

Projekt Palomino: Erster Doppelschildvor- trieb in der Dominika- nischen Republik

13,5 km lang ist der Zulauftunnel des neuen Wasserkraftwerkes Palomino in der Dominikanischen Republik. 12,4 km hat die technisch anspruchsvolle Doppelschild-Tunnelbohrmaschine S-494 mit dem Namen „Anacaona“ von Herrenknecht aufgeföhren. Eine projektspezifisch abgestimmte Baustellenlogistik führte zu durchgehend hohen Vortriebsleistungen und einem Projektrekord von 1.091,65 m Tunnel im Monat.

1 Inselfioniere

Die Doppelschild-TBM „Anacaona“ (4,5 m Durchmesser) (Bild 1) begann ihre Arbeit dort, wo 1492 Kolumbus' erste große Entdeckungstour endete. Auf der Karibikinsel Hispaniola, die sich heute die Länder Haiti und die Dominikanische Republik teilen. Kolumbus' Flaggschiff Santa Maria blieb nach wochenlanger Reise auf einer Sandbank vor der Insel stecken. Dem Mythos nach wurde das Eroberungsschiff anschließend zersägt und die spanischen Eroberer verwendeten die Balken zum Bau ihrer ersten Häuser auf der Insel.

Heute, über 600 Jahre nach Kolumbus' Ankunft, feiert die Insel Premieren anderer Art. Denn als erste Baufirma orderte Construtora Norberto Odebrecht S.A. 2008 eine technisch anspruchsvolle Doppelschild-TBM von Herrenknecht in die Dominikanische Republik. Das Baustellenteam taufte die 615 t schwere und 252 m lange TBM S-494 auf „Anacaona“, dem

Elena Weidt, Herrenknecht AG, Schwanau/D
www.herrenknecht.de

Namen einer Königin des Urvolkes Tainos, das zu Zeiten von Kolumbus Hispaniola besiedelte. „Anacaona“ wehrte sich damals gegen die spanischen Eroberer; den Inselbewohnern ist sie bis heute im kollektiven Gedächtnis geblieben.

Odebrecht realisiert mit „Anacaona“ immerhin ein Pionierprojekt: Den Bau des ersten Tunnels der Insel mit Tübbingauskleidung (4,36 m Außen- und 3,96 m Innendurchmesser), in diesem Fall mit Schalungsequipment von Herrenknecht Formwork Technology. Durch diese Röhre wird künftig Wasser der Flüsse Rio Yaque del Sur und Blanco geleitet werden, um die Turbinen des neuen Wasserkraftwerkes Palomino im Südwesten des Inselstaates anzutreiben.

2 Projekt Palomino

Die Regierung der Dominikanischen Republik beauftragte

Palomino Project: First Double Shield TBM in the Dominican Republic

13.5 km – this is the length of the intake tunnel for the new Palomino hydro-electric plant in the Dominican Republic. „Anacaona“, the technically complex S-494 Double Shield TBM from Herrenknecht has tunnelled 12.4 km. Job site logistics tailored to this specific project allowed considerable advances to be made all the time. The project record is 1,091.65 m of tunnel in 1 month.

1 Island Pioneers

The „Anacaona“ Double Shield TBM (4.5 m diameter) (Fig. 1) started its work where Columbus' first great voyage of discovery ended in 1492. On the Caribbean island of Hispaniola, which is today shared by Haiti and the Dominican Republic. Columbus' flagship, the Santa Maria, got stuck on a sandbank just off the island after a voyage lasting many weeks. The story has it that the conquering ship was then sawn into pieces, and the Spanish conquerors used the planks to build their first houses on the island.

Today, more than 600 years after Columbus' arrival, the island celebrates premieres of a different kind, because in 2008 the construction company Construtora Norberto Odebrecht S.A. was the first to order a technically highly complex Double Shield TBM from Herrenknecht for the Dominican Republic. The TBM S-494 weighs 615 t and is

252 m long, and the site team christened it „Anacaona“ after a queen of the native Taino people who inhabited Hispaniola in Columbus' day. Back then, „Anacaona“ resisted the Spanish conquerors; she has remained in the collective memory of the island's inhabitants to this day.

After all, „Anacaona“ enabled Odebrecht to complete a pioneering project: The construction of the island's first tunnel with segmental lining (external diameter: 4.36 m, internal diameter 3.96 m), in this case with formwork equipment from Herrenknecht Formwork. In the future, water from the Rio Yaque del Sur and Blanco rivers will be channeled through this duct to power the turbines of the new Palomino hydro-electric plant in the south-west of the island country.

2 Palomino Project

In 2009, the government of the Dominican Republic commissioned the Brazilian construction company Odebrecht to construct Palomino. It thus forged ahead



Farbe bekennen: Zum ersten Mal vertrauen karibische Bauherren auf eine Doppelschild-TBM von Herrenknecht

Showing colors: For the first time, Caribbean project owners rely on a Double Shield TBM by Herrenknecht

2009 den brasilianischen Baukonzern Odebrecht mit dem Bau von Palomino. Sie forcierte damit ein weltweites Anliegen: Den Ausbau regenerativer Energien zu einer umweltschonenderen Versorgung. Mit Palomino sollen künftig 80 MW grüner Strom erzeugt und in das einheimische Netz gespeist werden. Diese Menge würde den Import von 400.000 Barrel (63 Mio. Liter) Erdöl überflüssig machen. Die Inselrepublik will dadurch ihre Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen reduzieren (Tabelle 1).

