

Praxisbericht

Studiengang Bachelor Bauingenieurwesen

Baustelleneinrichtung für den Tunnelvortrieb mit einer Mixschildtunnelbohrmaschine

Hochschule Mainz

University of Applied Sciences

Fachbereich Technik

vorgelegt von: Tom Bender

Königstuhlstraße 45

55296 Lörzweiler

Matr.-Nr. 909881

Vorgelegt bei: Prof. Dr.-Ing. Andreas Garg

eingereicht am: 06.12.2016

Inhaltsverzeichnis

1.	Beschreibung des Bauprojekts „Road and Railway Tunnel Port Said“	3
2.	Baustelleneinrichtung	3
2.1	Tunnelbohrmaschinen (TBM) mit Mixschild	4
2.2	Tübbingproduktion	5
2.2.1	Design	6
2.2.2	Schalungen	6
2.2.3	Produktionsart.....	6
2.2.4	Produktionsablauf	6
2.2.5	Handling	7
2.3	Peripheriegeräte	7
2.3.1	Separieranlage.....	7
2.3.2	Förder- und Speisepumpen.....	8
2.3.3	Tanksysteme und Bentonitmischanlagen	9
2.3.4	Mörtelmischanlage.....	9
2.3.5	Ventilation (Lutte)	10
2.3.6	Tauchercontainer	10
2.3.7	Kühlanlagen.....	11
2.3.8	Multi-Service-Vehicle (MSV)	12
2.3.9	Sonstiges.....	13
2.4	Schachteinrichtung	14
2.4.1	Abdichtung	14
2.4.2	Ausrichtung	14
2.4.3	Widerlager.....	14
3	Fazit	16
	Quellenangabe	17

1. Beschreibung des Bauprojekts „Road and Railway Tunnel Port Said“

Nachdem Ägypten am 6. August 2015 die Erweiterung des Suezkanals offiziell eröffnet hat, ist diese für den Welthandel immens wichtige Wasserstraße nicht mehr nur als Einbahnstraße, sondern nun auch im Gegenverkehr für große Containerschiffe befahrbar. Dieses Bauprojekt war der Einstieg in einen riesigen Infrastrukturausbau und soll die größte Einnahmequelle des Landes noch rentabler machen.

Beiderseits des Kanals investiert das Land in den Ausbau von Gewerbe- und Industrieparks sowie Wohngebieten. Um die Weite der Sinai-Halbinsel und vor allem das für die Bauindustrie enorm wichtige Zementwerk „El Arich“ besser an das Nildelta anzubinden, werden unter dem Suezkanal insgesamt sechs Tunnel gebohrt. Vier Großdurchmesser-Mixschildmaschinen (\varnothing 13.020 mm), die zunächst für den Bau von Straßentunneln unter dem Suezkanal bei Port Said und bei Ismailia eingeplant sind. Nach deren Fertigstellung sollen noch zwei Eisenbahntunnel gebaut werden.



Wayss & Freytag Ingenieurbau AG unterstützt eine Arbeitsgemeinschaft aus den Firmen The Arab Contractors (AC) und Orascom Construction (OC). Während meines Praktikums vom August bis November 2016 war ich auf der Baustelle bei Port Said eingesetzt.

Die dort auszuführenden Straßentunnel haben eine Länge von 2880 m und werden vom Sinai, also Asien, in westlicher Richtung auf den afrikanischen Kontinent gebohrt.

Die Bodenbeschaffenheit besteht aus einer heterogenen Schichtung aus Sand und Ton, was den Einsatz eines Mixschildes notwendig macht. Der Ausbau des Tunnels erfolgt mittels Betonfertigteilen, den sogenannten Tübbing. Ein Ring besteht aus insgesamt 8 gleichen Tübbing sowie einem Schlusstein. Die Tübbing haben eine Dicke von 60 cm, wiegen ca. 13,5 t und sind 2 m breit.

Zurzeit erfolgt die Baustelleneinrichtung auf einer Fläche von zirka sechs Quadratkilometern. Es arbeiten täglich bis zu 5500 Menschen auf der Baustelle, wovon ein großer Teil auch dort bzw. in den Camps wohnt und versorgt wird.

2. Baustelleneinrichtung

Wie bereits in der Einleitung beschrieben, macht die vorliegende Geologie den Einsatz von Mixschildtunnelbohrmaschinen und die zugehörigen Peripheriegeräte notwendig. Unter anderem sind dies eine Separieranlage, Tanksysteme, Förder- und Speisepumpen,

Mörtelmischanlagen, Tauchercontainer, Kühlanlagen und Multi-Service-Vehicles (MSV's). Zudem ist eine entsprechende Schachteinrichtung notwendig.

