

Unterfahrung des Schnecktals durch den Finnetunnel

H. Hagen, B. Otten, R. Maidl, Dr. D. Handke, A. Pfeifer

Mit der Unterfahrung des Schnecktals (Finnetunnel) im Zuge der Neubaustrecke der VDE 8.2 zwischen Erfurt und Halle/Leipzig wurde ein ökologisch sehr sensibles Gebiet berührt. Im folgenden Beitrag wird die Planung und Umsetzung des Maschinenvortriebs bei minimaler Überlagerung ausführlich betrachtet.

1 Einführung

Schildvortriebe ohne aktive Ortsbruststützung stellen bei minimalen Überlagerungen un-

Dipl.-Ing. Holger Hagen, Teamleiter Tunnel VDE 8.2, DB ProjektBau GmbH
 Dipl.-Ing. Bernd Otten, Projektleiter Arge Finnetunnel, Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Bereich Tunnelbau
 Dipl.-Ing. Reinhold Maidl, IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, Prüfenieur des Eisenbahn-Bundesamtes
 Dr.-Ing. Dieter Handke, IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, maschinen- und bauverfahrenstechnischer Berater der DB ProjektBau GmbH Leipzig für den Schildvortrieb
 Dipl.-Ing. Alexander Pfeifer, IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, Tunnelfachingenieur Finnetunnel

terhalb des 0,5-fachen Schilddurchmessers trotz hohem Automatisierungs- und Mechanisierungsgrad Grenzbereiche für den maschinellen Tunnelvortrieb dar.

Auf der Neubaustrecke der VDE 8.2 zwischen Erfurt und Halle/Leipzig wurde der aus Sicherheitsgründen zweiröhrig konzipierte Finnetunnel mit zwei Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) aufgeföhren. Dabei wurde das ökologisch sensible Gebiet des Schnecktals mit einer minimalen Überdeckung von 4,5 m umweltverträglich und mit geringem Oberflächeneingriff erfolgreich unterfahren. Dieser Erfolg wurde entscheidend durch konsequente Umsetzung einer speziell auf das Schildvortriebsverfahren ausgerichteten Strategie erzielt, die ausgehend von der Planung über die Bauvorbereitung bis hin zur bautechnischen Realisierung durch Definition und kontinuierliche Überwachung der maßgebenden verfahrens- und maschi-

The Finne Tunnel under the Schnecktal valley

H. Hagen, B. Otten, R. Maidl, Dr. D. Handke, A. Pfeifer

The passage under the Schnecktal valley (the Finne Tunnel), a key element of the new „VDE“ (German Reunification Transport Infrastructure Project) 8.2 line between Erfurt and Halle/Leipzig, impinged on a highly ecologically sensitive geographical feature. The following article examines in detail the planning and implementation of machine tunnelling with only minimal overburden cover.

1 Introduction

Despite the high present-day level of automation and mechanization, mechanized tunneling begins to encounter its limitations in shield-machine operations with no active rock-face support and minimal overburden cover thicknesses of less than 0.5-fold the shield diameter.

The Finne Tunnel on the new VDE 8.2 line between Erfurt and Halle/Leipzig, designed for safety reasons as a twin-bore tunnel, was driven using two tunnel boring machines (TBMs). Tunneling under the ecologically sensitive „Schnecktal“ valley area was accomplished successfully, with a minimal cover of 4.5 m, in an environmentally acceptable manner and with little impact on the surface. Achievement of this feat was decisively assisted by the consistent implementation of a strategy specifically orientated around the shield-tunneling method, and which, from the planning stage onward, via the

preparatory activities, up to and including implementation, was determined by the definition

Dipl.-Ing. Holger Hagen, Head of Team, Tunnel VDE 8.2, DB ProjektBau GmbH
 Dipl.-Ing. Bernd Otten, Project Manager, Finne Tunnel Consortium, Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Tunnels Division
 Dipl.-Ing. Reinhold Maidl, IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, Inspecting Engineer for the Eisenbahn-Bundesamt (EBA = German Federal Railway Authority)
 Dr.-Ing. Dieter Handke, IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, mechanical and construction-method advisor for shield tunnelling for DB ProjektBau GmbH Leipzig
 Dipl.-Ing. Alexander Pfeifer, IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, Tunnelling Engineer Finne Tunnel

nentechnischen Beurteilungsparameter im Sinne eines Prozesscontrollings bestimmt wird. Charakteristisches Merkmal dieser Strategie ist die Risikoprävention, die durch spezielle Lenkungselemente zielgerichtet umgesetzt wird. Als Lenkungselemente zur Risikoprävention gelten Störfallanalysen, TVM-Pflichtenheft, Schildhandbuch, Maschineninspektion und Prozesscontrolling mit den zugeordneten unterstützend wirkenden Vortriebsvorschauen und Arbeitsanweisungen.

Der vorliegende Beitrag beschreibt nach einem grundsätzlichen Projektüberblick die Umsetzung dieser Strategie bei der



1 Situation Schnecktal mit Finnetunnel im östlichen Streckenabschnitt

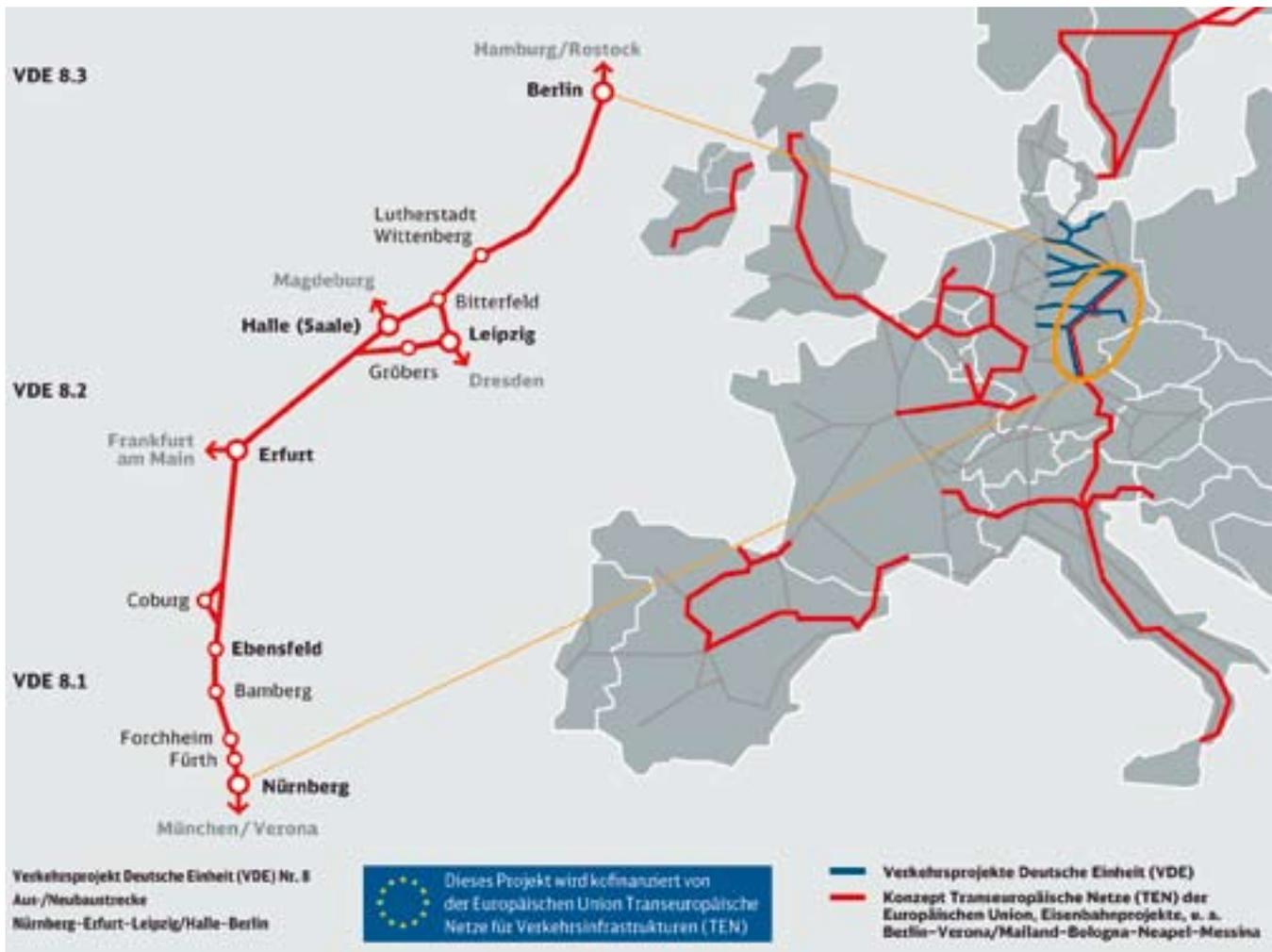
1 The location of the Schnecktal valley, with the Finne Tunnel in the eastern section of the line

Vorbereitung und Umsetzung des Schildvortriebs am Beispiel der Unterfahrung des Schnecktals (Bild 1).

and continuous monitoring of the critical process and mechanical assessment parameters, on the basis of process

controlling. The characteristic feature of this strategy is risk prevention, which is systematically implemented by means of special steering elements. These risk-prevention elements include contingency analyses, the TBM scope statement, the shield manual, machine inspection and process controlling, using the supporting tunneling previews and working procedures assigned.

This article begins with an overview of the project in principle, and then examines the implementation of this strategy during the preparatory phase and the actual performance of shield tunneling, using the ex-



2 Zuordnung des Verkehrsprojekts VDE 8 im transeuropäischen Eisenbahnnetz

2 Ranking of the VDE 8 transport project in the Trans-European rail network

2 Projektüberblick

Das Verkehrsprojekt Deutsche Einheit (VDE) Nr. 8 wurde 1991 wenige Monate nach der Wiedervereinigung von der Bundesregierung auf den Weg gebracht. Es ist mit dem Aus- und Neubau von rd. 500 km das größte der neun Schienenprojekte des Programms und zählt zu den Projekten zum Ausbau der transeuropäischen Verkehrsnetze (Bild 2).

