

Kaiser-Wilhelm-Tunnel: Unterfahrung der Oberstadt Cochems im EPB-Modus

Mit Durchschlag des Maschinenvortriebes für den Neuen Kaiser-Wilhelm-Tunnel wurde ein wesentlicher Schritt zur Umsetzung des heute für Eisenbahntunnel geforderten Sicherheitsniveaus vollzogen. Der Vortrieb erfolgte im offenen und im geschlossenen Modus. Der vorliegende Beitrag behandelt den tunnelbautechnisch schwierigsten Teilabschnitt, der die Unterfahrung der Oberstadt Cochem im EPB-Modus darstellt. Die tunnelbautechnische Herausforderung war auf eine setzungsarme Unterfahrung der insgesamt alten, z.T. bereits vorgeschädigten Gebäude, ausgerichtet. Erschwerend kamen die geologischen Verhältnisse (Mischbrustverhältnisse) und geringen Fundamentabstände hinzu.

1 Stand der Realisierung des Kaiser-Wilhelm-Tunnels

Der bereits 1879 in Betrieb genommene zweigleisig betriebene Kaiser-Wilhelm-Tunnel befindet sich auf der Moselstrecke Koblenz-Perl zwischen Ediger-Eller und Cochem, die einen wichtigen Bestandteil des Trans-europäischen Netzes (TEN) für konventionellen Verkehr bildet.

Aufgrund des baulichen Zustandes und des unzureichenden Sicherheitsniveaus hinsichtlich des Brand- und Katastrophenschutzes ist der Neubau einer zweiten Röhre und die Erneuerung des alten Tunnels erforderlich.

Die Gesamterneuerung des Tunnels ist dazu in 2 Bauphasen aufgeteilt. In der 1. Bauphase

Dipl.-Ing. Bodo Tauch, Technischer Projektleiter Kaiser-Wilhelm-Tunnel, DB ProjektBau GmbH, Frankfurt am Main/D
Dr.-Ing. Dieter Handke, Gesellschafter/Projektleiter Schildvortriebsverfahren, IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, Bochum/D
Ing. Marco Reith, Projektleiter, Arge Neuer Kaiser-Wilhelm-Tunnel, Alpine BeMo Tunnelling GmbH, Innsbruck/A

wird der Alte Kaiser-Wilhelm-Tunnel (AKWT) um eine zweite, parallel geführte Röhre, den Neuen Kaiser-Wilhelm-Tunnel (NKWT) ergänzt, eingleisig ausgebaut und in Betrieb genommen. In der 2. Bauphase wird der AKWT außer Betrieb genommen und ebenfalls zu einer eingleisigen Röhre rückgebaut und erneuert.

Beide Röhren werden im Endzustand eingleisig befahren und über 8 Querstollen miteinander verbunden. Damit entspricht der Tunnel dann dem aktuellen Sicherheitsniveau

Kaiser Wilhelm Tunnel: Undertunnelling Uptown Cochem in EPB Mode

The breakthrough of the mechanised drive for the New Kaiser Wilhelm Tunnel represented an important step towards applying the safety level required nowadays for railway tunnels. The excavation was carried out in open and closed mode. This report deals with the most difficult technical part-section in terms of tunnelling, which resulted in uptown Cochem being undertunnelled in EPB mode. The technical challenge was geared to undercutting old, in some cases already damaged structures with minimal settlements. The geological conditions (mixed face conditions) and short distances between foundations made it even harder.

1 Stage reached in accomplishing the Kaiser Wilhelm Tunnel

The 2-track Kaiser Wilhelm Tunnel, which opened back in 1879, is located on the Coblenz-Perl Moselle rail route between Ediger-Eller and Cochem, which is an important component of the Trans-European Network (TEN) for conventional traffic.

On account of the structural state and the insufficient safety level regarding fire and catastrophe protection it was essential to build a second tunnel apart from renovating the old one.

The total redevelopment of the tunnel is divided into 2 phases. In the first construction phase the Old Kaiser Wilhelm Tunnel (AKWT) is augmented by a second bore running parallel, the New Kaiser Wilhelm Tunnel (NKWT), provided with a single track, which is then put into service. In the second construction phase the AKWT is decommissioned and also modified and redeveloped as a single-track tunnel.

Both bores will ultimately be operated with single tracks and connected with each other by means of 8 cross-passages. In this way the tunnel will comply with the latest safety standards in keeping with the guideline issued by the Federal Railways Office (EBA) "Fire and Catastrophe Protection Requirements for

gemäß der Richtlinie des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und den Betrieb von Eisenbahntunneln“ und auch den europäischen Regelungen der TSI – SRT (Technische Spezifikation für die Interoperabilität – Safety in Railway Tunnels).

Die komplette Inbetriebnahme ist für Dezember 2015 geplant.

Der Maschinenvortrieb für den Bau des 4242 m langen Neuen Kaiser-Wilhelm-Tunnels (1. Bauphase) wurde mit dem Durchschlag am 7. November 2011 erfolgreich abgeschlossen (Bild 1).

Der tunnelbautechnisch schwierigste Teilabschnitt des Maschinenvortriebs beinhaltete die Unterfahrung der Oberstadt Cochem im EPB-Modus (Bild 2). Dabei mussten Gebäudeabstände mit minimal 3,2 m zur Tunnelfirste setzungsarm unterfahren werden. Die Unterquerung von bebautem Gebiet mit einer derart geringen Überlagerung wurde weltweit erstmalig mit dieser Vortriebsmethode durchgeführt. Erschwerend kam hinzu, dass in diesem Bereich die Mischbrustverhältnisse vorherrschten: einerseits die anstehende Ortsbrust aus Fels und andererseits aus Lockergestein. Der Gebäudezustand der betroffenen Häuser war infolge der ausgeführten Schadensaufnahmen im Zuge der Beweissicherung



Durchschlag TVM Portal Cochem

TBM breakthrough portal Cochem

insgesamt für die Unterfahrung als kritisch zu beurteilen.

Die Konzeption der Schildmaschine war auf die Bewältigung der auf dem überwiegenden Streckenabschnitt anstehenden relativ standfesten Festgesteinszonen ausgerichtet, die im offenen Modus zu bewältigen waren. Maschinentechnisch war aber gleichzeitig die Möglichkeit zur Aufbringung einer aktiven Ortsbruststützung zur Bewältigung von Störzonen und der Lockergesteinszone im Bereich der Oberstadt Cochem eingeplant. Die Maschine wurde daher mit einer Förderschnecke ausgestattet, die zu jedem Zeit-

Building and Operating Railway Tunnels“ und also the European regulations of the TSI – SRT (Technical Specification for Interoperability – Safety in Railway Tunnels).