Für Palomino bedurfte es einer unterirdischen Röhre vom Stausee südlich des höchsten Bergs der Karibik, Pico Duarte, zum Maschinenhaus nahe des Dorfes Bohechio. Sie führt durch den mächtigen Gebirgszug Cordillera Central (Bild 2). Es war geplant, 11,3 km des Tunnels mit einem Außendurchmesser von 4,36 m maschinell aufzufahren, die verbleibenden 2,2 km sollten bergmännisch vorgetrieben werden. Nach den guten Vortriebsleistungen der ersten 12 Monate entschied das Baustellen-Management 1,2

with a global objective: The expansion of regenerative energies to provide an environmentally friendly supply. In future, Palomino will generate 80 MW of green electricity and feed it into the local grid. This amount would make the import of 400,000 barrels (63 million liters) of oil superfluous. The island republic's aim is to reduce its dependency on fossil fuels (Table 1).

Palomino required a underground duct from the reservoir south of the highest mountain in the Caribbean, Pico Duarte, to the generator hall near the villa-

ge of Bohechio. It runs through the mighty Cordillera Central chain of mountains (Fig. 2). The plan was to bore 11.3 km of the tunnel with an external diameter of 4.36 m by machine, the remaining 2.2 km were to be tunnelled conventionally. After 12 months of good excavation performance, the Palomino jobsite management decided to excavate 1.2 km of the conventional section using the tunnel boring machine. The tunnelling was to be done in one go: No intermediate access shafts for revisions were planned.

Tabelle 1: Projektdaten

Ort	Boechío (Dominikanische Republik)
Nutzung	Wasserkraft
Kunde	Construtora Norberto Odebrecht S.A.
Bauherr	Regierung Dominikanische Republik
Tunnellänge	12,4 km
Tübbing-Außendurchmesser	4,36 m
Maschineller Vortrieb	17. August 2009 bis 23. März 2011

Table 1: Projekt data

Location	Boechío (Dominican Republic)
Use	Hydropower
Customer	Construtora Norberto Odebrecht S.A.
Commissioned by	Government of the Dominican Republic
Tunnel length	12.4 km
Segment outer diameter	4.36 m
Machine tunnelling	August 17, 2009 until March 23, 2011



Hinter den Kulissen: Die Anfahrtsituation der TBM auf der Baustelle Palomino vor der Cordillera Central im Südwesten der Insel
 Behind the scenes: The TBM's launch site at the Palomino jobsite in front of the Cordillera Central in the island's south west

km der konventionellen Strecke mit der Tunnelbohrmaschine aufzufahren. Der Vortrieb sollte in einem Zug erfolgen: Es waren keine Zwischenangriffe für Revisionen geplant.

3 Geologische Herausforderungen

Was viele vom karibischen Urlaubsziel nicht wissen: fernab der Strände bietet die Insel eine imposante Bergwelt. Unter den 5 Gebirgszügen, die die Insel Hispaniola von Südost nach Nordwest durchziehen, ist Cordillera Central mit einer Länge von 250 km dominierend (Bild 2). Diese Region wird auch „Dominikanische Alpen“ genannt – die Herrenknecht-Mitarbeiter aus Schwanau fühlten sich eher an die Landschaft des Schwarzwaldes erinnert.

- **Ventura-Formation:** Mergel, Sandstein und Kalkstein
- **Tireo-Formation:** Andesit, Basalt und Granodiorite.

Das geologische Gutachten ergab, dass der Zulauftunnel für Palomino durch 2 sehr unterschiedliche geologische Schichten verlaufen wird: die Ventura- und die Tireo-Formation. Im ersten Baugrund, der 6.590 m langen Ventura-Formation, liegt überwiegend weiches und lockeres Gestein übereinander, weshalb hier mit Störzonen gerechnet wurde. Beim Bohren hätte hier der Gebirgshimmel über „Anacaona“ einbrechen, Material in den Bohrkopf eindringen und ihn blockieren können. Bei Überdeckungen von bis zu 525 m barg diese Schicht noch ein weiteres Risiko: enormer Druck auf die Maschine und den ausgebrochenen Tunnel.

Mit völlig anderen Bedingungen rechneten die Ingenieure im zweiten Baugrund, der Tireo-Formation. Das Gestein ist hier so fest, dass ursprünglich auf je 500 m³ ausgebrochenes Gestein ein Wechsel der Schneidrollen des Bohr-

3 Geological Challenges

Many people are unaware that the Caribbean holiday destination has an imposing range of mountains far away from the island's beaches. The Cordillera Central is 250 km long and thus the most dominant of the 5 mountain ranges which cross the island of Hispaniola from south-east to north-west (Fig. 2). This region is also called the „Dominican Alps“ - the Herrenknecht staff from Schwanau felt it reminded them more of the landscape in the Black Forest.

- **Ventura Formation:** Marl, sandstone and limestone
- **Tireo Formation:** Andesite, Basalt and granodiorite.

The geological survey showed that the intake tunnel for Palomino would run through 2 very different geological layers: The Ventura and the Tireo formations. The first type of ground, the 6,590 m long Ventura forma-

tion, consists mainly of soft and loose rock stacked on top of each other, which is why fault zones had to be assumed here. During the tunnelling, the tunnel ceiling could have caved in on „Anacaona“, material could have entered the cutterhead and blocked it. At overburdens of up to 525 m this layer also presented a further risk: Enormous pressure on the machine and the excavated tunnel.