Der Finnetunnel, mit 6970 m der längste Tunnel des Abschnitts der NBS VDE 8.2, ist aus Sicherheitsgründen als Doppelröhrentunnel konzipiert und unterfährt am Ostrand der Thüringer Mulde den an der Finne aufragenden Gebirgsrücken der Finnestörung. Einen wesentlichen Zwangspunkt bei der Wahl der Trassierung stellte die aus ökologischen Gründen notwendige Unterführung des Schnecktals mit einer Überdeckung von ca. 4,5 m dar. Zusätzlich musste für die Konzeption der in weiten Teilen bis zu 50 m über den Tunnelröhren liegende Bergwasserspiegel berücksichtigt werden.

In Erfüllung dieser Randbedingungen sah der Ausschreibungsentwurf als Vortriebskonzept, vom westlichen Angriffspunkt ausgehend, einen parallelen Schildvortrieb mit zwei Schildvortriebsmaschinen und Tübbingausbau vor, wobei die Vortriebsmaschinen die ersten 1547 m mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust (Hydroschildmodus) und die nachfolgende 3095 m lange Strecke bis zur Einfahrt in die Demontagekaverne ohne flüssigkeitsgestützte Ortsbrust (Open-Mode) auffahren sollten. Von Osten war ein Gegenvortrieb in Spritzbetonbauweise, mittels Spreng-/Baggervortrieb und einem späteren Einbau der Innenschale vorgesehen.

Mit der Ausführung der Gesamtbaumaßnahme Finnetunnel wurde im Dezember 2006 von Seiten der DB Netze AG, vertreten durch die DB ProjektBau GmbH, Leipzig, die Arge Finnetunnel, bestehend aus Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Frankfurt am Main, Max Bögl Bauunternehmung GmbH & Co. KG, München, Porr Technobau und Umwelt

ample of passage under the Schnecktal valley (Fig. 1).

2 Project overview

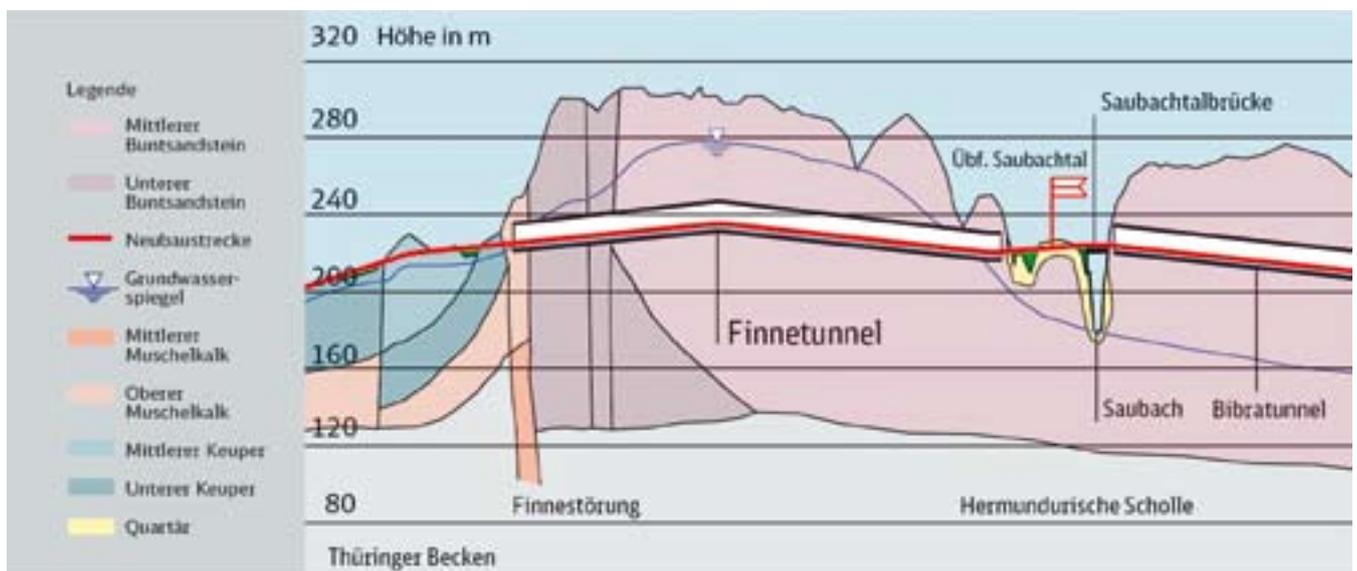
Verkehrsprojekt Deutsche Einheit (VDE = German Reunification Transport Infrastructure Project) No. 8 was initiated by Germany's federal government in 1991, a few months following reunification. Encompassing the upgrading or construction from new of some 500 km of line, it is the largest of the program's nine rail projects, and forms part of the overall portfolio of projects for expansion of the Trans-European transport infrastructure (Fig. 2).

The Finne Tunnel, at 6970 m the longest on the new VDE 8.2 section of line, was planned, for safety reasons, as a twin-bore tunnel, and passes on the eastern edge of the Thuringian Syncline under the towering Finne ridge on the fault of the same name. A critical element in the selection of the route was the passage of the line, necessary for ecological reasons, below the Schnecktal valley, with an overburden cover of only

around 4.5 m. The planning of the tunnel also had to take into account the underground water level, which is, to a large extent, located up to 50 m above the tunnel bores.

In fulfilling these boundary conditions, the draft invitation to tender envisaged as the tunnelling concept parallel shield tunnelling using two shield-tunnelling machines and segmental support, proceeding from the tunnelling starting point in the west the tunnelling machines being required to drive the first 1547 m with a slurry-pressure supported face (hydroshield mode), and the subsequent 3095 m section up to the entry to the machine recovery cavern with no slurry-pressure supported face (open mode). Tunnelling in the opposite direction, using shotcreting methods and drill, blast and excavate tunnelling, with subsequent installation of the interior tunnel lining, was planned from the eastern portal.

The contract for the entire Finne Tunnel project was awarded by DB Netze AG, represented by DB ProjektBau GmbH, Leip-



3 Geologischer Längsschnitt Finnetunnel

3 Longitudinal geological section through the Finne Tunnel

GmbH, München und Porr Tunnelbau GmbH, Wien, beauftragt.

Nach Beginn der Bauleistung musste infolge geänderter Randbedingungen die Technologie hinsichtlich des Vortriebskonzepts von der Arge Finnetunnel angepasst werden. Das geänderte Vortriebskonzept beinhaltet den Verzicht auf einen Gegenvortrieb in konventioneller Bauweise und die Verlängerung der Schildvortriebsstrecken über die gesamte Tunnellänge bis zum Ostportal. Infolgedessen war nun auch der Bereich des Schnecktals mit den Vortriebsmaschinen zu bewältigen.

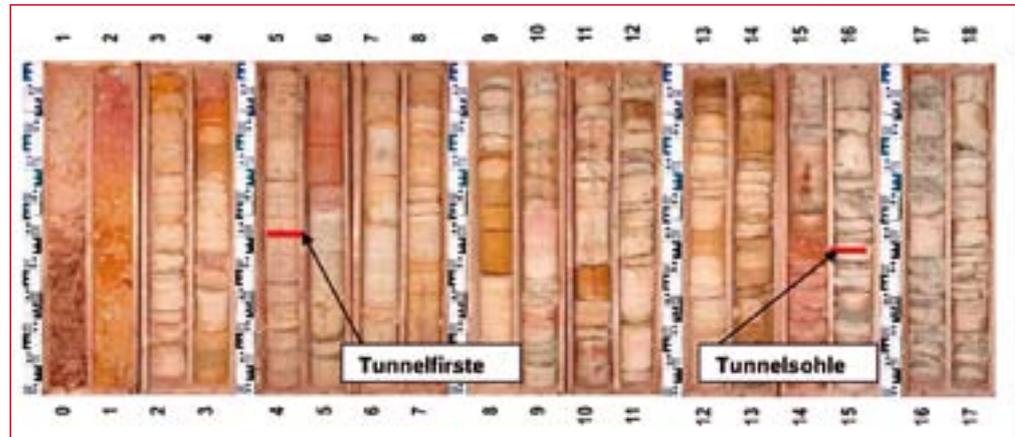
3 Geotechnisch-hydrologische Verhältnisse

3.1 Überblick

Die Neubaustrecke quert im Bauabschnitt Finnetunnel den Übergang vom Thüringer Becken zur relativ dazu herausgehobenen Struktur der Hermundurischen Scholle. Diese beiden Strukturen werden voneinander durch die etwa Nordwest-Südost streichende Finne-Störungszone getrennt.

Für den Finnetunnel, welcher auf seiner Gesamtlänge Gesteinsformationen des Trias durchfährt, ergab sich dadurch folgende geologische Abfolge: in der westlichen Eingangsstrecke wurden ca. 300 m Muschelkalk und Keuper angefahren, danach folgten ca. 650 m im Unteren Buntsandstein und ca. 5900 m im Mittleren Buntsandstein. Auf den ersten 1500 m war die Wechselfolge aus Mergel-, Kalk-, Schluff-, Sand- und Tonsteinen stark durch die Finne-Störung beeinflusst (Bild 3).

Der Grundwasserspiegel steigt im Bereich des Finnetunnels vom Westen aus kontinuierlich an und steht über weite Bereiche bei einem Maximum von ca. 50 m über der Tunnelfirste. Östlich des Steinbachtals



4 Kernbohrung aus dem Bereich der Schnecktalquerung

4 Core boring from the vicinity of the tunnel under the Schnecktal valley

fällt der Grundwasserspiegel zum Saubachtal hin ab, wodurch der östliche Teil des Finnetunnels oberhalb des Grundwasserspiegels liegt.

3.2 Vorerkundungen im Bereich des Schnecktals

Das Schnecktal befindet sich in der Teilstrecke des Mittleren Buntsandsteins. Der Taleinschnitt wird von den Tunnelröhren in einem schleifenden Schnitt unterfahren und ist gekennzeichnet durch beidseitig relativ steile Böschungsflanken (Bild 1).

In den ingenieurgeologischen Gutachten wurden die geologischen Verhältnisse durch im oberflächennahen Bereich anstehende quartäre Lehme und darunter liegende Schichten des Mittleren Buntsandsteins mit einem Verwitterungshorizont von mindestens 1 bis 2 m Mächtigkeit charakterisiert.