It is planned to open the completed project in December 2015.

The mechanised drive for producing the 4,242 m long New Kaiser Wilhelm Tunnel (1st construction phase) was successfully concluded with the breakthrough on November 7, 2011 (Fig. 1).

The technically most difficult part-section of the mechanised drive in tunnelling terms entailed undertunnelling uptown Cochem in EPB mode (Fig. 2). In

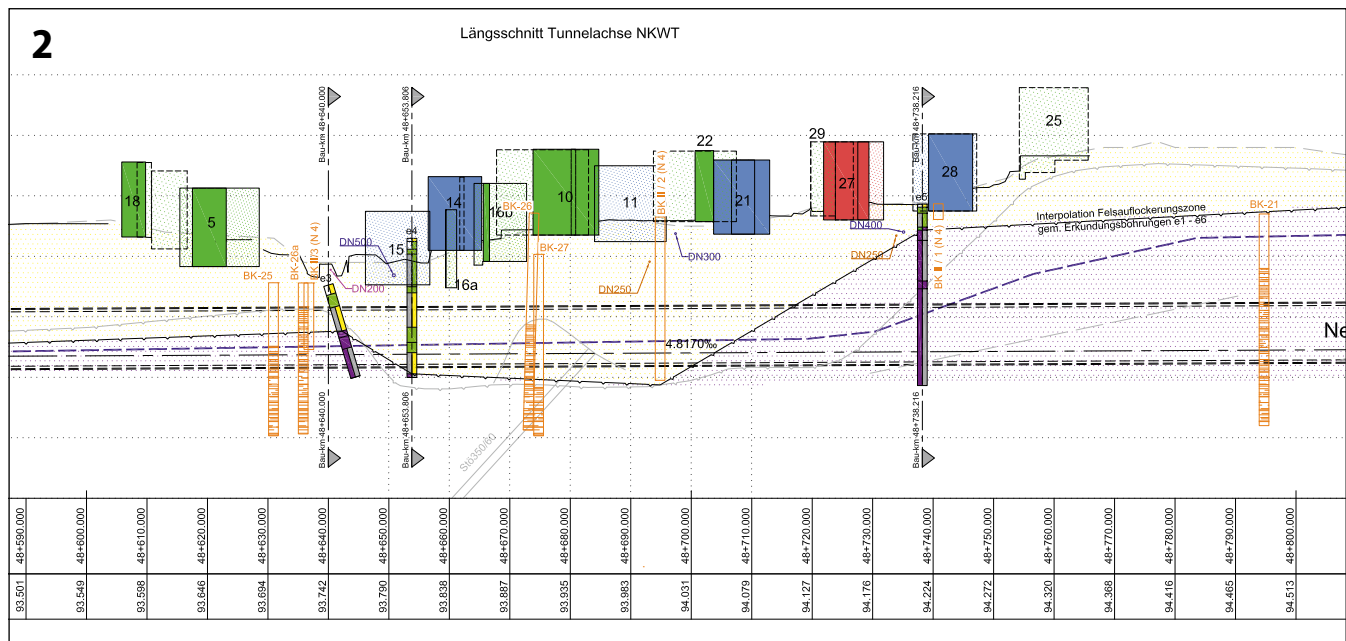
the process buildings at a minimum distance of 3.2 m from the tunnel roof had to be undercut to produce minimal settlements. This was the first time anywhere in the world that this driving method was applied for undertunnelling a built-up area with such slight overburden. This was made all the more difficult by the fact that mixed face conditions existed in this area: on the one hand the prevailing rock face and on the other soft ground. The structural state of the affected houses based on the damage recordings taken during the preservation of evidence was by and large assessed as critical for undertunnelling.

Concix[®]

Die wirtschaftliche und ökologische Alternative zu Stahlfasern.

Kein Rost. Keine Korrosion. Kein Kriechen. Keine Verletzungsgefahr. Hervorragendes Arbeitsvermögen. www.bruggcontec.ch

BRUGG **CONTEC**
Strong fibers.



Oberflächensituation und geologischer Längsschnitt Oberstadt Cochem

Situation on the surface and geological longitudinal section for uptown Cochem

punkt, je nach geotechnischer Anforderung vom offenen Modus auf den druckbeaufschlagten geschlossenen Modus und umgekehrt, umgestellt werden konnte.

Die Vorteile bezogen auf das Verfahren und die Logistik präferierten einen EPB-Schildmaschinen-typ (SMV 5 nach DAUB-Klassifizierung) gegenüber einer Schildmaschine mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust.

Wie in [1] berichtet, konnten Umstellzeiten von einer Betriebsart auf die andere in kurzer Zeit ohne großen Umbauaufwand realisiert werden.

Allgemeine Projektbeschreibungen zum Tunnel, zum Baugrund, Darstellungen zur Maschinenteknik und zu den Vortriebserfahrungen in den Festgesteinsabschnitten sowie den Grenzbereichen beim Übergang von den stabilen Festgesteinszonen zu instabilen, stark zerrütteten Gebirgsabschnitten, sind dem Artikel unter [1] zu entnehmen.

Der vorliegende Beitrag behandelt ausschließlich die Erfahrungen bei der Vorbereitung und Durchführung der Unterfahrung der Oberstadt Cochem.

2 Prognostizierte Baugrundverhältnisse im Bereich der Oberstadt Cochem

Der ca. 450 m lange Unterfahrbereich der Oberstadt Cochem wird durch Lockergesteinsschichten aus quartärem Hanglehm bzw. Hangschutt in unterschiedlichen Mächtigkeiten geprägt. Diese Böden sind höchst setzungsempfindlich und nehmen bei Wasserzutritt Fließeigenschaften an. Die Schichten sind in eine großflächige Senke eingebettet, die von Festgesteinspartien eingeschlossen werden (Bild 2).

Der Vortrieb im Bereich der Cochemer Oberstadt sollte nach den Prognosevorgaben demnach vom Festgestein schleifend in die Lockergesteinsschichten eintauchen,

The shield machine was devised to cope with the relatively stable solid rock zones encountered along the bulk of the route, which were to be tackled in open mode. However at the same time it was possible in engineering terms to apply an active face support to overcome fault zones and the soft ground zone in uptown Cochem. As a result the machine was equipped with a screw conveyor, which at any time depending on the geotechnical demands could be converted from open mode to pressurised closed mode and vice versa.

