

50

YEARS OF NATM

Experience Reports

JAHRE NATM

Erfahrungsberichte



50

YEARS OF NATM

Experience Reports

JAHRE NATM

Erfahrungsberichte

IMPRINT

Publisher

ITA - Austria
Karlgasse 5, 1040 Wien, Austria
office@ita-aites.at, www.ita-aites.at

Editing Committee

Dipl.-Ing. Wolfgang Stipek
Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Robert Galler
Dipl.-Ing. Manfred Bauer

Date of Publication

Oktober 2012

Translation

Dipl. Dolm. Friedl Becke

Graphic Design

be.public Werbung Finanzkommunikation GmbH, Heiligenstädter Straße 50, 1190 Wien und
Medienfabrik Graz GmbH, Dreihackengasse 20, 8020 Graz, Austria

Printing

Medienfabrik Graz GmbH, Dreihackengasse 20, 8020 Graz, Austria

ISBN- Nummer

xxxx

Inhalt

Content

Vorwort <i>Foreword</i> Autor: In-Mo Lee	7	Die vertragliche Abwicklung von Untertagebauarbeiten nach der New Austrian Tunnelling Method <i>The contractual practice for underground work projects using the New Austrian Tunnelling Method</i> Autor: Walter Purrer	59
50 Jahre NÖT – Neue Österreichische Tunnelbaumethode <i>50 years of NATM – New Austrian Tunnelling Method</i> Autor: Wolfgang Stipek	9	Die Entwicklung der Werkvertragsnorm für Untertagebauarbeiten B 2203 für den zyklischen Vortrieb <i>The development of Austrian Standard B 2203, Underground Works – Works Contract for Cyclic Driving</i> Autor: Harald Lauffer	65
Entwicklungsschritte der NATM – ein kurzer Abriss <i>NATM – a brief outline of the development steps</i> Autor: Robert Galler	17	Standardisierte Ausschreibungstexte (Tunnelbau) <i>Standardised contract clauses (tunnelling)</i> Autor: Rudolf Hörhan, Peter Strasser	73
Weltweite Entwicklung der NATM <i>Worldwide development of NATM</i> Autor: Johann Golser	23	Die ÖBV-Richtlinien „Spritzbeton“ und „Innenschalenbeton“ <i>The ÖBV Guidelines on “Sprayed Concrete” and “Concrete for Inner Tunnel Linings”</i> Autor: Helmut Huber, Michael Pauser	79
Überlegungen zu einer Gebirgskennlinie in klüftigem Gebirge <i>Considerations regarding a ground-response curve for jointed rock</i> Autor: Franz Pacher	29	Richtlinien zur NATM – ein kurzer Überblick <i>Guidelines regarding NATM – a short overview</i> Autor: Robert Galler	87
Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten <i>Guideline for the geotechnical design of underground structures</i> Autor: Wulf Schubert	35	50 Jahre NATM aus der Sicht des Auftraggebers <i>50 years of NATM as seen by the Client</i> Autor: Georg-M. Vavrovsky, Bernd Moritz	91
Gedanken zur Ausbaudimensionierung unter Zuhilfenahme von Berechnungsmodellen <i>Thoughts on support dimensioning with aid of calculation models</i> Autor: Robert Galler	39	50 Jahre NATM, eine Erfolgsgeschichte im Autobahnbau <i>50 years of NATM, a success story in motorway construction</i> Autor: Michael Steiner	99
50 Jahre Baubetrieb in der NATM – Streiflichter <i>50 years of construction with NATM – Highlights</i> Autor: Hans Georg Jodl	49		

50 Jahre NATM – 30 Jahre NATM beim Wiener U-Bahnbau <i>50 years of NATM – 30 years of NATM for metro construction in Vienna</i> Autor: Günter Steinbauer	107	9,3 Kilometer NATM-Vortrieb im Lockergestein <i>More than 9 kilometres of NATM tunnelling in unconsolidated formations</i> Autor: Ernst-Rainer Tirpitz, Frank Deffner	157
Kavernenbau in Österreich am Beispiel der Wasserkraftprojekte Limberg II und Reisseck II <i>Construction of power caverns in Austria shown on the hydroelectric power projects Limberg II and Reisseck II</i> Autor: Karl-Heinz Gruber, Harald Tafatsch, Andreas Blauhut	113	NATM Untertagebauwerke des KW Dagachhu <i>NATM Underground Structures of the Dagachhu HPP</i> Autor: Wolfgang Holzleitner, Martin Fish	163
NATM – Erinnerungen an die Zukunft Erinnerungen an den Beginn einer Bauphase, die heute noch eine Zukunft hat <i>NATM – Memories of the future Memories of the beginnings of a construction method that still holds a future</i> Autor: Wolfgang Gobiet	117	Risikobasiertes Tunneldesign für große Querschnitte in bindigen Böden <i>Risk-based Design for Large Tunnel Cross Sections in Soft Ground</i> Autor: Olav Döllmann, Ulrich Horny, Alfred Schuster	169
Einführung der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise in Deutschland <i>The introduction of the New Austrian Tunnelling Method in Germany</i> Autor: Friedrich Blindow, Josef Arnold	121	Dorkada Tunnel, Nordgriechenland <i>Dorkada Tunnel, Northern Greece</i> Autor: Andreas Goricki	175
Röhre Massenbergtunnel (1962–1965) – erste Anwendung der NATM bei einem Straßentunnel in Österreich <i>Massenberg Tunnel First Tube (1962–1965) – First application of NATM on a road tunnel project in Austria</i> Autor: Manfred Bauer	129	Das Bolu Tunnelprojekt – Türkei <i>The Bolu Tunnel Project – Turkey</i> Autor: Johann Brandl	179
Arlberg Straßentunnel (Baulos West) <i>The "Arlberg" Road Tunnel (West Portal)</i> Autor: Manfred Jäger	137	Tunnel Šentvid – NÖT in herausfordernden Verhältnissen <i>Tunnel Šentvid – NATM under challenging conditions</i> Autor: Josef Daller, Michael Proppert, Peter Schubert	185
Gleinalmtunnel – 1. Röhre <i>Gleinalm Tunnel – First Tube</i> Autor: Peter Schwab	141	U-Bahn Istanbul Kadıköy, eine U-Bahn Station mit außergewöhnlichen Herausforderungen <i>Metro Istanbul Kadıköy, a very challenging Underground Station</i> Autor: Zafer Ekici	189
Tauerntunnel 1. und 2. Röhre Markante Entwicklungsschritte der NATM <i>Tauern Tunnel – First and Second Tubes Prominent steps in the development of NATM</i> Autor: Franz Weidinger	149	Jubilee Line Extension – Nöt für die U-Bahn London <i>Jubilee Line Extension – Natm for London Underground</i> Autor: Manfred Eder, Johannes Lackner	195
		Maliakos-Kleidi Tunnel – Anwendung der NÖT in Griechenland <i>Maliakos-Kleidi Tunnels – NATM application in Greece</i> Autor: Gottfried Braun	201

Anwendung der NATM am Kanal Tunnel
Application of the NATM at the Channel Tunnel
Autor: Max John, 207

**Numerische Modellierung und Ausbruch
der Kavernen des PSKW Limberg II**
*Numerical simulation and excavation
of caverns for PSP Limberg II*
Autor: Miroslav Marencic 213

Risiko Minderung im Tunnelbau für Wasserkraft
Risk Mitigation in Hydropower Tunnelling
Autor: Harald Wagner 217

**Gedanken zur weiteren
Entwicklung der NATM**
*Thoughts on the further
development of the NATM*
Autor: Wolfgang Stipek, Robert Galler 221

Weiterführende Literatur – ein Auszug
Further literature – an excerpt
Autor: Robert Galler 225

Wir bedanken uns bei den Sponsoren
Thanks to the sponsors 232

Vorwort

Foreword

In-Mo Lee, President of the International Tunnelling and Underground Space Association ITA-AITES,
inmolee@korea.ac.kr, www.ita-aites.org

Es ist mir eine große Freude ein Vorwort für das Buch „50 Jahre NATM“ zu verfassen und möchte zu diesem Jubiläum sehr herzlich gratulieren. Ich denke Österreich hat mit seinen Überlegungen zum Gebirgskennlinienverfahren eine Schlüsselrolle zur Entwicklung der neuen Tunnelbaumethode gespielt.

Die neue österreichische Tunnelbaumethode wurde 1982 in Korea eingeführt und ist seitdem noch immer stärker verbreitet als mechanisierte Tunnelbaumethoden. Mehr als 90 % der Tunnel in Korea wurden mit der NATM aufgeföhren. Allerdings wird der maschinelle Tunnelvortrieb aufgrund der höheren Auffahrgeschwindigkeiten und der verbesserten Arbeitssicherheit immer beliebter. Trotzdem ist festzuhalten, dass der konventionelle Tunnelbau und die NATM Vorteile gegenüber dem maschinellen Vortrieb haben. Beispiele dazu sind die bessere Anpassung der Profilgeometrie, Möglichkeiten der Optimierung der Vortriebsmethode an das anstehende Gebirge und die Anpassung der Stützmittel an die geotechnischen Verhältnisse.

Um die Vorteile der NATM und des konventionellen Tunnelbaus darzulegen und zu zeigen, dass diese Methoden im Tunnelbau sehr stark eingesetzt werden, sind Bemöhungen, wie das vorliegende Buch zur NATM, sehr erfreulich.

Zum 50. Jahrestag der NATM und zum Buch „50 Jahre NATM“ möchte ich der ITA Austria und seinen Mitgliedern sehr herzlich gratulieren.

Darüber hinaus hoffe ich, dass sich der konventionelle Tunnelbau und die NATM weiter so gut entwickeln und wir die Beziehungen zwischen ITA und ITA-Austria weiter verstärken können.



It is my utmost pleasure to prepare a forward for the publication of the book “50 Years of NATM” and congratulations on the 50th anniversary of the development of Austrian practice in conventional tunnelling, NATM.

I believe Austria played key roles to develop and formulate the new tunnelling theory based on the concept of convergence confinement method. Since then, the NATM has been introduced in my country, Korea, mainly from Austria in 1982, it was and is still

more popular than the mechanized tunneling method. More than 90 % of the total length of tunnels in Korean peninsula have been designed and constructed by NATM. However, the mechanized tunnelling method is becoming more popular worldwide and gradually replacing the conventional tunnelling method and/or NATM. Main reason might be that the penetration rate is faster and presumably it is understood that the former is safer than the latter. However, I believe that the conventional tunnelling method and/or NATM has some advantages which the mechanized tunnelling method does not have; for example, a higher variability of the profile shapes, higher variability in the choice of excavation methods and/or support patterns according to ground conditions, etc. Efforts how to maximize these advantages are needed to prove that the conventional tunnelling method and/or NATM is still pretty much needed worldwide and I believe, the publication of the book, “50 Years of NATM”, will be one of such efforts to go further to achieve this goal.

Once again congratulations to ITA Austria and its members to the 50th anniversary of NATM development and on the publication of the book “50 Years of NATM”. Moreover, I hope we can have closer ties between ITA and ITA-Austria aiming at further development of conventional tunnelling method and/or NATM.

Seoul, 13. Juli 2012

Seoul, July 13th, 2012

50 Jahre NÖT – Neue Österreichische Tunnelbaumethode

50 years of NATM – New Austrian Tunnelling Method

Wolfgang Stipek, Porr Bau GmbH, Austria, wolfgang.stipek@porr.at, www.porr-group.com

1. Einleitung

Seit nunmehr 50 Jahren wird die New Austrian Tunnelling Methode – NATM weltweit erfolgreich angewendet. Um diese innovative Baumethode von der herkömmlichen „Österreichischen Tunnelbaumethode“ zu unterscheiden, wurde von Prof. Rabcewicz anlässlich seines Vortrages im Rahmen des Geomechanik Kolloquiums im Oktober 1962 erstmals der Begriff „Neue Österreichische Tunnelbaumethode“ verwendet.

Der gezielte und kontrollierte Einsatz der Stützmittel zum Erhalten des Gebirgstragringes, die rasche Reaktion auf Messungen und Beobachtungen sowie die Möglichkeit zur Mechanisierung der Vortriebsarbeiten waren und sind große Vorteile dieser Methode. Durch die Unterteilung des Ausbruchs von großen Querschnitten in Kalotte, Strosse und Sohle wurde der Einsatz von Standardgerät ermöglicht. Der effiziente, den geotechnischen Verhältnissen angepasste, Einsatz der Stützmittel und die Mechanisierung sind wesentliche Eckpfeiler für den wirtschaftlichen Erfolg der NATM.

Das Preis-Leistungsverhältnis für Tunnelbauvorhaben konnte dadurch deutlich verbessert werden. Dies hatte positive Auswirkungen auf den Ausbau der Infrastruktur.

Die aktuelle Definition lautet: Die Neue Österreichische Tunnelbaumethode besteht somit darin, den Hohlraumrand unter weitgehender Nutzung der Tragfähigkeit des Gebirges mit Hilfe von Spritzbeton und sonstigen Ausbauelementen sowie unter Einsatz messtechnischer Beobachtungen auf möglichst wirtschaftliche und sichere Art zu stabilisieren.

An der Entwicklung und Umsetzung der NATM waren innovationsfreundliche Auftraggeber, Hochschulen, Planer, Geologen, Bauunternehmungen sowie System- und Gerätelieferanten beteiligt.



1. Introduction

The New Austrian Tunnelling Method – NATM – is based on 50 years of success on many challenging projects worldwide. The term Neue Österreichische Tunnelbaumethode was coined by Professor Rabcewicz when presenting his paper at the Geomechanics Colloquy of October 1962, in order to distinguish it from what was until then understood by Österreichische Tunnelbaumethode. The well-

planned and controlled use of the means of support to preserve the load-bearing ring formed by the rock mass, rapid reaction to data obtained by measurement and visual inspection as well as the fact that the new method permits the use of mechanised tunnelling have been and still are its great merits. Dividing major cross sections into top, bench and invert drifts has offered the possibility of using standard equipment. The efficient use of the means of support in a manner tailored to specific geotechnical requirements as well as mechanisation are the cornerstones of the economic success of NATM.

The development of NATM has substantially enhanced the cost efficiency of tunnelling projects and has in consequence also had favourable effects on infrastructure development.

According to the present definition, the New Austrian Tunnelling Method thus consists in stabilising the ground around the excavation in the most safe and economic manner possible by making extensive use of the bearing capacity of the ground with the help of sprayed concrete and other support elements as well as through the use of measured data.

Innovative clients, universities, engineers, geologists, construction contractors as well as system and equipment suppliers have all had a hand in the development of NATM, bringing in specialist knowledge and experience.

In Österreich wurden wesentliche Akzente vom Kreis um Prof. Rabcewicz und den Energieerzeugungsunternehmen Tauernkraftwerke AG, Tiroler Wasserkraftwerke AG beim Ausbau der Wasserkraft nach Ende des zweiten Weltkrieges gesetzt. Im Zuge des Ausbaues der Wasserstollen für die Projekte Prutzlmst (1954–1956), Schwarzach und Kaunertal, wurden die ersten Erfahrungen gesammelt und diese neue Methode sehr erfolgreich angewendet. In Österreich wurde der Massenbergtunnel (1964–1965) auf der Umfahrung Leoben als erster Straßentunnel nach den Grundsätzen der NATM erfolgreich aufgeföhren.

In Deutschland wurde der Tunnel Schwaikheim (1965) als erster Eisenbahntunnel im Auftrag der DB mit Planung von Prof. Rabcewicz und Prof. Pacher erfolgreich realisiert. Mit dem Bau der U-Bahn in Frankfurt am Main nach den Grundsätzen der NATM wurde mit den Vortriebsarbeiten im Lockergestein ein weiterer Meilenstein gesetzt.

Ein wesentlicher Schritt zur Verbreitung des Wissens um die NATM war die Berufung von Prof. Leopold Müller an die TU Karlsruhe im Jahre 1965. Viele tüchtige Tunnelbauingenieure wurden hier ausgebildet und mit der Begeisterung für den Tunnelbau angesteckt.

Die Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG) hat in den seit 1951 jährlich abgehaltenen Kolloquien viel zur Verbreitung und Weitergabe von Wissen über die NATM beigetragen.

Über die Planungsbüros wurde die NATM weltweit verbreitet.

Durch die Gründung der Lehrkanzel für Tunnelbau an der Montanuniversität in Leoben im Jahr 1974 und an der Technischen Universität (TU) Graz 1992 wurde auch seitens der universitären Ausbildung dieser Entwicklung in Österreich Rechnung getragen. Ein wichtiger Schritt für die Zukunft ist der englischsprachige postgraduale NATM-Engineer-Ausbildung an der an der Technischen Universität Graz und der Montanuniversität Leoben, die mit dem international anerkannten Abschluss eines Masters of Engineering endet.

Die erfolgreiche Umsetzung eines Projektes nach der NATM verlangt eine hochwertige Ausschreibungsplanung auf Basis einer profunden geologisch-geotechnischen Vorerkundung sowie die offene und konstruktive Zusammenarbeit aller Beteiligten. Kurze Entscheidungswege und kompetente Projektleiter auf Auftraggeber- (AG) und Auftragnehmer- (AN)

Important landmarks have been set in Austria since the end of the Second World War by the circle around Professor Ladislaus v.Rabcewicz and by the power utility firms Tauernkraftwerke AG and Tiroler Wasserkraftwerke AG for the development of hydro power. Thus, first experience was gathered and this method successfully applied for building the water conveyance tunnels of the Prutzlmst (1954–1956), Schwarzach and Kaunertal hydro-electric projects. The first road tunnel to be built in Austria by use of the new method was the equally successful Massenberg tunnel project (1964–1965) on the Leoben by-pass. Schwaikheim in Germany (1965), designed by Professor Rabcewicz and Professor Franz Pacher, was the first rail tunnel to be implemented for Deutsche Bundesbahn. Soft-ground tunnelling using the principles of NATM for metro construction in Frankfurt am Main marked a further milestone.

An important step in the dissemination of knowledge about NATM was the appointment of Professor Leopold Müller to a chair at the Karlsruhe College of Technology in 1965. Many prominent tunnelling engineers were trained there and filled with lifelong enthusiasm and fascination for tunnel construction.

The Austrian Society for Geomechanics (Österreichische Gesellschaft für Geomechanik – ÖGG) has contributed much to propagating and passing on knowledge about NATM in its annual colloquy, which has been held since 1951.