Für den ausgeschriebenen Vortrieb in Spritzbetonbauweise in Kombination mit der vertraglich vorgesehenen voraussenden Sicherung mittels Rohrschirm waren diese Angaben zur Geologie hinreichend genau, nicht jedoch für einen Maschinenvortrieb. Aus diesem Grund wurden im Vorfeld des Maschinenvortriebs weitere

zig, in December 2006 to the „Arge Finnetunnel“ (Finne Tunnel Consortium), consisting of Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Frankfurt am Main, Max Bögl Bauunternehmung GmbH & Co. KG, Munich, Porr Technobau und Umwelt GmbH, Munich, and Porr Tunnelbau GmbH, Vienna.

The consortium was obliged after start of contract to modify the technology envisaged for the tunnelling concept as a result of changed boundary conditions. The changed tunnelling concept dispensed with conventional simultaneous tunnelling from the opposite direction and extended the shield tunnelling sections to include the complete length of the tunnel up to the eastern portal. The zone below the Schnecktal valley was, as a consequence, therefore also to be driven using the tunnelling machines.

3 Geotechnical and hydrological conditions

3.1 Overview

In the Finne Tunnel sector of the works, the new rail line crosses the transition line from the Thuringian Basin to the,

comparison, elevated structure of the Hermundurian Massif. These two features are separated from one another by the Finne fault zone, running approximately north-west to south-east.

The following geological sequence thus resulted for the Finne Tunnel, the entire length of which traverses the Triassic formations: the western entry length encountered approx. 300 m of Muschelkalk [1] and Upper Triassic, followed by some 650 m in the Lower Triassic, and around 5900 m in the Middle Bunter. The alternating sequence of marlstone, limestone, siltstone, sandstone and mudstones was heavily influenced by the Finne fault along the first 1500 m of the tunnel route (Fig. 3).

In the vicinity of the Finne Tunnel, the groundwater table rises continuously from the west, and is at many points at a maximum of around 50 m above the roof of the tunnel. To the east of the Steinbachtal valley, the groundwater table falls toward the Saubachtal valley, with the result that the eastern sector of the Finne Tunnel is located above the groundwater table.

Kernbohrungen im direkten Talbereich durchgeführt (Bild 4).

Die Ergebnisse dieses ergänzenden Erkundungsprogramms lassen sich wie folgt zusammenfassen:

■ Die nördliche Tunnelröhre verläuft rd. 1,5 bis 2,6 m unterhalb der entfestigten bis zersetzten Verwitterungszone des Buntsandsteingebirges. Dabei liegt die Tunnelfirste und ca. der halbe Ausbruchquerschnitt in einer Schichtenfolge überwiegend schlechter bis mäßiger Kornbindung.

■ Die südliche Tunnelröhre verläuft bereichsweise direkt unterhalb des entfestigten bis zersetzten Verwitterungshorizontes, wobei im oberen Teil des Ausbruchquerschnitts wenig feste Sedimente mit überwiegend schlechter bis mäßiger Kornbindung auftreten.

■ In den Firstbereichen beider Röhren, – vor allem in der Südröhre – ist aufgrund geringer Überlagerung und überwiegend geringsten Sedimenten mit einem Nachbrechen der Tunnelfirste bzw. mit Ausbrüchen zu rechnen.

■ Die Gebirgsverhältnisse lassen sich weiterhin mit flachen Lagerungsverhältnissen des Buntsandsteingebirges und steil stehenden Klufflächen charakterisieren.

■ In den unteren Querschnittsbereichen ist die Kornbindung überwiegend gut und die Gesteinsfestigkeit besser; es treten vereinzelt geringmächtige Schluffsteinlagen auf.

4 Bauverfahren mit Schildmaschine

Wie zuvor dargestellt sah der Entwurf aufgrund der geologischen und hydrologischen Randbedingungen und der nur teilweise durchführbaren Grundwasserabsenkungsmaßnahmen eine Unterteilung der gesamten Schild-



5 Werksabnahme der Schildmaschine Südröhre Finnetunnel

5 Acceptance inspection of the shield-machine for the southern bore of the Finne Tunnel at the manufacturer's works

vortriebsstrecke in Bereiche mit und ohne flüssigkeitsgestützter Ortsbrust vor.

Die ersten ca. 1500 m wurden demnach im sogenannten geschlossenen Modus (closed-mode) mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust vorgetrieben. Im Anschluss an diesen Bereich war die Ortsbrust ausreichend standsicher und der Wasserandrang beherrschbar, so dass auf eine aktive Ortsbruststützung verzichtet werden konnte und der Abschnitt im offenen Betriebsmodus (open-mode) bewältigt werden konnte. Nach Umbau der Schildmaschinen erfolgte somit der Vortrieb über die restliche Strecke im offenen Modus (open-mode) ohne aktive Ortsbruststützung.

Die Zielsetzung der Ausschreibung war darauf ausgerichtet eine Schildmaschine zum Einsatz zu bringen, die ausreichend Möglichkeiten bietet, mit den für den Vortrieb prognostizierten baugrund-, verfahrens- und maschinentechnischen Problemen möglichst sicher und schnell fertig zu werden um einen ungehinderten, störungsfreien Vortrieb realisieren zu können. Zu diesem Zweck sah die Ausschreibung zur Beherrschung der geologischen Randbedingungen und der Anforderungen aus der

3.2 Preliminary exploratory work in and around the Schnecktal valley

The Schnecktal valley is located in the sector of the route in the Middle Bunter. The tunnel bores pass at a glancing angle under the valley formation, which is characterized by relatively steep embankment slopes on both sides (Fig. 1).

Geological conditions here are characterized in the geological appraisals by quaternary loams present in the immediately sub-surface zone, and Middle Bunter strata below them, with a weathering horizon of a thickness of at least 1 to 2 m.

This geological data was of sufficient accuracy for the shotcrete tunnelling method specified in the invitation to tender, in combination with the contractually agreed preceding support by means of pipe arches, but not for machine tunnelling. Further cores were therefore drilled in the immediate zone of the valley, as preparation for mechanical tunnelling operations (Fig. 4).

The results of this supplementary exploratory program can be summarized as follows:

■ Around 1.5 to 2.6 m of the northern bore of the tunnel passes below the weakened to

disintegrated weathered zone of the bunter sandstone rock. The tunnel roof and around 50% of the excavation cross-section are located in a sequence of strata of predominantly poor to moderate coherence.

■ The southern bore of the tunnel runs in some zones immediately below the weakened to disintegrated weathering horizon, with sediments of little strength, possessing predominantly only poor to moderate coherence, in the upper zone of the excavation cross-section.

■ Crumbling of the tunnel roof, and/or falls, must be anticipated in the roof zones of both bores, and in the southern bore, in particular, due to only slight overburden cover and predominantly low-strength sediments.

■ The geological conditions can, in addition, be characterized in terms of shallow stratigraphic conditions in the bunter sandstone rock, and steep joint planes.

■ Coherence in the lower zones of the cross-section is predominantly good and rock strength is better; isolated siltstone inclusions of low thickness occur.

4 Shield-machine tunnelling method

As outlined above, the original plan, in view of the geological and hydrological boundary conditions, and of the possibility of lowering the groundwater table only in some instances, envisaged subdivision of the shield tunnelling section as a whole into individual sectors with and without a slurry-pressure supported rock face.

The first approx. 1500 m were therefore driven using the so-called closed mode with a slurry-pressure supported face. Following this sector, the face was sufficiently stable, and the ingress of water sufficiently con-

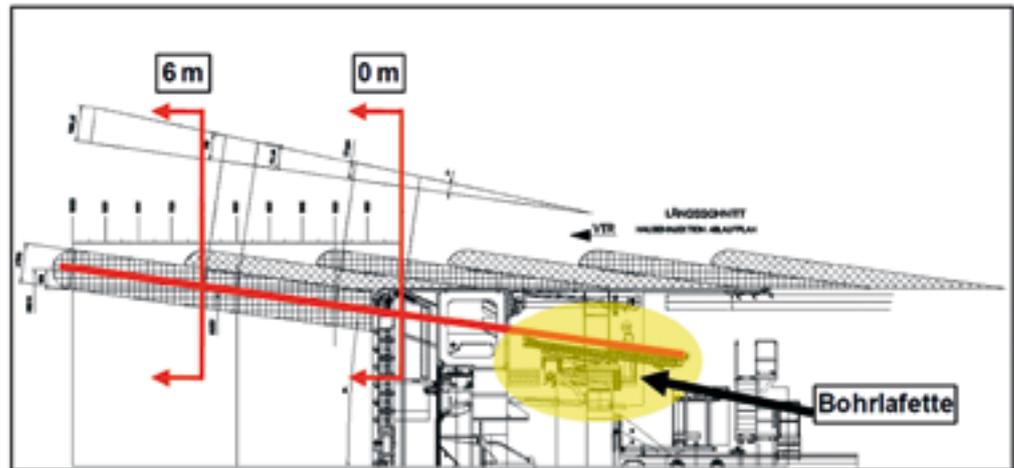
Umgebung spezielle maschinen-technische Anforderungen vor, die in einem gesonderten Anforderungsprofil an die Schildmaschine in der Ausschreibung zusammengefasst wurden.

Weiterer Bestandteil der Ausschreibungsunterlagen war die Abforderung einer Störfallanalyse für kritische Vortriebsituationen. Mit Hilfe dieser Störfallanalyse sollte sich der Auftragnehmer (AN) mit allen vorhersehbaren geologischen, verfahrens- und maschinen-technischen sowie aus der Umgebung resultierenden Störfällen bzw. Erschwernissen für den Vortrieb auseinandersetzen, um dieses Wissen bei der Konzipierung der Schildmaschinen einfließen zu lassen.

Die Störfallanalyse war im Sinne der Risikoprävention darauf ausgelegt, den betreffenden Störfall in seinen Konsequenzen erst gar nicht eintreten zu lassen. Die beim Maschinenkonzept umgesetzten konstruktiven Maßnahmen fungierten dabei als Präventivmaßnahmen. Überwachungs- und Kontrollsysteme dienten der frühzeitigen Vorauserkennung des jeweiligen Störfallszenarios, auf dessen Basis die Maßnahmen zur Beherrschung bereits im Vorfeld der Auffahrung definiert wurden.