The advantages relating to the method and the logistics called for an EPB shield machine type (SMV 5 according to DAUB classification) as opposed to a shield machine with fluid-supported face.

As reported in [1] conversion from one operating mode to the other was accomplished in a short time without major modifications.

General project descriptions on the tunnel, the subsoil, presentations of the mechanical engineering and the findings obtained during excavating in the solid rock sections as well as the transition areas when moving from the stable solid rock zones to instable, highly fissured rock sections, can be derived in the article under [1].

This report deals exclusively with the findings obtained during the preparation and execution stages while undercutting uptown Cochem.

2 Forecast Subsoil Conditions under Uptown Cochem

The roughly 450 m long area undercutting uptown Cochem is marked by soft ground layers consisting of quaternary slope loam or slope debris with varying thicknesses. These soils are highly susceptible to settlement and adopt flow characteristics when affected by water. The layers are embedded in an extensive depression, which is enclosed by sections of solid rock (Fig. 2).

bis der Querschnitt vollflächig in den Lockergesteinsschichten zu liegen kommt. Die mixed-face Bedingungen stellen aufgrund der konträren Gebirgseigenschaften erhöhte Anforderungen an die Steuerung der Schildmaschine, die Sicherstellung der Ortsbruststabilität und der Konditionierung dar.

Die Festgesteinseigenschaften sind beim Übergang durch relative standfeste Verhältnisse geprägt, die allmählich in zerrüttete Gesteinszonen übergehen. Kluftsystem und Bankigkeit sowie die Belegung der Schichtflächen mit Ton- oder Schluffbestegen führen zu Harnischflächen, die im Vortrieb eine Sargdeckelbildung begünstigen.

3 Geplantes Vortriebskonzept zur Unterfahrung der Oberstadt

Zur Sicherstellung der Ortsbruststabilität und damit Realisierung eines möglichst setzungsarmen Vortriebes sollte der Vortrieb unter der Oberstadt im geschlossenen Modus erfolgen. Die Maschinenkonzeption war hierzu mit weiteren setzungsminimierenden Elementen ausgestattet:

- weitgehend geschlossenes Schneidrad
- Schneidradverschiebung mit der Möglichkeit des Schneidradzurückziehens
- umlaufende Felge/Felgenschneidrad
- Integration von Massenbilanzsystemen für Ausbruch (Bandwaage) und Ringspaltverpressung
- Begrenzung der Konizität und des Überschnittes
- Funktionsfähigkeitskontrollen für die wesentlichen Maschinenkomponenten,

ergänzt durch optische und akustische Warneinrichtungen, um eventuelle Störungen möglichst frühzeitig beheben zu können

- Datenerfassungsanlage zur Überwachung sämtlicher Daten des Maschinenvortriebs mit Online-Datenübertragung
- kontinuierliche Gebäudeüberwachung mit Online-Übertragung und festgelegten Alarm-, Warn- und Grenzwerten.

Maschinentechnisch war für den Bedarfsfall auch die partielle Sicherung des Firstbereiches mittels Injektionsschirm aus der Maschine heraus eingeplant. Hiermit bestand grundsätzlich die Möglichkeit, Sicherungen auch direkt unter den Gebäuden auszuführen, da oberflächennahe Vorkehrungen aufgrund der Gebäudesituation und deren Zugänglichkeit nur schwer umsetzbar waren.

4 Ausführungskonzept

Auf der Basis der vorhandenen Baugrundinformationen und des nach Ausschreibungsvorgaben geplanten Vortriebskonzeptes wurde zeitlich weit im Vorfeld der Unterfahrung der Oberstadt Cochem ein mehrstufiges Programm zur Erarbeitung des Ausführungskonzeptes aufgestellt. Das Ausführungskonzept zielte darauf ab, einen geregelten Ablauf und sicheren sowie kontinuierlichen Vortrieb zur Unterfahrung der Oberstadt sicherzustellen.

Wesentliche Elemente des Programms waren:

- Bestandsaufnahme der vorliegenden Baugrund-

According to prognosis specifications the drive under uptown Cochem was intended to dip from the solid rock into the soft ground layers. The mixed-face conditions placed increased demands on controlling the shield machine, safeguarding face stability and conditioning on account of the contrary rock properties.

The solid rock properties are characterised by relatively stable conditions in the transition zone, which gradually change to a shattered rock zone. Fissure systems and thick beds as well as accumulations of clay or silt on bedding planes lead to slickenside surfaces, which favour the

formation of detached blocks during the drive.

3 Planned Driving Concept to undercut Uptown Cochem

The drive beneath uptown Cochem was to be executed in the closed mode to secure face stability and in turn to accomplish an excavation with as little settlement as possible. Towards this end the machine was designed with further elements minimising the amount of settlement:

- largely closed cutting wheel
- Cutting wheel displacement with the possibility of retracting the cutting wheel
- Revolving rim (rim cutting wheel).


RODIO
RODIO GMBH SPEZIALTIEFBAU

RODIO GmbH Spezialtiefbau
 Siemensstrasse 2a
 D-86356 NEUSÄSS
www.rodio.de



GROUND TREATMENT

SPECIALISTS

ACROSS EUROPE

22/06/2011 14:55

RODIO Geotechnik AG
 In der Luberzen 17
 CH-8902 URDORF
www.rodio.ch


RODIO
RODIO GEOTECHNIK AG


informationen, ggf. mit Definition weitergehender Erkundungsmaßnahmen

- Analyse der Setzungsverträglichkeit der Gebäude infolge Vortrieb
- Definition von maschinen- und verfahrenstechnischen Vorkehrungen zur Sicherstellung einer störungsfreien Unterfahrt
- Definition von ausfüh-rungs- und baubetrieblichen Vorkehrungen zur Überwachung der Vortriebsar-beiten
- Umsetzung eines übertä-gigen Messkonzeptes durch Permanentbeobachtung der einzelnen Gebäude und Echtzeitübertragung in den Steuerstand der TVM
- Vorversuche zur Konditio-nierbarkeit und Verminde-rung der Verklebungsproble-matik
- Untersuchung zur Umset-zung von In-Situ-Versuchen bezüglich der Injizierbar-keit des anstehenden Bau-grundes
- Ergänzende Untersuchung der Gebäudegeometrien der kritischen Gebäude

4.1 Bestandsaufnahme der Baugrundinformationen

Die Analyse der vorliegenden Baugrunderkundungen dokumentierte, dass die Lage des Felshorizontes mittels zusätzlicher Erkundungsboh-rungen zu präzisieren war. Wesentliche Intention war es, eine möglichst umfassende Bestandsaufnahme über den Verlauf des Felshorizontes und der zugeordneten Mächtigkeit im Auffahrungsquerschnitt zu erlangen. Die begleitend aus-zuführenden Baugrundun-tersuchungen sollten zudem die prognostizierten maßge-

benden Baugrundkennwerte (ϕ , c , E-Modul, Kornvertei-lungskurven, Porosität) und den Schichtenverlauf bzw. den querschnittsbezogenen Aufbau entsprechend den Vorgaben der Ausschreibung korrigieren.