Consulting engineers have spread the ideas underlying NATM all over the world.

In terms of university education in Austria, this development has been reflected by the foundation of professorships in Tunnelling at Montanuniversität Leoben in 1974 and at the Graz College of Technology in 1992. An important step towards the future is the establishment of postgraduate NATM Engineer courses held in English at the above universities, leading to an internationally accepted master's degree.

Successful implementation of a tunnel project using NATM requires high-quality tender planning based on careful geotechnical reconnaissance in advance of project implementation as well as open and fruitful cooperation among all those involved. Short decision paths and competent heads of project on the part of both client and contractor, assisted by an experienced and committed team, enable near-time deci-

Seite mit einem erfahrenen und engagierten Team bringen zeitnahe Entscheidungen und eine für beide Seiten erfolgreiche Projektabwicklung. Unterstützt werden diese vom Planer, Geologen, Geotechniker und Vermesser.

Auf der Seite der Bauausführung ist die Einbeziehung der Bauleitung, der Bauführer, Poliere und der Vortriebsmannschaften ein wesentliches Element. Das Zusammenwirken aller Beteiligten in einem Team schafft die Basis für die erfolgreiche Realisierung.

Mit dem Bau der wichtigen innerösterreichischen Verkehrsrouten in den Jahren 1971 bis 1978 durch die Tauern und den Arlberg wurde die NATM in schwierigsten Verhältnissen erfolgreich angewandt.

Auf der Neubaustrecke Hannover – Würzburg in Deutschland wurden bei den geotechnisch sehr anspruchsvollen Projekten von 1980 bis 1986 weitere wesentliche Entwicklungsschritte gesetzt.

Durch die laufenden Weiterentwicklungen der Vortriebsgeräte, der Spritzbetontechnologie und des Spritzbetonauftrages, der Bohr- und Lösetechnik, durch den Einsatz der Elektronik sowie vieler weiterer Innovationen in der Baustellenorganisation und -abwicklung konnte die Produktivität konstant gesteigert werden. Auch die Innovationen in der Vermessung, der Messtechnik, der Ankertechnik und der Einsatz von Stauelementen in stark druckhaften Bereichen haben ihre positiven wirtschaftlichen Auswirkungen auf die Tunnelbaukosten gebracht.

Als wesentliches Element in der Abwicklung ist der Bauvertrag samt den einschlägigen Regelwerken zu sehen. Das Baugrundrisiko ist der Sphäre des AG und das Kalkulationsrisiko (Leistungsrisiko) der des AN zuzurechnen. Der Bauvertrag wird auf Basis einer geotechnischen Prognose (vgl. ÖGG-Richtlinie, ÖNORM 2203-1) als Einheitspreisvertrag vom AG erstellt (vgl. Forschungsgesellschaft für Schiene und Verkehr (FSV) Leistungsbeschreibung (LB) -Tunnelbau). Für die zeitgebundenen Kosten werden im Sinne eines flexiblen Bauzeitmodelles eigene Positionen vorgegeben.

Die Entwicklung der letzten Jahre zeigt Planungen, Ausschreibungen und Bauausführungen auf sehr hohem Niveau. Komplexe Bauabläufe mit knappen Terminen werden kompetent bei einem hervorragenden Preis-Leistungsverhältnis umgesetzt. Infolge der zunehmenden Verrechtlichung des Bauens tritt die

on-making and project implementation to the satisfaction of both partners. These can rely on the support of design engineers, geologists, geotechnicians and surveyors.

An essential requirement for the efficient construction of a project is the active involvement in day-to-day decision-making of all concerned – site management, chief workers, foremen and tunnelling crews. Interaction among all participating parties creates the basis for successful implementation.

The NATM stood its test under most difficult conditions during the construction of the important Austrian traffic routes through the Tauern and Arlberg mountains between 1971 and 1978.

Further essential steps in the development of the method were taken on the geotechnically challenging tunnel projects for the new Hannover-Würzburg railway in Germany between 1980 and 1986.

The productivity of NATM has constantly been enhanced by continuous development work in the fields of tunnelling equipment, shotcrete technology and application, drill and blast technology, the introduction of advanced electronics as well as many other innovations in site management and implementation. Also, the innovations made in the fields of surveying, metrology, anchoring technology and the use of lining-stress controllers (LSC) in severely squeezing ground have had their favourable effects on the cost of tunnelling.

The construction contract including the relevant guidelines is always the main element in the implementation of a tunnel project. The ground risk should be assigned to the client's sphere, the risk of costing (performance risk) to the contractor's sphere. The construction contract is drawn up by the client on the basis of a geotechnical forecast (cf. ÖGG Guideline for the Geomechanical Design of Underground Structures with Conventional Excavation, Austrian Standard ÖNORM B 2203-1) as a unit-price based document (cf. Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse-Schiene-Verkehr – FSV – Austrian Association for Research on Road – Rail – Transport, specifications for tunnel construction). Special items are provided for the time-dependent costs to ensure a flexible pay model.

Remarkably high standards of planning and design, tendering and contract implementation have now

rasche kompetente Entscheidung in den Hintergrund und die Absicherungsbürokratie in den Vordergrund. Leider werden dadurch kreative Innovationen für die Projektentwicklung, aber auch für die NATM erschwert und teilweise unmöglich gemacht.

Neue Innovative Vergabe – und Vertragsmodelle sind zurzeit in Diskussion und sollen mithilfe den Geist der partnerschaftlichen Projektentwicklung verstärkt wieder zu entwickeln und zu installieren.

In den einschlägigen Vereinen – ÖGG für geotechnische Regelwerke, FSV für Planungs- und Vertragsgrundlage, Österreichische Bautechnik Vereinigung für betonologische und bautechnische Regelwerke und ÖNORM für Werkvertragsnormen – werden in konstruktiver Zusammenarbeit von Vertretern von AG, AN, Planern, Lieferanten, Prüfanstalten und Universitäten Regelwerke erarbeitet und nach Zustimmung aller Vertreter freigegeben.

Diese Vereine und die einschlägigen, jährlich bzw. alle zwei Jahre stattfindenden Veranstaltungen – Geomechanisches Kolloquium der ÖGG, Straßentag des FSV, Betontag des ÖBV und Tunneltag der ITA Austria – dienen als Plattform zur Weiterentwicklung der partnerschaftlichen Projektentwicklung im Sinne der NATM.

Die universitäre Ausbildung an der TU Graz, Montanuniversität Leoben, TU-Wien und Universität Innsbruck bietet den Studenten NATM-Themen an. Diese Spezialfächer werden von den Studenten sehr stark angenommen. Somit stehen gut ausgebildete Absolventen für die Realisierung von Tunnelprojekten zur Verfügung.

In diesem Buch wollen wir Ihnen, lieber Leser, einen Überblick über 50 Jahre NATM geben.

Wir informieren Sie über die wesentlichen Eckpunkte der Entwicklung, die Sicht der Forschung und Entwicklung sowie die Entwicklung der Regelwerke. Prominente Auftraggeber präsentieren ihre Erfahrungen zu diesem Thema, Vertreter der führenden österreichischen Planungsbüros berichten über markante internationale Projekte. Aus der Sicht der AN werden Projekte in Österreich und Deutschland präsentiert, die markante Schritte in der Entwicklung der NATM gesetzt haben.

2. NATM aus Sicht des AN

Die Nutzung des Eigentragverhaltens des Gebirges ermöglicht den sparsamen Einsatz von Stützmitteln.

been achieved as the developments of recent years have clearly shown. Complex construction sequences to be completed within tight schedules are being implemented in a competent manner with excellent cost efficiency. The increasing juridification of construction, however, has now pushed rapid competent decision-making into the background in favour of a bureaucratic requirement to keep on the safe side at any cost. This has resulted in a regrettable situation with little or no room left for creative innovations in project construction or for NATM.

New innovative contract and contract-award models, now under discussion, are intended to help developing and re-installing the spirit of joint project implementation.

Various associations – ÖGG for geotechnical guidelines, FSV for basic rules concerning contract development as well as planning and design, Österreichische Bautechnik Vereinigung (ÖBV – Austrian Society for Construction Technology) for rules relating to construction and concrete technology, and ÖNORM for contractual standards – bring together representatives of clients, contractors, designing engineers, suppliers, test laboratories and universities to draw up guidelines and release them when general consensus has been reached.

These associations and the annual or biannual meetings – Geomechanics Colloquy, the Road Day organised by FSV, the Concrete Day of ÖBV and the Tunnel Day of ITA Austria – serve as platforms for the advancement of partnership-based project implementation according to the principles of NATM. The curricula of the Graz University of Technology, Montanuniversität Leoben, the Vienna University of Technology and the Innsbruck University of Technology offer specialised NATM courses, which meet with wide acceptance among students. Well trained graduates are thus available for the construction of tunnel projects.

This book is intended to give readers an overview of 50 years of NATM.

It provides a full account of all the remarkable highlights in its history of research, development and practice and also of all the applicable regulations and guidelines. Representatives of prominent Austrian consulting engineers provide first hand reports on outstanding international projects. The contractors involved present the projects in Austria and Germany that have set landmarks in the development of NATM.

Eine Spritzbetonaußenschale in Verbindung mit Anker, Baustahlgitter und Bögen trägt zur Erhaltung des Gebirgstragringes bei. Infolge der Unterteilung des Ausbruchsquerschnittes in Kalotte, Strosse und Sohle kann erprobtes Standardgerät eingesetzt werden.

Damit wurde die NATM als kosteneffiziente und äußerst wirtschaftliche Baumethode entwickelt.

Die bauausführenden Unternehmen haben gemeinsam mit Systemlieferanten und Subunternehmern praxisorientierte Ideen zur Entwicklung der NATM eingebracht. Die Chancen zur Mechanisierung wurden von den bauausführenden Unternehmen aufgegriffen und erfolgreich umgesetzt. Die laufende Weiterentwicklung von Vortriebsgerät und Bautechnik, der starke Konkurrenzdruck sowie die Optimierung der Bauabläufe haben das Preis-Leistungsverhältnis laufend verbessert.

Die Anwendung der NATM bringt im Vergleich zu den „Alten Baumethoden“ – Österreichisch, Deutsch, Belgisch, die in kleinen Teilquerschnitten mit aufwändigen Pölzungen material- und personalintensiv aufgeföhren wurden, große wirtschaftliche Vorteile.

Folgende Weiterentwicklungen der letzten Jahre fanden statt:

– Stützmittel

Die Weiterentwicklung des Spritzbetons, vom händisch aufgetragenen erdföuchten mit pulverförmigen alkalihältigen Erstarrungsbeschleuniger (EB) zum Nassspritzbeton mit alkalifreien EB-Mitteln, aufgetragen mit Spritzmobilen, war eine lange, schrittweise Entwicklung.

Die Tragkraft des klassischen SN-Ankers und die Qualität des Ankermörtels wurde kontinuierlich gesteigert.

Als wichtige Neuerungen am Ankersektor wurden Injektionsbohr- (IBO) -anker für Vortriebe im Lockergestein und Swellex (Reibrohr) -anker für den Festgesteinsbereich eingesetzt.

Zu den nach wie vor bewährten Tunnelbögen aus TH-Profilen wurden für Vortriebe im wenig druckhaften Gebirge Gitterbögen entwickelt.

Aus den positiven Erfahrungen mit Verformungsschlitzten in stark druckhaftem Gebirge bei der Errichtung der 1. Röhre Tauerntunnel (1972–1976)

2. The NATM as seen by the Contractor

Taking advantage of the load-bearing capacity of the ground enables savings to be made in support elements. A primary shotcrete lining combined with rock bolts, wire mesh and steel arches helps to preserve the natural load-bearing ring formed by the surrounding ground. By dividing the tunnel cross section into top, bench and invert headings, it is possible to use well-tried standard equipment.

The NATM has thus been developed as a cost-efficient and highly economical construction method.

In conjunction with system suppliers and sub-contractors, construction contractors have contributed practice-based ideas for the development of the NATM, seizing and successfully implementing the chances of mechanisation. The continued advancement of tunnelling equipment and construction technologies, an intensely competitive environment, plus optimisation of the construction sequences have brought constant improvements to the cost efficiency of the method.

Applying the NATM holds substantial economic advantages over the Old Tunnelling Methods, whether Austrian, German or Belgian, which provided for excavation in small partial drifts with complex bracing, taking substantial inputs of manpower and material.

The past few years have seen the following developments:

– Supports

The advancement of shotcrete, from the manually applied earth-moist concrete with an alkaline powder accelerator to wet shotcrete with alkaline free accelerating agents, applied with mobile spraying machines, was a long step-by-step process.

The loading capacity of the classical SN anchor and the quality of the anchor mortar have been continuously enhanced.

The main innovations in the field of anchor technology have been the self-drilled grouted bolts (IBO) for tunnelling in soft ground and Swellex anchors for hard rock.

The still well-proven TH-section tunnel arches have been supplemented by lattice arches for tunnelling in competent rock.

wurden für die stark druckhaften Bereiche des Galgenbergtunnels (1994) erstmalig Stauchelemente mit stehenden Rohren erfolgreich eingesetzt. Beim Auffahren der 2. Röhre des Tauern-tunnel (2006–2008) kam dann eine alternative Entwicklung mit liegenden Rohren, System Wabe, zum Einsatz.

– **Voraussicherungsmaßnahmen**

Eine wesentliche Entwicklung für die Beherrschung der Stützweite in stark zerlegten Gebirgsbereichen war der Einsatz von Spießeln. Durch entsprechende Ausrüstung der Bohrwägen können diese in kurzer Zeit gebohrt und versetzt werden. Damit ging der Einsatz von Verzugsblechen (Dielen) stark zurück, nur mehr in Bereichen von kohäsionslosen Kiesen werden diese heute noch eingesetzt.

Für Sonderlösungen, wie Anfahrbereiche, Unterfahren von Strecken mit geringer Überlagerung bzw. Bebauung in kohäsiven geotechnischen Verhältnissen wurden Rohrschirmsysteme mit verlorener Ringbohrkrone entwickelt, die vom adaptierten Bohrwagen aus von der Vortriebsmannschaft zu versetzen sind. Viele erfolgreich aufgefahrte Vortriebskilometer bezeugen die Effizienz dieser Systeme.

In Kiesen und Sanden kommen Düsenstrahlverfahren (DSV)-Schirme im Kalottenbereich als Voraussicherungsmaßnahme, im Bedarfsfall unterstützt von DSV-Säulen zur Stabilisierung der Ortsbrust, zum Einsatz.

– **Ortsbrustsicherung**

Zur Stabilisierung der Ortsbrust in schwierigen geotechnischen Verhältnissen (z. B. U-Bahn-Bau) kamen „Stützkerne“ zur Ausführung. Diese stützen die Ortsbrust und schaffen eine Arbeitsebene für die Mineure.

Als Neuerung wurden IBO-Anker zur Stützung der Ortsbrust eingesetzt, die mit jedem Abschlag um die Abschlagslänge gekürzt wurden. Die Stabilität der Ortsbrust wurde damit deutlich verbessert. In oberflächennahen Vortrieben wurden dadurch auch die Oberflächensetzungen reduziert.

– **Sonderquerschnitte**

Im Bereich sehr schwieriger geotechnischer Verhältnisse (z. B. U-Bahn Stationen), bei besonders großen Querschnitten (z. B. Wienerwaldtunnel

Since deformation gaps had proved successful in severely squeezing ground on the First Tauern Tunnel Tube project constructed between 1972 and 1976, lining-stress controller (LSD) elements with upright tubes were introduced and used with success for the severely squeezing zones of the Galgenberg Tunnel in 1994. An alternative version with System WABE lying tubes was employed for constructing the second tube of the Tauern Tunnel between 2006 and 2008.

– **Pre-support**

An essential step towards handling major spans in severely disintegrated rock zones has been the use of spiles. These can be drilled and installed within a short time using adequately equipped drill jumbos. This development has largely confined the use of spiling with steel sheets to zones of cohesionless gravels.

Where special solutions are needed, such as portal zones, passages beneath structures under shallow cover in cohesive geotechnical conditions, pipe roofing systems with lost ring drill bits have been developed which are installed by the tunneling crew from an adapted drill jumbo. Many kilometres of successful tunnelling have proved the efficiency of this system.

Jet grouted umbrellas provided in the tunnel roof, supplemented where needed by jet grouted columns to support the tunnel face, are used as a pre-support measure in gravels and sands.

– **Face support**

Face support in difficult geotechnical conditions, as in metro construction, has been provided by so-called support cores, which support the face while creating a working platform for the blasthole drillers. Another novel face support system is the use of IBO anchors which are shortened by one round length for each round. This has substantially enhanced the strength of the face and reduced surface settlement in near-surface tunnelling.

– **Special cross sections**

Where the geotechnical conditions are particularly difficult (as in metro stations), for exceptionally large cross sections (as in the case of the Wienerwald East Tunnel), further subdivision into partial drifts with side-wall drifts is needed. The tunnel

Ost) ist eine weitere Unterteilung in Teilvortriebe mit Ulmenstollen notwendig. Die Querschnittsform wurde von einem ursprünglich eiförmigen zu einem "Spitzbogenprofil" aus statischen Gründen verändert. Auch die Herstellung konnte so wirtschaftlicher gestaltet werden.

– **Baubetrieb**

Durch den Entfall der Pölzung nach der Alten Österreichischen Tunnelbaumethode wurden die Querschnitte frei für den Einsatz von Großgeräten. Dies ermöglicht den Einsatz von Standard-Großgeräten, wie Radlader, Dumper etc. Ein wesentlicher Schritt zur Mechanisierung war die Entwicklung eines Tunnelbaggers mit Schwenkarm. Die ersten 16-to Bagger kamen im U-Bahnbau 1972 in Frankfurt zum Einsatz, für Straßen- und Eisenbahntunnel wurden schwerere, mit größerer Reißkraft entwickelt. Ab 1981 kamen 24-to Bagger (z. B. Citytunnel Bregenz 1981–1983) und ab 1985 34-to Bagger auf der Neubaustrecke Hannover-Würzburg (z. B. Landrückttunnel) zum Einsatz.

In Abhängigkeit des aufzufahrenden Querprofils stehen 1-, 2- und 3- armige Bohrwägen zur Verfügung. Auch für Vortriebe im Vollprofil können die Bohrwägen adaptiert werden. Die Bohrleistung wurde durch die Entwicklung neuer Bohrhämmer stark gesteigert, der Einzug der Elektronik bringt umfangreiche Bohr- und Gerätedaten sowie die Möglichkeit über automatisch gesteuerte Bohrarme eine bessere Profilhaltigkeit zu erzielen.

