinander verbunden. Daraufhin werden die Seitenwände entfernt, um so eine durchgängige Röhre zu verwirklichen.

„Für den Menschen der in einer solchen unter Überdruck gesetzten Senkglocke arbeitet, bietet sich jedoch ein nicht zu unterschätzendes Gefahrenpotenzial. Erfolgt der Druckabfall beim Verlassen des Senkkastens zu rasch, können sich im Blut Gasblasen bilden, die zu Lähmungen oder zum Tode führen können. Man spricht hiernach von der Caissonkrankheit (Maladie de caisson). Mittlerweile wird dieser Gefahr entgegengewirkt, indem Arbeiter nach ihrer Tätigkeit im Caisson sich in eine Druckkammer begeben, in der der Druck über einen langen Zeitraum kontinuierlich abgesenkt wird.“

Am Bau beteiligte Personen

Einen kurzen Überblick über die am Bau beteiligten Persönlichkeiten gibt Hans Jürgen Witthöft in seinem Buch.

Witthöft beschreibt den damaligen Baurat Wendemuth als „geistigen Vater“ beziehungsweise als Initiator des Elbtunnels. Er hatte die Leitung der Vorarbeiten ab etwa 1900 inne, so setzte er „das Vorhaben beharrlich bis zur Absegnung durch Bürgerschaft und Senat gegen vielerlei Einwände und Hindernisse durch“. Der im Zusammenhang mit dem Bau nur kurz erwähnte Wasserbaudirektor Bubendey beauftragte im Februar 1907 den erst 28 Jahre jungen Ingenieur Otto Stockhausen als „Mann vor Ort“. Stockhausen bekam die Aufgabe der Einzelprojektierung und der Durchführung übertragen und war somit oberster bauleitender Ingenieur. Ein aus vier Ingenieuren zusammengestelltes Team um Stockhausen setzte sich wie folgt zusammen: Dipl.-Ing. Teichgräber als Verantwortlicher für die Konstruktion des Fahrschachtes St. Pauli, Dipl.-Ing. Specht und Dipl.-Ing. Platiel als Verantwortliche Ingenieure für den West- beziehungsweise

Osttunnel und zuletzt Dipl.-Ing. Stief als vermessungstechnischer Ingenieur für die Präzisionsmessungen.

Die von der Firma Holzmann an diesem Bauauftrag Mitwirkenden waren unter anderem Direktor Behrends, auf dessen Tätigkeitsbereich Witthöft hier nicht weiter eingeht, sowie der Ingenieur Rheindorff. Rheindorff galt als Konstrukteur des Vortriebsschildes und der eisernen Tunnelverkleidung. Leitender Ingenieur der Firma Holzmann in Hamburg war Xaver Beck und sein Assistenzingenieur Richter, später wegen Erkrankung an der Caissonkrankheit abgelöst durch Ingenieur Hoigne.

Weitere Erwähnung finden der leitende Bauinspektor des maschinentechnischen Büros der Wasserbaudirektion E.G. Meyer, verantwortlich für den Einbau der Aufzüge, sowie das Architektenbüro Wöhlecke, mit Sitz in Hamburg, für die Entwürfe der Einfahrthallen und der architektonischen Beratung im allgemeinen.

Last but not least müssen, wenn auch nicht namhaft, die unzähligen, an diesem Bau mitwirkenden Arbeiter erwähnt werden. Es handelte sich vorwiegend um eine große Anzahl Wanderarbeiter, die durch dieses damals einzigartige Projekt, aber auch durch die hohe Entlohnung, von überall her angezogen wurden. So kamen sie aus Polen, Russland, Italien, Skandinavien, Holland und Belgien, sprich aus vielen Teilen Europas.

Daten und Fakten

Frühjahr 1901	Beginn der Planungen
18.04.1904	Der Senat beantragt bei der Bürgerschaft 8,2 Mio. Mark
07.11.1906	Die Bürgerschaft bewilligt 10,722 Mio. Mark
27.03.1907	Die Firma Philipp Holzmann & Cie., GmbH, erhält den Bauauftrag.
06.05.1907	Beginn der Arbeiten (Bohrungen in der Elbsohle)
22.07.1907	Erster Spatenstich auf Steinwärder, Erdaushub der Baugrube bis auf Grundwasserstand.
02.06.1908	Herstellung eines Fangdammes zur Sicherung der Baustelle gegen Wassereinbruch auf St. Pauli
18.06.1908	Abteufung am Schacht Steinwärder wird unter Pressluft fortgesetzt.
12.11.1908	Fahrschacht Steinwärder im Rohbau fertig
Dez. 1908	Herablassen der 120 t schweren Bohrschilde in den Schacht
23.01.1909	Arbeitsvorbereitende Maßnahmen für den Schildvortrieb