The engineers expected completely different conditions in the second type of ground, the Tireo formation. The rock is so hard here that originally it was planned to change the disc cutters of the cutterhead every 500 m³ of excavated rock. This meant a total of 196 stops over this distance of 5,845 m. Additionally, there was the possibility in general that the tunnel route could traverse groundwater-bearing layers. This geological and hydrological prediction for Palomino led the engineers to expect correspondingly high de-

Tabelle 2: Maschinen-Parameter der Doppelschild-TBM

Schilddurchmesser	[mm]	4.500
Bohrdurchmesser	[mm]	4.615
Länge	[m]	252
Gewicht	[t]	615
Schneidradleistung	[kW]	1.400
Vortriebspresenkraft	[kN]	19.792
Schneidrad-Drehzahl	[rpm]	0 bis 11
Nennmoment	[kNm]	1.694
Antriebsart	[-]	FU elektrisch

kopfes geplant wurde. Das bedeutete auf dieser Strecke von 5.845 m alles in allem 196 Stopps. Hinzu kam die generelle Möglichkeit, Grundwasser führende Schichten könnten auf der Tunneltrasse liegen. Die Ingenieure rechneten aufgrund dieser geologischen und hydrologischen Prognose

für Palomino mit entsprechend hohen Anforderungen an den maschinellen Vortrieb.

4 Doppelschild-TBM für das Projekt Palomino

Im Februar 2008 beauftragte Odebrecht die Herrenknecht AG zur Lieferung einer Doppelschild-TBM. Hohe Erfah-

Table 2: Maschine parameters of the double shield TBM

Shield diameter	[mm]	4,500
Drill diameter	[mm]	4,615
Length	[m]	252
Weigth	[t]	615
Cutting wheel power	[kW]	1,400
Thrust force	[kN]	19,792
Cutting wheel speed	[rpm]	0 to 11
Nominal torque	[kNm]	1,694
Drive type	[-]	VFD elektrisch

mands would be placed on the mechanized tunnelling.

4 Double Shield TBM for the Palomino Project

In February 2008 Odebrecht commissioned Herrenknecht AG to supply a Double Shield TBM. The wealth of experience and know-how of both companies

led to the project-specific design and manufacture of the Double Shield "Anacaona" (Table 2).

"Anacaona" was equipped with a thrust force of 19,792 kN in order to prevent it getting stuck. The Herrenknecht design engineers calculated a required minimum thrust force commensurate with the maximum

Ihr zuverlässiger Partner im Tunnelbau Separieranlagen - Technologie weltweit



Besuchen Sie uns!
TRENCHLESS MIDDLE EAST 2011 - Stand: 12
10.-11.10.2011 - Dubai - VAE



Schauenburg MAB GmbH • Weseler Str. 35 • 45478 Mülheim a. d. Ruhr
website: www.schauenburg-mab.com • e-mail: sales@schauenburg-mab.com
Tel.: +49 (0)208 - 9991 - 0 • Fax: +49 (0)208 - 59 24 09

SCHAUENBURG MAB

rungswerte und Know-How der beiden Unternehmen führten zum projektspezifischen Design und der Herstellung des Doppelschildes „Anacoana“ (Tabelle 2).

„Anacoana“ wurde mit einer Vortriebspresskraft von 19.792 kN ausgerüstet, um der Gefahr vorzubeugen stecken zu bleiben. Die Konstrukteure berechneten eine geforderte Mindestvortriebskraft entsprechend der maximalen Belastbarkeit der Abbauwerkzeuge (Disken) im Bohrkopf und der zu erwartenden Reibung zwischen Schild, Erdreich und Nachschleppkraft für den Nachläufer (Rollreibung der Fahrwerke und Berg-auf-Fahrt).

Weltweit haben Doppelschilde in diversen Projekten eine sehr gute Performance gezeigt und schnell, sicher und erfolgreich Tunnel in unterschiedlichen Gesteinsschichten aufgefahren. Sie sind eine zuverlässige Lösung, wenn die Geologen wie für Palomino heterogene Baugründe vorhersagen, größere Störzonen inbegriffen. Doppelschilde sind dann auf der sicheren Seite, sie beherrschen 2 Vortriebstechniken: den Doppelschild- und den Einzelschildmodus.

Das Prinzip der Doppelschild-TBM (Bild 3): Im vorderen Teil der Maschine befindet sich der Frontschild (1) und der Bohrkopf (2). Viele TBM können nur weiterbohren, nachdem ein kompletter Ring aus Tübbing gesetzt wurde. „Anacoana“ kann beides gleichzeitig. Während die TBM sich durch den Untergrund wühlt, fahren die Maschinenführer Zylinder aus, die die Gripperschuhe (3) seitlich an die gebohrte Tunnelwand pressen. Durch sie werden die beim Bohren auftretenden

Reaktionskräfte – Drehmoment und Längskräfte – in das Gebirge abgeleitet. Diese Trennung des Kräfteflusses ermöglicht „Anacoana“ das Multitasking. Während sie vorne bohrt, kann sie im Schutz des hinteren Schildbereiches unabhängig vom Vortrieb einen Ring aus Tübbing (4) setzen. Doppelschilde sind prädestiniert für das Auffahren langer Tunnel im Hartgestein. Ist der Fels aber nicht solide genug, um die Gripperschuhe auszufahren, die sich gegen den Fels verspannen, kann die Maschine auf den Einzelschild-Modus wechseln. Nach Abschluss eines Vorschubtaktes werden die Gripperschuhe eingefahren und der hintere Maschinenabschnitt durch die Hilfsvortriebspresen (5) gegen das Frontschild vorgeschoben.

Zu den maßgebenden Eigenschaften und Vorzügen einer Doppelschild-TBM zählen:

- Simultaner Vortrieb und Ringbau
- Zwei Vortriebstechniken: Doppelschild- und Einzelschildmodus

load on the excavation tools (discs) in the cutterhead and the expected friction between shield, soil and trailing force for the backup (rolling friction of the running gear and upwards travel).