Durch den Einsatz von mechanisch gesteuerten Spritzarmen in Zusammenwirken mit der Anwendung von Nass-Spritzbeton (1984), wurde die Arbeitssicherheit erhöht und der Mechanisierungsgrad deutlich gesteigert.

– **Bauabwicklung**

In der Vergangenheit wurden viele Tunnelprojekte mit Parallelbetrieb in Kalotte und Strosse aufgeföhren. Aus gebirgsmechanischen, sicherheitstechnischen und wirtschaftlichen Gründen erfolgt heute der Vortrieb meist im Stop & Go-Betrieb.

cross section has been changed from an originally egg-shaped profile to something like a pointed arch for stability reasons, which has also enhanced the economy of tunnel construction.

– **Construction activities**

As soon as the struts used in the Old Austrian Tunneling Method were no longer needed, the path was clear for the use of large-scale standard equipment, such as wheel loaders, dumpers etc. An important step towards mechanisation was the development of a jib-arm equipped tunnel excavator. The first 16-tonne excavators were used on the Frankfurt metro construction project in 1972, followed by the development of heavier units with greater breakout force for building road and rail tunnels. From 1981, 24-tonne excavators were used (as for the Bregenz City Tunnel 1981–1983) and, from 1985, even 34-tonne excavators were in operation on the Hannover-Würzburg railway construction project (as at the Landrück tunnel site). One, two or three armed drill jumbos are available to meet the requirements of any tunnel cross section to be excavated. Drill jumbos can even be adjusted for use in full-face tunnelling. Their drilling capacity has been substantially increased by the development of new hammer drills and the introduction of electronics has brought large data volumes and enabled more accurate true-to-profile work thanks to automatically controlled drill arms. The use of mechanically controlled spray arms in combination with wet shotcrete (1984) has enhanced working safety and substantially raised the mechanisation level.

– **Implementation**

Formerly, many tunnel projects were implemented in parallel crown and bench excavations. Now excavation work is usually carried out on a stop-and-go basis for reasons of safety and economy.

Entwicklungsschritte der NATM – ein kurzer Abriss

NATM – a brief outline of the development steps

Robert Galler, Lehrstuhl für Subsurface Engineering, Montanuniversität, Austria, robert.galler@unileoben.ac.at, www.subsurface.at, www.ita-aites.at

Aufmerksame Leser des Buches „Gebirgsdruck und Tunnelbau“, das im Jahre 1944 von L.v. Rabcewicz verfasst und vom Springer Verlag publiziert wurde, werden feststellen, dass die Grundgedanken, welche der NATM auch heute noch zugrunde liegen, bereits damals gut erkennbar waren. In diesem Buch hat Rabcewicz versucht, seine praktischen Erfahrungen mit den damals vorliegenden theoretischen Erkenntnissen anderer Kollegen zusammenzuführen. Schon



damals hat Rabcewicz neben vielen anderen wichtigen Erkenntnissen aus dem praktischen Tunnelbau den Unterschied zwischen Auflockerungsdruck und echtem Gebirgsdruck aufgezeigt. Ganz klar geht daraus auch bereits hervor, dass es für die Auffahrung von Untertagebauwerken kein Patentrezept geben kann; vielmehr müssen die Baumaßnahmen und die Stützmaßnahmen auf die jeweiligen Gebirgsverhältnisse abgestimmt werden.

Als eine der wichtigsten Maßnahmen wird ein kraftschlüssiger Kontakt zwischen Ausbau und Gebirge, die Entwicklung von verformbaren Ausbausystemen sowie das systematische Messen und Beobachten im Tunnelbau vorgeschlagen – dies nicht zuletzt deshalb um die Entwicklung mathematischer Lösungen zur Dimensionierung der Stützmittel langfristig zu ermöglichen. [5]

Im Jahre 1948 folgte die Patentschrift, in welcher die Grundlagen der NATM ausführlich dargelegt wurden. Aus dieser geht unzweifelhaft hervor, dass es damals gegenüber der „alten“ Tunnelbauweise durch die Einführung von Spritzbeton, leichten Tunnelbögen und einer systematischen Ankerung zu wesentlichen Änderungen gegenüber den bis zu diesem Zeitpunkt im Tunnelbau gängigen Ausbaumaßnahmen kam. Rabcewicz ist es damals gelungen, aus den Mosaiksteinen von Rziha (1874), Heim (1905), Wiesmann (1912), Bier-

Attentive Readers of the book “Rock pressure and Tunnelling”, written by L.v. Rabcewicz and published by Springer Verlag in 1944, will find that the fundamental ideas, which are still the basis of the NATM today, were already recognisable back then. With this book, Rabcewicz tried to combine his practical experience with the theoretical knowledge of other colleagues available at that time. Even back then, Rabcewicz showed, among

many other important findings from practical tunnelling, the difference between breaking-up-load and real rock pressure. He clearly shows that there is no patent solution for the excavation of underground structures; in fact the construction and support measures have to be adjusted individually to the actual rock conditions.

One of the most important measures proposed are the force-fitting connection between support and rock, the development of deformable support systems as well as systematic measurement and observation in tunnelling – not least to allow the development of mathematical solutions for dimensioning of support measures in the long term.

The patent specification, which described the basics of the NATM in detail, followed in 1948. From this undoubtedly follows that, through the introduction of shotcrete, light tunnel arches and systematic anchoring, considerable changes occurred in the approach to tunnelling compared to the “old” tunnelling method and its support measures, which were well established back at that time. Taking his practical tunnelling experience as a basis, Rabcewicz managed to develop a conclusive overall concept from the mosaic pieces of Rziha (1874), Heim (1905), Wiesmann (1912), Bierbaumer (1913, 1926), Roth-

glauben konnten, dass die Gebirgslast von einer Spritzbetonschale, dünnen Tunnelbögen und Ankern aufgenommen werden kann. Es waren österreichische Ingenieure, die diese Pionierleistung aber auch die entsprechende Entwicklungs- und Überzeugungsarbeit für diese Tunnelbaumethode geleistet haben und in die Welt hinausgetragen haben.

Die Bewusstmachung der Vernetzung der Mosaiksteine zu einem großen Ganzen und die Einbeziehung einer kybernetischen Vorgangsweise in den praktischen Tunnelbau war bis zur Einführung der NATM unbekannt und ist daher ebenfalls unbestritten ein Verdienst der österreichischen Pioniere im Tunnelbau.

1980 wurde von der Österreichischen Straßenforschungsgesellschaft für die NATM eine Definition veröffentlicht, wonach die Neue Österreichische Tunnelbaumethode einem Konzept folgt, welches das den Hohlraum umgebende Gebirge durch Aktivierung eines Gebirgstragringes zu einem tragenden Bauteil macht. Dabei müssen die Grundsätze der Berücksichtigung des geomechanischen Gebirgsverhaltens, die Vermeidung von ungünstigen Spannungs- und Verformungszuständen durch den zeitgerechten Einbau geeigneter Stützmaßnahmen, sowie die Optimierung des Ausbauwiderstandes in Abhängigkeit zulässiger Deformationen eingehalten werden. Das Tunnelbauwerk wurde dabei als Verbundsystem aus Gebirge und Stützmittel betrachtet, wobei neben dem zeitgerechten Einbau der Stützmittel auch ein kraft- bzw. formschlüssiger Verbund mit dem Gebirge sicherzustellen war. Diese Grundsätze gelten heute unverändert.

Um die Sicherheit des aufzufahrenden Tunnelbauwerkes ständig zu überprüfen, die Vorbemessung zu kontrollieren und die endgültige Bemessung durchzuführen, wurde eine messtechnische und visuelle Überwachung des Gebirges und der Stützmittel integrierender Bestandteil der NATM. Kontinuierlich weiter entwickelte geotechnische Mess-, Auswert- und Interpretationsverfahren wurden fixer Bestandteil des geotechnischen Sicherheitsmanagements.

Entwicklungen gebirgsverbessernder Maßnahmen, neuer Spritzbeton- und Ankertechnologien sowie Entwicklungen am Baumaschinensektor erlauben heute einen Einsatz der NÖT unter schwierigsten geotechnischen Randbedingungen, wodurch Linienführungen unter Einbeziehung tunnelbautechnischer Lösungen

mations must be complied. In this context the tunnel structure was considered as a compound system of rock and support measures, while the timely installation of the support measures as well as a force-fitting or form-locking connection to the rock had to be ensured. Today, these principles apply unchanged.

In order to constantly verify the safety of the tunnel to be excavated, control the preliminary design and realise the final design, geotechnical and visual monitoring of the rock and the support elements became an integral part of the NATM. Continuously developed geotechnical measuring-, evaluation- and interpretation techniques became a fixed component of the geotechnical safety management.

Developments of rock improving techniques, new shotcrete- and anchor technologies as well as developments in the construction machinery sector enable the application of the NATM under most difficult geotechnical circumstances, allowing tunnel route alignments with constructional solutions, which were not thought to be possible in the past. Sections of the Unterinntaltrasse of the Brenner access route in Tirol, Austria as well as large subway stations in Taiwan, which were planned in fully saturated clayey silts, several metres below the groundwater level, may be cited as examples.

By now an extraordinary number of tunnel structures, which were constructed on the basis of the NATM, exist worldwide; the construction method continuously became more sophisticated through practical experience and therefore its application range increased considerably.

Today, the principles of the NATM became a matter of course in many cases; the fact that there are always some people, who seem to know everything, since something works, remains unchanged.

At the same time it may be mentioned, that the supporters of the NATM have never raised claims to completely represent the whole range of modern tunnelling with this construction method. It is a fact, that today the NATM is well established and can be mentioned as a recognisable Austrian tunnelling technique, with the main focus on the understanding of the interactions between the rock mass and our actions. Since 2009 the Graz University of Technology and Montan-University Leoben introduced

möglich wurden, an die man in früheren Jahren nicht zu denken wagte. Als Beispiele seien hier Teilbereiche der Unterinntaltrasse der Brennerzulaufstrecke in Tirol, Österreich aber auch große U-Bahn Stationen in Taiwan, die in wassergesättigten, tonigen Schluffen mehrere Meter unter dem Grundwasserspiegel projektiert wurden, genannt.

Zwischenzeitlich existiert weltweit eine außerordentlich große Anzahl von Tunnelbauwerken, die auf Grundlage der NATM errichtet wurden; die Baumethode wurde dabei auf Basis praktischer Erfahrungen stetig weiterentwickelt und ihr Anwendungsbereich deutlich ausgedehnt.

Für viele sind die Prinzipien der NATM heute zur Selbstverständlichkeit geworden; dass es immer auch solche gibt, die schon immer alles gewusst haben wollen, nachdem es funktioniert, soll so sein.

Gleichzeitig darf angemerkt werden, dass die Vertreter der NATM niemals den Anspruch erhoben haben, mit dieser Baumethode die gesamte Palette des modernen Tunnelbaus zu vertreten. Faktum ist, dass die NATM heute soweit etabliert ist, dass man von einer anerkannten Österreichischen Tunnelbauschule sprechen kann, in der das Verständnis für das Reagieren des Gebirges auf unser Tun im Mittelpunkt steht. Seit dem Jahr 2009 wurde von der Technischen Universität Graz im Verbund mit der Montanuniversität Leoben dazu auch ein international ausgerichtetes postgraduales Masterstudium eingerichtet, welches mit dem akademischen Grad „NATM Engineer“ abschließt.

Bei Anwendung der NATM bedienen wir uns einer Wortwahl, unter welcher sich alle mit dem Vortrieb befassten Personen – vom Mineur bis zum Universitätsprofessor – etwas vorstellen können, um das Ziel, erfolgreich – sicher und wirtschaftlich – Tunnels zu bauen, nie aus den Augen zu verlieren. Als Vertreter der Wissenschaft erlaube ich mir an dieser Stelle nochmals an die Feststellung von Prof. Leopold Müller mit folgendem Zitat zu erinnern: „... wäre die ganze Entwicklung der Naturwissenschaften und Technik nicht möglich gewesen, wenn alles das, was man nicht in Ziffern ausdrücken kann, als unsicher gälte. Ein Denken, das nur Berechenbares anerkenne, ist ein Misstrauen gegen den Menschen.“ Es gilt auch heute noch, dass wir als mit dem Untertagebau befasste Ingenieure nicht nur analysieren, sondern auch beobachten müssen. Purrer

an an internationally oriented postgraduate masters programme, awarding the academic title of “NATM Engineer”.

During application of the NATM, we use a choice of words, which can be visualised by all persons involved in the excavation process – from the miner to the academic staff – in order to never lose sight of the goal of constructing tunnels successfully – safely and economically. As representative of science I would like to remind at this point of a statement of Prof. Leopold Müller with following quote: “... the whole development of natural sciences and technology would not have been possible, if everything that cannot be expressed with numbers would be considered uncertain. A thinking, which only acknowledges calculable values, is a lack of confidence in men.” Today it is still certain, that underground engineers not only have to analyse, but also observe. In 1994 Purrer stated very appropriately, that the practical problems in tunnelling can only be solved optimally, if the rational sciences do not try to replace the emotional-intuitive human abilities, but understand themselves as their partners. [2]

Martak and Liebsch compare the approach of a tunnel construction manager in a modern NATM-advance with that of a ship’s helmsman (Greek Kybernetes). Likewise, he has to continuously correct the course in case of unknown ocean currents in order to reach his destination in the end. Today, similar to a helmsman, who navigates his ship safely to the harbour with the help of his intelligence and experience despite weather influences and unknown currents, the NATM constructs safe tunnels through interpretation of modern geotechnical measurements and with the aid of various construction measures. Therefore, the qualification of the helmsman is of utter importance for the construction of a tunnel structure. [3] He has to be able to face the dialogue with the rock continuously and understand the processes in the rock mass on basis of our actions. [4]

Today, the development of support elements is achieved in cooperation with construction companies, designers and clients with the support of science.

Which support element should be used under which projected boundary conditions, is summarised in so called baseline construction plans by the designer in

hat im Jahr 1994 dazu sehr treffend festgehalten, dass die praktischen Probleme des Tunnelbaues nur dann optimal gelöst werden können, wenn die rationalen Wissenschaften die gefühlsmäßig-intuitiven menschlichen Fähigkeiten nicht zu ersetzen versuchen, sondern sich als deren Partner verstehen. [2]

Martak und Liebsch vergleichen das Vorgehen eines Tunnelbauleiters im modernen NATM-Vortrieb mit jenem eines Steuermannes (griechisch Kybernetes) eines Schiffes. Auch dieser muss bei unbekanntem Strömungen den Kurs ständig korrigieren um am Ende sein Ziel zu erreichen. Ähnlich eines Steuermannes, der durch seine Intelligenz und Erfahrung trotz der Einflüsse von Wetter und unbekanntem Strömungen durch seine Steuerprozesse das Schiff sicher in den Hafen bringt, wird bei der NATM heute durch die Interpretation moderner geotechnischer Messungen und unter Zuhilfenahme verschiedenster Baumaßnahmen ein sicheres Tunnelbauwerk erstellt. Die Qualifikation des Steuermannes ist daher für die Herstellung eines Tunnelbauwerks von entscheidender Bedeutung. [3] Er muss im Stande sein, sich dem Zwiegespräch mit dem Gebirge immer wieder aufs Neue zu stellen und die Vorgänge im Gebirge auf Grund unseres Tuns zu verstehen. [4]

Heutzutage erfolgt die Entwicklung von Ausbauelementen in Zusammenarbeit zwischen Baufirmen, Planern und Bauherrn mit Unterstützung durch die Wissenschaft.

Welche Ausbauelemente unter prognostizierten Randbedingungen zum Einsatz kommen sollen, wird vom Planer in Rücksprache mit den Geologen, Hydrogeologen und anderen mit der Planung betrauten Fachleuten in sogenannten Rahmenplänen festgelegt.

Die endgültige Festlegung der Maßnahmen erfolgt idealerweise gemeinsam durch jeweils einen fachkundigen Vertreter des Auftraggebers und des Auftragnehmers, die sich der Beratung des zuständigen Geologen und bei geotechnisch anspruchsvollen Untertagebauwerken auch der Beratung eines sogenannten „Geotechnikers vor Ort“ bedienen. Im Rahmen der Festlegung der endgültigen Ausbaumaßnahmen ist insbesondere auf die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit zu achten. [6]

Als essentiell soll noch der Hinweis angeführt werden, dass die für die NATM charakteristische Anpassung der Vortriebsmaßnahmen an die vor Ort angebotenen Verhältnisse zwingend einen entsprechend

consultation with the geologists, hydro-geologists and other experts, who are assigned to the design.

The final definition of support measures is realised ideally by an expert representative of each the client and the contractor, who consult the responsible geologist and also, in case of geotechnical sophisticated underground constructions, the so called "geotechnician on site". In the framework of the definition of the final support measures, especially the safety and economic efficiency have to be taken into account. [6]

An essential note is that the adaption of the advance methods, which is characteristic for the NATM, to the conditions found on site requires a well adaptable construction contract with clear risk allocations. [6]

The Austrian society for Geomechanics makes efforts to provide comprehensible sets of rules in English for all topics mentioned above – including the topic "NATM construction contract" – in order to avoid misunderstandings from the start, especially on international tunnelling sites.

In 1975, L.v. Rabcewicz said to his young colleagues within the scope of his honorary doctorate at the Montan-University Leoben: "... the old ones from the Salzburg circle, they developed this construction method. You young people have to ensure that it doesn't fossilise, that it will always adapt to new materials, new machinery and new construction methods. You are responsible that it remains new." [1]

The family of tunnel engineers will continue to try complying with this request as good as possible in the future.

With this book we tried to illustrate and summarise the essential topics of the NATM in form of experience reports with colleagues from the clients, contractors and designers as well as with representatives of science. We hope that, besides an interesting reading, according impulses for the future development of the NATM derive from these reports.

Literature

[1] Golser, J.: Richtigstellungen zu Prof. Kovaris Ansichten über die Neue Österreichische Tunnelbaumethode, Felsbau 12 (1994) Nr. 5

anpassungsfähigen Bauvertrag mit klaren Risiko-
ordnungen erfordert. [6]

Zu allen oben angeführten Themen – so auch zum Thema „NATM Bauvertrag“ – bemüht sich die Österreichische Gesellschaft für Geomechanik entsprechend nachvollziehbare Regelwerke in englischer Sprache zur Verfügung zu stellen um gerade auf internationalen Tunnelbaustellen Missverständnisse von Beginn an zu vermeiden.