2.1 Tunnelbohrmaschinen (TBM) mit Mixschild

Die TBM, die in Port Said eingesetzt wird, hat einen Bohrdurchmesser von 13,05 m und einen Schilddurchmesser von 13,02m. Sie setzt sich aus Schneidrad, Schild, Schildschwanz und Nachläufern zusammen und hat insgesamt eine Länge von rund 89 Metern sowie ein Gewicht von rund 2300 Tonnen. Das 230 Tonnen schwere Schneidrad und die Speisepumpen besitzen eine Leistung von etwa 6300 kW. Der Außendurchmesser des Tübbingrings beträgt 12,60 m. Daraus ergibt sich ein Ringspalt von umlaufend 21 Zentimetern. Dieser wird später mit Mörtel verpresst.



Ein besonderes Merkmal bei Mixschilden ist die durch eine Tauchwand zweigeteilte Abbaukammer. Der vordere Teil dieser Kammer ist zur Stützung des Baugrundes im Vortrieb vollständig mit Suspension gefüllt. Im Raum nach der Tauchwand befindet sich die sogenannte Arbeitskammer, welche von der eigentlichen Druckwand abgeschlossen wird. In diesem Teil des Abbauraumes steigt die Suspension nur bis knapp über die Maschinenachse an. Die Steighöhe der Suspension wird über ein kompressibles Luftpolster gesteuert. Über die Steuerung der Suspensionsmenge sowie den Druck des Luftpolsters wird der erforderliche Gegendruck zum Erdreich, der sogenannten Ortsbrust, hergestellt und aufrechterhalten. Die Kommunikation zwischen beiden Kammern erfolgt über eine Tauchwandöffnung im Sohlbereich.¹

Durch die unmittelbare Reaktionsmöglichkeit über das Luftpolster können selbst kleine Druck- und Volumenschwankungen in heterogenen Geologien hochgenau reguliert werden. Dies minimiert das Risiko hinsichtlich Setzungen oder Hebungen, die speziell bei geringen Bohrtiefen, also kaum vorhandenen Überdeckungen, vermieden werden müssen.

Durch die Verwendung einer Bentonitsuspension entsteht ein geschlossener, hydraulischer Förderkreislauf, was Mixschildmaschinen auch bei hohen Wasserdrücken einsetzbar macht. Der in der Abbaukammer gelöste Boden wird mittels Suspension (Fördermedium) an die Oberfläche gepumpt. Voraussetzung ist eine entsprechende Abdichtung zwischen Maschine und anstehendem Erdreich. Eine Schwachstelle dagegen bildet die Antriebsachse, die daher

¹ Vgl. <https://www.herrenknecht.com/de/produkte/kernprodukte/tunnelling/mixschild.html>

mit einem Mehrfachdichtungssystem ausgestattet ist. Die Stahlbürsten, welche die Abdichtung des Schildschwanzes bilden, sind als System mit einzelnen Dichtkammern inklusiver, unter Druck stehender, Dichtmasse ausgebildet.

Da es zu größeren Findlingen kommen kann, wird ein Zangenbrecher vor einem Rechen verbaut. Dieser zerkleinert die Felsbrocken, bis sie ein förderbares Maß besitzen und den Rechen passieren können. Der Brecher der Tunnelbohrmaschine in Port Said bearbeitet das Erdreich mit einer Kraft von 3400 kN und mit einer Leistung von 1100 kW.



Gerade bei den hier vorherrschenden sehr tonigen Böden besteht die Gefahr des Verklebens. Deshalb kommt ein Schneidrad mit relativ offenem Zentrumsbereich sowie zusätzlich auf der Baustelle eingebrannten Öffnungen zum Einsatz. Zudem wird die Suspension in verklebungsfälligen Zonen mittels Spüldüsen eingebracht. Um



Verklebungen gezielt zu lösen, wird Spülwasser eingespritzt. Das separate Spülsystem besitzt Düsen in den Bereichen der Schneidradarme, der Tauchwand, deren Öffnung sowie unmittelbar am Brecher und dessen Rechen.

Den Ausbau mit Tübbing übernimmt der Erektor im Schutz des Schildschwanzes. Er wird über die Nachläufer mit Segmenten versorgt. Auf diesen Nachläufern befinden sich außerdem die Schaltkästen, Pumpen, Steuereinheiten und

diverse andere Versorgungsteile. Sie laufen im Fall des Port Said Tunnels auf Schienen, die hinter dem letzten Nachläufer wieder aufgenommen werden, und zum Anfang transportiert werden. Dieser Vorgang geschieht im Schutz der bereits gefertigten Tunnelringe.²

2.2 Tübbingproduktion

Um eine Verzögerung des Vortriebs durch Transportprobleme auszuschließen, werden die Tübbinge auf der Baustelle produziert. Für diesen Zweck wurden zwei Fabrikhallen errichtet. Während in einer davon die Bewehrungskörbe hergestellt werden, befinden sich in der

² Vgl. <https://www.herrenknecht.com/de/produkte/zusatzequipment/tunnelausbau/systeme-zur-tuebbingproduktion.html>

anderen Halle die Fertigung der Schalungen für die Segmente. Die Produktion der Tübbinge wird in folgende Punkte unterteilt:

2.2.1 Design

Bei der Herstellung von Tübbingen kommt es auf eine maßgenaue Fertigung an. Wichtige Parameter wie die Trassenführung mit Geraden und Raumkurven, die Einhaltung der Statik sowie die Tunnelüberdeckung finden bereits beim Ring- und Tübbingdesign Beachtung. Bei



der Konstruktion der Schalungssysteme müssen deshalb die Geometrie des gesamten Rings und seiner einzelnen Segmente sowie die Anordnung der Verbindungsstellen und deren Abdichtungen berücksichtigt werden. So entsteht ein Ringdesign für leicht ausschaltbare Segmente, die gleichzeitig den hohen Anforderungen an Stabilität und Dichtigkeit entsprechen.