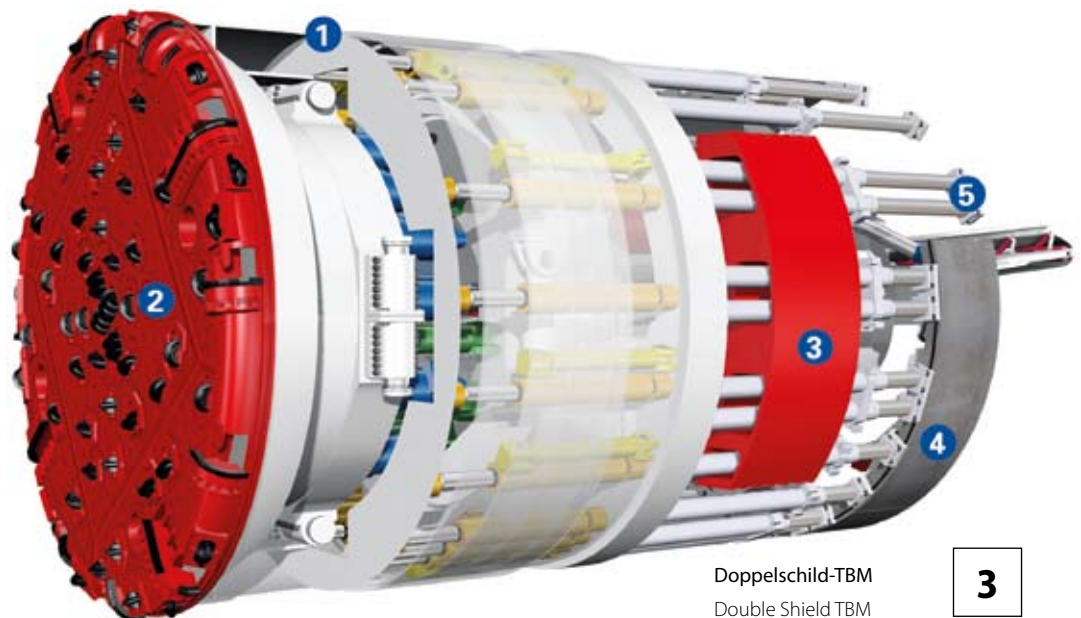
Double shields have performed very well in diverse projects all over the world and bored tunnels quickly, safely and successfully in a wide range of rock layers. They are the most reliable solution if the geologists predict conditions like those in Palomino - heterogeneous ground conditions including larger fault zones. Double shields are then a safe bet, they have 2 tunnelling modes: Double shield and single shield mode.

Double Shield TBM (Fig. 3): The front part of the machine is made up of the front shield (1) and the cutterhead (2). Many TBMs can only continue to bore after a complete ring of segments has been put into position. „Anacoana“ can do both things at the same time. As it burrows its way through the ground, the machine operator extends cylinders which press the gripper shoes (3) laterally against the

bored tunnel wall. They divert the reaction forces which occur during the drilling - angular momentum and longitudinal forces – into the rock. This separation of the distribution of forces allows „Anacoana“ to multitask. While it drills at the front, it can position a ring of segments (4) in the protection of the rear shield region independently of the tunnelling. Double shields are cut out for boring long tunnels in hard rock. If the rock is not stable enough to extend the gripper shoes which push against the rock, the machine can change to single shield mode. On completion of a thrust stroke, the gripper shoes are retracted and the rear section of the machine is pushed against the front shield by the auxiliary thrust cylinders (5).

The important characteristics and advantages of a double shield TBM include:

- Simultaneous tunnelling and ring building
- Two tunnelling modes: Double shield and single shield mode
- Flexible adaptation to the type of ground



Doppelschild-TBM
Double Shield TBM



Mensch und Maschine vereint: Die Tunnelbauer von Odebrecht und das Team von Herrenknecht ziehen ihren Hut vor der hoch komplexen TBM

Men and machine united: Odebrecht's tunnel constructors and the Herrenknecht team salute the highly complex TBM

- Flexible Anpassung an den jeweiligen Baugrund
- Trennung des Kräfteflusses von Drehmoment und Längskräften
- Enge Kurvenradien möglich.

Den Rekord unter diesen leistungsfähigen Maschinen hält im Übrigen der Herrenknecht-Doppelschild S-373 für das Projekt Cabrera. Er bohrte sich 2008 für einen Eisenbahntunnel zwischen Valencia und Madrid in nur 1 Monat 1.688 m in den Fels und setzte 1.055 Tübbingringe - und damit Weltbestmarken im Tunnelvortrieb mit Doppelschilden. Lässt sich ein solcher Rekord auch für das Pionierprojekt im karibischen Baugrund wiederholen? Nicht jeder Berg erlaubt solche Geschwindigkeiten.

Im Februar 2009 wurde nach der Werksabnahme am Herrenknecht-Standort in Schwanau (Süddeutschland) begonnen, die S-494 in Containern zu ver-

packen und zu verschicken, um sie an ihrem Einsatzort in der Dominikanischen Republik zu montieren. Bauherr und Bauunternehmer hatten im Vorfeld die lokale Infrastruktur so gut vorbereitet, dass selbst der Antrieb - der größten einteiligen Komponente der Kolli-Liste - mit einem Gewicht von 67.000 kg und Maßen von 3 x 5 x 4 m mit dem Lkw problemlos vom Hafen in La Haina an die abgelegene Baustelle transportiert werden konnte.