Entsprechend der Strategie der Ausschreibung wurden nachfolgende Lenkungselemente ebenfalls für die Konzipierung der Schildmaschine Vertragsbestandteil:

- Erstellung eines Pflichtenhefts für die Konstruktion der Maschine, in der im Wesentlichen die an die Maschine gestellten Anforderungen mit verfahrens- und maschinentechnischen Lösungen belegt werden,
- „Abnahme“ der Schildmaschinen im Herstellerwerk mit Vorführung der wesentlichen Funktionen,
- Erstellung eines Schildhandbuchs mit Konkretisierung der



6 Längsschnitt mit Bohrgerät und Ausrichtung der Bohrungen durch Tauch- und Druckwand sowie Schneidrad

6 Longitudinal section showing drilling equipment and alignment of the borings through the immersion wall, pressure bulkhead and cutting wheel

maschinen- und verfahrens-technischen Überwachungsparameter zur Sensibilisierung des Vortriebspersonals.

Auf eine allgemeine Darstellung der einzelnen Schritte dieser Strategie und deren Umsetzung bei der Konzipierung der Tunnelvortriebsmaschinen und bei der Vorbereitung des Vortriebs wird an dieser Stelle verzichtet und auf die Literatur verwiesen. Nachfolgend wird die Adaptierung der Strategie ausschließlich unter Berücksichtigung der aus der Technologieanpassung resultierenden Randbedingungen im Bereich des Schnecktals dargestellt.

Bei der Konzeption der TVM musste nicht nur den bekannten bzw. durch das zusätzliche Erkundungsprogramm vertieften geologischen Randbedingungen Rechnung getragen werden, sondern speziell auch der Forderung nach minimalen Setzungen zur Vermeidung eines Verbruchszenarios bei einer minimalen Überdeckung von 4,5 m.

Eine für die Belange dieses Bereichs wesentliche Anforderung war die Möglichkeit zur Herstellung eines Injektionschirmes bzw. Rohrschirmes im Firstbereich zur vorauseilenden Stabilisierung des Baugrunds.

trollable, with the result that it was possible to dispense with active rock-face support and complete this sector using the open-mode method. The rest of the section was therefore driven, after conversion of the shield-tunnelling machines, using open mode, with no active rock-face support.

The invitation to tender had taken as its aim the deployment for the tunneling work of a shield-tunneling machine which would provide sufficient potentials for the overcoming, as rapidly and safely as possible, of the worksite, methodological and mechanical problems predicted for the tunnelling operations, in order to achieve unhindered and trouble-free tunneling and completion. For this purpose, the invitation to tender envisaged special mechanical requirements for mastery of the geological boundary conditions and the demands made by the working environment; these were compiled in the invitation to tender in a separate requirement profile for the shield-tunnelling machine.

The requirement for a contingency analysis for critical tunneling situations was a further element in the invitation-to-tender

documentation. The contractor was to use this contingency analysis to study and familiarize himself with all foreseeable geological, methodological, mechanical and working-environmental contingencies and potential complications for the tunneling operations, in order that the knowledge thus gained could be incorporated into the conception and design of the shield-tunnelling machines.

The contingency analysis was conceived, in line with the philosophy of risk prevention, with the aim of preventing the occurrence of the consequences of the particular contingency. The design provisions implemented in the machine concept acted in this context as preventative measures.

Supervisory and monitoring systems served the purpose of early advance recognition of each particular contingency scenario, on the basis of which provisions for overcoming of the contingency were defined even before the start of tunnelling operations.

In accordance with the strategy embodied in the invitation to tender, the following steering elements for the conception of the shield-tunnelling machine

Tabelle: Technische Hauptdaten der Schildmaschine
Table: Principal technical data for the shield-machine

Beschreibung Description	Einheit Unit	Daten Data
Maschinentyp/Betriebsmodus Machine type/operating mode		closed mode (Flüssigkeitsschild) open mode (Einfachschild) Closed mode (slurry shield), Open mode (simple shield)
Schilddurchmesser Shield diameter	[m]	10,82
Schneiradantriebsleistung Cutting wheel drive rating	[kW]	3.800
Vortriebskraft (28 Doppelpressen) Tunneling force (28 double-jacks)	[kN]	87.000
Schneiraddrehmoment Cutting wheel torque	[kNm]	9.532
Gesamte installierte Leistung Total installed power	[kVA]	5.700
Schildlänge Shield length	[m]	11,11
Gesamtlänge (inkl. Nachläufer) Total length (inc. back-up system)	[m]	86
Gesamtgewicht (inkl. Nachläufer) Total weight (inc. back-up system)	[t]	1.990
Werkzeugbestückung Schneirad Cutting wheel equipment		4 Doppel-Schneirollen (17" Disken) im Bohrkopfzentrum, 84 Schälmesser, 69 Einfachschneirollen (17" Disken), 6 Kaliberräume, 6 Konusräumer 4 double roller cutters (17" disks) on cutter head center, 84 carbide-tipped cutters, 69 single roller cutters (17" disks), 6 bore reamers, 6 tapered reamers

Zur Bauausführung vorge schlagen und beauftragt wurden konform den Ausschreibungsbedingungen zwei umbaubare Schildmaschinen (Tabelle), die von Herrenknecht geliefert wurden (Bild 5).

Die Konzipierungsphase der Schildmaschinen durch die Arge wurde vom Bauherrn und seinen Beratern aktiv begleitet. Zusätzlich zur vertragskonformen Auslegung der Schildmaschinen brachte der Bauherr, unterstützt durch seinen Berater, Empfehlungen vor, die in den wesentlichen Grundzügen vom Auftragnehmer auch aufgenommen und umgesetzt wurden.

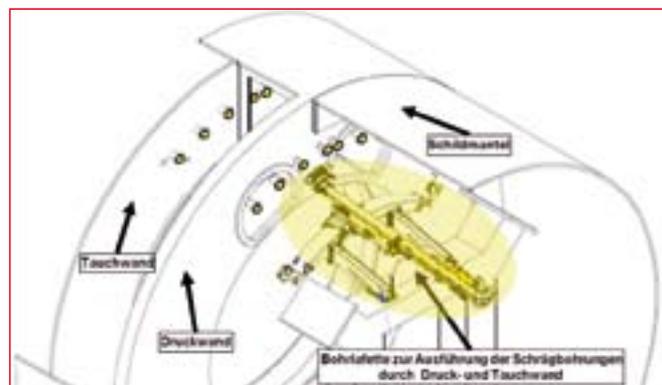
Die TVM wurden dabei für das Schnecktal entsprechend der Anforderungen so ausgestattet, dass vom Schild aus Möglichkeiten sowohl für die Durchführung von Erkundungsbohrungen als auch für Ertüchtigungsmaßnahmen

in Form von Injektionsbohrankern bzw. einem Rohrschirm bestehen.

Es bestand die Möglichkeit mittels einer Bohrplattform durch Bohrkanäle in der Druck- bzw. Tauchwand durch das

were also incorporated into the contract:

■ Drafting of a scope statement for the design of the machine, in which the essential requirements for the machine are documented, complete with



7 3D-Ansicht Bohrlafette zur Durchführung der Bohrungen durch das Schneirad

7 3D view of the drilling carriage for performance of drilling through the cutting wheel

methodological and mechanical solutions;

■ "Acceptance inspection" of the shield-tunnelling machines at the manufacturer's works, complete with demonstration of the machines' essential functions;

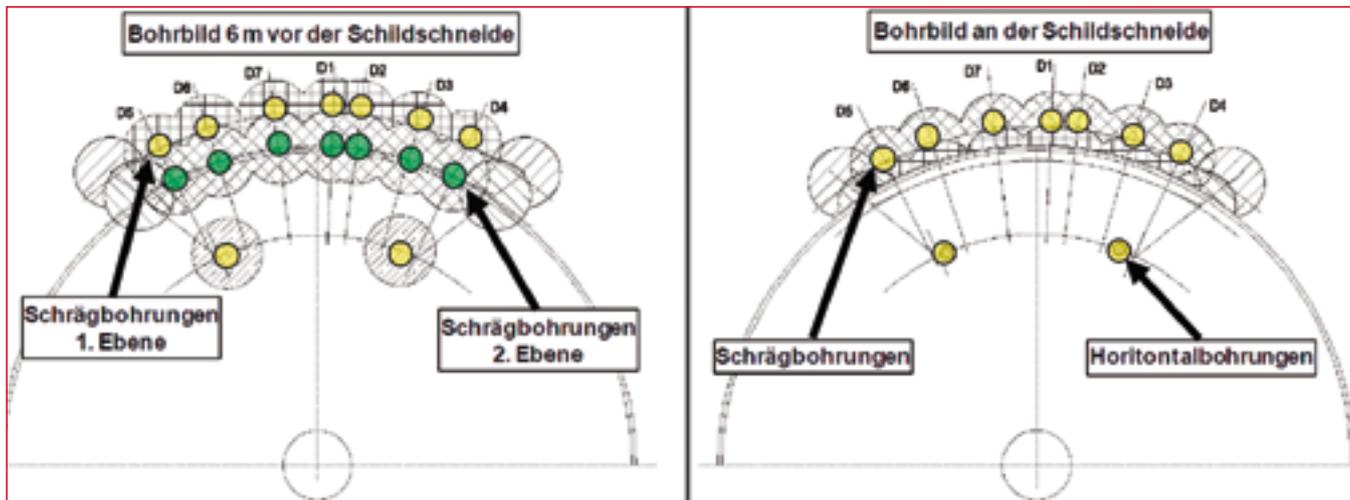
■ Drafting of a shield manual, including more specific definition of the mechanical and methodological monitoring parameters, for the purpose of sensitization of the tunneling crew.

The author intends to dispense here with a general description of the individual steps in this strategy and its implementation in the conception of the tunnel boring machines and the preparation of tunneling, and to draw attention, instead, to the relevant literature. The adaptation of the strategy is examined below solely taking account of the boundary conditions in and around the Schnecktal valley section resulting from adaptation of the technology.

It was necessary, in the context of conception of the TBM, not only to take account of the known geological boundary conditions and those disclosed in more detail by the additional program of exploration, but also, specifically, the requirement for only minimal subsidence, in order to avoid a collapse scenario, in view of the minimal overburden cover of only 4.5 m.