Im Jahr 1975 sagte L.v. Rabcewicz im Rahmen seiner Ehrenpromotion an der Montanuniversität den jungen Kollegen: „... die Alten vom Salzburger Kreis, die haben diese Baumethode entwickelt. Ihr Jungen müsst dafür sorgen, dass sie nicht verknöchert, dass sie sich immer wieder anpasst an die neuen Materialien, die neuen Geräte und die neuen Bauweisen. Ihr seid dafür zuständig, dass sie neu bleibt.“ [1]

Die Familie der Tunnelbauer wird versuchen dieser Aufforderung auch zukünftig so gut wie möglich nachzukommen.

Wir haben in diesem Buch versucht mit Kollegen der Auftraggeber, Auftragnehmer und Planer sowie Vertretern der Wissenschaft wesentliche Themenbereiche der NATM in Form von Erfahrungsberichten zusammenfassend darzustellen. Wir hoffen, dass neben der interessanten Lektüre von diesen auch entsprechende Impulse für zukünftige Entwicklungen der NATM ausgehen mögen.

Literaturhinweise

[1] Golser, J.: Richtigstellungen zu Prof. Kovaris Ansichten über die Neue Österreichische Tunnelbaumethode, Felsbau 12 (1994) Nr. 5

[2] Purrer, W.: Leserbrief, Felsbau 12 (1994) Nr. 5

[3] Martak, L.; Liebsch, H.: Seichtliegende Tunnel mit Überbaugung, Ein Denkanstoß für Betrachtungsweisen der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode, Felsbau 12 (1994) Nr. 5

[4] Vavrovsky, G.M.: Gebirgsdruckentwicklung, Hohlraumverformung und Ausbaudimensionierung, Felsbau 12 (1994) Nr. 5

[5] Schubert, W.: Gebirgsdruck und Tunnelbau – aus der Sicht von Rabzecicz 1944, Felsbau 12 (1994) Nr. 5

[6] Lauffer, H.; Die Entwicklung der NATM (NÖT) Ein geschichtlicher Rückblick, PORR Tunnelbau GmbH, 1103 Wien I Absberggasse 47 (20.08.2010)

[2] Purrer, W.: Leserbrief, Felsbau 12 (1994) Nr. 5

[3] Martak, L.; Liebsch, H.: Seichtliegende Tunnel mit Überbaugung, Ein Denkanstoß für Betrachtungsweisen der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode, Felsbau 12 (1994) Nr. 5

[4] Vavrovsky, G.M.: Gebirgsdruckentwicklung, Hohlraumverformung und Ausbaudimensionierung, Felsbau 12 (1994) Nr. 5

[5] Schubert, W.: Gebirgsdruck und Tunnelbau – aus der Sicht von Rabzecicz 1944, Felsbau 12 (1994) Nr. 5

[6] Lauffer, H.; Die Entwicklung der NATM (NÖT) Ein geschichtlicher Rückblick, PORR Tunnelbau GmbH, 1103 Wien I Absberggasse 47 (20.08.2010)

Weltweite Entwicklung der NATM

Worldwide development of NATM

Johann Golser, Emeritus am Lehrstuhl für Subsurface Engineering, Montanuniversität, Austria,
johann.golser@geoconsult.at, www.geoconsult.at

1. Einleitung

Die von österreichischen Technikern entwickelte Baumechanik hat ihren Ursprung in praktischen Erfahrungen mit älteren Bauweisen. Schon lange vor der NATM erkannte der Bergbau den Zusammenhang zwischen Gebirgsverformungen und aktivem Gebirgsdruck (Bierbaumer, Fenner). Beim Bau der Transsibirischen Eisenbahn konnte Rabcewicz Scherbrüche in der Betonauskleidung infolge großer Seitendrücke beobachten. Rabcewicz hatte schon beim Bau des Loibltunnels (1942 bis 1945) das Zwei-Schalensystem angewendet und dann für die Forcacava Kraftwerkskaverne und für Tunnelbauten in Venezuela systematische Ankerungen in sehr gebräuchlichem Gebirge als Stützelement eingesetzt. Systematische Beobachtung des Gebirgs- und Ausbruchverhaltens waren bereits damals als wesentlich erkannt, wie dies in der Patentschrift von Rabcewicz nachzulesen ist. Der Bau des Tauerntunnels in druckhaften Phylliten bei hoher Überlagerung – das Lern- und Lehrstück für Tunneln in druckhaftem Gebirge – und die kurz danach einsetzende Anwendung der NATM im U-Bahnbau in Deutschland war auch der Start für die rasche weltweite Ausbreitung der Methode.

2. Weltweite Anwendung

Ab etwa 1970 wurden dann außerhalb Europas größere Tunnelbauprojekte nach den Grundsätzen der NATM verwirklicht. Mühsame Überzeugungsarbeit, theoretisches und praktisches Training musste geleistet werden, um Bauherrn und Bauunternehmer, die ja mit der vorange-

1. Introduction

The tunnelling method was developed by Austrian engineers in the light of the experience gathered during the preceding practice of earlier construction techniques. Miners had realised that a correlation existed between ground deformation and active orogenic pressure a long time before the birth of NATM (Bierbaumer, Fenner). When the Trans-Siberian Railway was being built, Professor Rabcewicz identified shear fractures in concrete tunnel lining which were the result of great lateral pressures. He had already employed the two-shell lining system on the Loibl Tunnel construction project (1942 to 1945) and used systematic bolting as a main support element in extremely friable rock for the Forcacava underground power station and for tunnel construction in Venezuela. Systematic monitoring of ground and excavation behaviour had already been recognised as being of vital importance, as can be seen from Rabcewicz's patent specification. The construction of the Tauern Tunnel in squeezing phyllites under high cover – a lesson to learn from in matters of tunnelling through squeezing ground –



Abb. 1. Tauern Tunnel – Scherbruch | Fig. 1. Tauern Tunnel – Shear failure

gangenen Entwicklung in Mitteleuropa nicht vertraut waren, von den Vorzügen der Methode zu überzeugen. Sehr hilfreich waren dabei österreichische Bauunternehmer, insbesondere die Firma Oberranzmeyer und erfahrene Poliere, die mit ihrem soliden praktischen Know-how wesentlich zum Erfolg der ersten Auslandsabenteuer mit der NATM beigetragen haben.

Die folgenden Beispiele spiegeln lediglich einen Teil der persönlich gemachten Erfahrungen des Verfassers wider.

2.1 Tarbela Dam Project

Von 1968 bis 1975 wurde das damals größte Wasserkraftprojekt am Indus in Pakistan von einem europäischen Firmenkonsortium erbaut. Vier Tunnel mit je 240 m² Ausbruchsquerschnitt waren in tektonischer Brekzie (Sugary Limestone), Chloritschiefern, Kohlschiefern und kleinstückig zerlegtem Gabbro mit schwerem Stahlausbau (ASSM) aufzufahren. 440 m² große Schiebekavernen, in die rechteckige Schieberschächte 14 m x 21 m mündeten, konnten mit dem ursprünglich geplanten Stahlausbau nicht aufgefahren werden. Auf Anfrage des Firmenkonsortiums erarbeitete Prof. Rabcewicz einen NATM Alternativ-Vorschlag, der nach langwierigen Diskussionen mit dem amerikanischen Planer mangels einer anderen praktikablen Methode letztendlich widerwillig akzeptiert wurde. Dem mit ASSM vertrauten Planer war es schwer verständlich zu machen, dass ein NATM Ausbau mit TH-Bögen, 25 bis 30 cm Spritzbeton und systematischer Ankerung mit 6 m und 9 m langen SN-Ankern



Abb. 2. Tarbela: Schiebekaverne und Schieberschacht
Fig. 2. Tarbela: cavern and shaft

and the use of NATM in metro construction in Germany shortly afterwards marked the beginning of the rapid worldwide dissemination of the method.

2. Worldwide use

Major tunnel construction projects using the NATM principles thus began to be implemented outside Europe from around 1970. Training in the theory and practice of the method and a lot of arduous persuasion were needed to convince clients and contractors, who could not be familiar with the previous developments in Central Europe, of the merits of the new method. Great help came from Austrian construction contractors, in particular Oberranzmeyer, and also from experienced foremen, whose sound expertise and practical workmanship contributed substantially to the success of the first adventures with the use of NATM abroad.

The examples given in the following paragraphs reflect only part of the author's personal experience.

2.1 Tarbela dam project

The years 1968 to 1975 saw the implementation of the largest hydro-power project of that time on the River Indus in Pakistan. A joint venture of European contractors had been awarded the contract, which provided for the construction of four tunnels with an excavated cross section of 240 m² in tectonic breccia (Sugary Limestone), chloritic schists, coal schists and severely disintegrated gabbro, where a heavy steel

invert lining was to be installed using ASSM. But the originally planned steel lining proved entirely inadequate for the construction of underground gate chambers of 440 m² in cross section joined by gate shafts of 14 m by 21 m. Professor Rabcewicz, called in by the joint venture, then developed an alternative proposal which following long drawn-out discussions was finally if reluctantly accepted by the American designing engineer for the only reason that no other practicable method was available. Being

mehr „Tragvermögen“ hätte als ein Stahlausbau mit bis zu 900 cm² Stahlbogen-Querschnittsfläche je lfm. Tunnel. Der erfolgreiche Bau dieser Kavernen wäre ohne die praktische Hilfestellung durch österreichische Ingenieure und Poliere nicht denkbar gewesen. Zahlreiche Publikationen zu den Tarbela Dam Tunnels trugen zur raschen Weiterverbreitung der NATM bei.

2.2 Indien

1978 wurde der Bau des ca. 7 km langen Loktak Druckstollens an der Grenze zu Burma nach einer verheerenden Methangasexplosion wieder aufgenommen. In schwer druckhaften, feinblättrigen, schwarzen stark gefalteten Schiefen und Mergeln wurden NATM Grundsätze konsequent und erfolgreich angewandt. Seit etwa 2000 setzt ein wahrer Boom im U-Bahnbau, im Verkehrstunnelbau und im Wasserkraftbau ein, wobei der Stahlausbau (ASSM) zunehmend durch die NATM verdrängt wird. So wird der ca. 12 km lange Pir Panjal Eisenbahntunnel in Kashmir nächstes Jahr und viele andere Verkehrstunnel mit einer Gesamtlänge von mehr als 400 km nach der NATM in den kommenden 10 Jahren fertiggestellt sein. Eine ähnliche Länge wird maschinell nach der ASSM aufgeföhren werden. Große Rohölspeicherkavernen mit einem Gesamtvolumen von ca. 18 Mio m³ werden ebenfalls in diesem Zeitraum fertig werden.

2.3 Japan

Ab ca. 1975 werden zahlreiche Verkehrstunnel mit der NATM gebaut. Die herausforderndste Aufgabe war eine ca. 350 m lange Störungszone in der zweiten Röhre des Enasen Straßentunnels mit der NATM. Die erste Röhre musste in derselben Störung dreimal gebaut werden, weil schwere Stahlausbauten zweimal versagten.

2.4 Korea

Vor den olympischen Spielen in Seoul 1988 mussten die U-Bahnlinien 3 und 4 fertiggestellt werden. Aufträge waren in offener Bauweise bereits an Bauunternehmer vergeben. Unfälle in offenen Baugruben, Bauzeitverzögerungen und Störung des Geschäftslebens führten zu der Frage, ob denn eine U-Bahn in Seoul auch in bergmännischer Bauweise gebaut werden könnte. Nach kurzer Beratung des Bauherrn wurde die Entscheidung getroffen, 10 Baulose sofort auf NATM umzustellen. Die Ingenieurleistungen wurden zwischen einer japanischen Gruppe und einem österreichischen Büro aufgeteilt. Außergewöhnliche Leis-

familiar with ASSM, the engineer was hard to convince that a NATM lining using steel lattice girders combined with a shotcrete layer of 0.25 to 0.30 m thickness and systematic bolting with anchors 6 to 9 m in length afforded more „load-bearing capacity“ than a steel lining with up to 900 cm² in steel-arch cross section per linear metre of tunnel. But the successful construction of this chamber would still have been entirely impossible without practical help from Austrian engineers and foremen. The great numbers of ensuing publications on this project have since contributed to the rapid dissemination of NATM.

2.2 India

After a stoppage caused by a disastrous methane gas explosion work was resumed at the Loktak power tunnel construction site of some 7 km length on the borders with Burma in 1978. Severely squeezing finely foliated black schists and marls were successfully tunnelled through thanks to the consistent employment of the principles of NATM. A veritable boom has taken place since 2000 in the construction of metro systems, rail and road tunnels and hydro-power developments, with steel linings (ASSM) being increasingly replaced by NATM. The Pir Panjal rail tunnel of some 12 km length in Cashmere is due to be completed next year, and many more traffic tunnels totalling more than 400 km in length are to be constructed using NATM over the coming 10 years. About the same length of tunnels will be driven by mechanical means using ASSM. Large underground crude-oil storage tanks with a total capacity of about 18 million m³ will also be constructed during this period.

2.3 Japan

A great number of traffic tunnels have been built since 1975 by use of NATM. The greatest challenge was presented to NATM by a fault of some 350 m length in the second tube of the Enasen road tunnel. The first tube had been constructed three times within the same fault zone because the heavy steel linings had failed twice.

2.4 Korea

Metro Lines 3 and 4 in Seoul had to be completed in time for the 1988 Summer Olympics. Contracts providing for cut-and-cover tunnel construction had already been awarded. But accidents in open excavations, construction delays and disturbance of business led the client to wonder whether a metro line in Seoul



Abb. 2. Seoul Contract 415 Station Shopping Center Myoung Dong
 Fig. 2. Seoul Contract 415 Station Shopping Center Myoung Dong

tungen wurden von österreichischen Ingenieuren und Polieren erbracht, verschiedenen lokalen Auftragnehmern im Schnellverfahren Arbeitsschritte der NATM beizubringen.

2.5 Taiwan

Der NATM Start in Taiwan erfolgte mit einer sehr großen, komplexen Kavernenanlage an der Ostküste. Komplizierte Kreuzungen großer Querschnitte und sorgfältig durchgeführte Messungen gaben guten Einblick in anlaufende Brucherscheinungen im Gebirge, die mit jedem Strossenabbau neu zu beobachten waren. Es folgten U-Bahnbauten in Taipei und lange Eisenbahntunnels im Süden der Insel, bei denen sowohl Stahlausbauten (ASSM) als auch die NATM interessante Vergleichsmöglichkeiten boten. Mit der High Speed Rail von Taipei nach Kaoshiung wurden zahlreiche Tunnels mit der NATM aufgeföhren, wobei ebenfalls österreichische Beratungsleistungen für Bauunternehmungen zu deren erfolgreichen Fertigstellung beitrugen.

2.6 USA

Als Forschungsvorhaben finanziert, ergab sich 1981 die Möglichkeit, den Mt. Lebanon Tunnel in Pitts-

could be constructed by mining methods. Following some consultation, the client decided that 10 contract sections be changed over immediately to NATM work. The necessary engineering services were split between a Japanese group and an Austrian consulting engineer. An extraordinary job was done by Austrian engineers and foremen in running high-speed training courses in the steps of the NATM procedure for the various local contractors.

2.5 Taiwan

A very large underground chamber system on the east coast marked the start of NATM in Taiwan. Complex crossings of large cross sections and careful measuring programmes provided a good insight into beginning and subsiding rupture processes in the rock mass which showed following every new bench excavation round. Metro projects in Taipei and long rail tunnels in the south of the island followed, where both steel linings (ASSM) and NATM offered interesting comparisons. A great number of tunnels were constructed by use of NATM along the High Speed Rail from Taipei to Kaoshiung, with Austrian consulting services rendered to contractors contributing a great deal to the successful completion of these projects.

burgh nach den Grundsätzen der NATM als einschalige Bauweise zu planen. Gleichzeitig wurde von einem amerikanischen Planungsbüro eine konventionelle Lösung mit bewehrtem dickem Betonausbau geplant. Beide Lösungen wurden ausgeschrieben, die wirtschaftlichere NATM Lösung wurde schließlich von einer österreichischen Unternehmung gebaut. Die Widerstände gegen die NATM waren anfangs in den USA wohl aus Haftungsgründen und sehr hohen Versicherungskosten am größten. Inzwischen ist auch in den USA die NATM gut eingeführt und vielfach angewendet.

3. Ausblick

Die NATM hat sich inzwischen weltweit gut und erfolgreich etabliert. Um Rückschläge zu vermeiden, ist weiterhin viel Überzeugungsarbeit zu leisten, weil vielerorts immer noch nicht die Notwendigkeit verlässlicher geotechnischer Messungen und deren professioneller Interpretation verstanden werden will. Andere Unzulänglichkeiten in der praktischen Ausführung wie richtiges Versetzen von Ankern oder satter Kontakt Spritzbeton-Gebirge sind vielfach immer noch zu beobachten.

Maschinelle Vortriebsverfahren mit NATM Ausbau sollten in Zukunft eine größere Rolle spielen, wie dies sehr erfolgreich beim Gotthard Basistunnel erfolgte. Auch für lange Triebwassertunnel im Himalaya in Pakistan in schwierigen Gebirgsverhältnissen und bei bis zu 1900 m Überlagerung soll diese Kombination TBM-NATM in Kürze starten. Dies sollte eine perfekte NATM Anwendung sein, bei der der schnelle, schonende Vollausschub mit rascher Ringschlussmöglichkeit und kontinuierlicher Brustsicherung über das Schneidrad in idealer Weise die NATM Anforderungen erfüllen sollte.

2.6 U.S.A.

A research project financed in 1981 offered the possibility of designing the Mt. Lebanon Tunnel in Pittsburgh as a single-shell structure by use of NATM. At the same time, an American engineer developed a conventional solution using reinforced thick concrete lining. Following invitation of tenders for both solutions, the lower-price NATM alternative was finally implemented by an Austrian contractor. Initial resistance to NATM was probably greatest in U.S.A., presumably for reasons of liability and high insurance costs. Meanwhile NATM has stood the test of time and is now also much employed in U.S.A.

3. Prospects

NATM has now established itself successfully on a worldwide basis. But a great persuasion job still lies ahead in order to avoid setbacks, as there is still much reluctance in many places to understand the necessity of reliable geotechnical measurements and their professional interpretation. Other inadequacies in the practice of NATM tunnelling still occur, such as improper installation of anchors or failure to ensure a perfect contact between sprayed concrete and the freshly excavated rock surface.