Die 6 zusätzlich ausgeführten Erkundungsbohrungen wiesen aus, dass im Tunnelquerschnitt auf ca. 230 m Länge durchwegs Mischbrustverhältnisse zwi-schen Festgestein (Tonschiefer, quarzitischer Feinsandstein) und Lockergestein (Hanglehm, Schluff, Hangschutt) vorhan-den waren. Für den restlichen Unterfahrbereich lag der Tunnelquerschnitt vollflächig im Festgestein (Bild 2).

Hinsichtlich der Kornzusam-mensetzung stellte sich analog der Prognose der Hanglehm als ein mit Steinen durchsetzter san-diger Schluff dar, während beim Hangschutt der Schluff lediglich die Zwischen- und Porenräume zwischen den steinigen und kie-sigen Kornfraktionen ausfüllt. Bei einem Schluffanteil von $\geq 10\%$ sind diese Böden stark bewegungsempfindlich und weichen, z.B. durch mehrfaches Befahren, rasch auf. Ab einem Schluffanteil von $\geq 20\%$ ist der Boden unter Grundwasser bzw. bei Zutritt von Schichtwasser zudem fließempfindlich.

Auf der Basis dieser Kennt-nisse wurden Betrachtungen zur Setzungsverträglichkeit der kritischen Gebäude mit gerin-ger Überlagerung ausgeführt. Diese wiesen aus, dass zur si-cheren Gebäudeunterfahrung der am stärksten betroffenen Gebäude Zusatzmaßnahmen erforderlich waren. Davon be-troffen waren insgesamt ca. 70 m des rund 450 m langen Unterfahrbereiches der Oberstadt Cochem.

- Integration of mass balance systems for extraction (belt weigher) and annular gap grouting
- Limiting the conicity and the overcut
- Functioning controls for the essential machine compo-nents, backed up by optical and acoustic alarm signals so that possible faults are reme-died as quickly as possible
- Data processing unit to moni-tor all data from the machine drive with online data trans-mission
- continuous monitoring of buildings with online trans-mission and predetermined alarm, warning and limit va-lues.

In mechanical engineering terms partial supporting of the roof zone by means of a grout curtain from the machine was also plan-ned should the need arise. This furthermore made it possible to undertake supporting directly beneath buildings as precau-tions close to the surface were difficult to execute on account of the location of the buildings and their accessibility.

4 Execution Concept

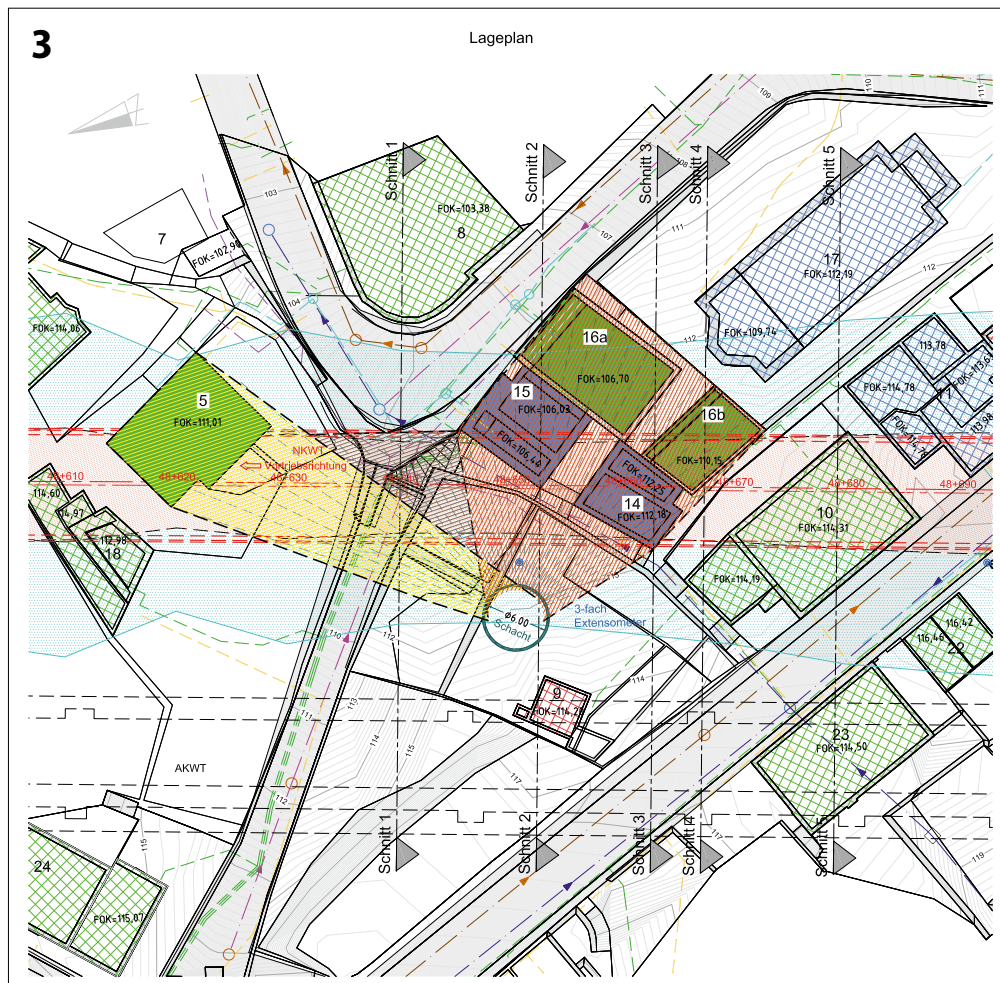
A multi-stage programme for working out the execution concept was drawn up chrono-logically well in advance of undertunnelling uptown Cochem on the basis of the available sub-soil information and the driving concept planned in accordance with the details contained in the tender. The execution concept was aimed at establishing a con-trolled cycle and a safe as well as continuous drive for undertun-nelling uptown Cochem.