An essential requirement in order to meet the needs in this sector was the ability to create a grout curtain or pipe arch system in the roof zone for advance stabilization of the underground.

In accordance with the conditions of the invitation to tender, two convertible shield-tunnelling machines (see table) were proposed and ordered for the works, and were supplied by Herrenknecht (Fig. 5).



8 Bohrpositionen und mögliche Injektionsformen für Bohrungen durch das Schneidrad

8 Drilling positions and possible grouting methods for drilling through the cutting wheel

Schneidrad hindurch zu bohren. Dabei konnten die Bohrungen sowohl frontal horizontal als auch geneigt unter einem Winkel von 8° Grad erfolgen (Bild 6 bis 8).

Eine weitere Möglichkeit für die Durchführung der Bohrungen ergab sich durch Bohrlafetten, welche auf Erektoradapterplatten aufgesetzt das Ausführen von radialen Schrägbohrungen in einem Winkel von ca. 10° durch den Schildmantel hindurch gewährleisten.

Bei der Inspektion der Vortriebsmaschinen im Herstellerwerk wurde im Zuge der Demonstrationen der grundsätzliche Nachweis zur Installation des Bohrgeräts und zur Ausführung und Machbarkeit der Injektionsbohrungen bzw. Vorausb Bohrungen erbracht. Mit dieser Funktionsprüfung war der Prozess der Konzeption der TVM entsprechend der maschinentechnischen Anforderungen grundsätzlich abgeschlossen.

5 Maschinen- und bauverfahrenstechnisches Konzept zur Unterfahrung des Schnecktals

Dem grundsätzlichen Kon-

zept des Bauablaufes folgend wurde der Vortrieb in der Südröhre erst nach dem Auffahren des Hydroschildbereichs (1500 m) in der Nordröhre gestartet. Dies führte dazu, dass der Nordvortrieb im Bereich des Schnecktals, mit den günstigeren Randbedingungen, ca. 5 Monate vor dem Südvortrieb erfolgte. Erkenntnisse aus dem ersten Vortrieb konnten somit noch in die Vorbereitung des schwierigeren Vortriebs der Südröhre einfließen.

Im Zuge der Vorbereitungsarbeiten für die Planungen zur Unterfahrung des Schnecktals wurde durch die Arge festgestellt, dass die 2007 durchgeführten Verfüllungen der Erkundungsbohrungen teilweise nachgesackt waren. Um eine daraus resultierende negative Beeinflussung auf den Vortrieb auszuschließen, wurde das Gebirge durch den AN von Obertage über Injektionsbohrungen bis knapp unter die Tunnelfirste injiziert.

Für das Unterfahrungskonzept wurden in der Ausführungsplanung kritische Vortriebsbereiche definiert, welche zum Einen auf die prognostizierte Gebirgsqualität und zum Anderen auf die anstehenden Überdeckungsverhältnisse ab-

The consortium's conception phase for the shield-tunneling machines was actively supported by the client and his advisors. In addition to the design of the shield-tunneling machines in conformity to the contractual conditions, the client, with assistance from his advisors, also submitted recommendations, the essential basic elements of which were also accepted and implemented by the contractor.

In line with the requirements, the TBMs were equipped for the Schnecktal valley section in such a way that both the performance of exploratory borings and of rock improvement provisions in the form of drilled and grouted bolts and/or a pipe arch were possible from the shield.

There was a facility to drill through the cutting wheel, by means of a drilling platform, via drilling ducts in the pressure bulkhead and/or immersion wall. These borings could be made both horizontally to the front and also at an inclination of 8 degrees (Fig. 6 to 8).

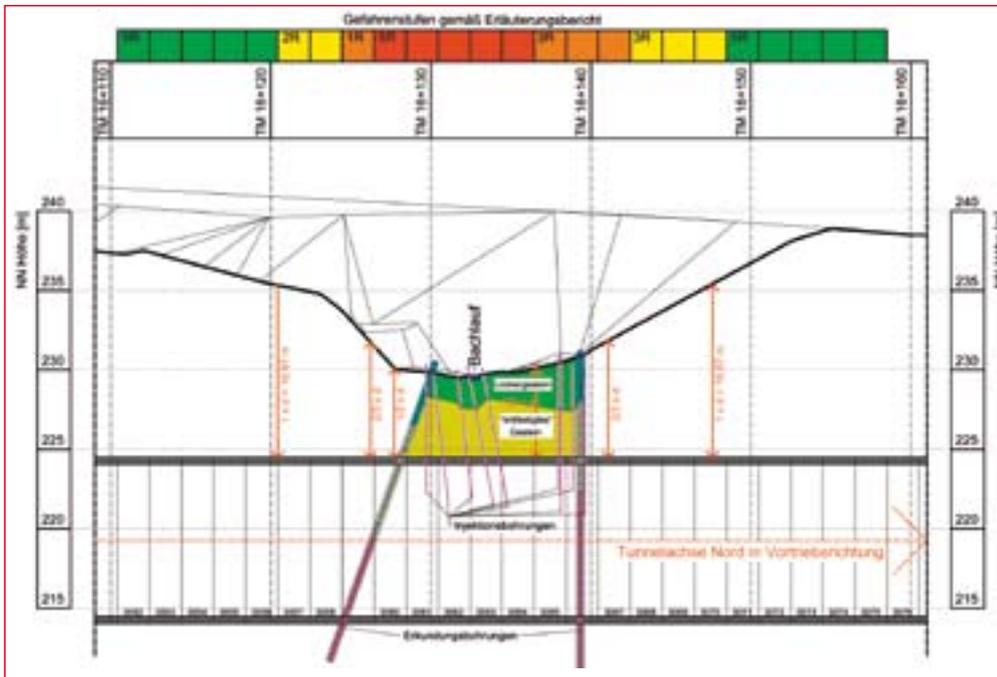
A further facility for drilling operations resulted from the use of drilling carriages which, mounted on erector-adapter plates, permitted the perform-

ance through the shield skin of radial inclined borings at an angle of approx. 10 degrees.

The suitability in principle for installation of the drilling unit and for the execution and feasibility of the grouting and pilot borings was proven in the context of the demonstrations during inspection of the tunneling machines at the manufacturer's works. The process of conception of the TBMs in accordance with the mechanical requirements in principle concluded with these function trials.

5 Mechanical and methodological concept for tunnelling under the Schnecktal valley

In accordance with the basic concept for the sequence of the works, tunneling in the southern bore was started only after completion of the hydroschild sector (1500 m) in the northern bore. This resulted in the northern tunneling operations in the Schnecktal valley sector, encountering less adverse boundary conditions, being completed around five months before the tunneling operations in the south bore. Knowledge gained from the first tunneling operation could therefore be incorpo-



9 Grundriß und Längsschnitt im Bereich der Schnecktalunterführung (TVM-Nord) inkl. Angabe der definierten Gefahrenstufen

9 Plot plan and longitudinal section in the vicinity of the Schnecktal valley tunnel (northern TBM), inc. statement of defined hazard levels

gestimmt waren. Diese Bereichseinteilung diente der systematischen Vortriebskategorisierung und wurde als Basis zur Entscheidung und Festlegung des Einsatzes und Umfangs von präventiven Ertüchtigungsmaßnahmen genutzt.

Unterschieden wurden 4 Bereiche, welche entsprechend ihres Risikopotenzials anhand des Verhältnisses von Bodenüberdeckung zu Tunneldurchmesser in Bild 9 farblich hervorgehoben sind.

Zeitgleich wurden die verschiedenen, von der TVM aus realisierbaren, Erkundungsbohrungen und Ertüchtigungsmaßnahmen im Detail geplant und in einem weiteren Schritt den definierten Vortriebsbereichen zugeordnet. Als Ergebnis entstand eine Matrix, in der sowohl die planmäßigen Maßnahmen als auch für den Fall sich verschlechternder Verhältnisse die zugeordneten Rückfallebenen definiert sind (Bild 10).

Die letztlich zutreffende endgültige Festlegung hinsichtlich Umfang und Umsetzung der Ertüchtigungsmaßnahmen sollte vortriebsbegleitend in Abhängigkeit der in-situ angetroffenen Verhältnisse erfolgen.

Zusätzlich zur Aufnahme und Beurteilung der geologischen Verhältnisse direkt an der Ortsbrust und der Analyse sowie der Bewertung der wesentlichen Maschinenparameter inkl. Beurteilung der Bettungssituation des Tübbingausbaus waren die Oberflächensetzungen ein maßgebliches Kriterium für die Wahl und Festlegung der Bewältigungsmaßnahmen.

Die Verformungswerte wurden kategorisiert in Melde-, Warn-, und Alarmwerte als sogenannte Eingreifwerte, welche im Eintretensfall direkt mit entsprechenden Gegenmaßnahmen sowohl von Obertage als auch von Untertage verknüpft sind.

Ausgehend von diesem grundlegenden Konzept muss-

erated into the preparatory activities for the more difficult operations for creation of the southern bore.

The consortium discovered during the preparatory work on the planning necessary for tunneling under the Schnecktal valley that the in-filling of the exploratory bore holes installed in 2007 had in some cases subsided. In order to eliminate any possibility of complications for the tunneling operations resulting from this circumstance, the contractor grouted the rock from the surface to a point just above the tunnel roof via grouting holes.

Zones critical for the tunneling operations, orientated, on the one hand, around the predicted rock quality and, on the other hand, around the prevailing overburden cover conditions, were defined in the execution planning for the tunneling concept. This classification into zones served the

purpose of systematic categorization of tunneling operations, and was used as the basis for decisions concerning and definition of the use and scope of preventative rock improvement provisions.

Four zones were differentiated, and are highlighted in colour in Fig. 9 according to their risk potential on the basis of the ratio of soil cover to tunnel diameter.

The various exploratory borings and rock improvement provisions which could be implemented from the TBM were also planned in detail during this phase and, in a further step, assigned to the tunneling zones already defined. The result was a grid on which both the planned activities and the fall-back levels allocated in case of deteriorating conditions are defined (Fig. 10).

The ultimate decision concerning the scope and implementation of the rock improvement provisions was to be made during tunneling operations, in response to the conditions encountered in-situ.