Mechanical tunnelling using NATM lining methods as practiced on the Gotthard Base Tunnel project should be given increasing importance in the future. This combination between TBM and NATM tunnelling is shortly to be started for long tailraces in the Himalayas in Pakistan, in difficult ground and under a cover of up to 1900 m. This should be a perfect application of NATM where speedy full-face tunnelling involving minimum disturbance to the surrounding rock mass and with rapid ring-closure and continuous face support provided via the cutter wheel should answer NATM requirements in an ideal manner.

Überlegungen zu einer Gebirgskennlinie in klüftigem Gebirge

Considerations regarding a ground-response curve for jointed rock

Franz Pacher, IGT Geotechnik und Tunnelbau, Austria, www.igt.co.at

Kurzfassung

Mit Überschreiten der Gebirgsfestigkeit am Hohlraumrand infolge der Tangentialspannungen ändern sich die Verhältnisse, sie können nicht mehr mit einer einzigen Kennlinie beschrieben werden. Entsprechend des nicht aufnehmbaren Restdruckes entsteht zwischen Hohlraumrand und intaktem Gebirge ein Bruchkörper (Bruchring) d.h. eine Pufferzone in der Stärke von 0 bis etwa $2r$, welche gesondert behandelt und berücksichtigt werden kann und muss. Zur Klärung des Kennlinienverlaufs, der Bruchbildung etc. in klüftigem Gebirge wird ein Großversuch empfohlen.

1. Aktion und Reaktion

Der Mensch setzt durch das Öffnen des Hohlraums den ersten Schritt und bringt damit die daraus resultierende Reaktion des Gebirges in Form der Spannungsumlagerung und Deformationsvorgänge in Gang. Unabhängig von Baumethode, Öffnungsunterteilung etc. setzt sich dieser Vorgang so lange fort bis die Sicherungsmaßnahmen (Ankerung, Beton- und Spritzbetonausbau) der weiteren Konvergenz Einhalt gebieten bzw. einen entsprechenden Widerstand aufbauen.

2. Ablauf Möglichkeiten

Grundsätzlich können wir drei mögliche Vorgänge unterscheiden, nach welchen diese ablaufen (Gebirgskennlinien)

2.a. Das Gebirge ist so weit standfest, dass es – ohne Einbauten - bis zur vollkommenen Öffnung die vorgegebene Form behält und erst dann gesichert werden muss oder müsste (Kennlinie A).

Summary

If the tangential stresses around a freshly excavated underground opening exceed the strength of the rock mass, then the ambient conditions change and can no longer be described with a single characteristic curve. A buffer zone, which may be termed a fracture body or fracture ring, forms between the periphery of the cavity and intact ground to the extent that the residual stress can no longer be absorbed. This peripheral zone, which has a thickness of 0 to about twice the radius r of the cavity, can and must be treated and allowed for separately. It is recommended that a large-scale test be performed in jointed rock to throw light on the shape of the characteristic curve of fracturing in jointed rock.

1. Action and reaction

One takes the first step by excavating the underground opening, thus inducing a reaction process in the form of stress redistribution and deformation. Regardless of the construction method, subdivision of the cross section etc. employed, this process continues until the convergence process comes to a halt as a result of sufficient resistance being built up by support measures such as anchoring as well as concrete and sprayed-concrete lining.

2. Possible reaction curves

Three possible reaction processes – ground-response curves – can be distinguished:

2.a. The ground possesses sufficient stability for an excavated opening to retain its intended shape – without support elements – so that no support needs to be provided until the excavation work is completed (Curve A).

2.b. Der Zusammenhalt des Gebirges durch seine Festigkeit bleibt so weit erhalten, dass keine Zerstörungen (keine Überbeanspruchung der Festigkeit am Hohlraumrand durch die Tangentialspannungen) und damit keine Brüche eintreten und die Einbauten entsprechend stark und zeitgerecht eingebracht werden können, und sich nach dem Einbau ein Gleichgewichtszustand einstellt. Dies bedeutet insbesondere, dass das Gebirge bis an den Hohlraumrand hin intakt geblieben ist oder intakt gehalten werden konnte (Kennlinie B).

2.c. Für den Fall, dass die Gebirgsfestigkeit am Hohlraumrand bzw. im dahinter liegenden Bereich überschritten wird, verschiebt sich die Grenzlinie zwischen intaktem und überbeanspruchtem Gebirge ins Berginnere. Es entsteht rund um den Hohlraum bzw. zwischen Hohlraum und intaktem Gebirge eine Zone, die überbeansprucht ist (Kennlinie C).

Um beurteilen zu können, wie weit diese Entfestigung zurückgreift, bzw. zurückgreifen kann, machen wir kurz einen Abstecher in die Theorie. Unsere erste Modellvorstellung geht von einem elastischen Material und von der gelochten Scheibe, auf Innendruck belastet, aus, wobei die Auswirkungen auf Druck und Zugentlastung gleich gesetzt werden dürfen. Nach diesem Modell sind die Spannungsänderungen im Wesentlichen in einem Abstand von $2-3r$ abgeklungen. Das bedeutet einerseits, dass die Zerstörung eigentlich nicht viel weiter greifen dürfte, andererseits dass sich erst über diesen Radius hinaus wieder festes Gebirge befindet und eine Langankerung nur dann einen Sinn hat, wenn sie in dieses feste unzerstörte Gebirge reicht. Was die Deformationen betrifft reichen diese im elastischen Medium etwa bis zum zehnfachen Radius.

Der Deformationsablauf ist auch zeitabhängig, daher muss früher oder später auch die Zeitgröße in die Betrachtung mit eingeführt werden.

In diesem Fall, also Kennlinie C, haben wir es mit einem Zweiphasensystem zu tun. Von außen nach innen betrachtet haben wir erstens das unverritzte und unzerstörte Gebirge bis zu einem bestimmten Grenz-Radius R , dann folgt der überbeanspruchte Bereich „Bruchkörper“, schließlich der Sicherheitsausbau und endlich der Hohlraum (siehe Abb. 1).

2.b. The coherence of the ground by virtue of its strength is maintained sufficiently long for the avoidance of destruction (as a result of tangential stresses at the periphery of the cavity exceeding rock strength) and thus fracturing so as to allow support measures to be taken to the extent and strength required and also in good time to allow a state of equilibrium to be achieved after installation of the lining. This means in particular that the ground has remained or has been maintained intact at the periphery of the underground opening (Curve B)

2.c. Where the tangential stresses exceed the strength of the rock mass at or behind the periphery of the cavity, the boundary line between intact and overstressed ground moves away from the cavity. A zone of overstressed ground forms around the opening, i.e. between the cavity and intact rock (Curve C).

In order to be able to assess how far this disintegration process extends into the ground, let us first take a quick excursion into the theory. We first visualise a model in the form of a holed disk made of an elastic material which is exposed to internal pressure, assuming the effects on compression and tension stress relief as being equal. On this model, the stress variations have subsided at a distance of 2 to 3 times the radius r of the underground opening. This means that the destruction process should not reach much further, but it also means at the same that intact rock is only found some way beyond the radius of the affected zone, so that long anchors are effective only if they extend into the intact and undisturbed ground.

In an elastic medium the deformations extend roughly to ten times the radius r .

The deformation process is also a function of time, which means that sooner or later time is another quantity to be introduced into the analysis.

In this case, i.e. Curve C, we are faced with a two-phase system. Proceeding from the outside towards the inside we start from the virgin, intact rock mass until we reach a certain limiting radius R , followed by the overstressed zone or fracture body, then the lining support and finally the cavity (see Fig. 1).

Ein wesentlicher Teil der Deformation sollte/müsste im Bereich des Bruchkörpers (es kann zu einer Plastifizierung kommen) stattfinden. Deswegen muss man ja bei Verwendung der Langanker sehr oft Stauchelemente zwischen Ausbau und Ankerung einschalten, um die übergroße Deformation zu beherrschen. Wie später beleuchtet wird, kann man natürlich im Extremfall die Gebirgskennlinie mit den veränderten und verschlechterten Gebirgskennwerten errechnen und diese zum Teil als Grenzwert benutzen.

3. Gebirge, Gesteinsart und Klüftigkeit (siehe Tabelle)

In einem groben Maßstab möchte ich folgende Gebirgs- bzw. Gesteinsarten unterscheiden:

- I. homogen, massig entwickelte Gesteine (Granit, Marmor, dichte Kalke)
- II. klüftiges, brüchiges (brittle) Gestein (Schiefer, Gneise etc.)
- III. plastifizierbares Gebirge oder Gestein (Mergel)

Die folgenden Betrachtungen werden im Wesentlichen nur für die Gesteinsart II angestellt. Leider konnten keine Klüftparameter für den Einfluss des Klüftigkeitsanteiles (Zerlegungsgrad) gefunden werden.

Die Klüftigkeit wirkt sich insofern aus, als sie:

- die Festigkeit herabsetzt
- die Verformbarkeit erhöht
- bei ausgerichteten Klüftstellungen (Schichtung, Schieferung) der Spannungsfluss richtungsmäßig verändert wird
- beim Entlastungsvorgang eine besondere Rolle spielt

4. Die Gebirgskennlinie

Die Gebirgskennlinie hängt im Wesentlichen von den Gebirgseigenschaften ab, das sind: Festigkeit beschrieben durch Kohäsion und Reibungswinkel, Verformungsmodul, rheologische Komponente (Zeiteinfluss) und anderes mehr. Alle übrigen Einflüsse wie Hohlraumgröße, Abbauvorgang, Gebirgswasser usw. werden in diesen nächsten Überlegungen vernachlässigt. Je homogener, massiger das Gebirge aufgebaut ist, desto mehr nähert sich sein Verhalten dem des elastischen Mediums. Unser Gebirge ist aber doch

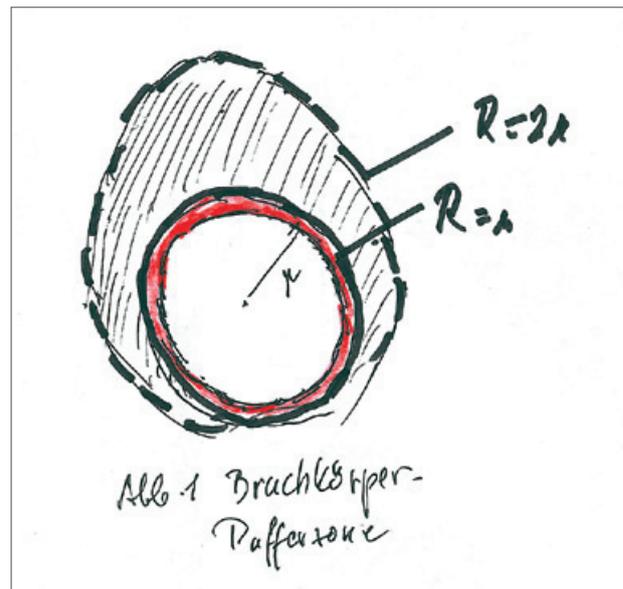


Abb. 1. Bruchkörper – Pufferzone
Fig. 1. Fracture body – buffer zone

The greater proportion of deformation should take place within the fracture body (plastification may occur). This is why in many cases stress controllers must be provided between lining and anchoring to deal with excessive deformation.

As will be discussed in greater detail below, the ground response curve can of course be calculated on the basis of the modified and degraded rock mass characteristics and can be partly used as a boundary value.

3. Rock mass, rock type and jointing (see Table)

I should suggest the following rough classification of types of rock mass or rock:

- I. homogeneous, massive rocks (granite, marble, dense limestones)*
- II. jointed, brittle rock (schists, gneisses etc.)*
- III. plastifiable rock mass or rock (marl)*

The considerations made in the following paragraphs are mainly focussed on Rock Type II. Unfortunately it has not been possible to find joint parameters to describe the impact of the proportion of jointing (degree of disintegration).

Jointing can have the following effects:

- reducing strength*
- increasing deformability*

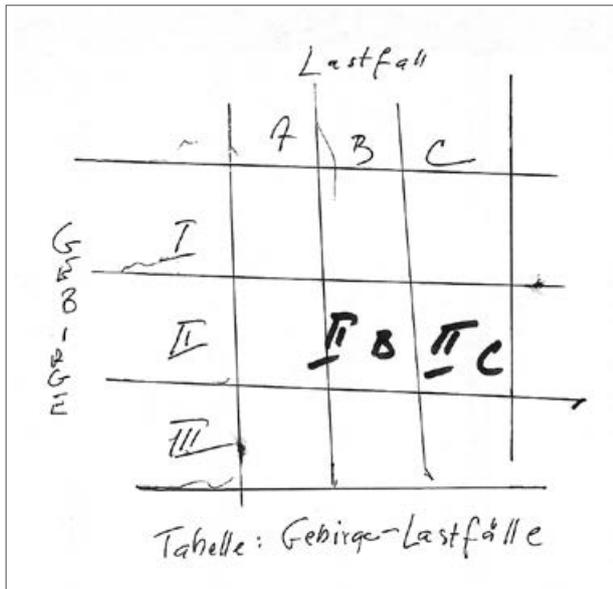


Abb. 2. Gebirge – Lastfälle
Fig. 2. Rock mass – loading cases

zum großen Teil geschichtet, geklüftet, zerklüftet also „brittle“ brüchig, wenn nicht sogar mit plastischen Anteilen behaftet, sodass also die Annahmen nur sehr grob stimmen können und man sich überlegen muss, wie man das besser machen kann.

Die folgenden Überlegungen sind eine Art symptomatische Betrachtung der Vorgänge bzw. der zu erwartenden Unterschiede.

Meines Erachtens nach wird der Einfluss der Hohlraumöffnung nicht so weit reichen wie im elastischen Medium und die Gebirgskennlinie wird steiler anfallen, (siehe auch TIWAG Versuch Belastung \neq Entlastung....Hysteresis) (Fall IIA)

Im Fall IIC ergibt sich eine deutliche Vergrößerung der Deformation, weil der Grenzradius R weiter ins Gebirge hineingreift ($r \rightarrow 2r, \Delta r \rightarrow 2\Delta r$). Dabei wird angenommen, dass der Bruchkörper die Deformation $2\Delta r$ zur Gänze weitergibt.

Im Fall des Vorhandenseins plastischer Anteile (Fälle III A, B, C) dürfte auch die zeitliche Nachverformung eine größere Rolle spielen.

5. Ein erweitertes Ablaufmodell

Für den Fall IIC gibt es für den weiteren Spannungs- und Deformationsablauf folgende Vorstellung:

- changing the direction of stress flow where jointing shows a main orientation (stratification, schistosity)
- playing an important part in the stress relief process.

4. The ground-response curve

The ground-response curve is mainly dependent on the properties of the ground. These are strength as described by cohesion and friction angle as well as modulus of deformation, rheological component (effect of time) and others. All other factors such as the size of the underground opening, excavation procedure, underground water etc. will be ignored in the following considerations. The greater the homogeneity and massiveness of its structure, the more the ground resembles an elastic medium in terms of behaviour. However, the greater part of our rock mass is stratified, jointed, fissured and hence brittle or even plastic in places. Consequently, our assumptions will apply only roughly and we should try to find a better approach.

The following considerations are meant to serve as a symptomatic approach to the processes or the differences expected to result from such a new approach.

In my opinion, the impact of the cavity in jointed rock mass will not extend as far as it would in an elastic medium, and the ground-response curve will be steeper.

Case IIC gives a much greater deformation magnitude because the limiting radius R extends farther into the rock mass ($r \rightarrow 2r, \Delta r \rightarrow 2\Delta r$). This is based on the assumption that the fracture body passes on the deformation $2\Delta r$ in its entirety.

Where plastic proportions are present (Cases III A, B, C), subsequent deformation as a function of time is probably also of major importance.