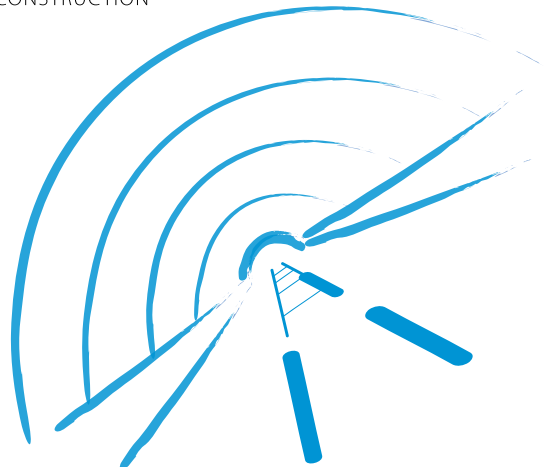
Am 17. August 2009 begann dann „Anacaona“ mit ihren Rollmeißeln das Gestein der Ventura-Schicht zu zermalmen und untertassengroße Brocken aus dem Fels zu brechen (Bild 4).

5 Baustelleneinrichtung und -logistik

Der erfahrene Tunnelbauer Odebrecht kaufte nicht nur die TBM, sondern orderte 2008 umfangreiches Equipment und Serviceleistungen von Herren-



BULGARIAN ASSOCIATION FOR
GEOTECHNICAL AND TUNNEL
CONSTRUCTION



www.bagtc.com

GEO PROJECTS 2011

First International Conference
for Geotechnical and Tunnel Construction
12-14 October 2011
Sheraton Sofia Hotel Balkan

tel.: +359 2 807 31 52
mail: info@bagtc.com

knecht und seinen Konzernspezialisten. Durch dieses Full-Range-Konzept konnten bereits im Vorfeld technische Schnittstellen optimiert werden. Übergeordnetes Ziel sind durchgängig hohe Leistungen und optimierte Abläufe im Gesamtprozess der Tunnelproduktion.

Einzelne Komponenten des Konzepts für das Projekt Palomino waren:

- Eine temporäre Tübbingfabrik von Herrenknecht Formwork Technology GmbH
- Steuerleitsystem von VMT Gesellschaft für Vermessungstechnologie mbH
- Baustellenservice von UTS Underground Technology Services GmbH
- Schienengebundene Transportsysteme von MSD Maschinen- und Stahlbau Dresden.

28 Mitarbeiter von Underground Technology Services GmbH (UTS) reisten im Auftrag von Odebrecht im Mai 2009 mit „Anacaona“ auf die Insel. Das Personal von UTS organisiert und koordiniert Expertenteams für die Baustelle: seien das TBM-Fahrer und -Supervisor, Mechaniker, Elektriker und andere Tunnelfachexperten. Für den maschinellen Vortrieb in Palomino stellte Odebrecht weitere 200 Arbeiter ein, die in 3 Schichten 24 Stunden/Tag und 7 Tage/Woche arbeiteten. 120 Arbeiter kehrten täglich im Tunnel ein und aus, nicht nur um TBM-Betrieb und Wartung aufrecht zu halten, sondern auch für die Reinigung des Tunnels, die Prüfung und Reparatur der Tunnelgleise, die primäre und sekundäre Verpressung sowie Konsolidierungsinjektionen, Reparaturen an Tübbing und

- Separation of the distribution of forces from angular momentum and longitudinal forces
- Tight curve radii possible.

Incidentally, the record holder among these powerful machines is the Herrenknecht S-373 double shield for the Cabrera project. For a railroad tunnel between Valencia and Madrid in 2008, it drilled 1,688 m into the rock and set 1,055 segment rings in only 1 month – and thus reaching an all-time high in tunnelling with double shields. Can such a record be repeated for the pioneering project in the Caribbean construction ground? Not every mountain permits such speeds.

In February 2009 after the factory acceptance at the Herrenknecht plant in Schwanau (Southern Germany) work began on packing the S-494 into containers and shipping it in order to assemble it at its construction site in the Dominican Republic. Prior to this, the government of the Dominican Republic and the construction company had prepared the local infrastructure so well that even the drive – the largest single-piece component on the freight list with a weight of 67,000 kg and dimensions of 3 x 5 x 4 m – could easily be transported by truck from the port at La Haina to the remote construction site.

On August 17, 2009 “Anacaona” started to crush the rock of the Ventura layer with its disc cutters and cut lumps as big as a saucer from the rock (Fig. 4).

5 Site Facilities and Logistics

The experienced tunnel constructor Odebrecht not only purchased the TBM, but also ordered extensive equipment and

services from Herrenknecht and its corporate specialists in 2008. This full-range concept made it possible to already optimize technical interfaces in advance. The overriding objectives are continuous high performance and optimized processes in the complete tunnel production process.

Individual components of the concept for the Palomino project were:

- A temporary segment production plant from Herrenknecht Formwork Technology GmbH
- Guidance system from VMT Gesellschaft für Vermessungstechnologie mbH
- Site service from UTS Underground Technology Services GmbH
- Rail-based transport system from MSD Maschinen- und Stahlbau Dresden.