In addition to surveying and assessment of the geological conditions immediately at the rock face, and analysis and evaluation of the essential machine parameters, including assessment of the situation for bedding of the segmental support, surface subsidence was also a definitive criterion in the selection and stipulation of the appropriate countermeasures.

The deformation data were classified into reporting, warning and alarm values, in the form of so-called „intervention values“, which are directly linked, in case of their occurrence, to corresponding countermeasures to be implemented both from the surface and from underground.

It as necessary, on the basis of this fundamental concept, to define machine parameters, in-

ten maschinentechnische Vorgaben definiert, ein umfassendes Überwachungsprogramm installiert und Arbeitsanweisungen aufgestellt werden, um somit die wesentlichen Einflussgrößen miteinander verknüpfen zu können.

5.1 Maschineneinstellung

Für den planmäßigen Vortrieb wurden in den speziell auf die Schnecktalunterfahrung abgestimmten Arbeitsanweisungen nachfolgende maschinentechnische Maßnahmen definiert:

■ Durchführung eines ausgeweiteten Wartungsstopps vor Unterfahrung des Schnecktals mit dem Ziel, maschinentechnische Stillstände der TVM in den kritischen Bereichen zu vermeiden.

■ Reduzierung des Steuerpalts der TVM während des ausgeweiteten Wartungsstopps durch den Einbau von Kaliberdiskern mit definierten Verschleißmaßen auf ein technisch notwendiges Minimum.

■ Schmierung des Schildmantels im Extremfall mit dickflüssiger Bentonitpaste über radiale Injektionsöffnungen im Schildmantel zur Reibungsreduzierung, rechtzeitig vor Verklebung des Schildes.

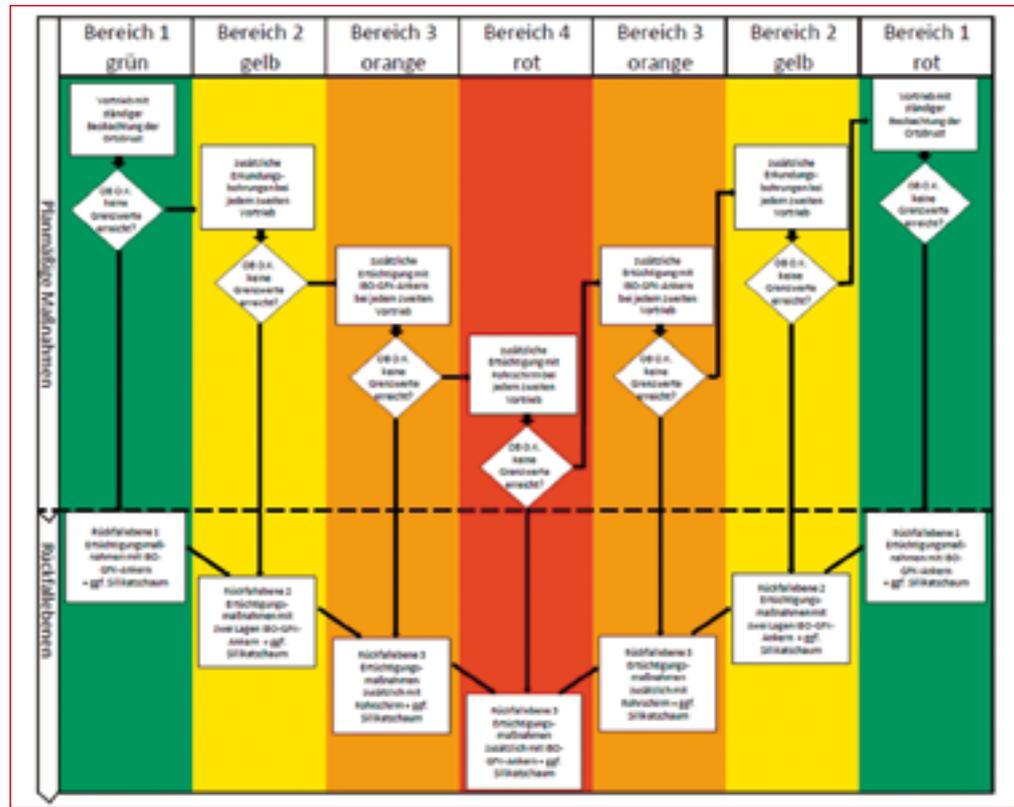
■ Einbau von Tübbingn mit erhöhtem Bewehrungsgehalt zur Bewältigung von erhöhten Vortriebskräften und evtl. asymmetrischer Gebirgslasten.

■ Verschärfte Kontrolle und Einstellung der relevanten Maschinendaten.

■ Generell wird während der Vortriebe der Abstand der Ortsbrust zur Schildschneide so klein wie möglich gehalten (minimale Schneidradverschiebung).

■ Ständige direkte visuelle Beobachtung des Abbauvorganges über die Mannluke in der Tauchwand.

■ Anhalten des Vortriebs und Inspektion der Ortsbrust bei



10 Zuordnung der Vortriebs- und Ertüchtigungsmaßnahmen sowie Rückfallebenen zu den Vortriebsbereichen

10 Assignment of tunneling and rock improvement provisions, plus fall-back levels, to the tunneling zones

visuell festgestellten Mehrausbrüchen oder Mehrtonnagen an der Bandwaage.

Zur Beherrschung von Instabilitäten, insbesondere im Firstbereich, waren folgende Maßnahmen geplant:

■ Bei Ausbrüchen größer 20 cm wird der Vortrieb weitergefahren, bis der Mehrausbruch mind. 25 cm längs über der Schildschneide liegt. Dann wird der Hohlraum über dem Schild mit schnell reagierendem Siilikatschaum verfüllt.

■ Bei Instabilitäten der Ortsbrust werden die Abbauparameter im Vortrieb als Erstmaßnahme angepasst (keine Schneidraddrehung ohne Vortrieb, Erhöhung Anpresskraft und Begrenzung Penetration).

5.2 Überwachungsprogramm

Der Vortrieb wurde durch

stall a comprehensive monitoring program and draft working procedures, in order thus to be able to interlink the essential influencing factors with one another.

5.1 Machine provisions

The following machine provisions were defined for scheduled tunneling operations in the working procedures specifically tailored to creation of the tunnels under the Schnecktal valley:

■ Implementation of an expanded-scope maintenance shut-down prior to tunneling under the Schnecktal valley, with the objective of avoiding machine-related stoppages of the TBMs in the critical zones;

■ Reduction of the steering gap of the TBMs to the minimum technically necessary during the

expanded-scope maintenance shut-down, by means of the installation of bore cutter disks with defined wear dimensions;

■ Lubrication of the shield skin using viscous bentonite paste via radial grouting ports in the shield skin in extreme cases, in order to reduce friction in good time before the shield could become jammed;

■ Installation of segmental support elements with an increased reinforcement content in order to counteract greater tunneling forces and any asymmetrical rock loads;

■ Intensified monitoring and adjustment of the relevant machine data;

■ Keeping of the distance between the rock face and the shield blade in general as small as possible during tunneling operations (minimum cutting wheel deviation);

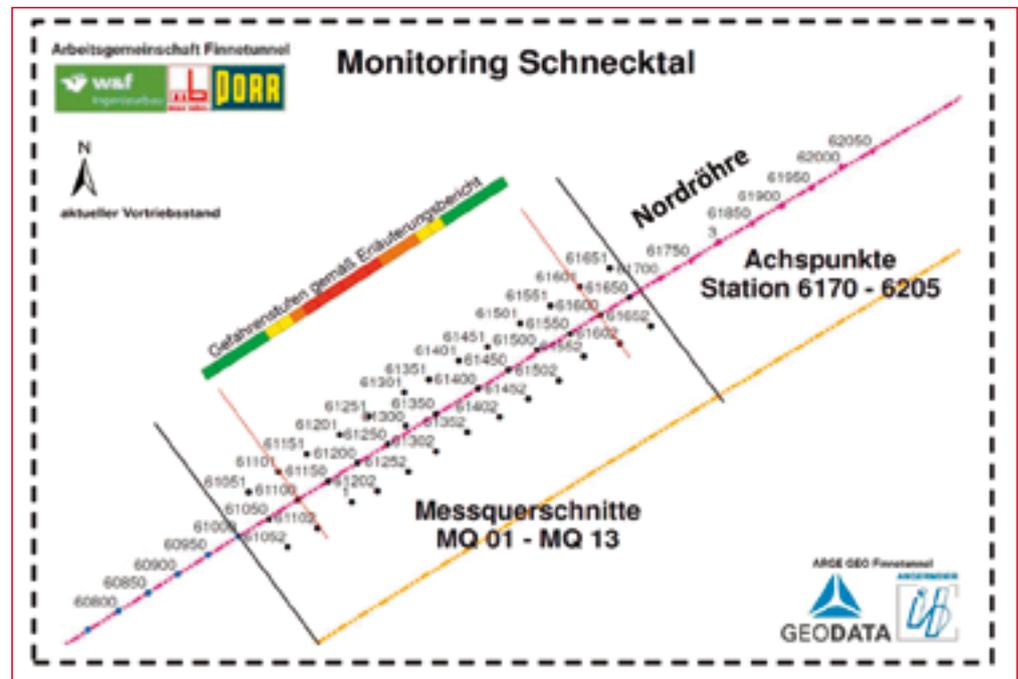
eine kontinuierliche Maschinen-datenkontrolle und Überwachung des gesamten Vortriebsprozesses begleitet. Die Daten wurden permanent und lückenlos automatisch aufgezeichnet, online und in Echtzeit an die Baustelle, die Bauüberwachung (BÜ), den Bauherrn und seine Berater weitergeleitet sowie auf Datenträgern gespeichert und archiviert.

Die Daten der Baugrundverformungen ermöglichten im Zusammenwirken mit den Beobachtungen der Ortsbrust über die Mannluke eine qualifizierte Überprüfung der vorab definierten Vortriebsparameter und dienen im Wesentlichen der Beurteilung der erforderlichen Anpassung der Vortriebsparameter und letztlich der notwendigen Zusatz- und Ertüchtigungsmaßnahmen zur Stabilisierung des Baugrunds. Zur Ermittlung der Oberflächenverformungen wurden im Schnecktal, im Bereich der jeweiligen Tunnelröhre Messquerschnitte installiert (Bild 11) und über die Zeiträume der Unterfahrung überwacht.