The programme's main elements were:

- Assessment of the available subsoil information if need be with further reaching explora-tory measures being defined
- Analysis of settlement com-patibility of the buildings af-fected by the excavation
- Definition of engineering and process technical precautions to provide for undertunnelling free of disturbances
- Definition of precautions in conjunction with execution and construction techniques for monitoring the driving ac-tivities
- Introducing a measurement concept on the surface through permanent observa-tion of the individual buildings and real time transmission to the TBM control panel
- Advance tests for conditiona-bility and reducing clogging problems
- Investigating the application of in situ tests with regard to injecting the surrounding subsoil
- Additional examination of the building geometries of the critical buildings.

4.1 Assessment of the Subsoil Information

Analysis of the available subsoil information documented that the location of the rock horizon had to be precisely established using additional exploratory drilling. The main intention here was to arrive at a comprehen-sive as possible assessment of the course of the rock horizon and the related thickness in the excavated cross-section. The accompanying subsoil inves-tigation that had to be carried out should furthermore correct the forecast determining sub-soil parameters (ϕ , c , E-module, grain-size distribution curves, porosity) and the stratification



Schachtbauwerk mit Injektionsschirm
Shaft structure with grout curtain

Probeinjektionen zur Untergrundvergütung bestätigen zwar, dass die schluffdominierten Schichten in Analogie zur Prognose schwer injizierfähig waren, der Baugrund aber aufgrund seiner Heterogenität und des Porenvolumens jedoch insgesamt sehr viel Injektionsgut aufnahm.

4.2 Baugrundvergütung

Auf der Basis einer umfassenden Risikobewertung möglicher Zusatzmaßnahmen zur Erhöhung der Gebäudesicherheit und folglich Minimierung von vortriebsbedingten Baugrundverformungen wurde entschieden, den Baugrund im kritischen Gebäudebereich

auf ca. 70 m Vortriebslänge durch einen Injektionsschirm vorausseilend zu vergüten. Der als Setzungsbremse agierende Injektionsschirm wurde aus einem gesondert hergestellten Schachtbauwerk von Übertage erstellt und in etwa mittig zwischen Fundamentunterkante und Tunnelfirst angeordnet. Der Schacht wurde von der Lage her zwischen dem Alten Kaiser-Wilhelm-Tunnel und dem Neuen Kaiser-Wilhelm-Tunnel angeordnet (Bild 3). Minimal lagen zwischen First und Fundamentunterkante ca. 3 m.

Der Schacht wurde mit bewehrtem Spritzbeton und einem Verstärkungsring am Schachtkopf hergestellt. Der

and the cross-sectional structure in keeping with the parameters at the tendering stage.

The 6 exploratory drill holes that were additionally produced indicated that mixed face conditions prevailed in the tunnel cross-section over approx. 230 m ranging from solid rock (clay slate, quartzitic fine sandstone) and soft ground (slope loam, silt, slope debris). The tunnel cross-section was completely located in solid rock in the remaining area that had to be undertunnelled (Fig. 2).

As far as the grain composition was concerned in accordance with the prognosis, the slope loam emerged to be sandy silt containing stones whereas in the

case of the slope debris, the silt merely filled the intervening and porous areas between the stony and gravelly grain fractions. Given a silt proportion of $\geq 10\%$ these soils are highly susceptible to movements and quickly moisten, e.g. when driven over several times. As from a silt proportion of $\geq 20\%$ the soil is in addition susceptible to flowing in the event of groundwater or ingressing strata water.

Based on these recognitions the settlement compatibility of the critical buildings with shallow overburden was assessed. As a result it was established that additional measures were needed to undercut the most endangered buildings in a safe manner. Altogether around 70 m of the 450 m long undertunnelling section in uptown Cochem was affected.

Test grouting to improve the soil did reveal that the silt-dominated layers were difficult to inject as had been forecast but however the subsoil was able to accept a large amount of grouting material on account of its heterogeneity and pore volume.

4.2 Improving the Soil

Based on an extensive risk evaluation of possible additional measures to enhance the safety of the buildings and in turn minimise subsoil deformations resulting from the excavation, it was decided to improve the subsoil over a length of roughly 70 m in advance of the drive by means of a grout curtain. The grout curtain acting as a brake on settlement was produced from the surface in a specially created shaft structure and set up more or less centrally between the lower edge of the foundations and the tunnel roof. The shaft was positioned between

Schacht hatte einen lichten Durchmesser von 6 m und eine Tiefe von 12,8 m. Ein Aufbau von Wasserdruck wurde durch die Anordnung von Entlastungsbohrungen verhindert. Ein Vortrieb ohne jegliche Vorabsicherungen wurde auf diesem Abschnitt aufgrund der Risiken für die Gebäude ausgeschlossen. Direkte Gebäudeunterfangungen, z.B. infolge Rohrschirmabfangung aus gesonderten Schächten mit Gebäudesicherungen durch Pressenunterfangungen wurden aufgrund der Vielzahl der Angriffspunkte, der Umsteifungen und Verformungen bereits bei der Herstellung ebenso als nicht zielsicher ausgeschlossen.

Als Ziel zur sicheren Unterfahrung wurde ein Vorhebungsmaß von 2 bis 3 mm definiert. Je nach sich einstellender Setzungsmulde sollte zusätzlich die Möglichkeit bestehen, eine Kompensierung der Setzungen mit dem Ziel der Vergleichmäßigung ausführen zu können.

Zur Ausführung gelangte das Soilfrac-Verfahren der Keller Grundbau GmbH. Die aus statischer Sicht formulierten Vorgaben an die Hebungsmaße konnten zielsicher umgesetzt werden.

Für den restlichen Unterfahrungsabschnitt wurden keine Zusatzmaßnahmen getroffen.