In May 2009, 28 staff members from Underground Technology Services GmbH (UTS) accompanied “Anacaona” to the island on behalf of Odebrecht. The staff from UTS organized and coordinated teams of experts for the construction site: TBM supervisors and drivers, mechanics, electricians and other tunnelling experts. Odebrecht employed a further 200 workers for the construction of Palomino’s TBM tunnel, who were assigned to 3 shifts, working 24/24h 7 days a week. Every day 120 workers entered the tunnel and came out again, not only to support the TBM operation and maintenance, but also all tunnelling related processes, as cleaning the tunnel, checking and fixing the rails, primary and secondary as well as consolidation grouting, repairing segments and topographic checking. The



Schwungvoll: Die ersten Tübbinge auf der Insel haben eine besondere Form, sie sind trapezoid

Curved shape: The first lining segments on the island have a special design, they are trapezoidal

Tabelle 3: Tübbingring-Design		
Design	[-]	Parallel-zylindrisch
Länge, Tübbing	[m]	1,30
Innendurchmesser, Tübbing	[m]	3,96
Außendurchmesser, Tübbing	[m]	4,36
Ringteilung	[-]	4+0

topographische Prüfungen. Das Steuerleitsystem der TBM wurde von Odebrechts Vermesserteam bedient nach einer intensiven Einweisung auf der Baustelle durch die Spezialisten von VMT. Über die gesamte Vortriebsdauer stand VMT mit Rat und Tat zur Verfügung, wenn es um die Datenauswertung und Problemlösungen ging. Hätte Kolumbus damals diese Unterstützung gehabt, wäre seine Santa Maria vermutlich nicht auf einer Sandbank gestrandet.

Durch Räumer am Bohrkopf wurde das durch die Schneidrollen abgebaute Gestein von Palomino hinter den Bohrkopf von „Anacaona“ auf eine Bandanlage befördert. Von dort wurde es auf Waggons der Züge von Maschinen- und Stahlbau Dresden (MSD) geladen. Der Spezialist für Transport und Logistik hat die Züge für Palomino so konzipiert, dass sie 2 Aufgaben haben. Die eine Hälfte der Loren eines Zuges räumte den Abraum von 2 Bohrhüben weg. Die andere transportierte 8 Tübbinge für den Bau zweier neuer Ringe. Durch diese „double-stroke trains“ konnte viel Zeit gewonnen werden.

6 Tübbing-Design und -Produktion

Damit die Tübbingauskleidung den schwierigen geologischen Bedingungen und hohen Gebirgslasten standhalten konnte, forderte Odebrecht Toleranzen im Zehntelmillimeterbereich.

Für Palomino entwickelten die Ingenieure von Herrenknecht Formwork spezielle Schalungen mittels 3D-Modelling. Dies ermöglichte einen unkomplizierten Austausch der Daten zwischen Odebrecht, Herrenknecht Formwork und dem Lieferanten für die Bewehrung.

Das Tübbingring-Design für einen Tunnel umfasst die Ringteilung, d.h. aus wie vielen Segmenten sich ein Ring zusammensetzt, die Form der Segmente (universal, hexagonal oder trapezförmig) sowie ihrer Dicke und Länge (Tabelle 3). Der Tübbing-Ring für Palomino setzte sich aus vier 1,3 m langen Segmenten in Form von Trapezen zusammen (Bild 5).

Herrenknecht Formwork erhielt im Juli 2008 den Auftrag von Odebrecht, das Equipment zur Produktion der Betontübbinge zu konstruieren und zu liefern. Schon einige Monate vor dem Vortriebsstart schickten die Mitarbeiter von Formwork Präzisionsschalungen und Handlinggeräte auf die Insel. Arbeiter von Odebrecht errichteten nahe der Baustelle eine temporäre Tübbingfabrik mit Lager und eigenem Steinbruch. Der dort eingesetzte Brecher zerkleinerte 100 t/h Gestein; einerseits für den Feinkies für die Hohlräume zwischen Tübbing und Fels, andererseits für die mobile Tübbingfabrik. Lokale Arbeiter wurden rekrutiert und intensiv in die verschiedenen Arbeitsschritte der Tübbing-Produktion eingearbeitet.

Table 3: Segment design		
Design	[-]	Parallel-cylindrical
Segment length	[m]	1.30
Segment internal diameter	[m]	3.96
Segment external diameter	[m]	4.36
Ring division	[-]	4+0

TBM's navigation and guidance system was directly operated by Odebrecht surveyors, after having received trainings on site by VMT's specialists. VMT also ensured continuous support for data analysis and hardware/software troubleshooting. If Columbus had had this navigation support at the time, his Santa Maria would probably not have been stranded on a sandbank.

Buckets on the cutterhead transported the Palomino rock excavated by the disk cutters behind "Anacaona's" cutterhead and onto a belt conveyor. From there it was loaded onto wagons of the trains from Maschinen- und Stahlbau Dresden (MSD). The transport and logistics specialist designed the trains for Palomino to be dual purpose. Half of the wagons on a train removed



Leistungen:

- Injektionen im Tunnelbau
- Bauwerksabdichtungen
- Baugrubenabdichtungen
- Bodenverfestigung
- Spritzbetonarbeiten
- Bohrungen für Injektionen, Vereisungen und Anker

Wir stellen ein:

Bauleiter mit Erfahrung im Bereich Bohr-, Injektions- und Abdichtungsarbeiten.

Bei Interesse melden Sie sich bitte bei:

DMI Injektionstechnik GmbH • Tietzstraße 25 • 13509 Berlin
Tel.: +49 (0)30 4174423-40 • Fax: +49 (0)30 4174423-44
E-Mail: info@D-M-I.net • www.D-M-I.net



6

Sonnenbad: Tausende Tübbinge stapeln sich zum Erhärten vor der Fabrik

Sunbathing: Thousands of lining segments are piling up for storing in front of the production plant

Diese Vorhut war notwendig, damit der Beton für die Tübbinge 4 Wochen lang erhärten und seine geforderte Festigkeit erreichen konnte. Für Palomino produzierten die Arbeiter Tübbinge für 3 Monate im Voraus. Rund 8.300 Tübbinge (2.075 Ringe) lagen deshalb schon im karibischen Lager bevor der Vortrieb überhaupt startete (Bild 6). 87 Tage früher als geplant schalten die Arbeiter dann das Segment Nr. 37.907 aus - der letzte Tübbing für Palomino war fertig. Insgesamt wurden für die Segmente 35.490 m³ Beton verarbeitet. Zum Vergleich: Für 1 m³ werden rd. 2.000 kg Kies und Sand verarbeitet.