5. An extended process model

The subsequent stress and deformation process in Case IIC can be visualised as follows:

a. Wenn es möglich ist, in diesem Zustand einen entsprechenden Ausbauwiderstand aufzubauen z. B. durch einen voreilenden Rohrschirm, bleibt der gesamte Gebirgskörper intakt.

b. Wenn aber durch die vom Hohlraumrand ausgehende Überbeanspruchung, die Zerstörung, Verbrüche (Entfestigung β sinkt auf β_{Rest}) weiter in das Gebirge zurückgreift, reicht der Grenzradius R von $R = r$ bis $R = 2r$ in das Gebirge zurück. Dies hat zur Folge (siehe Abb. 3):

a. Where it is possible to build up an adequate lining resistance in this condition, e.g. by pipe roof forepoiling, the entire body of rock mass remains intact.

b. Where, however, the destruction and failure processes caused by overstress emanating from the periphery of the cavity (disintegration β drops to β_{residual}) extends farther into the ground, the limiting radius R varying from $R = r$ to $R = 2r$ moves farther into the ground. This implies that (see Fig. 3)

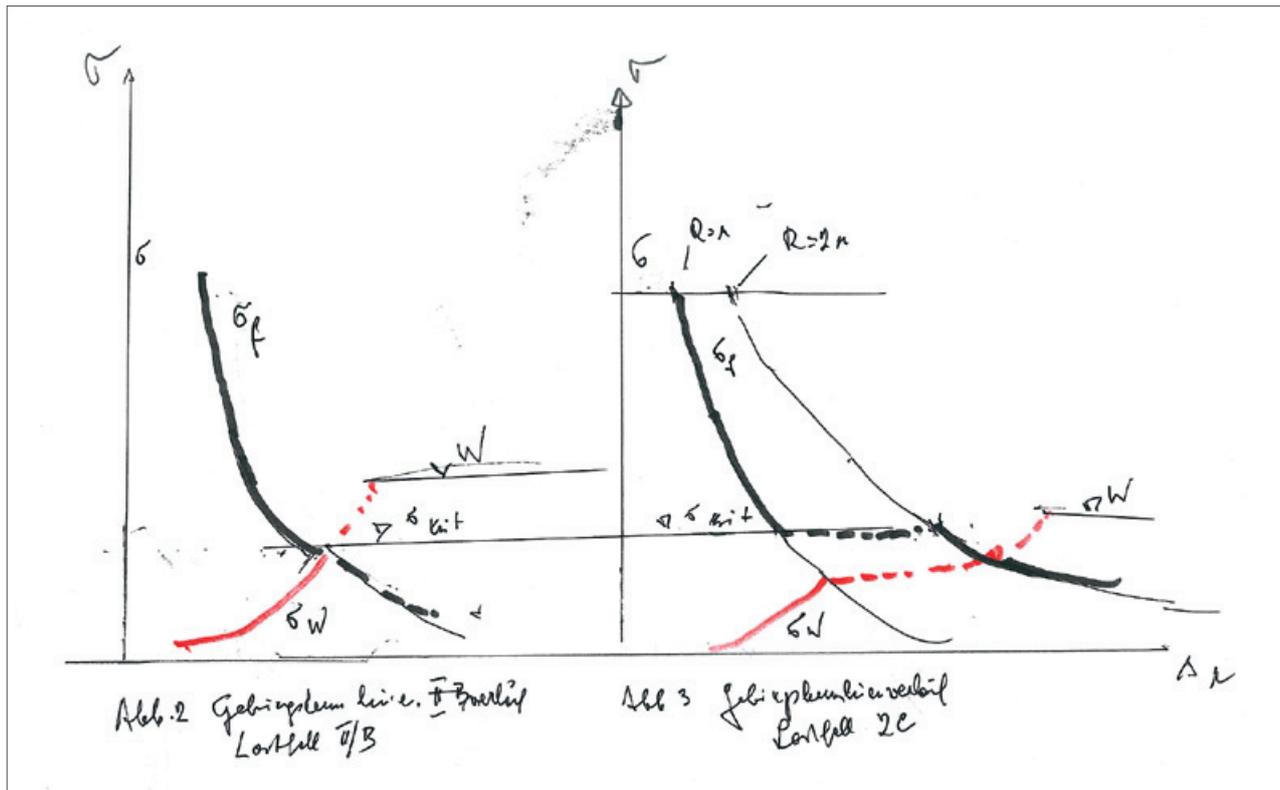


Abb. 3. Gebirgskennlinienverlauf Lastfall | Fig. 3. Ground-response curve Loading case

- die Deformation Δr steigt bei $R = 2r$ auf das doppelte (bei direkter Übertragung auf den Hohlraumrand und
- die Druckspannungen erleiden einen weiteren Abfall von σ_{kritisch} auf σ_{Rest} . Diese könnte aus folgenden Vorstellungen heraus berechnet werden:

Der Zwischenraum zwischen r und R bildet einen Ring (Pufferzone) mit geringer Festigkeit (β_{Rest}), welcher von außen durch σ_{kritisch} belastet wird. Dieser Ring, verstärkt durch die bleibenden Maßnahmen wie Stahlbögen, Spritzbeton und Anker, muss im Stande sein die auf ihn wirkende Belastung aufzunehmen.

c. Dasselbe gilt auch für den Fall, dass nur der innerste Hohlraumrand von der Entfestigung betroffen ist

- the deformation Δr increases to twice its value where $R = 2r$ (for direct transmission onto the periphery of the cavity and
- the compressive stresses drop further from σ_{critical} to σ_{residual} . This could be calculated by visualising the following:

The space between r and R forms a ring (buffer zone) of poor strength (β_{residual}) which is exposed to critical loading from outside by σ_{critical} . This ring, reinforced by permanent measures such as steel ribs, sprayed concrete and anchors, must be capable of absorbing the load acting on it.

c. The same is true where only the innermost periphery of the cavity is affected by the disintegration pro-

(Beispiel: Nachankerung der abschalenden Mont Blanc Tunnelfirste). Der länger andauernde Prozess scheint mittels entsprechender Gegenmaßnahmen z. B. wiederkehrende Nachankerungen beherrschbar zu sein. Damit kommt man zur Vorstellung eines Zweiphasensystems.

6. Die Endbemessung

Der Vortrieb benötigt Vorgaben hinsichtlich zulässiger Abschlagtiefe und hinsichtlich der erforderlichen Sicherungs- und Ausbaumaßnahmen. Bei der Endbemessung, die eigentlich erst vor Ort unter Beachtung der Geologie, der Messdaten und sonstiger Vorkommnisse stattfindet, kommt es meiner Meinung nach auf folgendes an:

1. Das Gebirge in der unmittelbaren Umgebung des Hohlraumes form- und festigkeitsmäßig in der vorgegebenen Begrenzung so zu erhalten, sodass keine Teilausbrüche passieren (bis der erst entstehende Ausbau steht). Das kann mit den üblichen Ausbaumitteln wie Spritzbeton, Bögen, Langankern (mit Stauchelementen) etc. erreicht werden.
2. Der erreichbare Widerstand des Ausbaues ist aber begrenzt und man muss Verformung und Zeit arbeiten lassen, bis ein Gleichgewicht erreichbar wird.
3. Die erforderliche Dauersicherheit wird durch Einziehen des (bewehrten) Innenringes sichergestellt.

7. Vorschlag für einen Großmodellversuch

Um mehr Licht in die Vorgänge beim brüchigen Gebirgsmaterial zu bringen, wird vorgeschlagen einen Großversuch durchzuführen. Es gäbe die Möglichkeit mittels einer Zentrifuge sowohl die Verformungsvorgänge als auch gewisse Druckspannungen im Hohlraum auf einfache Art und Weise festzustellen. Weiters können über Messmarken Verformungen mechanisch und fotografisch beobachtet werden. Desgleichen sind Rückrechnungen sehr wertvoll.

cess (example: subsequent anchoring as a remedial measure against scaling in the roof of Mont Blanc Tunnel). This process of greater duration can apparently be controlled by adequate measures such as repeated subsequent anchoring. This leads us to the idea of a two-phase system.

6. The final design

Tunnelling work needs information on permissible round length as well as support and lining requirements. The final design, which ought in fact to be made at the working face with the local geology, measured data and other factors in mind, should to my mind take the following issues into consideration:

1. *The ground in the immediate vicinity of the underground opening should be maintained in terms of strength and shape within the intended boundary in a manner to ensure that no roof falls occur (while the lining is being completed). This can be done by use of the conventional means of support such as sprayed concrete, steel ribs, long anchors (with stress controllers) etc.*
2. *The resistance of the tunnel lining is, however, limited and it is necessary to allow deformation processes and time to form an equilibrium of forces between ground and lining.*
3. *The necessary permanent safety is ensured by installing the (reinforced) internal ring.*

7. Recommendation to perform a large-scale model test

It is recommended that a large-scale test be performed to throw light on the processes occurring in brittle rock material. Use of a centrifuge is a relatively simple means of determining both the deformation processes and certain compression stresses at the periphery of the cavity. Furthermore, reflector points can help to monitor deformations mechanically and by use of photographs. Furthermore back calculations are very useful.

Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten

Guideline for the geotechnical design of underground structures

Wulf Schubert, Technische Universität Graz, Austria, schubert@tugraz.at, www.tunnel.tugraz.at

1. Einleitung

Während in der Vergangenheit für die Tunnelplanung rein empirische oder einfache analytische Methoden zum Einsatz kamen, wurden in den letzten Jahrzehnten die „Werkzeuge“ für die geotechnische Planung entscheidend weiterentwickelt, wodurch heute ein ingenieurmäßiger Zugang möglich ist. In vielen Fällen werden jedoch abgekürzte Verfahren angewandt, welche der Komplexität des Baugrundes und der Variabilität der Einflussfaktoren und Anforderungen nicht Rechnung tragen.

Zur Sicherstellung eines nachvollziehbaren Planungsprozesses hat die Österreichische Gesellschaft für Geomechanik im Jahr 2001 eine Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb veröffentlicht. 2008 wurde diese revidiert [1]. Eine Richtlinie für kontinuierlichen Vortrieb ist derzeit in Vorbereitung.

Die Richtlinie enthält eine Beschreibung der generell zu folgendem Vorgangsweise, ohne detailliert Methoden der Durchführung vorzuschreiben.

2. Struktur des Planungsprozesses

Die Richtlinie folgt einer risikoorientierten Vorgangsweise und gliedert sich in folgende Schritte (Abb. 1):

- Systemidentifikation: dieser Schritt beinhaltet die Erstellung des geologischen Modells, die Baugrundcharakterisierung und Bestimmung der Faktoren, die das Verhalten beeinflussen, wie zum Beispiel Spannungen, Bergwasserverhältnisse, Größe und Form des Hohlraumes.
- Ermittlung von Gefährdungen: in diesem Schritt werden für jeden Abschnitt des Bauwerkes potenzielle Verhalten des Baugrundes auf den Ausbruch ohne Berücksichtigung von Stützung oder anderer Baumaßnahmen ermittelt. In der Richtlinie werden die Gefährdungen als Gebirgsverhalten bezeichnet.

1. Introduction

Over the last decades the tools for geotechnical design of tunnels have considerably improved. While in the past mere empirical methods have been used, now engineering methods are available to support experience. In many cases however “shortcuts” in the design process are chosen, neglecting the complexity of ground conditions and variability of influencing factors and requirements.

To ensure a consistent and traceable design process, the Austrian Society for Geomechanics has published a guideline for the geotechnical design of underground structures with conventional excavation first in 2001. A revision was issued in 2008 [1] and a guideline for continuous excavation is currently under preparation.

The guideline contains a description of the general procedure to be followed, without prescribing detailed methods.

2. Basic structure of design process

The guideline follows a risk oriented approach, with following elements (Fig. 1):

- *System identification: this task includes establishing the geological model, ground characterization and identification of factors influencing the behaviour, for example stresses, ground water conditions, size and shape of the opening.*
- *Hazard identification: for each section of the tunnel potential behaviours are identified. In this step the reaction of the ground on the excavation is evaluated without consideration of additional construction measures. This includes identification of potential failure modes and other negative effects of tunnelling. In the guideline hazards are referred to as “Ground Behaviours”.*

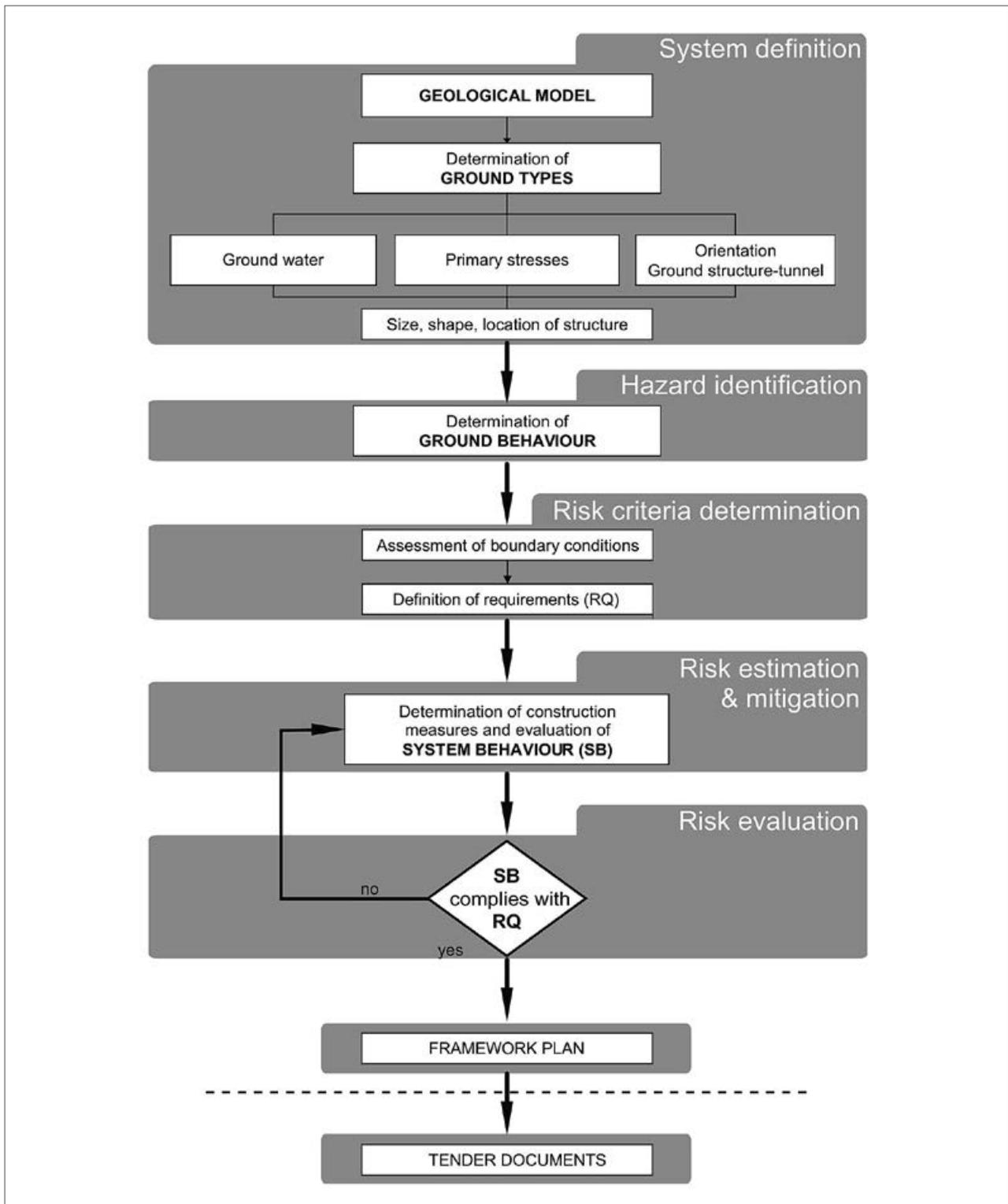


Abb. 1. Risiko orientierter Planungsablauf (abgewandelt nach ÖGG Richtlinie
 Fig. 1. Risk oriented design approach (modified after OeGG guideline)

- Bestimmung der Risikokriterien: in diesem Schritt werden die Anforderungen und die Randbedingungen ermittelt, welche lokale Richtlinien und Normen, sowie eventuelle Einschränkungen, Auflagen und legale und umweltrelevante Anforderungen umfassen.
- *Risk criteria determination: this step includes the definition of requirements and boundary conditions, like local regulations, standards, guidelines or limitations and legal and environmental requirements.*
- *Consequence analysis, hazard mitigation and risk reduction: in case of non-acceptable conse-*

- Ermittlung der Auswirkungen, Gefährdungsminde- rung und Risikoreduktion: bei nicht akzeptier- baren Auswirkungen sollen entsprechende Bau- maßnahmen eingesetzt werden, um entweder die Gefährdung auszuschließen, die Eintrittswahr- scheinlichkeit zu verringern oder die Auswirkun- gen auf ein verträgliches Maß zu reduzieren
- Risikoermittlung: in diesem Schritt wird überprüft, ob das Systemverhalten, unter welchem die Inter- aktion zwischen Gebirge und Baumaßnahmen ver- standen wird, den Anforderungen entspricht. Bei Nichtübereinstimmung müssen die Baumethode oder einzelne Maßnahmen so lange verändert werden, bis ein akzeptables Niveau erreicht wird.
- Erstellung der Vertragsdokumente: wenn die Mit- tel und Methoden zur erfolgreichen Beherrschung der erwarteten Bandbreite der Gebirgsverhält- nisse und Verhalten festgelegt sind

3. Vorgang während des Baues

Selbst mit sorgfältiger Erkundung, Baugrundcharakterisierung und einer zeitgemäßen ingenieurmäßigen Planung verbleiben Unsicherheiten im Baugrundmodell und den tatsächlichen Gebirgs- und Systemverhalten.

Aus diesem Grund wird der Planungsprozess wäh- rend des Baues fortgesetzt, mit einer laufenden Fort- schreibung des Modells, wenn neue Daten zur Ver- fügung stehen. Eine laufende Datenerhebung und messtechnische Beobachtung sind Grundvorausset- zungen für eine Optimierung des Baues und einer Reduktion des Risikos. Die Richtlinie beschreibt die notwendigen Schritte, welche erforderlich sind, um der Beobachtungsmethode zu genügen (Abb. 2).

Der grundsätzliche Ablauf ähnelt jenem während der Planung, wobei großes Augenmerk auf die Vorhersage, Beobachtung und Verifikation des Systemverhaltens mit Hilfe des Beobachtungsprogramms gelegt wird.

Die Richtlinie schreibt die Durchführung eines geziel- ten Beobachtungsprogramms und eines geotechni- schen Sicherheitsmanagements vor. Diese enthält er- wartete Systemverhalten, Warn- und Alarmkriterien, sowie durchzuführende Maßnahmen im Falle von Ab- weichungen. Außerdem sind die organisatorischen Randbedingungen mit Bezug zu Berichtswesen und Verantwortlichkeit klar zu regeln.

quences of identified hazards, construction mea- sures have to be implemented, either to eliminate the hazard, reduce the probability of occurrence or reduce the consequences to an acceptable level.

- *Risk evaluation: this step involves checking, whe- ther the system behaviour, understood as the in- teraction between ground and construction mea- sures, complies with the requirements. In case of disagreement, the construction method or mea- sures have to be varied until the risk reaches an acceptable level.*
- *Establishment of tender documents: once the means and methods for successfully coping with the ground conditions and expected behaviours, specifications and contractual provisions can be established*

3. Process during construction

Even with a very extensive investigation program, a sound characterization and an up to date engineering design, uncertainties in the ground model, the ground properties and the ground and system behaviours re- main.

As a consequence, the design process needs to be extended into the construction phase, continuously updating the model as more information becomes available. Continuous collection of information and monitoring are essential preconditions to optimize construction, and reduce risks. The guideline con- tains the essential steps, which fulfil the requirements of the so called observational approach (Fig. 2).

The basic approach is similar to the one during de- sign with special emphasis on observing, predicting and verifying of the system behaviour with the help of monitoring.

The guideline calls for the implementation of a targe- ted monitoring program and the establishment of a geotechnical safety management system. This contains expected behaviours, warning and alarm criteria, as well as mitigation measures, should the behaviour deviate from the predicted. In addition the reporting structure and responsibilities have to be clearly defined in the safety management plan.