2.2.2 Schalungen

Bei der Fertigung von Tübbingschalungen sind besonders hohe Anforderungen an Präzision, Toleranzen und Belastbarkeit zu stellen. Bei der Konstruktion der Schalungen durch Herrenknecht Formwork wurde nicht nur auf die auf den Ring wirkenden Kräfte und die geomechanischen Lasten im Baugrund, sondern auch auf die Anforderungen im Transport- und Montagezustand geachtet. Dies sind beispielsweise fortlaufende Vibrationsvorgänge sowie Wärmeanforderungen unter Berücksichtigung der Hydratation beim Abbinden des Tübbingbetons oder durch die hohen Temperaturen auf dem Lagerplatz.

2.2.3 Produktionsart

Faktoren wie die Tunnellänge, die geplante Vortriebsgeschwindigkeit, Platz- und Personalverhältnisse sowie das Projektbudget wurden in die Planung der Tübbingproduktionsart einbezogen. Nach diesen Gesichtspunkten wurde sich für die Standproduktion entschieden. Bei dieser Produktionsweise werden die Schalungen fest auf dem Hallenboden fixiert. Vibrationsdämpfer und nivellierbare Auflager sorgen für ein optimales Betonierergebnis.

2.2.4 Produktionsablauf

Nachdem Bügel und Matten durch Schweiß- und Biegemaschinen von EVG hergestellt wurden, müssen diese sortiert und bereitgelegt werden. Im Anschluss produzieren Arbeiter mit Hilfe von Trennschneidern, Schweißgeräten und Seitenschneidern die Bewehrungskörbe in großer Stückzahl. Auf Grund der niedrigen Löhne in Ägypten hat man sich gegen eine automatisierte Fertigung der Bewehrungskörbe entschieden.

Die Körbe werden im Anschluss mit Abstandhalter in die mit Schalöl besprühten Schalungen eingelegt und fixiert. Die Schalungen werden geschlossen und fest verschraubt. Die Befüllung der Formen erfolgt durch Betonmischer, welche neben den Schalungen auf Fahrbahnen stehen. Da die Schalungen im Boden eingelassen sind, entsteht kein großer Höhenunterschied, was das Füllen erleichtert. Bereits zu diesem Zeitpunkt vibrieren die Schalungen und garantieren so, dass sich der Beton gleichmäßig verteilt. Im Anschluss glätten zwei Arbeiter die Einfüllstelle per Hand und das Segment muss etwa zehn Stunden aushärten.



Nach dieser Zeit hat das Segment eine ausreichende Festigkeit und wird nach Öffnen der Schalung zum Lagerplatz in der Halle gebracht. Hierbei können die Deckel sowie alle Seitenteile der Schalungen weggeklappt werden, was die Gefahr von Beschädigungen an den Tübbingen minimiert.

Eine Nachbehandlung von Lunkern oder anderen Schadstellen kann bei entsprechenden Fehlern notwendig werden.

2.2.5 Handling

Alle Hebevorgänge werden mit Hilfe von Portalkränen in den Hallen durchgeführt, welche sich auf den Seitenträgern der Stahlkonstruktion bewegen können. Neben diesen Kränen befinden sich weitere außerhalb der Fertigungshalle auf den Lagerplätzen. Das Anheben und Wenden der Segmente erfolgt mit speziellen Stahlvorrichtungen von Herrenknecht Formwork.



2.3 Peripheriegeräte

Für einen möglichst unterbrechungsfreien Vortrieb sind weitere Einrichtungen auf der Baustelle nötig. Die sogenannten Peripheriegeräte umfassen unter anderem folgende Baustelleneinrichtungsteile:

2.3.1 Separieranlage

Die Separieranlage trennt das Abbaumaterial von der Suspension. Die Anlage, welche in Port Said zum Einsatz kommt, wurde, wie auch die Tunnelbohrmaschine, von Herrenknecht AG geliefert. Es handelt sich um zwei baugleiche Anlagen, die je eine Tunnelröhre versorgen sollen. Die momentane Kapazität einer Separieranlage liegt bei etwa 2800 m³/h, wobei eine Erweiterung auf 3200 m³/h in Planung ist.

In der Separieranlage sorgen hohe G-Kräfte in einem leistungsstarken Zusammenspiel von modernster Siebtechnologie und Hydro-Vakuum-Zyklonen für eine zuverlässige Trennung

aus Abraum und Suspension. Das Entfernen und Entwässern auf geringe Restfeuchten des abgetragenen Erdreichs minimiert dessen Gewicht und spart somit Entsorgungskosten. Um eine Beeinträchtigung des Tunnelvortriebs durch den schluffig-tonigen Boden bzw. in der Suspension verbleibende Feinstpartikel zu vermeiden, kommt es zu drei Trennstufen und einer zusätzlichen Entwässerung.