Im Schnitt setzte „Anacaona“ für Palomino 9 Ringe pro Tag. Sie benötigte dafür nur 10 bis 15 Minuten Ringbauzeit. Fädel-

te man 9.549 dieser Ringe wie zu einer Kette auf, erreicht man die volle Länge des Palomino-Tunnels.

7 Mit „Anacaona“ Meter machen

Die Vorteile der Doppelschild-TBM „Anacaona“ brachte Marco Della Casa, Herrenknecht-Ingenieur auf den Punkt: „Damit kann man richtig Meter machen“. Und das hat sie seit Baubeginn im August 2009 auch gezeigt. Auf der Baustelle habe die TBM schnell den Spitznamen „Ferrari“ bekommen, berichteten Arbeiter. Mit 1.400 kW Antriebsleistung, rd. 1.900 PS, bohrte sich der Bohrkopf von „Anacaona“ Tag für Tag in das Gebirge. Das entspricht einer Leistung von immerhin 3 Formel-1-Boliden.

Die vereinbarten 22 m Vortriebsleistung pro Tag übertraf

the spoil of 2 boring strokes. The other half transported 8 segments for the construction of 2 new rings. These so-called double-stroke trains made it possible to save a lot of time.

6 Segment Design and Manufacture

In order for the segment lining to be able to withstand the difficult geological conditions and high rock loads, Odebrecht specified tolerances of the order of a tenth of a millimeter. The engineers at Herrenknecht Formwork used 3D modelling to develop special formworks for Palomino. This allowed the data to be easily exchanged between Odebrecht, Herrenknecht Formwork and the supplier of the reinforcements. The segment design for a tunnel comprises the ring division, i.e. how many segments comprise a

ring, the shape of the segments (universal, hexagonal or trapezoidal) and their thickness and length (Table 3). The segment ring for Palomino comprised four 1.3 m long segments in the form of trapezoids (Fig. 5).

Herrenknecht Formwork received Odebrecht's order to design and supply the equipment for manufacturing the concrete segments in July 2008. The Formwork staff sent precision moulds and handling devices to the island some months before the tunnelling began. Workers from Odebrecht built a temporary segment production plant with storage and its own quarry near the jobsite. The crusher used there crushed 100 t of rock per hour; this provided the fine gravel for the cavities between the segments and rock, and also for the mobile segment production

Tabelle 4: Leistungen der Doppelschild-TBM

Beste Tagesleistung	[m]	53,53
Beste Wochenleistung	[m]	281,91
Beste Monatsleistung	[m]	1.091,65
Durchschnittliche Tagesleistung	[m]	30,59

„Anaconda“ weit: die durchschnittliche Tagesleistung betrug 30,59 m. An ihren besten Tagen schafften die TBM-Fahrer mit ihr sogar über 50 m Vortrieb. Ist der Fels zu instabil, um das Gripper-System zu nutzen, kann die Maschine darauf reagieren, indem sie auf den Einzelschildmodus wechselt. Der teleskopierbare Frontschild wird zusammengefahren. Der Maschinenführer treibt die

gesamte Maschine dann mit den Hilfsvortriebspresen vor, die sich am letzten gesetzten Tübbingring abstützen. „Rund 10 Mal mussten wir in Palomino den Schildvortrieb einschalten, um Störzonen sicher zu durchfahren“, erläuterte TBM-Ingenieur Della Casa. Doch beinahe die komplette Länge des Zulauf隧nels - 99,9 % - konnte kontinuierlich im Doppelschildmodus aufgeföhren werden. Das kam

Table 4: Performance of the Double Shield TBM

Best daily performance	[m]	53.53
Best weekly performance	[m]	281.91
Best monthly performance	[m]	1,091.65
Average daily performance	[m]	30.59

plant. Local workers were recruited and intensively trained in the various stages of segment production.

This vanguard was necessary so that the concrete for the segments could cure for 4 weeks and reach its specified strength. For Palomino the workers produced segments for 3 months in advance. This meant around 8,300 segments (2,075 rings) were already in the Caribbean store before the

tunnelling even started (Fig. 6). 87 days earlier than planned the workers removed the mould from segment no. 37,907 – the last segment for Palomino was finished. In total, 35,490 m³ of concrete were processed for the segments. By comparison: Around 2,000 kg of gravel and sand are used for 1 m³.

On average „Anaconda“ set 23.5 rings per day for Palomino. It required a mere 10 to 15 minu-



We understand our business

Our many years of experience in the planning and production of simple to complex conveyor systems have made us into a reliable partner worldwide. Conveyor systems and transport systems are individually adapted to your needs.

Marti Technics Ltd. produces tailor-made, practical solutions based on its own construction site experience.

Talk to us. We will provide you with professional and correct consultation and know all the possibilities that can be used for a qualified realisation of your projects.

We also offer gravel plants, formwork systems, electrical engineering and special constructions.

Marti Technics Ltd. Lochackerweg 2 CH-3302 Moosseedorf

Fon. +41 31 858 33 88 Fax +41 31 858 33 89 info@martitechnik.ch www.martitechnik.ch



Dem Licht entgegen: Nach 584 Tage im Dunkeln feiern die Mineure den Durchbruch

Towards the light: After 584 days in the dark, the miners are celebrating the breakthrough

den Rekordzahlen der Doppelschild-TBM S-373 aus Spanien sehr nahe (Tabelle 4).