4.3 Maschinen- und verfahrenstechnische Vorkehrungen zur Unterfahrung

Grundkonzeption zur sicheren Unterfahrung der Oberstadt war die Realisierung eines kontinuierlichen Vortriebes, d.h. Durchlaufbetrieb bei Tag und Nacht ohne planmäßigen Vortriebsstopp. In ausreichendem Abstand vor der direkten Un-

terfahrung wurden daher folgende Präventivmaßnahmen geplant und umgesetzt:

- Überholung und Funktionsprüfung der gesamten Vortriebsanlage, insbesondere Schneidrad, Förderschnecke, Schaumlanzen für die Zugabe von Zusatzstoffen und Eichtung der Bandwaagen. Das Ergebnis wurde in einem gesonderten Abnahmebericht protokolliert. Defizite und Mängel wurden umgehend beseitigt.
- Installation zusätzlicher Schälmesser zur Bewältigung der Hangschutt- und Hanglehmschichten
- Sanierung bzw. Austausch der Grillbars
- Austausch der Schneidrollen durch Spezialschneidrollen mit doppelter Dichtung, hochwertigem Stahl und Fettfüllung zur Verhinderung des Blockierens
- Überprüfung der Druckluftschleuse auf Funktionsfähigkeit.

Zur optimalen Adaptierung des Erdbreis und seiner Eigenschaften an den Baugrund wurden im Vorfeld der Unterfahrung umfangreiche Versuchsreihen zur Verarbeitbarkeit (Konditionierung) und zur Reduzierung von Verklebungserscheinungen durchgeführt. Zusätzlich zu den Laborversuchen wurden 2 Teststrecken unter Vortriebsbedingungen definiert, die der Übertragung auf den Baugrund und Beurteilung im Vortrieb dienten. Für den EPB-Modus selbst standen geotechnisch ungünstige Verhältnisse an, die durch die Mischbrustverhältnisse mit gleichzeitigem Auftreten von Locker- und Festgesteinspartien geprägt waren.

the Old Kaiser Wilhelm Tunnel and the New Kaiser Wilhelm Tunnel (Fig. 3). The minimum distance between the roof and the lower edge of the buildings amounted to approx. 3 m.

The shaft was produced using reinforced shotcrete and a strengthening ring at the shaft head. The shaft had a clear diameter of 6 m and a depth of 12.8 m. Any build-up of water pressure was prevented by setting up relief drill holes.

An excavation without any advance supporting was precluded along this section on account of the risks for the buildings. Direct underpinning of the buildings, e.g. using a pipe umbrella support from special shafts with the buildings being secured by supporting jacks was disregarded as unsuitable even during the production stage owing to the large number of points of attack, restrutting and deformations.

A 2 to 3 mm amount of lift was defined as the goal for safe undercutting. Depending on the resultant settlement trough it also had to be possible to compensate settlement through homogenisation.

The Soilfrac method from the Keller Grundbau GmbH was applied. The parameters regarding the degrees of lift formulated from the static point of view were safety attained.

No additional measures were undertaken for the remaining section to be tackled.

4.3 Engineering and Process Technical Precautions for Undertunnelling

The basic approach for safely undertunnelling uptown Cochem was to accomplish a continuous drive, i.e. continuous operation day and night without any scheduled break in tunnelling.

As a consequence the following preventive measures were adopted at a sufficient gap prior to the undertunnelling measure as such:

- Servicing and inspecting the complete driving installation, particularly the cutting wheel, screw conveyor, foam lances for adding additives and calibrating the belt weigher. The result was recorded in a special report. Deficits and flaws were remedied on the spot.
- Installation of additional cutters to cope with the slope debris and slope loam layers
- Replacement of the grill bars
- Replacement of the cutting rollers by special cutter rollers with double seal, high-grade steel and filled with lubricant to prevent blockage
- Testing the compressed air lock to check how it is functioning.

Extensive test series relating to conditioning (pastosity) and to reduce clogging phenomena were carried out in advance for adapting the earth paste optimally as well as its properties vis-à-vis the subsoil. Furthermore 2 test sections were defined under driving conditions, which served transference to the subsoil and evaluation during the drive in addition to the lab tests. Geotechnically unfavourable conditions existed for the EPB mode itself, which were characterised by the mixed face conditions and the simultaneous occurrence of sectors of soft ground and solid rock.

The tests revealed that the conditioning agent Rheosoil 143 from the BASF AG (anti-clay adhesive) was able to safely fulfil the required demands.

The ground was plasticised to a sufficient extent so that the

Die Versuche wiesen aus, dass das Konditionierungsmittel Rheosoil 143 der BASF AG (Anti-Ton-Additiv) die aufgestellten Anforderungen zielsicher erfüllen konnte.

Der Boden konnte ausreichend plastifiziert werden, um die Abbaukammer vollständig füllen und druckhaltig fahren zu können. Diese Anforderung konnte sowohl im Fest- als auch im Lockergestein nachgewiesen werden. Gleichzeitig konnten Adhäsion und Kohäsion ausreichend reduziert werden. Zur Überwachung der Temperaturentwicklung im Erdbrei wurden zusätzlich 2 Temperaturmessfühler in der Abbaukammer eingebaut. Für den Fall von Schauminjektionen bzw. im Falle des Absonderns von Schaum im Firstbereich wurden Öffnungen zur Firstentlüftung installiert, um so eindeutig definierte Stützdruckverhältnisse auch im Firstbereich zu erzielen.

Die Feinabstimmung Wasser, Bentonit und Schaumzugabe bzw. effektive Druck-

luftzugabe orientierte sich an der Stromaufnahme des Bohrkopftriebes. In Vorversuchen stellten sich Werte von 60 bis 80 % als günstig heraus.

4.4 Vorkehrungen bei Ausführung und Baubetrieb

In Interpretation der Beweissicherung der Gebäude wurde ein vortriebsbegleitendes Baugrund- und Gebäudeüberwachungsprogramm (Schlauchwaagen, Messbolzen) mit den dazugehörigen Warn-, Alarm- und Grenzwerten definiert. Zusätzlich wurde das Verformungsverhalten der Tübbingauskleidung einschließlich der Veränderung der Fugenversatz- und Fugenspaltmaße überwacht. Aufnahme und Übertragung der Messdaten erfolgten automatisch. Der Schildfahrer wurde zudem kontinuierlich über einen separaten Monitor über die Messergebnisse in ausgewerteter Form informiert. Die Datenflut wurde für den Schildfahrer durch integrierte Alarmmel-

extraction chamber could be completely filled and pressure maintained. This requirement was proved both in solid rock as well as soft ground. At the same time adhesion and cohesion were sufficiently reduced. To monitor the temperature development in the earth paste, 2 temperature sensors were additionally installed in the extraction chamber. Openings for ventilating the roof were installed to provide for foam injections or the accumulation of foam in the roof zone, so that clearly defined supporting pressure conditions were also attained in the roof zone.