In der ersten Stufe werden mit Hilfe eines Grobsiebs alle Partikel über fünf Millimetern Korngröße ausgesiebt. Die nächst kleineren Bodenbestandteile werden durch einen großen Hydrozyklon aufgeteilt. Dabei fallen alle Bodenteile zwischen 0,2 und 5 Millimetern in die nächste Trennstufe,

während alle kleineren Teile in die Entwässerung gepumpt werden.

In der letzten Stufe findet lediglich eine Entwässerung des Materials statt. Aus diesem Grund kommen auch alle Partikel zwischen 40 und 200 Mikrometern aus dem Feinzyklon (Multizyklon) in diese Trennstufe. Sie werden dort durch ein Entwässerungssieb von überschüssiger Feuchtigkeit getrennt. Schmutzpartikel unter 40 Mikrometern Durchmesser können durch die Separieranlage nicht getrennt werden. Dementsprechend ist eine kontinuierliche Zugabe von Frischwasser und -suspension erforderlich.

2.3.2 Förder- und Speisepumpen

Ein weiteres wichtiges Bauteil für den Suspensionskreislauf sind die Förder- und Speisepumpen. Hier kommen mehrere Kreiselpumpen der britischen Firma WEIR Group zum Einsatz. Eine dieser Pumpen ist direkt auf einem Nachläufer der Tunnelbohrmaschine montiert und bewegt sich so mit dem Vortrieb mit. Die Kreiselpumpe eignet sich für den Transport von Abraum und Suspension am besten, da sie relativ verschleißarm arbeitet und auch mit größeren Steinen oder Lehmklumpen



keine Probleme bekommt. Die verbauten Pumpen erreichen einen Wirkungsgrad von etwas mehr über 75% und fördern bei 650 rpm etwa 2500 m³ in der Stunde. Die Speise- und Förderleitungen sind im Durchmesser DN 500 ausgebildet.

Ab einer gewissen Vortriebslänge werden zusätzliche Pumpen im Tunnel installiert, die einen ausreichenden Durchfluss sicherstellen. Besonders viel Energie geht vom Fuß des Schachts bis zur Geländeoberkante verloren. Neben den relativ geringen Reibungsverlusten und den örtlichen Verlusten der Bögen stellt dieser Höhensprung den größten hydraulischen Verlust dar. Aus diesem Grund wird auf der Sohle des Schachtes eine zusätzliche Pumpe eingebaut.

2.3.3 Tanksysteme und Bentonitmischanlagen

Um eine kontinuierliche Versorgung des Suspensionskreislaufs zu gewährleisten, stehen auf der Baustelle in Port Said insgesamt acht Tanks mit je 800 m³ zur Verfügung. Dieses Speichervolumen ist für Frisch- und Altbentonitsuspension und Frischwasser gedacht. Diese



Tanks sind als Puffer für Verbrauchsspitzen durch Vortrieb und Rohrerweiterungen eingeplant. Durch diese Arbeiten wird häufig eine große Menge an Suspension benötigt, die bei einer direkten Produktion zu einer unwirtschaftlich hohen Zahl von Mischanlagen führen würde. Die errichteten Tanks gleichen die Spitzen aus und bieten zusätzlich eine gewisse Sicherheit im Fall einer Leckage.

Unmittelbar neben den Tanks sind die Silos sowie die Bentonitmischanlagen positioniert. Diese Anlagen sind, wie die Separieranlage auch, in Containern untergebracht und lassen sich leicht erweitern. Jeder der fünf Mischanlagencontainer kann unter Vollast 4000 Liter Suspension pro Minute herstellen. Um diese Leistung sicher zu stellen, stehen jeder Mischeinheit zwei Silos mit je 50 Tonnen Fassungsvermögen zur Verfügung.

Auf Grund der sehr unsicheren Versorgung mit Frischwasser in diesem Teil der Sinai-Halbinsel sind außerdem große Speichervolumen geplant worden. Pro Tunnel besitzen diese Becken ein Fassungsvermögen von 40 000 m³

2.3.4 Mörtelmischanlage

Direkt neben den Schächten ist jeweils eine Mörtelmischanlage vorgesehen. Diese versorgt die Tunnelbohrmaschine mit Verpressmörtel, der unmittelbar nach dem Einbau der Ringe zur Abdichtung um die Tübbinge gepresst wird. Dies wird mit acht Mörtelpumpen der Firma Schwing Hydraulik Elektronik GmbH, welche wir auch im Werk in Herne besichtigen konnten, realisiert. Der Mörtel wird über acht Düsen am Übergang zum Schildschwanz eingebracht,

wobei jede der Pumpen eine Fördermenge von je bis zu 10 m³/h leistet. Diese Menge wird jedoch in der Regel nicht benötigt. Die Tunnelbohrmaschine besitzt einen 20 m³ Tank für Mörtel, welcher während des Vortriebs durch die Multi-Service-Vehicles (MSV) mit Frischmörtel kontinuierlich gefüllt wird. Dies ist auf Grund des kurzen Transportweges möglich.