Zur kontinuierlichen Ermittlung der Absolutverformungen der einzelnen Messpunkte wurde ein automatisches Messsystem (Tachymeter) im Schnecktal eingesetzt. Die Verformungsergebnisse wurden mittels Datenfernübertragung über das Baubüro an das Personal auf der Vortriebsmaschine weitergeleitet. Zusätzlich wurde eine grafische Auswertung der Setzungen online über Internet den maßgebenden Personen und Beratern zur Verfügung gestellt. Dadurch waren eine ständige Überprüfung und Beurteilung der Daten und kurze Reaktionszeiten sichergestellt.

5.3 Arbeitsanweisungen

Zusätzlich zum Schildhandbuch, welches das verfahrenstechnische Anforderungsprofil



11 Anordnung der Oberflächenmesspunkte im Bereich des Schnecktals für die Schildfahrt der TVM-Nord

11 Location of surface measuring points in and around the Schnecktal valley for shield tunneling of the northern TBM

für die Schildfahrt einschließlich der Umsetzung der in der Störfallanalyse definierten Maßnahmen darstellt, verfolgt die Arbeitsanweisung das Ziel das Vortriebspersonal zu sensibilisieren, um kritische Vortriebs-situationen frühzeitig erkennen und entsprechend bewältigen zu können.

Dabei werden die teilweise komplexen und umfangreichen Ausarbeitungen (Ausführungsplanung, Vortriebsvorschau, geologische bzw. geotechnische Erkundungen, etc.) komprimiert und die wesentlichen vortriebsrelevanten Tätigkeiten dem Vortriebspersonal zur Verfügung gestellt.

Für die Schildfahrt im Bereich des Schnecktals wurden u. a. in der Arbeitsanweisung folgende Parameter definiert:

- Maschinentechnische Einstellungsparameter inkl. möglicher Bandbreiten (Range) und Vorgaben zur Auswertung der Daten.
- Vorgaben hinsichtlich der Überwachung der Massenbi-

- Continuous direct visual observation of the excavation operation via the hatch in the immersion wall;

- Stopping of tunneling operations and inspection of the rock face in case of visually ascertained excess excavation rates and/or of excess tonnage indicated on the belt weigher.

The following provisions were planned to permit mastery of any cases of instability, particularly in the roof zone:

- In case of excavation of greater than 20 cm, tunneling would be continued, until the excess excavation was located at least 25 cm above the shield blade in the longitudinal direction. The cavity above the shield would then be filled with fast-setting silicate foam;

- In cases of instability of the rock face, the mining parameters for tunneling would firstly be adjusted (no rotation of the cutting wheel without tunneling, increase of thrust force and limitation of penetration).

5.2 The monitoring program

The tunneling operations were accompanied and supported by continuous monitoring of machine data and of the entire tunneling process. The data were permanently and completely recorded automatically, relayed on-line and in real time to the site management, the site supervision team, the client and his advisors, and also stored and archived on data-bearers.

The data on deformations on the tunnel route, in conjunction with the observations of the rock face made via the hatch, permitted qualified verification of the tunneling parameters defined in advance, and were essentially used for assessment of the necessary adjustment of these parameters and, ultimately, of the necessary additional rock improvement and other provisions for stabilization of the tunnel route. Gauging sections were installed in the Schnecktal valley in the vicinity of the respective tunnel bores

lanz; der visuellen Beobachtung der Ortsbrust und der Auswertung der Setzungsmesswerte an der Geländeoberfläche. Vorgaben für den Beobachtungsposten Obertage.

■ Definition der Arbeiten zur Ertüchtigung der Ortsbrust und/oder Laibung.

■ Detaillierte Vorgaben zum Verhalten und zu den Maßnahmen bei sich evtl. einstellenden Schildüberbrüchen.

Weiterhin wurden zur Abgrenzung der Verantwortlichkeiten und zur Sicherstellung einer strikten Befolgung und Umsetzung der Maßnahmen Organigramme, Alarmierungsketten und Schichtpläne des leitenden Vortriebspersonals in die Arbeitsanweisung integriert.

6 Durchführung des Vortriebes und Analyse der Vortriebs-erfahrungen

Im August 2009 wurde der Vortrieb der Nordröhre im Bereich des Schnecktals mit einem Vorlauf von ca. 5 Monaten vor der Südröhre durchgeführt.

Die geologischen Verhältnisse wurden zum einen über Ortsbrustaufnahmen während der Vortriebspausen des Ringbaus und zum anderen kontinuierlich visuell über die mit einem Metallgitter gesicherte Mannluke beobachtet (Bild 12).

Diese geologischen Aufnahmen wurden auf den ersten Metern der Schnecktalunterfahrung (im grünen und gelben Bereich) durch 2 Erkundungsbohrungen durch das Schneidrad hindurch in Vortriebsrichtung ergänzt. Hinweise auf mögliche Unregelmäßigkeiten waren nicht angezeigt.

Aufgrund der profilhaltigen günstigen geologischen Verhältnisse und der an der Oberfläche gemessenen minimalen Setzungen wurde vom Vortriebsper-



12 Visuelle Beobachtung der Ortsbrust über die Mannluke in der Tauchwand der TVM

12 Visual observation of the rock face through the hatch in the immersion wall of the TBM

sonal in Absprache mit dem Bauherrn und seinen Beratern entschieden, auf zusätzliche Ertüchtigungsmaßnahmen (GFK-IBO-Anker bzw. Rohrschirm) aus der Maschine heraus zu verzichten, um Vortriebsunterbrechungen möglichst zu vermeiden, die Schichtung im Firstbereich nicht unnötig zu stören und einen möglichst kontinuierlichen Vortrieb durchführen zu können.

Beim weiteren Vortrieb führte eine leichte Zunahme des Verwitterungsgrades einzelner Schichtlagen im dunkelroten Bereich in Verbindung mit der schlechten Kornbindung zu Nachbrüchen im Firstbereich. Zur Reduzierung und Vermeidung dieser Nachbrüche bzw. zur Stützung des Gebirges wurde während des Ringbaus über 4 Ringe Silikatschaum auf die Laibung bzw. in den Ringspalt zwischen Schildschneide und dem anstehenden Gebirge eingebracht.

Durch diese Vorgehensweise gelang es, die kritischen Bereiche des Schnecktals im Bereich der Nordröhre (56 m) innerhalb von ca. 47 Stunden erfolgreich zu unterfahren, ohne das kritische Vortriebszustände eintraten. Die an der

stage and tackle them appropriately.

In some cases complex and extensive documentation (work planning, tunneling preview, geological and geotechnical exploratory surveys, etc.) are here compressed and the essential activities relevant to tunneling operations made available to the tunneling crew.

The following parameters for shield-tunneling operations in the vicinity of the Schnecktal valley were defined, inter alia, in the working procedure:

■ Machine-setting parameters, including possible bandwidths (range) and parameters for data evaluation.

■ Parameters for monitoring of mass balance; for visual observation of the rock face and evaluation of the measured subsidence data on the surface. Parameters for the surface observation personnel.

■ Definition of work necessary for improvement of the rock face and/or tunnel walls.

■ Detailed instructions concerning the necessary behaviour and the necessary action in case of possible shield overcuts.

In addition, organizational charts, notification chains and shift timetables for the supervisory tunnelling personnel were also integrated into the working procedure, in order to delineate responsibilities clearly, and assure strict adherence to and implementation of the provisions defined.

6 Performance of tunnelling and analysis of tunnelling experience

Tunneling in the northern bore in the Schnecktal valley sector was performed in August, 2009, around five months ahead of the corresponding operations in the southern bore.

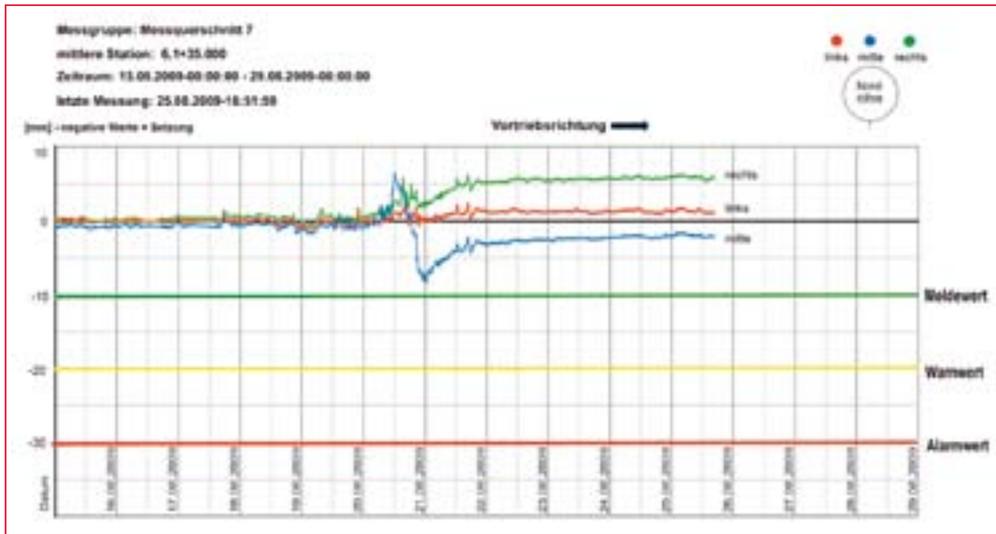
Geological conditions were monitored, on the one hand, by means of images of the rock

(Fig. 11) for determination of surface deformations, and were monitored throughout the periods of tunnelling.

An automatic measuring system (tachometer) was installed in the Schnecktal valley for the purpose of continuous determination of the absolute deformations of the individual measuring points. The deformation data obtained were relayed, by means of electronic data interchange, via the site office to the crew on the tunnelling machine. In addition, a graphical evaluation of subsidence events was supplied to the critical persons and advisors on-line via the Internet. Continuous monitoring and assessment of the data, and short reaction times, were thus assured.