The fine adjustment of water, bentonite and foam additive and the effective addition of compressed air were geared to the power input for the cutterhead drive. Values of 60 to 80% emerged to be favourable in prior tests.

4.4 Precautions during Execution and Construction Operation

For interpreting the preservation of evidence for the buildings a

subsoil and building monitoring programme (water level gauges, plug gauges) with the corresponding warning, alarm and limit values, was defined. In addition the deformation behaviour of the segmental lining including any changes to the joint packing and joint gap dimensions was monitored. The measurement data were recorded and transmitted by automatic means. Furthermore the shield operator was informed continuously about the measurement results in evaluated form via a separate monitor. For the shield operator the flood of data was reduced to the bare bones by means of integrated alarm annunciators. The valid parameters relating to the drive with regard to the support pressure and the machine parameters (e.g. contact pressure force, torque and rpm of cutting wheel, rate of advance, cutting wheel displacement, overcut, mass balance, power intake for drive, driving jack pressure, mortar grouting pressure, settings for foam unit) were passed on



Beschichtung

Brandschutz

Tunnelarbeiten

Instandsetzung

Reinigung



der auf wenige maßgebende Informationen reduziert.

Die vortriebsaktuell gültigen Vorgaben an Stützdruck und Maschinenparameter (z.B. Anpresskraft, Drehmoment und Drehzahl Schneidrad, Vortriebsgeschwindigkeit, Schneidradverschiebung, Überschnitt, Massenbilanz, Stromaufnahme Antrieb, Vortriebspressendruck, Mörtelverpressdruck, Einstellungen Schaumanlage) wurden dem Schildfahrer direkt von der Bauleitung durch Übergabe von gesonderten Arbeitsanweisungen mitgeteilt. Das gesamte Vortriebspersonal wurde durch mehrfach abgehaltene Schulungen und Unterweisung für eine sichere Unterfahrung entsprechend sensibilisiert.

Als Rückfallebene wurden ausreichend Geräte und Materialien (Bohrwerkzeuge, Konditionierungsmittel) auch für evtl. Zusatzmaßnahmen (Rohrschirm, Injektionsmaterial, Spritzbeton, Silikatschaum) auf der Baustelle vorgehalten.

In mehreren Informationsabenden und in persönlichen Gesprächen wurden die Bewohner in den technischen Umsetzungs- und Realisierungsprozess eingebunden. Die Resonanz war insgesamt positiv.

Sollten trotz aller Vorkehrungen Teilabsenkungen mit Ortsbrustbegehungen erforderlich werden, war der Baugrund vorab bei Überführung vom erdbreigestützten in den druckluftbeaufschlagten Zustand ausreichend mit Bentonit zu tränken.

Gesonderte Störfallkataloge regelten je nach Störfallszenario zusätzlich zu den vorbeugend zu treffenden Maßnahmen auch die Maßnahmen zur Bewältigung. Hierzu war auch geplant, im Bedarfsfall

Nachverpressungen durch die Tübbingröhre auszuführen.

Für den kritischen Unterfahrbereich wurde ein Entscheidungsteam bestehend aus Projektleitung und Bauüberwachung des Bauherrn, der Arge-Bauleitung und den Auftraggeber-Beratern eingerichtet, das vor Ort auf der Baustelle anwesend war. Zusätzlich wurde ein Alarmplan mit der maßgebenden Meldekette erstellt. Die Unterfahrung erfolgte auf der Basis der vom EBA-Prüfingenieur Dipl.-Ing. Reinhold Maidl geprüften und von der DB ProjektBau GmbH freigegebenen Planunterlagen und Statiken, insbesondere für Stützdruck und Ringspaltverpressung.

5 Erfahrungen bei der Ausführung

Durch optimale Abstimmung der Stützdrücke, im Wesentlichen gesteuert über die Druckbeaufschlagung des Erdbreis und Ringspaltverpressdrücke an Baugrund und Gebäudeverformungsverhalten, konnte ein kontinuierlicher reibungsloser Vortrieb realisiert werden und die Setzungen weit unterhalb den Prognosen gehalten werden.

Nachjustierungen bzw. Nachverpressungen zur Setzungskompensierung vom Schacht aus beschränkten sich auf wenige Stellen mit geringen erforderlichen Hebungsmaßen.

Die Übergänge von Fels auf Lockergestein und umgekehrt wurden durch rechtzeitige und sensible Umsetzung der Betriebsmodi offen und geschlossen problemlos mit geringen Baugrundverformungen realisiert. Die Maschinendaten wurden kontinuierlich auf das Baugrundverformungsverhalten

direkt zu dem Schildoperator durch die Bauleitung in Form von speziellen Anweisungen. Die gesamte Vortriebsschraube wurde entsprechend abgestimmt für eine sichere Tunnelbauweise dank einer Reihe von Trainingssitzungen und Briefings.

Genügend Ausrüstung und Materialien (Bohrwerkzeuge, Konditionierungsmittel) wurden für mögliche zusätzliche Maßnahmen (Rohrschirm, Injektionsmaterial, Spritzbeton, Silikatschaum) auf dem Fallrückfeld bereitgehalten.

Die Anwohner wurden mit der technischen Umsetzung und Realisierung des Vorhabens durch eine Reihe von Informationsabenden und in persönlichen Gesprächen einbezogen. Die Resonanz war insgesamt positiv.

Sollten trotz aller Vorkehrungen Teilabsenkungen mit Ortsbrustbegehungen erforderlich werden, war der Baugrund vorab bei Überführung vom erdbreigestützten in den druckluftbeaufschlagten Zustand ausreichend mit Bentonit zu tränken.