Die Mörtelmischanlage in Port Said wird aus drei Silos mit einem Fassungsvermögen von etwa 18 m³, einer dreizelligen Sandanlieferrampe für Radlader und einem 1000-Liter-Mischer bestehen. Ihre Kapazität liegt bei etwa 55 m³/h.

2.3.5 Ventilation (Lutte)

Ein weiterer unverzichtbarer Teil einer Tunnelbaustelle ist die Ventilation des Schachtes und des Tunnels während des Vortriebs. Diese sorgt ständig für Frischluft und verhindert die Anreicherung schädlicher Gase aus Verbrennungsprozessen oder durch das Personal in Folge von Atemvorgängen.

Außerdem können kleinere Konzentrationen von Erdgas, die beim Bohren in den Tunnel gelangen können, durch diese Anlagen verdünnt und abtransportiert werden. Die Ventilationsanlage setzt sich aus einem Axialventilator und einer Röhre, der sogenannten Lutte, zusammen. Die Lutte ist für den Transport der Luft im Schacht und Tunnel zuständig. Es gibt zwei Arten von Ventilationssystemen. Zum einen gibt es saugende Lutten, die Brauchluft aus dem Tunnel saugen und somit einen Unterdruck erzeugen. Diesen Unterdruck gleicht der atmosphärische Druck mit frischer Luft aus, die von außen nachströmt. Zum anderen gibt es auch blasende Lutten. Diese erzeugen einen Überdruck im Tunnel, welcher die Brauchluft durch den Schacht nach draußen transportiert. Diese Art von Ventilation kommt auch in den Tunnelröhren der Port Said Tunnels zum Einsatz.



Für jeden Tunnel wird ein Ventilator der Firma Korfmann Lufttechnik GmbH auf einem Container montiert, um den gefährlichen Ansaugbereich außerhalb der Laufwege zu halten. Jeder dieser AL 17-2000 soll über 55 m³ Luft pro Sekunde in den Schacht pressen, was bei einem Luttedurchmesser von 2,4 m zu einer errechneten Strömungsgeschwindigkeit von etwa 13 m/s führt.

2.3.6 Tauchercontainer

Für Arbeiten am Schneidrad in großer Tiefe werden auf Grund des hohen Grundwasserdrucks Spezialtaucher benötigt. Bei dem Tunnelprojekt in Port Said kommt es schätzungsweise zu einem Druck von 6,5 bar. Dies ist dem 1,2 Meter unter der Geländeoberkante anstehendem Grundwasser geschuldet.

Diese hohen Grundwasserdrücke (>4 bar) beeinflussen einerseits die statische Bemessung und die konstruktive Auslegung der Tübbinge sowie andererseits das TBM-Design. Außerdem wird mit zunehmendem Wasserdruck die zuverlässige Stützung der Ortbrust

schwieriger. Für Einstiege in die Abbaukammer der TBM werden zusätzliche Druckluftinstallationen und spezielle Gasmische erforderlich.

Da der menschliche Organismus keine zu großen Druckschwankungen unbeschadet übersteht, ist nur eine langsame Erhöhung möglich. Währenddessen hat der Körper Zeit, sich an den umgebenden Druck zu gewöhnen. Da ein Werkzeugwechsel oder Reparaturen ungeplant auftreten können, sind Gewöhnungsphasen von mehreren Wochen nicht tragbar. Aus diesem Grund wird ständig ein Taucher auf der Baustelle vorgehalten, welcher unter dem aktuell erforderlichen Druck in der so genannten Diver City lebt.

Die Diver City auf der Baustelle Port Said Tunnels besteht aus insgesamt zwölf Containern. Sie beinhalten neben Umkleieräumen und sanitären Einrichtungen auch einen Meeting Room Container und eine Krankenstation. Zusätzlich gibt es neben den Containern noch Gas-Lager von je etwa 100 Quadratmetern Fläche, um die Versorgung mit Luft sicher zu stellen.

Muss ein Taucher in den Bohrkopf, wird er in einer Druckluftkapsel bis zur Schleuse gebracht und steigt dort unter dem entsprechenden Druck in die Tauchkammer ein, um dort zu arbeiten. Hierzu kann das Bentonit über die Zugabe von Druckluft abgesenkt werden. Ein Tauchen im Bentonit ist mit Unterstützung durch die deutsche Firma NORDSEETAUCHER GmbH möglich. Die Firma aus Ammersbek arbeitet bei Tunnelprojekten auf der ganzen Welt und unterstützt die ägyptischen Bauherren durch ihre umfangreiche Erfahrung.