5.3 Working procedures

In addition to the shield manual, which lays out the methodological requirement profile for the shield-tunneling campaign, including the implementation of the action defined in the contingency analysis, the working procedure pursues the aim of sensitizing the tunneling crew to recognize critical tunneling situations at an early



13 Messergebnis Querschnitt 2 (innerhalb dunkelroter Bereich Schnecktalunterfahrung)

13 Measured data, Cross-Section 2 (in the dark-red sector of the Schnecktal valley tunnel)

Geländeoberfläche gemessenen Setzungen unterschritten überwiegend deutlich den Warnwert von 10 mm und wurden infolge der Mörtelverpressung meist wieder auf die ursprüngliche Ausgangshöhenlage gehoben (Bild 13).

Die Erfahrungen aus dem Vortrieb der Nordröhre wurden im Zuge der Vortriebsnachschaubzw. in einem separaten Erfahrungsbericht ausgewertet und dienten der Vorbereitung und Feinabstimmung des Vortriebskonzepts für die Südröhre.

Infolge der im Gegensatz zur Nordröhre ungünstigeren Lage im Taleinschnitt und der entsprechend der Erkundungsbohrungen im Jahr 2007 prognostizierten bis in den Firstbereich ragenden Verwitterungs- und Lockergesteinshorizonts konnten die Ergebnisse in der Nordröhre nur bedingt auf die Südröhre übertragen werden. In den kritischen Bereichen fehlten weiterhin belastbare Aussagen bzgl. der durch die Verfüllung der Erkundungsbohrungen vermuteten Gebirgsvergütung. Aus diesem Grund wurde für die weitere Erfassung der tatsächlichen Verhältnisse und zur

Risikominimierung eine zusätzliche Kernbohrung im Firstbereich des Tunnels durchgeführt.

Im Ergebnis dieser Erkundungsbohrung konnte von einer Baugrundvergütung und einem im Vergleich zur Nordröhre analogen „Festgesteinsdach“ oberhalb der Tunnelfirste ausgegangen werden.

Entsprechend der vorliegenden Erkenntnisse und basierend auf dem Prinzip, im kritischen Bereich eine kontinuierliche und zügige Unterfahrung mit der Schildmaschine durchzuführen, wurde das Konzept für den Vortrieb der Südröhre im Bereich des Schnecktals angepasst. In der Arbeitsanweisung wurde die Entscheidungsmatrix so modifiziert, dass zusätzliche Ertüchtigungsmaßnahmen aus der TVM heraus (IBO-GFK-Anker) nicht mehr als planmäßige Maßnahme, sondern als Rückfallebene vorgegeben wurden. Diese Zusatzmaßnahmen sollten auf Basis vorab definierter Beurteilungskriterien mit den ihnen zugeordneten Warnwerten (insbesondere Setzungen und Ausbrüche im Firstbereich) eingeleitet werden.

face made during the breaks in tunneling operations for installation of segmental-ring support and, on the other hand, continuously by means of visual observation via the hatch, which was protected a metal grill (Fig. 12).

These geological surveys were supplemented during the first few meters of tunnelling under the Schnecktal valley (in the green and yellow sectors) by means of two exploratory bore holes through the cutting wheel in the direction of tunnelling advance. There were no indications of any potential irregularities.

In view of the favourable and profile-consistent geological conditions and the minimal incidents of subsidence on the surface, the tunnelling crew decided, in agreement with the client and his advisors, to dispense with additional rock improvement measures (drilled and grouted GRP anchor bolts and/or pipe arch system) implemented from the machine, in order to prevent interruptions to tunnelling operations as far as possible, to avoid disturbing the formation in the roof zone unnecessarily, and to assure the

most continuous possible tunnelling progress.

During further tunnelling operations, a slight increase in the degree of weathering of individual strata in the dark-red zone resulted, in combination with poor coherence, in crumbling of the roof. During installation of segmental support rings, silicate foam was applied via four rings to the wall and/or into the annular gap between the shield blade and the surrounding rock in order to reduce and, where possible, avoid such crumbling and provide support for the rock.

This procedure made it possible to tunnel under the critical sectors of the Schnecktal valley in the northern bore (56 m) within around 47 hours without the occurrence of any critical tunnelling situations. The subsidence measured on the surface was predominantly significantly below the „warning figure“ of 10 mm, and was in most cases restored to the original elevation by means of pressure-grouting with mortar (Fig. 13).

The experience gained in the creation of the northern bore was evaluated during the review of the tunnelling operations, and also in a separate experience report, and was used for preparation and „fine-tuning“ of the tunnelling concept for the south bore.

It was possible only to a limited extent to apply the results achieved in the northern bore to the southern bore, due to the less favourable situation in the valley section and the weathered rock and non-coherent rock horizons forecast to be extending into the roof zone in accordance with the exploratory bore holes made in 2007. In addition, reliable information concerning the rock improvement surmised as a result of filling of the exploratory bore holes was also lacking in the

Zur Sicherstellung einer qualifizierten Einschätzung der maßgebenden Beurteilungskriterien und Anordnung der daraus resultierenden definierten Bewältigungsmaßnahmen wurde die personenbezogene Hierarchie der Verantwortlichkeiten gegenüber dem Vortrieb in der Nordröhre nochmals verschärft. Zur Optimierung der Einbringung des Silikatschaums im Firstbereich zwischen Schildmantel und Gebirge wurden auf der TVM-Süd zusätzliche Verpressöffnungen im Schildmantel im vorderen Teil der Arbeitskammer angebracht. Dadurch war nun im Vergleich zur Erstanwendung mittels gebogener Injektionslanze bei der Unterfahrung mit der TVM-Nord ein Einbringen von Schaum nicht nur während des Schneidradstillstandes sondern auch gezielt während des Vortriebs möglich.

Die TVM-Süd erreichte den Bereich der Schnecktalunterfahrung im Januar 2010. Die angetroffenen geologischen Verhältnisse waren mit denjenigen der Nordröhre vergleichbar und konnten sogar in weiten Bereichen als günstiger eingestuft werden. Dies zeigte sich insbesondere durch ein geringeres Nachbruchverhalten. Der Vortrieb konnte somit entsprechend dem Vortriebskonzept im Wesentlichen ohne zusätzliche Maßnahmen mit minimalen Setzungen durchgeführt werden. Zu keinem Zeitpunkt stellten sich kritische Vortriebszustände ein. Die Tübbingschale konnte planmäßig gebettet und schadensfrei eingebaut werden.

Die erfolgreiche Unterfahrung des Schnecktals mit der TVM-Süd in einem Zeitfenster von ca. 70 Stunden für die 100 m des kritischen Bereichs ist das Resultat der intensiven Vorbereitung und konstruktiven Zusammenarbeit aller Beteiligten.

7 Zusammenfassung und Ausblick für zukünftige Projekte

Das beim Finnetunnel zum Einsatz gekommene Vortriebskonzept hat sich auch bei der Bewältigung von schwierigen Vortriebsituationen voll bewährt. Der Bereich des Schnecktals konnte in beiden Röhren mit höchster Ausbauqualität, minimalen Setzungen und ohne Störungen aufgefahren werden. Dieses Ergebnis wurde maßgebend durch die konsequente Umsetzung der im Beitrag beschriebenen Strategie bestimmt. Aus diesem Grund sollte die angewandte Strategie für zukünftige Projekte ebenfalls zum Einsatz kommen. 

Literatur

- [1] Handke, D.: Prüfen der Schildmaschine auf Eignung und Abnahme auf der Grundlage einer Risikoanalyse. Lehrstuhl für Bauverfahrenstechnik, Tunnelbau und Baubetrieb (Hrsg.): Risikopotential und -bewältigung bei aktuellen Tunneln. Tagungsband zum XI. Kolloquium für Bauverfahrenstechnik, S. 27–42. Essen: Verlag Glück-auf GmbH, 2003.
- [2] Handke, D., Maidl, B.: Bauverfahrenstechnische Prozessabhängigkeiten als Steuerungselemente zur Risikominimierung bei der Realisierung von Schildprojekten – Vorstellung einer Risikostrategie auf der Basis baupraktischer Erfahrungen. Tunnelbau Taschenbuch 2006, S. 189–220.

critical sectors. For this reason, an additional core was drilled in the vicinity of the tunnel roof for the purpose of further investigation of the actual conditions prevailing there, and in order to minimize risk.

This exploratory bore hole made it possible to assume soil improvement and a „solid-rock roof“ analogous to the northern bore above the crown of the tunnel.

The concept for creation of the southern bore in the Schnecktal valley zone was modified in accordance with the discoveries made and on the basis of the principle of performing rapid and continuous tunneling using the shield-machine in the critical sector. The decision grid in the working procedure was amended in such a way that additional rock improvement provisions from the TBM (drilled and grouted GRP bolts) were now no longer defined as a scheduled provision, but instead only as the fallback level. These additional measures were to be initiated on the basis of assessment criteria defined in advance and in reaction to the „warning“ values assigned to them (incidents of subsidence and crumbling in the roof zone, in particular).

The personnel hierarchy of responsibilities was again intensified vis-à-vis the tunneling operations in the northern bore, in order to assure qualified assessment of the critical appraisal criteria and initiation of the resultant defined countermeasures. Additional grouting ports in the shield skin in the front section of the working chamber were installed on the south TBM in order to optimize application of the silicate foam in the roof zone between the shield skin and the rock. This made it possible, unlike the situation during the initial application while tunnelling using the northern TBM, to in-

ject foam via a bent grouting lance not only during cutting wheel shut-downs, but also systematically, during tunnelling operation.

The southern TBM reached the underground Schnecktal valley zone in January of 2010. The geological conditions encountered there were comparable to those in the northern bore, and could even be classified, across large areas, as better. This was apparent, in particular, in the form of a reduced tendency to crumble. It was therefore possible to perform tunneling in accordance with the finalized concept and essentially with no additional provisions and only minimal subsidence. No critical tunnelling situations occurred at any time, and it was possible to embed the segmental support shell as planned, and install it without damage.

The successful completion of tunnelling under the Schnecktal valley using the south TBM within a time window of around 70 hours for the 100 m of the critical sector was the result of intensive preparatory work and the constructive cooperation of all those involved.

7 Summary and prospects for future projects

The tunnelling concept used for the Finne Tunnel proved its value entirely, including the mastery of difficult operational situations. Both bores of the critical Schnecktal valley section were completed with maximum support quality, minimal subsidence and no problems. This success was definitively determined by the consistent implementation of the strategy described in this article. This strategy is therefore expressly recommended for use in future projects. 