30.11.1909	Beginn der Schachtarbeiten auf St. Pauli
09.02.1909	Brand im Schacht Steinwärder, Zerstörung der Schildeinbauten, Sandeinbruch
24.06.1909	Luftausbruch im Osttunnel, Sand- und Wassereinbruch, Wiederaufnahme der Arbeiten
04.07.1909	Brand im Schacht Steinwärder
29.03.1910	Durchschlag des Osttunnels
01.06.1910	Durchschlag des Westtunnels
18.06.1910	Kaiser Wilhelm II. besichtigt das unfertige Bauwerk
07.09.1911	Eröffnung für den Fußgängerverkehr
30.11.1911	Öffnung auch für den Fuhrverkehr
1956	Einbau der Tunnelbelüftung
1959	Einbau von Rolltreppen
1982/83	Abdeckung der Tunnelröhren mit Betonplatten wegen Elbvertiefung („Deckelmoker“)
1991	Erneuerung der Tunnelbeleuchtung
1992	Ausbau der Rolltreppen
1994	Einbau neuer Brückenkranen in den Maschinenräumen
1995	Beginn einer umfassenden Grundinstandsetzung des Elbtunnels mit dem Ziel, das ursprüngliche Erscheinungsbild weitestgehend wiederherzustellen und alle Anlagen dem aktuellen Stand der Technik anzupassen
1995	Erneuerung der Stahlblechverkleidung vor den Einfahrten Steinwärder und St. Pauli, Erneuerung sämtlicher Hubtore an den Lastenaufzügen, Einbau neuer Türsteuerungen, Erneuerung der Niederspannungsverteilungen
1995	Außerbetriebnahme des Kraftwerks und Demontage der Dieselaggregate zur Gleichstromversorgung der Lastenaufzüge
1996	Einbau von vier neuen Personenaufzügen
2011	Hundertjähriges Jubiläum

Literaturliste

1. Pohl, Manfred. (C.H.Beck). (1999). „Philipp Holzmann: Geschichte eines Bauunternehmens, 1849-1999“. ISBN 3-406-45339-2
2. Witthöft, Hans-Jürgen. (1996). „Ein Tunnel unter der Elbe“. Leopoldshöhe. Heka-Verlag. ISBN 3-928700-29-4
3. Stockhausen, Otto. (1912, August 17). „Der Elbtunnel und sein Bau“. Zeitschrift des VDI. Bd. 56, S. 166-189
4. Kolymbas, Dimitrios. (1997). „Geotechnik. Tunnelbau und Tunnelmechanik“. Berlin: Springer-Verlag. ISBN 3-540-62805-3
5. Landscheidt, Tim. (2008, Oktober 18). „Alter Elbtunnel“. URL http://de.wikipedia.org/wiki/Alter_Elbtunnel
6. (2009, Februar 19). „Spreetunnel Stralau“. URL http://de.wikipedia.org/wiki/Spreetunnel_Stralau
7. Jurziczek. (2006, April). „Die Ostbahn und der Stralauer Tunnel“. URL <http://www.berliner-verkehrsseiten.de/strab/Strecken/Stralau/stralau.html>
8. (2006, Oktober 23). „Thames-Tunnel“. URL http://de.wikipedia.org/wiki/Thames_Tunnel
9. (2007, Mai 14). „Blackwall-Tunnel“. URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Blackwall-Tunnel>
10. LKG – Ingenieurbüro für Bautechnik. „Caisson“. URL <http://www.elkage.de/src/public/showterms.php?id=1249>
11. (2008, Juni 28). „Taucherglocke“. URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Taucherglocke>
12. Asmodai. (2008, Juni 24). „Senkkasten“. URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Senkkasten>
13. Hamburger Hochbahn AG. „Schildvortrieb“. URL <http://u4.hochbahn.de/ausheben-aufbauen/gestern-und-heute/schildvortrieb-vor-200-jahren>
14. Kyber. (2007, Dezember 29). „James Henry Greathead“. URL http://de.wikipedia.org/wiki/James_Henry_Greathead
15. Anathema. (2006, Juni 9). „Marc Isambard Brunel“. URL http://de.wikipedia.org/wiki/Marc_Isambard_Brunel
16. Dr. Krischke, Wolfgang. KVB AG. „Tunnelbau mit Druckluft“. Köln: KVB Unternehmenskommunikation. URL <http://www.google.de/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fstadtbaahn.relaunch.net%2Fpublikationen%2Findex.html%3FgetFile%3D167&rct=j&q=Pressluft%20Verfahren%20alter%20elbtunnel&ei=gIHrTJGTEsJlswbd88T2Dg&usq=AFQjCNGnSZJ-nxj1FI1phptaAYB-Jqj8BQ&cad=rja>