2.3.7 Kühlanlagen

Überall, wo mechanische Prozesse ausgeführt werden, fällt Reibungswärme an. Um diese und die Abwärme der elektronischen Geräte abzuleiten, muss die Tunnelbohrmaschine mit einem Kühlsystem ausgestattet werden. Da in den Wüstenregionen der Sinai-Halbinsel mit Temperaturen von mehr als 45° Celsius zu rechnen ist, muss diese Anlage besonders leistungsstark ausgelegt werden.

Als Kühlflüssigkeit für den Kreislauf wird Wasser eingesetzt, da dessen Beschaffung in großen Mengen am einfachsten ist. Es wird über Rohrleitungen zur Tunnelbohrmaschine geführt, wo das warme Wasser in die Warmzone des Tanks gelangt. Die Kühlturmpumpe fördert dieses erwärmte Wasser zu den Kühltürmen, in denen es dann über Sprühdüsen gleichmäßig auf Füllkörperpakete (Wärmeaustauscher) verteilt wird. Das Wasser rieselt durch diese Wärmeaustauscher nach unten in das Wassersammelbecken des Kühlturms, während die Ventilatoren die angesaugte Luft im Gegenstrom durch die Kühltürme befördert. Durch die innige Verbindung der Luft mit dem herabrieselnden Wasser verdunstet ein Teil der umlaufenden Wassermenge, und das Wasser kühlt sich durch Wärmeentzug ab. Die kühlsche erreichbare Wassertemperatur ist nicht von der fühlbaren Lufttemperatur, sondern von deren Wasserdampfgehalt, ausgedrückt durch die Feuchtkugeltemperatur, abhängig. Das abgekühlte Wasser gelangt von den Kühltürmen über freie Abläufe in die Kaltzone des Tanks. Die TBM-Pumpe fördert das abgekühlte Wasser aus der Kaltzone des Tanks zu den Verbrauchern der Tunnelvortriebsmaschine. Wichtig ist dabei, dass genug Frischwasser zur Verfügung steht, um den Verdunstungsverlust wieder auszugleichen. Dieser Verlust liegt bei der Kühlanlage in Port Said bei etwa 3200 Litern in der Stunde und erzeugt eine Abkühlung von etwa 9 Grad Celsius. Durch den Volumenstrom von mehr als 200 m³/h ist eine ausreichende Kühlung sichergestellt.

Neben dieser Kühlanlage werden auf der Baustelle in Port Said noch große Mengen Eis hergestellt. Durch die bereits erwähnten sehr hohen Temperaturen erhitzen sich die Zuschläge in der Mittagssonne so stark, dass eine Betonherstellung nur noch mit Eiswasser möglich ist. Durch diese Maßnahme und weitere Zusatzmittel / Zusatzstoffen wird die Hydrationswärme des Betons niedrig genug gehalten, um größere Schäden zu vermeiden. Die detaillierte Betonherstellung in Port Said würde allerdings ein Thema für einen separaten Bericht darstellen und soll deshalb nicht näher erläutert werden.

2.3.8 Multi-Service-Vehicle (MSV)

Die Multi-Service-Fahrzeuge oder auch MSV's bieten die nötige Mobilität im Tunnel, ohne ein Schienensystem verlegen zu müssen. Die Fahrzeuge der Herrenknecht-Tochter Techni-Métal Systèmes realisieren die Versorgung der Tunnelbaustelle daher unabhängig von der bereits zurückgelegten Vortriebsstrecke. Sie halten die komplexen Arbeitsabläufe des Tunnelvortriebs und Tunnelausbaus parallel am



Laufen. Luftbereift sind sie unabhängig von einer ebenen Fahrbahn und können somit in den Sohlsegmenten sowie auf befestigten Wegen und Straßen außerhalb des Tunnels eingesetzt werden. Der wesentliche Vorteil von Multi-Service-Fahrzeugen ist ihre enorme Geländegängigkeit auch bei starken Steigungen und Gefällen. Durch eine ausgeklügelte Einzelradaufhängung haben alle Räder des Fahrzeugs immer vollen Bodenkontakt. Dies ist für den Transport über die Schotterpisten der Wüste von großem Vorteil, um die Tübbingsegmente nicht zu beschädigen. Die mitlenkenden Hinterräder erlauben zudem Kurvenfahrten selbst bei sehr kleinen Radien. Diese Fahrzeuge sind in der Lage, Lasten von bis zu 120 Tonnen zu transportieren, und können so effizient die Tunnelbohrmaschine mit Segmenten versorgen. Durch die hohe Zuladung ist es möglich, einen gesamten Tübbingring pro Fahrt anzuliefern. Hierzu steht zusätzlich ein 42 Tonnen Portalkran am Lagerplatz der Segmente zur Verfügung. Diese Ladekapazität erlaubt es, drei Segmente gleichzeitig auf die MSV's zu verladen, und verkürzt somit ungemein die Lieferzeiten.³

Neben reinen Materialtransportern wurden auch vier multifunktionelle Mannschaftstransporter angeschafft. Diese können Arbeiter zur Maschine bringen und im Notfall auch als Verletzentransport dienen. Außerdem kann der Mannschaftscontainer

³ Vgl. <https://www.herrenknecht.com/de/produkte/zusatzequipment/vortrieb-logistik/multi-service-fahrzeuge.html>

demontiert werden und ein Tank für Mörtel aufgesetzt werden. Dadurch wird die Versorgung der Maschine mit Verpressmörtel gewährleistet.