Statt der 122 eingeplanten Schneidrollen in der Ventura-Schicht verbrauchte „Anacaona“ gerade mal 4. Auch im sehr soliden Tíreo-Abschnitt wechselten die Ingenieure nur 137 Schneidrollen aus. Das waren 59 weniger als geplant. Die Losgrenze der Röhre wurde sogar über 1 km nach hinten verschoben: Von 11,2 auf 12,4 km, da der Bauherr den sehr guten Lauf dieser Maschine ausnutzen wollte.

Am 23. März 2011, nach nur 9 Monaten im Tunnel, schaffte „Anacaona“ den Durchbruch rd. 5 Monate früher als geplant, die Verlängerung der Maschinen-trasse um 1,2 km eingerechnet (Bild 7).

8 Fazit und Ausblick

Die Lernkurve auf der Baustelle Palomino zeigte steil nach oben: Die Tunnelbauer des brasilianischen Baukonzerns Odebrecht erreichten bereits

nach wenigen Wochen mit der Doppelschild-TBM S-494 Vortriebswerte von über 150 m/ Woche. 99,9 % der gesamten Vortriebslänge konnte der erste Doppelschild der Insel kontinuierlich auffahren, d.h. gleichzeitig Vortrieb leisten und Ringe setzen. „Anacaona“ arbeitete besonders effektiv, sobald der Fels hohe Festigkeiten vorwies.

Neben der Tunnelbohrmaschine lieferten die Konzernspezialisten von Herrenknecht eine temporäre Tübbingfabrik, Steuerleit- sowie Transportsysteme und organisierten Tunnelfachpersonal. Diese bestmöglich aufeinander abgestimmte Logistik und die verlässliche Zusammenarbeit von Odebrecht und Herrenknecht machten die Erfolgsfahrt durch karibisches Gestein möglich. Mit dem frühzeitigen Abschluss der Vortriebsarbeiten steht der Inbetriebnahme des Wasserkraftwerkes Palomino Ende 2012 nichts mehr im Wege. 

tes to build a ring. If one strings 9,549 of these rings together to form a chain, one achieves the full length of the Palomino tunnel.

7 “Anacaona” covers a lot of ground

The advantage of the double shield TBM “Anacaona” was put in a nutshell by Herrenknecht engineer Marco Della Casa when he said: “It can really cover a lot of ground.” And it has been proving just this since construction began in August 2009. The workers reported that the TBM had quickly been given the nickname “Ferrari” on the site. With its 1,400 kW of drive power, around 1,900 h.p., “Anacaona’s” cutterhead drilled through the rock day after day. This corresponds to the power of 3 Formula 1 racers, after all.

“Anacaona” far exceeded the agreed 22 m of advance per day: The average daily achievement was 30.59 m. On their best days the TBM drivers even managed to advance by more than 50 m. If the rock is too unstable to use the gripper system, the machine can react to this by changing to single shield mode. The telescopic front shield is retracted. The machine operator then drives the complete machine forward using the auxiliary advancing rams which push against the most recently set segment ring. “In Palomino we had to switch on the shield thrust around 10 times in order to safely tunnel through fault zones,” explains TBM engineer Della Casa, but almost the complete length of the supply tunnel - 99.9 % - could be tunnelled continuously in double shield mode. That came very close to the record values set by the TBM S-373 Double Shield from Spain (Table 4).

Instead of the 122 disc cutters planned for the Ventura layer “Anacaona” used only 4. Even in the very hard Tíreo section the engineers only replaced 137 disc cutters. This was 59 fewer than planned. The section boundary of the tunnel was even moved back more than 1 km - from 11.2 to 12.4 km - because the government wanted to exploit the very good run of this machine.

On March 23, 2011, after only 19 months in the tunnel “Anacaona” succeeded in breaking through almost 5 months ahead of schedule, considering the 1.2 km extension of the tunnel (Fig. 7).

8 Conclusion and Outlook

There was a steep learning curve on the Palomino construction site: With the Double Shield TBM S-494 the tunnel builders of the Brazilian construction company Odebrecht achieved advances of more than 150 m per week after only a few weeks. The island’s first Double Shield TBM has been able to tunnel 99.9 % of the total drive length continuously, i.e. tunnel and set rings at the same time. “Anacaona” operated particularly effectively as soon as the rock was very stable.

In addition to the TBM, the corporate specialists from Herrenknecht supplied a temporary segment production plant, guidance and transport systems and organized tunnelling specialists. These logistics, which were tailored to each other to perfection, and the reliable collaboration between Odebrecht and Herrenknecht made the successful drive through Caribbean rock possible. The early conclusion of the tunnelling work means there is nothing to prevent the Palomino hydro-electric plant being commissioned at the end of 2012. 

MAPEPLAN TU



MAPEPLAN TU

Synthetic waterproofing membrane in PVC-P

- Waterproofing natural and artificial tunnels and structures below ground level
- Non-toxic (according to the Italian law)
- Signal layer (orange/black)
- Available in transparent
- Excellent workability, easy to weld
- High strength, resistant to permanent pressure, root-penetration, low temperatures and bursting



Come and visit us at the 6th International Underground Tunnel Fair, 14 - 15 September 2011 in Flums, Switzerland - www.iut.ch

MAPEI S.p.A.
Via Cafiero, 22
IT-20158 Milano

MAPEI SUISSE SA
Route Principale 127
CH-1642 Sorens

T +3902 376 731
F +3902 376 732 14
E hq.utt@utt.mapei.com
W www.mapei.com
W www.utt-mapei.com

T +4126 915 9000
F +4126 915 9003
E info@mapei.ch
W www.mapei.ch
W www.utt-mapei.com