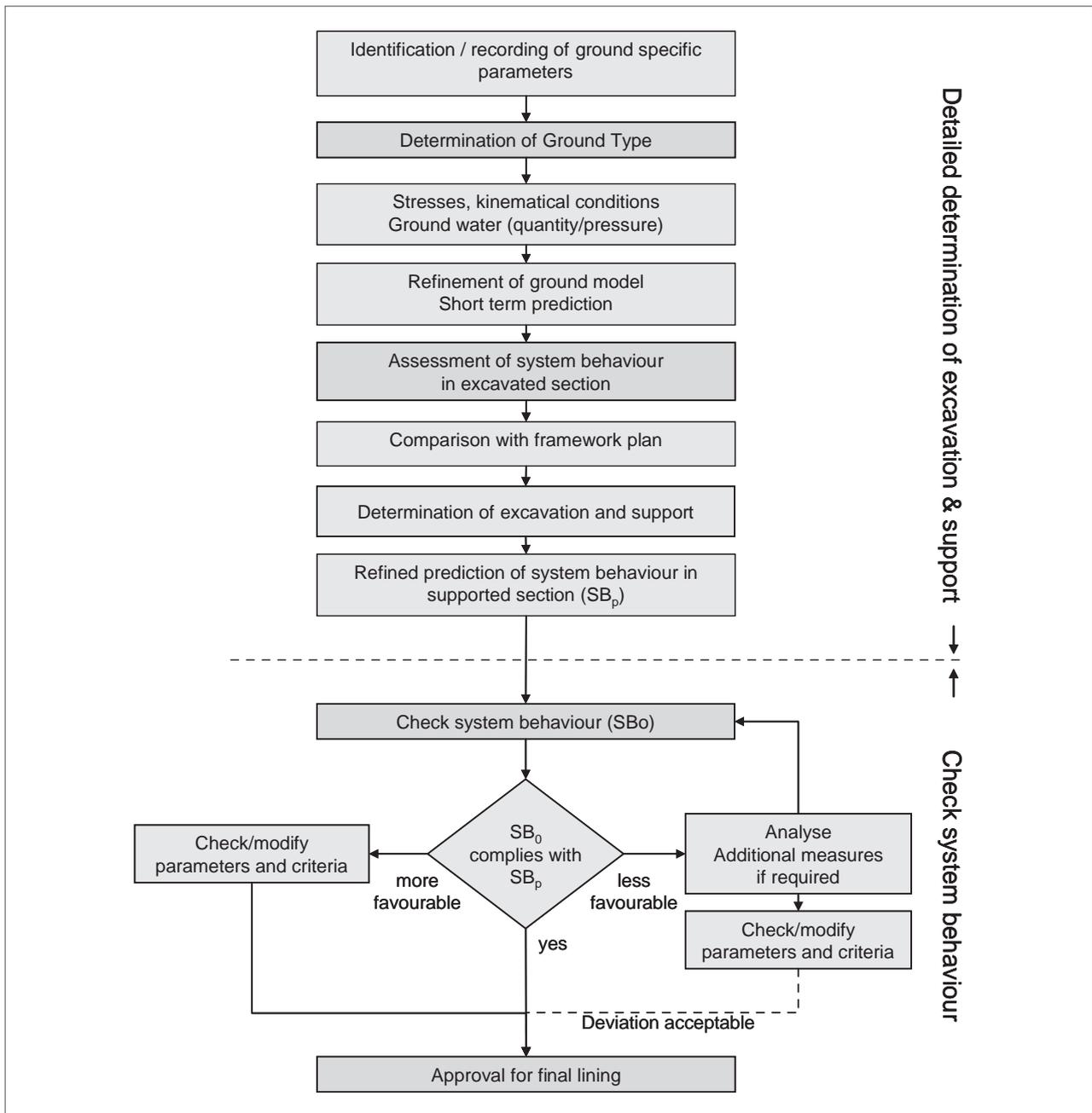


Abb. 2. Ablauf während des Baues [1] | Fig. 2. Process during construction [1]

4. Zusammenfassung

Die Richtlinie hat den ingenieurmäßigen Zugang zur geotechnischen Planung von Untertagebauten gefördert. Sie wird von allen Involvierten gut aufgenommen.

Referenzen

[1] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, 2008. Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb

4. Summary

The guideline has promoted the engineering approach to tunnel design. It has been well accepted by all parties involved.

References

[1] Austrian Society for Geomechanics, 2008. Guideline for the geotechnical design of underground structures with conventional excavation

Gedanken zur Ausbaudimensionierung unter Zuhilfenahme von Berechnungsmodellen

Thoughts on support dimensioning with aid of calculation models

Robert Galler, Lehrstuhl für Subsurface Engineering, MontanUniversitaet, Austria, robert.galler@unileoben.ac.at,
www.subsurface.at, www.ita-aites.at

Einleitend sei festgehalten, dass Berechnungen in den Ingenieurwissenschaften immer von Modellen leben, die die komplexe Realität mehr oder weniger gut abbilden. In diesem Zusammenhang darf speziell für den Tunnelbau erwähnt werden, dass ein vom Geologen in der Planungsphase erstelltes Modell nicht zuletzt aufgrund der Grenzen der Möglichkeiten in der Erkundungsphase nicht exakt die Wirklichkeit abbilden kann. Zudem kommt, dass die Gebirgsparameter auch nur in gewissen Bandbreiten aus Voruntersuchungen vorliegen und ferner begrenztes Wissen über den Primärspannungszustand besteht. Weitere Unsicherheiten und Vereinfachungen der Realität erfolgen über die uns zur Verfügung stehenden mathematischen Modelle. Im Falle des Untertagebaus – nicht nur unter Anwendung der NATM – hängt die Modellbildung zusätzlich noch wesentlich von den praktischen tunnelbautechnischen Erfahrungen des Anwenders ab. Die Aussagekraft von Berechnungsergebnissen muss daher grundsätzlich immer einer kritischen Prüfung unterzogen werden. Unter Anwendung eines exzellenten Explorations-programmes, gut entwickelten Charakterisierungsmethoden und der Wahl eines zur geotechnischen Struktur optimal passenden Berechnungs-programmes können die Unsicherheiten zwar reduziert aber niemals zu 100% eliminiert werden.

Auf Grund der vielen Unsicherheiten in den Berechnungen wurde bereits von Terzaghi und Peck festgehalten, dass die Ergebnisse von Berechnungen nur Arbeitshypothesen sein können. Vorweggenommen sei, dass diese Feststellung auch bei Anwendung moderner numerischer Simulationsverfahren, wie sie heute existieren Gültigkeit besitzt. Während der Bauausführung sind die Ergebnisse daher durch geotechnische Messungen und Beobachtungen zu bestätigen und/oder es müssen entsprechende Modifikationen während der Bauausführung erfolgen.

An introductory remark is that calculations in engineering are always based on models, which map the complex reality more or less well. In this context it is worth mentioning, especially regarding tunnelling, that a model designed by the geologist during the design phase cannot exactly map the reality, due to the limits of possibilities during the exploration phase. Additionally, the rock parameters obtained from preliminary investigations only deliver results with a certain bandwidth and furthermore the knowledge of the primary stress state is limited. Other uncertainties and simplifications of the reality are accomplished by the available mathematical models. In the case of underground constructions – not only during application of the NATM – the modelling process heavily depends on the practical tunnelling specific experiences of the user. The validity of calculation results always need to be reviewed carefully. With the use of an excellent exploration programme, well developed characterisation methods and a choice of calculation software, which suits the geotechnical structure in an optimal way, uncertainties can be reduced, but never fully eliminated.

Due to the many uncertainties in the calculations, Terzaghi and Peck already stated that calculation results can only be considered as working hypotheses. This statement is still applicable to the usage of modern numerical simulation techniques, which exist today. Therefore the results must be verified by geotechnical measurements and observations during the construction process and/or according modifications need to be carried out during the construction process.

In 1964, Pacher tried to qualitatively describe the complex, time-related processes during construction of a tunnel by complementing the characteristic rock

Pacher hat 1964 mit der Ergänzung der Gebirgskennlinie von Fenner aus dem Jahr 1938 versucht, die komplexen, zeitabhängigen Vorgänge beim Bau eines Tunnels qualitativ zu beschreiben und wollte damit die grundsätzlichen Zusammenhänge anschaulich darlegen.

Dabei war und ist die aus dem Bergbau bereits seit langem bekannte Erfahrung, dass mit zunehmender Verschiebung des Hohlraumrandes die Stützkraft, die zur Erzielung eines Gleichgewichtes entgegengesetzt werden muss, bis zu einem minimal erforderlichen Wert absinkt und bei weiterer Verschiebung wieder ansteigt, nicht NATM spezifisch.

Die Fenner-Pacher Kurve war nicht für die Dimensionierung des Ausbaus gedacht, wenngleich Seeber später Versuche in diese Richtung unternommen hat. Insbesondere der aufsteigende Ast der Fenner-Pacher Kurve konnte aber auch von ihm nicht zufriedenstellend abgebildet werden, da Brucherscheinungen selbst unter Anwendung der Plastizitätstheorie nicht hinreichend erfassbar sind.

Von großem Interesse war die Ermittlung der Minimalstelle, da sie den Mindestausbauwiderstand zur Verhinderung eines Bruchbeginns darstellt. Feder ist es später gelungen, diese Minimalstelle für das Firstversagen und den erforderlichen Ausbaustützdruck für die Erreichung eines Gleichgewichtszustandes rechnerisch zu ermitteln.

curve from Fenner from the year 1938, in order to clearly demonstrate the basic correlations.

The already well known experience from mining that the support pressure to reach equilibrium state first decreases to a minimum required value with increasing deformation of the excavation margin, before it increases again with further deformation, is not specific to the NATM.

The Fenner-Pacher curve was not intended for the dimensioning of the support, although Seeber performed tests regarding this thought later on. Especially the ascending part of the Fenner-Pacher curve could not be satisfactory illustrated by him, since cracking phenomena cannot be sufficiently reproduced, even with application of the plasticity theory.

The determination of the curves' minimum value was an issue at stake, since it represents the minimum required support pressure to prevent cracking. Feder later managed to determine this minimum value representing the top heading failure and the required support pressure for an equilibrium state mathematically.

With the postulation of his empirical relations Sulem developed the basis for a good mathematical description and time-related deformation effects. These empirical relations were extended by Barlow and Sellner.

Recently, several scientific papers concentrate on the characteristic-curve method again. Particular pleasant news is that PACHER provided his latest article "Considerations on a rock characteristic curve in jointed rock" for this book.

Other new scientific papers on this topic were accomplished by Pilgerstorfer [1] and Gschwandtner [2]. Within the scope of his thesis, Gschwandtner investigates the most common analytical calculation approaches. Amongst other things, the calculation methods of rock characteristic curves, the extent of plastic zones as well as excavation profile deformations are investigated. Furthermore the determination of a support characteristic curve regarding shotcrete, based on a time-rela-

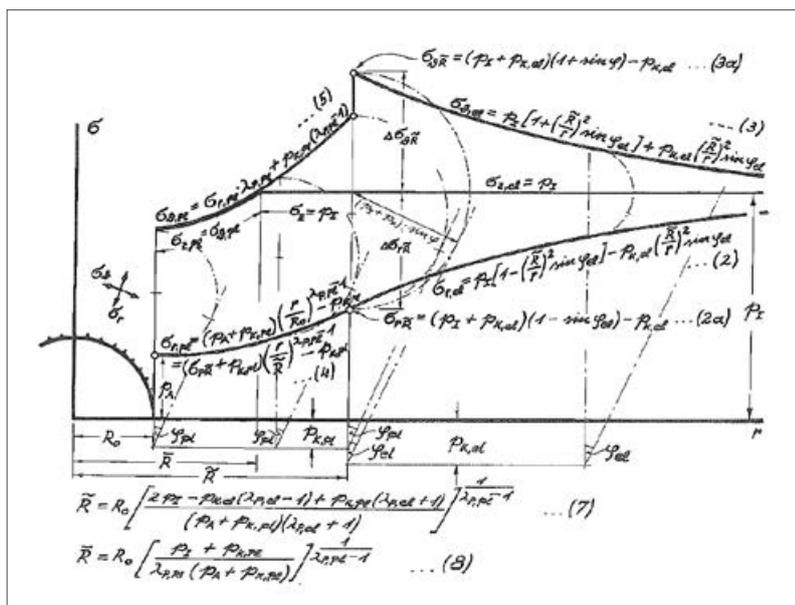


Abb. 1. Analytische Ansätze im Bereich tiefliegender Tunnel [11]
Fig. 1. Analytical solutions for tunnels with high overburden [11]

Sulem hat mit der Aufstellung seiner empirischen Beziehungen die Basis für eine gute mathematische Beschreibung und der zeitabhängigen Effekte der Verformungen entwickelt. Diese empirischen Beziehungen wurden von Barlow und Sellner noch erweitert.

In letzter Zeit beschäftigen sich einige wissenschaftliche Arbeiten wieder mit dem Kennlinienverfahren. Besonders erfreulich ist, dass auch PACHER für dieses Buch seinen neuesten Beitrag „Überlegungen zu einer Gebirgskennlinie in klüftigem Gebirge“ zur Verfügung gestellt hat.

Als weitere neue Arbeiten auf diesem Gebiet sei auf jene von Pilgerstorfer [1] und Gschwandtner [2] verwiesen. Gschwandtner untersucht in seiner Arbeit die gebräuchlichsten analytischen Berechnungsansätze. Unter anderem werden dabei die verschiedenen Berechnungsverfahren der Gebirgskennlinien, die Größe der plastischen Zonen sowie die Hohlraumrandverschiebungen untersucht. Ferner wird auf die Erstellung der Ausbaukennlinie von Spritzbeton unter Zugrundelegung eines zeitabhängigen Ansatzes, nämlich der von Aldrian [3] vorgeschlagenen Fließratenmethode und auf die Erstellung der Ausbaukennlinie unter Zugrundelegung von Ankern eingegangen.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass das Kennlinienverfahren nicht für alle Gebirgsverhaltenstypen gemäß ÖGG-Richtlinie [siehe Aufsatz von Schubert in diesem Buch] geeignet ist.

Mit Beginn der Einführung der numerischen Berechnungen im Untertagebau war die Hoffnung groß, dass man nun ein Werkzeug zur Verfügung hätte, mit welchem „exakte“ Berechnungen für die Dimensionierung von Tunnelbauwerken möglich wären. Es stellte sich jedoch heraus, dass ohne präzise mathematische Beschreibung des Materialverhaltens sowohl des anstehenden Gebirges als auch der Ausbaumaterialien auch bei Anwendung dieser Berechnungsmethoden sehr bald Grenzen gesetzt sind.

Da man akzeptieren musste, dass man die exakten Gebirgseigenschaften erst beim Bau des Tunnelbau-

ted approach, namely the flow-rate method proposed by Aldrian [3], as well as the determination of a support characteristic curve regarding anchors is studied.

It must be pointed out that the characteristic curve method is not suitable for all rock behaviour types, according to ÖGG-directive [see article of Schubert in this book].

With the beginning of introducing numerical calculations in underground constructions the hopes were high that a tool for “exact” calculations regarding the dimensioning of tunnel structures was available. It turned out that without precise mathematical descriptions of the material behaviour, of both the surrounding rock and support materials, the boundaries of these calculation methods are reached soon.

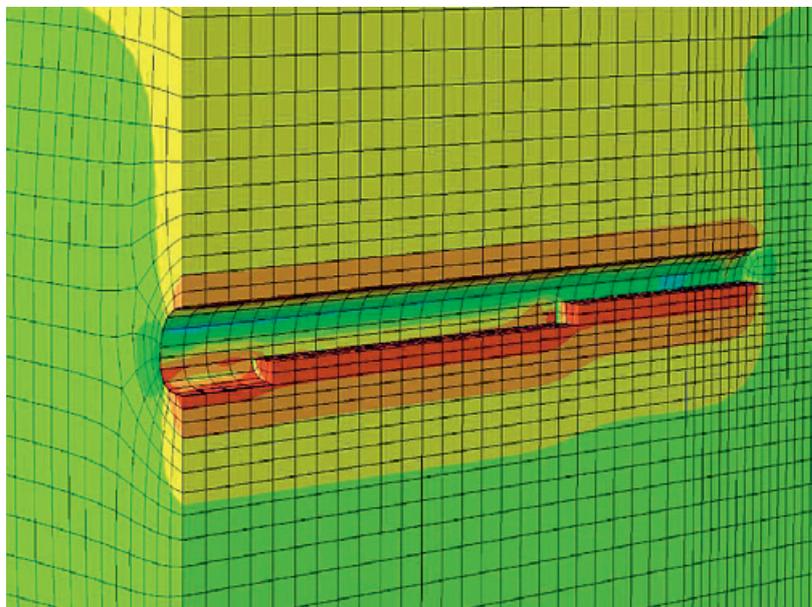


Abb. 2. Visualisierung eines NATM-Vortriebes mit Hilfe dreidimensionaler numerischer Simulationen [12]

Fig. 2. Visualization of NATM-tunnelling using 3-dimensional numerical simulations [12]

Since it had to be accepted that the exact rock parameters can only be obtained during the construction of the tunnel – “it’s dark in front of the pick” as the miners say, it was understood that maintaining and improving the observation methods is an essential consideration for tunnelling. This especially applies for tunnels in complex geological-geotechnical areas and tunnels with high overburden.

The Eurocode 7 states, the observation method and the review of the design during the construction is

werks feststellen kann – „vor der Hacke ist es duster“ wie die Bergleute zu sagen pflegen, wurde erkannt, dass die Aufrechterhaltung bzw. Verbesserung der Beobachtungsmethode ein Muss für den Tunnelbau ist. Dies trifft insbesondere für Tunnelbauwerke in komplexen geologisch-geotechnischen Gebieten und auf Tunnelbauwerke mit hoher Überlagerung zu.

Im Eurocode 7 wurde für die Bearbeitung von schwierigen geotechnischen Aufgabenstellungen die Beobachtungsmethode und ein Review des Designs während der Ausführungsphase als angemessen bzw. zweckdienlich festgehalten, sofern daraus nicht missbräuchlich ein „design as you go“ abgeleitet wird. [4]

Mit den ersten Anwendungen der NATM im innerstädtischen Bereich, also bei seicht liegenden Tunnelbauwerken mit Überbauung wurden realitätsnahe Rechenmodelle entwickelt. [5] Dabei wurde rasch erkannt, dass der Faktor Zeit insbesondere beim seicht liegenden Tunnelbau im Lockermaterial eine äußerst wichtige Rolle spielt. Wenngleich dieser Faktor auch beim Tunnelbau im Fels ein nicht zu vernachlässigender Faktor ist, schlagen sich zeitabhängige Verformungen im seicht liegenden Tunnelbau binnen kurzer Zeit als Setzungen bis zur Geländeoberfläche durch. Diesbezüglich waren dreidimensionale FE – Berechnungen unter Anwendung eines elastoplastischen Materialgesetzes mit einem Cap-Modell bei Vergleich mit den Messergebnissen sehr erfolgreich (Mang, Eberhardsteiner, Kropik, Meschke, Martak, Liebsch, 1994).