2.3.9 Sonstiges

Auf die Dutzenden kleiner Tanksysteme für Wasser, Treibstoff oder kleine Mengen Beton wird hier nicht weiter eingegangen, da dies den Rahmen dieses Berichts sprengen würde. Es versteht sich natürlich von selbst, dass eine solche Großbaustelle nicht ohne eine ausreichende Versorgung an Kraftstoff und Trinkwasser funktionieren kann. Zudem kommen diverse Geräte des Spezialtiefbaus, Kräne und andere Baustellenfahrzeuge zum Einsatz.



Neben der Herstellung von Suspension befindet sich auf dem Baustellengelände in unmittelbarer Nähe zur Segmentfabrik auch ein Betonmischwerk. Dieses stellt neben dem Beton für die Tübbinge auch den für den Schacht benötigten Frischbeton her.



2.4 Schachteinrichtung

Zu diesem Unterpunkt zählen viele weitere kleine Unterpunkte, wie zum Beispiel die diversen Rohrleitungen und ihre Konsolen, die Treppentürme und Gerüste, die während diverser Arbeiten benötigt werden, sowie die Material und Werkzeugcontainer.

Es soll jedoch besonderes Augenmerk auf die Konstruktionen, welche für den Tunnelvortrieb direkt nötig sind, gelegt werden. Die Stahlbauteile haben im Wesentlichen drei Aufgaben zu erfüllen: erstens die Abdichtung des Schildes in der Anfahrtsphase, bis es sich im Erdreich befindet, zweitens die Ausrichtung der Maschine auf 3,3° Gefälle und drittens ihr ein Widerlager zu bieten, bis die Mantelreibung des Tunnels ein sicheres Vorpressen sicherstellt.

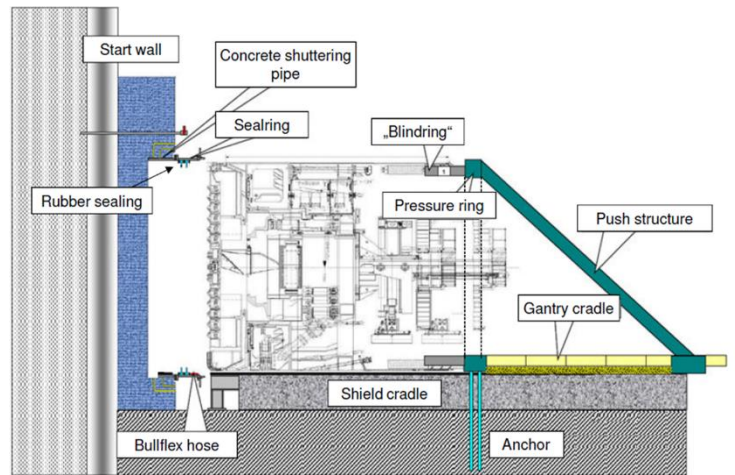


Abb. 1: Schnitt (Quelle: W&F Server)

2.4.1 Abdichtung

Die Abdichtung übernehmen hauptsächlich drei Bauteile: der Schildschwanz (Tailskin), das Betonübergangrohr (concrete shuttering pipe) und der Dichtungsring (Sealring).

Auf den Schildschwanz wurde bereits in der Beschreibung der Tunnelbohrmaschine eingegangen. Er bildet auch in der Anfahrtsphase eine Schutzhülle. Den Übergang in das Erdreich bildet das Betonübergangrohr, welches mittels Kopfbolzen kraftschlüssig in einen Stahlbetonrahmen einbetoniert wurde. An ihm wird der Sealring verschraubt. Dieser verfügt über zwei starke Gummidichtungen, die verhindern, dass Suspension aus der Abbaukammer in den Schacht gepresst wird. Sobald der erste Blindring hinter dem Dichtungsring montiert ist, übernimmt diese Funktion der Schildschwanz mit seiner Mehrfachdichtung.

2.4.2 Ausrichtung

Die Ausrichtung der Tunnelbohrmaschine übernimmt neben der Concrete Shuttering Pipe und dem Sealring hauptsächlich die Schildwiege oder auch shield cradle genannt. Wie der Name schon sagt, handelt es sich um eine wiegenförmige Stahlkonstruktion, die das Schild und den Schildschwanz stützt. Bereits während der Aufbauphase wird die Maschine auf ihr hin und her bewegt und Stück für Stück zusammengesetzt. Sie besteht aus insgesamt drei Teilen und wird in der ersten der drei Zellen montiert. Ihre Ausrichtung entscheidet über die Anfangsneigung der TBM und somit des späteren Tunnels.