Gesonderte Störfallkataloge regelten je nach Störfallszenario zusätzlich zu den vorbeugend zu treffenden Maßnahmen auch die Maßnahmen zur Bewältigung. Hierzu war auch geplant, im Bedarfsfall

den Schildoperator durch die Bauleitung in Form von speziellen Anweisungen. Die gesamte Vortriebsschraube wurde entsprechend abgestimmt für eine sichere Tunnelbauweise dank einer Reihe von Trainingssitzungen und Briefings. Genügend Ausrüstung und Materialien (Bohrwerkzeuge, Konditionierungsmittel) wurden für mögliche zusätzliche Maßnahmen (Rohrschirm, Injektionsmaterial, Spritzbeton, Silikatschaum) auf dem Fallrückfeld bereitgehalten. Die Anwohner wurden mit der technischen Umsetzung und Realisierung des Vorhabens durch eine Reihe von Informationsabenden und in persönlichen Gesprächen einbezogen. Die Resonanz war insgesamt positiv. Sollten trotz aller Vorkehrungen Teilabsenkungen mit Ortsbrustbegehungen erforderlich werden, war der Baugrund vorab bei Überführung vom erdbreigestützten in den druckluftbeaufschlagten Zustand ausreichend mit Bentonit zu tränken.

ments und statisch überprüft durch den EBA-Prüfingenieur Dipl.-Ing. Reinhold Maidl und genehmigt durch die DB ProjektBau GmbH, insbesondere für den Stützdruck und den Ringspaltvergütungsdruck.

5 Findings obtained during Execution

Thanks to optimal adjustment of the support pressures, by and large controlled via the admission of the pressure of the earth paste and annular gap grouting pressures on the subsoil and the deformation behaviour of the buildings, it was possible to accomplish a continuous frictionless excavation so that settlements were kept far below the forecasts.

Subsequent adjusting and regrouting to compensate settlements from the shaft were confined to a few points with only minimal lifting measures being introduced.

The transitions from rock to soft ground and vice versa were accomplished resulting in low subsoil deformations thanks to the proper and sensitive application of the open and closed operating modes. The machine data were continuously compared with the subsoil deformation behaviour. There was no need for chamber inspections with lowering of the earth paste level. The incident scenarios previously defined on the basis of a comprehensive analysis were mastered safely by means of sensitive monitoring and measures resorted to prior to the excavation. A corresponding catalogue of measures as fallback level was defined in addition to the scheduled measures that were to be resorted to. In the case of the scheduled open mode switching to closed mode was foreseen as the fallback level.



Portal Cochem: Neuer (links) und Alter Kaiser-Wilhelm-Tunnel

Portal Cochem: New (left) and Old Kaiser Wilhelm Tunnel

ten abgestimmt. Kammerbegehungen mit Absenkung des Erdbreiteiniveaus erübrigten sich. Die vorab auf Basis einer umfassenden Analyse definierten Störfallszenarien konnten durch sensible Überwachung und frühzeitige, bereits vor dem Vortrieb, ergriffene vorbeugende Maßnahmen sicher beherrscht werden. Zusätzlich zu planmäßig zu ergreifenden Maßnahmen war ein entsprechender Katalog von Maßnahmen als Rückfallebene definiert. Im Fall des planmäßig offenen Modus war als Rückfallebene die Umstellung auf den geschlossenen Modus vorgesehen. Weitergehende Rückfallebenen, wie zusätzliche Baugrundertüchtigungen, auch aus der Maschine heraus, waren nicht erforderlich.

6 Resümee

Die Unterfahung der Cochemer Oberstadt stellte insgesamt hohe Anforderungen sowohl an die Maschinenkonzeption als auch an das Vortriebspersonal. Zur optimalen Adaptierung an Baugrund- und Gebäudeeigenschaften wurde das Aus-

führungskonzept in intensiven Abstimmungsprozessen zwischen Bauherrn (und seinen Beratern) und Auftragnehmer abgestimmt. Die optimale Vorbereitung, Abstimmung sowie partnerschaftliche Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten war maßgebend für die erfolgreiche und technisch herausfordernde Unterfahung der Oberstadt Cochem (Bild 4).

Resümierend kann festgestellt werden, dass die Unterfahung der Cochemer Oberstadt mit höchstsetzungsempfindlicher Wohnbebauung und minimalen Fundamentabständen von 3 m ohne Probleme im Hinblick auf Standsicherheit der Ortsbrust und Arbeitssicherheit im EPB-Modus durchgeführt werden konnte.

Die Gebäudebeeinträchtigungen konnten auf vereinzelte geringfügige Setzungsschäden in Form von Rissbildungen begrenzt werden. Die Tübbingauskleidung wurde in höchster Qualität ohne Schäden hergestellt und erfüllte im höchsten Maße das Anforderungsprofil an ein waserdichtes Bauwerk. 

adaptation to the subsoil and building properties. The optimal preparation, coordination and partner-like collaboration of all those involved in the project were determining for the successful and technically challenging project to undertunnel uptown Cochem (Fig. 4).

In summing up it can be maintained that undertunnelling uptown Cochem with highly sensitive residential buildings and minimal distances to the foundations of 3 m was executed without any problems regarding the stability of the face and industrial safety using the EPB mode.

Buildings were only affected by slight damage caused by settlements in the form of cracks. The segmental lining was produced in the highest quality without damage and fulfilled the requirements posed on a watertight structure to the very utmost. 

Further-reaching fallback levels such as additional subsoil improvements – also undertaken from the machine – were not required.

6 Summary

Undertunnelling uptown Cochem altogether posed high demands both on the machine design and the driving crew. The execution concept was agreed on during the course of intensive discussions between the client (and his advisors) and the contractor to ensure optimal

Literatur / References

- [1] Handke, D.; Tauch, B.; Reith, M.: Kaiser-Wilhelm-Tunnel – Maschinenvortrieb im Grenzbereich der Erfahrungen, Geomechanics and Tunnelling 4 (2011), No. 5, Berlin: Ernst & Sohn Verlag, 2011
- [2] Handke, D.; Matt, R.; Wilfinger, N.: Maschinen- und verfahrenstechnische Charakterisierung des Gebirges unter dem Einfluss des Interaktionsverhaltens Maschine – Baugrund, Tunnel 30 (2011), Heft 6, pp. 12-23
- [3] Handke, D.: Stand der Schildvortriebstechnik. Felsbau 2011, Heft 2, pp. 110 - 114
- [4] Handke, D.; & Maidl, B.: Bauverfahrenstechnische Prozessabhängigkeiten als Steuerungselemente zur Risikominimierung bei der Realisierung von Schildprojekten – Vorstellung einer Risikostrategie auf der Basis baupraktischer Erfahrungen (Dependencies in the construction process as a control element to minimise risk on shield tunnelling projects). Tunnelbautaschenbuch 2006, pp. 189-220. Essen: Glückauf, 2005
- [5] Hagen, H.; Otten, B.; Maidl, R.; Handke, D.; Pfeifer, A.: Unterfahung des Schnecktals durch den Finnetunnel (The Finne Tunnel crossing beneath the Schnecktal valley). Tunnel 29 (2010), Heft 7, pp 19-32