2.4.3 Widerlager

Da die 50 Pressen der Maschine zu jedem Zeitpunkt des Vortriebs eine Kraft von mehr als 1500 MN auf die bereits verlegten Tübbinge ausüben können, ist ein solides Widerlager nötig. Insgesamt gibt es zwei Stahlkonstruktionen, die als Widerlager dienen: Der Displacementframe und der Thrustframe. Der im Vergleich zum Thrustframe relativ kleine Displacementframe befindet sich an der Schildwiege und bietet 8 Pressen ein Lager. Dies ist erforderlich, um die Schildsegmente und später die Front der Maschine während der

Montage verschieben zu können. Je nach Fortschritt des Aufbaus kann sich somit die Maschine weiter zur Schachtwand bewegen.

Nachdem die TBM ihre Endposition erreicht hat, wird der Thrustframe montiert. Er besteht sowohl aus einem Rahmen, gegen den die ersten Blindringe gesetzt werden, sowie den Aussteifen. Die schrägen Aussteifen leiten ihre Druckkräfte über Betonlager in die Schachtsohle weiter, während der Rahmen durch Anker im Erdreich gegen abhebende Kräfte gesichert ist. Zusätzlich wird der Thrustframe in der ohnehin vorhandenen Zellensteife (Stahlbeton) fixiert.

Neben diesen Lagern wird auch die Schildwiege aus Sicherheitsgründen gegen die Schlitzwände des Schachts ausgesteift, um ein seitliches Ausweichen bzw. Knicken bei Druck zu verhindern.

3 Fazit

Das Tunnelprojekt in Port Said war eine komplett neue Erfahrung für mich. Da im Studium kaum auf den Spezialtiefbau eingegangen werden kann, war der maschinelle Tunnelvortrieb für mich absolutes Neuland. Zudem hatte ich zuvor noch nie die arabische Welt bereist und stieß somit auch auf eine mir gänzlich unbekannte Kultur und Lebensweise.

Nach nun dreieinhalb Monaten auf der Baustelle sind viele offene Fragen beantwortet. Ich konnte mich mit den verschiedenen Arten von Tunnelbohrmaschinen auseinandersetzen und habe viel über deren Vor- und Nachteile gelernt. Da ich während dem Aufbau unserer Mixschildmaschinen anwesend war, habe ich jedes Bauteil gesondert begutachten können. Dies hat mein Verständnis über deren Technik und Funktionsweise weiter vertieft.

Neben der eigentlichen TBM war aber auch die Produktion der Tübbinge im Fertigteilwerk vor Ort sehr interessant. Durch die umfangreiche Baustelleneinrichtung und ihrer diversen Aufgaben konnte ich mir viele teilweise sehr spezielle Aspekte des Spezialtiefbaus im Detail anschauen. Dazu zählt unter anderem der Aufbau einer Separationsanlage für Bentonit.

Durch meine Unterbringung in einem Hotel in der Hafenstadt Port Said habe ich viele Eindrücke über die Lebensgewohnheiten und den Alltag der einheimischen Bevölkerung erhalten. Obwohl anfänglich die starke Präsenz von Polizei und schwer bewaffnetem Militär etwas verunsichert, gewöhnt man sich doch relativ schnell an diese Art von Sicherheit. In Anbetracht der häufigen Terroranschläge durch den Islamischen Staat und seine Unterstützer unweit der Baustelle, ist man schnell dankbar über bewaffnete Begleiter.

Durch meine Aufgabe, die Fahrer, Hotels und das Camp zu organisieren, hatte ich viele Gelegenheiten, Kontakte mit Ägyptern zu knüpfen, die teilweise über die Arbeitskontakte hinaus zu privaten Treffen am Abend führten.

Alles in allem war mein Aufenthalt auf dem Sinai und in Port Said eine Erfahrung fürs Leben. Durch mein Praktikum bei W&F habe ich nun einen Eindruck davon, welche Anforderungen sowohl fachlich als auch persönlich an einen Bauingenieur im internationalen Baugeschäft gestellt werden. In meiner aktuellen Lebensposition kann ich mir solch ein Leben, bei dem man auf Großprojekten weltweit tätig werden kann, gut vorstellen. Ich bin sehr glücklich, dass mir die Möglichkeit gegeben wurde, dies herauszufinden, bevor ich durch meinen Berufseinstieg eine längerfristige Entscheidung treffen muss.

Quellenangabe

Als Primärquellen wurden verschiedene Ordner des Firmeninternen Netzwerks über das Baustellenequipment verwendet, welche leider nicht veröffentlicht werden dürfen. Außerdem entstammen viele Daten und Werte sowie die Funktionsweise der Maschine einer Herrenknecht PowerPoint Präsentation vom 31.01.2015, welche nicht öffentlich gehalten wurde. Daher ist eine Veröffentlichung als Anhang nicht möglich.

Als Sekundärquellen dienten folgende Herstellerwebsites, welche alle am 22.11.2016 & 23.11.2016 im Zeitraum von 10:00 bis 18:00 abgerufen wurden:

<https://www.herrenknecht.com/de/home.html>

<https://www.global.weir/>

<http://www.korfmann.com/>

<http://www.nordseetaucher.de/>

Alle Fotos wurden von Herr Tom Bender gemacht und unterliegen keinen weiteren Urheberrechten.