Aufgrund der Entwicklungen auf dem Gebiet der Stoffgesetze für Geomaterialien, die heute zum Teil bereits in kommerziellen Programmsystemen eingebaut werden und der Verfügbarkeit leistungsfähiger Hardware wurde und wird versucht numerische Berechnungen auch außerhalb des städtischen Tunnelbaus für geotechnische Fragestellungen zu nutzen.

Während in der Bodenmechanik vor allem kontinuumsmechanische Ansätze Verwendung finden (Finite Element Methoden, Randelementmethoden, Finite Differenzen Methoden), werden in der Felsmechanik vorwiegend Diskontinuumsmethoden angewendet. Dies deshalb, weil aus der praktischen Erfahrung bekannt ist, dass in felsmechanischen Fragestellungen große Deformation, bei welchen die einzelnen Felsblöcke während der Berechnungsanalyse ihren Kontakt zueinander verlieren können, abgebildet werden

convenient and useful for the processing of geotechnical challenging problems, as long as it does not turn into an improper “design as you go”. [4]

Within the scope of the first NATM applications in urban areas, e.g. shallow tunnels with overlying structures, calculation models close to reality were developed. [5] During this process it was soon discovered, that the factor time plays an essential role, especially for shallow tunnelling in loose ground. Even though this factor is not negligible for tunnelling in solid rock, time-related deformations in shallow tunnelling spread to the surface in form of settlements in very short time. Concerning this matter three-dimensional FE – calculations with the application of an elastoplastic material law including a cap-modell were very successful compared to the measuring data (Mang, Eberhardsteiner, Kropik, Meschke, Martak, Liebsch, 1994).

Due to developments on the material law sector for geomaterials, which are already included in commercial programme systems to some extent, as well as the availability of high-performance calculation hardware, it was and will be attempted to use numeric calculations for geotechnical problems beyond urban tunnelling projects.

While continuum-mechanical approaches are primarily used in soil mechanics (finite element methods, boundary element methods, finite difference methods) discontinuum methods are mainly applied in rock mechanics. This approach arises from the practical experience that in rock mechanical issues large deformations, due to single rock blocks, which may loose contact to each other during the calculation analysis, need to be properly taken into account. In soil mechanics on the other hand the material behaviour of the continuum needs to be simulated as well as possible by the material law. Unfortunately it was not possible to develop a universal material law for soils to this day. Thus the applicant faces the problem of choosing the appropriate material law formulation for his particular problem from countless available material laws described in the literature.

The difficulty in the mathematical formulation of a material law is that it must be able to realistically describe the distortion and stress path of gravel, sand or clay for the probable strains and stresses without

können müssen. In der Bodenmechanik dagegen, muss das Materialverhalten des Kontinuums durch das Materialgesetz sehr gut simuliert werden können. Leider ist es allerdings bis heute nicht gelungen, ein universelles Materialgesetz für Böden zu entwickeln. So steht der Anwender heute vor der Aufgabe aus den in der Literatur zahllos zur Verfügung stehenden Materialgesetzformulierungen die für seine Aufgabenstellung richtige Wahl zu treffen.

Die Schwierigkeit bei der mathematischen Formulierung des Materialgesetzes ist, dass dieses imstande sein soll, vom Kies über Sand bis zum Ton den Verzerungs-Spannungspfad für die wahrscheinlichen Beanspruchungen realistisch abzubilden und dabei Eigenschaften wie Anisotropie oder auch eine eventuelle Vorkonsolidierung nicht zu vernachlässigen. Will man dies alles berücksichtigen werden die mathematischen Formulierungen sehr komplex und die Inputparameter mit herkömmlichen Versuchen kaum bestimmbar. Die praktische Erfahrung, welche Parameter für die zu untersuchende Aufgabenstellung essentiell sind, ist daher nach wie vor von großer Bedeutung und eine Generalisierung der Materialgesetze derzeit noch nicht machbar. Geht es ausschließlich darum, den Bruchmechanismus rechnerisch zu erfassen, so kann auf ein Bruchgesetz wie beispielsweise Mohr-Coulomb zurückgegriffen werden. Dies bedeutet aber nicht, dass die zugehörigen Verformungen mit diesem Materialgesetz richtig berechnet bzw. abgebildet werden können.

Die einfachsten Materialgesetze sind lineare oder nichtlineare elastische Modelle, da wir hier nur wenige Inputparameter für die Berechnungen benötigen. Allerdings zeigen Geomaterialien kein elastisches Materialverhalten. Die erwartbaren Ergebnisse werden daher sowohl quantitativ als auch qualitativ mit der Wirklichkeit nicht viel zu tun haben.

Eine weitere Gruppe der in Verwendung stehenden Materialgesetze ist jene der linearen oder auch nicht linearen elastischen – perfekt plastischen Modelle. Diese Modelle verfügen zumindest über ein Kriterium, das die Festigkeit begrenzt. Das wohl bekannteste Materialgesetz dieser Gruppe ist das Mohr-Coulomb'sche Gesetz. Daneben fanden in der Vergangenheit aber auch das Materialgesetz von Tresca, Drucker-Prager und Mises bei geotechnischen Fragestellungen ihre Anwendung.

neglecting properties like anisotropy or possible pre-consolidation. If all this is taken into account, the mathematical formulations become immensely complex and the input parameters can barely be determined with conventional tests. Therefore the practical experience, which parameters are essential for which problem, is still of great importance and the generalisation of material laws is currently unfeasible. For just mathematically assessing the fracturing mechanism, a fracturing law such as Mohr-Coulomb may be used. Although this does not mean that the associated deformations can be properly calculated or assessed with this material law.

The simplest material laws are linear or non-linear elastic models, since only a few input parameters are needed for the calculation. Geomaterials, however, do not show elastic material behaviour. Thus the expectable results will not have much in common with reality quantitatively and qualitatively.

Another group of the material laws in use is the group of linear or non-linear elastic – perfect plastic models. At least these models include a criterion, which limits the strength. The properly best known material law from this group is the Mohr-Coulomb law. Besides this law, the material laws from Tresca, Drucker-Prager and Mises were used for geotechnical problems in the past.

With the development of material laws, which allow consolidation approaches along the stress path, it was at least possible to achieve more realistic calculation results for problems in loose materials. The probably best known material law of this kind is the Modified Cam-Clay Model, which has already been included in commercial programmes. Further requests of engineers, e.g. simultaneously taking anisotropy and fracture mechanisms characteristic for tunnelling into account, cannot be assessed and simulated with the commercial programmes currently on the market and need to be investigated in future scientific research.

Numerical methods certainly have the advantage of being able to take interactions between support and building ground into account. Of course numerical calculations deliver better results, if the soil characterisation complies well with reality – this is usually the case for shallow tunnel constructions. Therefore they

Mit der Entwicklung von Materialgesetzen die auch Verfestigungsansätze entlang des Spannungspfades erlauben, ist es zumindest für Aufgabenstellungen im Lockermaterial gelungen realistischere Berechnungsergebnisse zu erzielen. Als vielleicht bekanntestes Materialgesetz dieser Art sei das modifizierte Cam Clay Modell genannt, welches auch bereits in kommerziellen Programmen verfügbar ist.

Weitere Wünsche der Ingenieure, wie gleichzeitige Berücksichtigung von Anisotropie und vor allem die im Tunnelbau auftretenden Bruchmechanismen können mit den kommerziellen Programmen heute noch nicht abgebildet werden und müssen Thema zukünftiger Forschungsaufgaben sein.

Numerische Methoden haben sicherlich den Vorteil, dass eine Interaktion zwischen Ausbau und Baugrund berücksichtigt werden kann. Selbstverständlich werden numerische Berechnungen dort bessere Resultate bringen können, wo die Baugrundbeschreibung mit der Realität gut zusammenpasst – dies ist im Allgemeinen bei seicht liegenden Tunnelbauten der Fall. Daher eignen sie sich besonders hier für die Auslegung der Ausbaumaßnahmen.

Sind die Baugrundbedingungen weniger gut bekannt, können mit den numerischen Berechnungen nur qualitative Ergebnisse erzielt werden. Wie auch immer, eine Aussage zur Bauabfolge oder zur gewählten Baumethode kann auch mit qualitativen Ergebnissen oft sehr hilfreich sein.

Die zentrale Frage in diesem Zusammenhang ist „wie komplex muss ein Materialgesetz für den Tunnelbau sein, um eine ausreichende Sicherheit und Wirtschaftlichkeit der Dimensionierung gewährleisten zu können. [6]

Zwischenzeitlich wurden vom Markt in Abhängigkeit der anstehenden Baugrund-verhältnisse verschiedene numerische Programmpakete entwickelt. Man bekommt hin und wieder jedoch den Eindruck, dass die Wahl der Programmpakete nicht unter Zugrundelegung der anstehenden Fragestellung sondern vielmehr nach der Verfügbarkeit erfolgt. Problematisch scheint in diesem Zusammenhang, dass die Wahl des für die Aufgabenstellung falschen Programmpaketes zu vollkommen unrealistischen Ergebnissen führt.

are especially useful to assess the support measures in those cases.

If the building ground conditions are not well known, numerical calculations can only deliver qualitative results. However, a statement regarding the construction sequence or the chosen construction method can also be very helpful with qualitative results.

The central question in this context is “how complex does a material law for tunnelling need to be, to ensure sufficient safety and efficiency of the dimensioning”. [6]

Meanwhile various numerical software packages were developed by the market with regard to the specific building ground conditions. Although, one might occasionally get the impression that the choice of software is not based on the specific problem, but on availability. In this context it seems problematic, that the choice of a software package unsuitable for the task delivers completely unrealistic results.

In order to achieve proper progress in this field in the future, it seems inevitably to perform scientific research, which allows to mathematically describe construction ground conditions in a better way, to push towards application of probabilistic methods in order to better describe the parameter bandwidth and to postulate clearly comprehensible rules, which numerical software package can be used for which geotechnical problem.

It may also be mentioned that in shallow tunnelling calculations by using the coefficient of (sub)grade reaction are used occasionally. Since such calculations cannot reflect the stress development depending on deformation and the reality may only be assessed very inaccurately, larger safety reserves need to be planned for the construction phase.

A safe and efficient support dimensioning cannot be accomplished with the aid of calculation models alone. During the construction phase the calculation results need to be constantly complemented and optimised by means of evaluation and interpretation of geotechnical measurement results. As described by Vavrovsky [7], the support dimensioning is always a dialogue with the present rock. The tunnel engineer is requested to understand the language of the rock;

Um in diesem Fachgebiet in Zukunft entsprechende Fortschritte zu erreichen scheint es dringend geboten, Forschungsarbeiten durchzuführen, die es erlauben, die Baugrundeigenschaften mathematisch besser zu erfassen, ferner die Anwendung probabilistischer Methoden zu forcieren um die Bandbreite der Parameter besser abbilden zu können und klar nachvollziehbare Regeln aufzustellen, aus denen hervorgeht, welches numerische Programmpaket für welche Aufgabenstellung herangezogen werden kann.

Erwähnt sei auch, dass im seichtliegenden Tunnelbau ohne Überbauung hin und wieder Stabzugberechnungen zum Einsatz kommen. Da mit derartigen Berechnungen die Belastungsentwicklung in Abhängigkeit der Verformung nicht abgebildet werden kann und die Realität nur sehr ungenau erfasst werden kann, müssen hier größere Sicherheitsreserven für die Ausführungsphase vorgesehen werden.

Mit Hilfe von Berechnungsmodellen alleine ist eine sichere und wirtschaftliche Ausbaudimensionierung nicht durchführbar. In der Ausführungsphase müssen die Berechnungsergebnisse stets mit räumlichen Verformungsanalysen anhand der Auswertung und Interpretation von geotechnischen Messergebnissen ergänzt bzw. optimiert werden. Wie Vavrovsky [7] es ausdrückt, ist die Ausbaudimensionierung immer ein Zwiegespräch mit dem anstehenden Gebirge. Der Tunnelbauer ist aufgerufen, die Sprache des Gebirges zu verstehen; Berechnungsergebnisse alleine reichen für die Ausbaudimensionierung wohl bei weitem nicht aus.

In diesem Zusammenhang scheint ein Zitat von Rabcewicz angebracht, der da meinte, dass das Überwinden des Widerstandes der alten Praktiker gegen die wissenschaftliche Vorgangsweise und die systematische Beobachtung der Schlüssel zum Erfolg sind. „Haben wir einmal einige tausend Meßergebnisse, wird auch die Brücke zur rechnerischen Lösung gefunden.“ [8]

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass geologisch-geotechnische Strukturen über die derzeit verfügbaren mathematischen Formulierungen von Materialgesetzen nach wie vor schwer fassbar sind, der reale Spannungspfad mit den verfügbaren Materialgesetzen nicht vollkommen nachvollziehbar abgebildet werden kann und die Ermittlung der für

calculation results alone are by far not sufficient for dimensioning the support measures.

In this context a statement of Rabcewicz seems appropriate, since he meant that overcoming the resistance of the old practitioners against the scientific approach and systematic observation is the key to success. "Once we have several thousand measuring results, the link to the mathematical solution will be found." [8]

Summarising it may be noticed that geologic-geotechnical structures are still hardly assessable with the currently available mathematical formulations of material laws, that the real stress path cannot be mapped with the available material laws and that the standardised determination of the rock parameters necessary for the material laws is not feasible in many cases.

The goal of future scientific works should predominantly lie on the issues of taking the natural variation of ground properties and uncertainties into account to assure the reliability of the design, realising a better interconnection between the available (numerical) tools and developing methods, which allow a more precise determination and description of ground and system behaviours. Additionally, it should be pushed towards a further enhancement of interdisciplinary cooperation between practical experience and developers of numerical models. Recommendations should be developed for the numerous material laws existing in the literature, which material law can be applied under which boundary conditions. Considerably more attention needs to be paid to the rock mechanical characterisation of the geomaterial rock – laboratory tests alone are not sufficient in the medium-term. Especially numerical models need to be developed for rock, with which the fracturing process can be reproduced and understood. For both soil and rock much more effort needs to be invested into the acquisition of input parameters and back analyses. Last but not least more investigations regarding the time-dependent material behaviour should be conducted. All this will only be accomplished, if interdisciplinary approaches between the mentioned special fields are encouraged.

Even though the infrastructure is constructed by public authorities in most countries, it is not sufficiently

die Materialgesetze erforderlichen Gebirgsparameter häufig nicht standardisiert durchführbar ist.

Die Zielsetzungen der Forschungsarbeiten der Zukunft sollten verstärkt darauf eingehen, dass die natürliche Streuung der Baugrundeigenschaften und Unsicherheiten zur Überprüfung der Zuverlässigkeit der Planungen Berücksichtigung finden, eine bessere Vernetzung der zur Verfügung stehenden (numerischen) Werkzeuge erfolgt und Methoden entwickelt werden, die es erlauben, eine präzisere Ermittlung und Beschreibung von Gebirgs- und Systemverhalten durchzuführen. Ferner ist eine weitere Verstärkung des interdisziplinären Handelns zwischen praktischer Erfahrung und jenen die die numerischen Modelle entwickeln anzustreben. Für die zahlreichen in der Literatur vorhandenen Materialgesetze für Böden sollten Empfehlungen ausgearbeitet werden, unter welchen Randbedingungen welches Materialgesetz zur Anwendung gebracht werden kann. Für das Geomaterial Fels muss deutlich mehr Augenmerk auf die gebirgsmechanische Charakterisierung gelegt werden – Laborversuche alleine reichen hier mittelfristig nicht aus. Insbesondere müssen für Fels numerische Modelle entwickelt werden, mit welchen die Bruchentwicklung nachvollzogen werden kann. Sowohl für Boden als auch für Fels muss viel mehr Arbeit in die Beschaffung der Inputparameter und Rückanalysen investiert werden. Zu guter Letzt sollten Untersuchungen zum zeitabhängigen Materialverhalten forciert werden. Dies alles wird nur gelingen wenn die Interdisziplinarität zwischen den angesprochenen Fachgebieten gefördert wird.

Obwohl die Infrastruktur in den meisten Ländern von der öffentlichen Hand errichtet wird, ist sie in Weiterentwicklungen auf diesem Fachgebiet derzeit noch zu wenig eingebunden, obwohl sie am meisten daraus profitieren würde. Bis dato ist es nicht gelungen, den Entscheidungsträgern zu erläutern, dass alle diesbezüglichen Bemühungen der Erhöhung der Sicherheit und der Wirtschaftlichkeit dieser Bauwerke dienen. Unter Umständen ist es erforderlich, den volkswirtschaftlichen Nutzen derartiger Entwicklungen über mehrere Generationen darzustellen.

Mittelfristig wird es wohl so bleiben, dass nicht die Berechnung von Spannungs- und Verschiebungsfeldern unter Anwendung mathematischer Theorien sondern der gesunde Menschenverstand und das ingenieurmäßige Denken und Handeln für das sichere und wirt-

included in the further development in this special field, although it would benefit greatly from this research. Until now, it was not possible to exemplify to the decision-makers the fact that all efforts in this context contribute to an increase in safety and efficiency of these structures. It may be necessary to illustrate the economic benefits of such developments over several generations.

In the medium-term, it will remain unchanged that the responsible persons need to keep their focus on the common sense and the engineer thinking and doing for the safe and economic construction of underground structures, and not on the calculation of stress- and deformation fields with the use of mathematical theories. [9]

In the long-term, many more developments are to be expected in this sector. However, the central question is, if we can manage to find (and finance) motivated young colleagues, who already bring along both the competence and the will to accomplish interdisciplinary works with those, who have many years of practical experience in tunneling. [10]

Literature

- [1] Pilgerstorfer, T., Prediction of displacement development using closed form solutions, Diplomarbeit an der Technischen Universität Graz, 2008
- [2] Gschwandtner, G., Analytische Berechnungsansätze zum Kennlinienverfahren, Diplomarbeit an der Montanuniversität Leoben, 2010
- [3] Aldrian, W., Beitrag zum Materialverhalten von früh belastetem Spritzbeton, Dissertation an der Montanuniversität Leoben, 1991
- [4] Schubert, W., The Development of the Observational Method, Geomechanik und Tunnelbau, 5/2008
- [5] Martak, L., Liebsch, H., Seichtliegende Tunnel mit Überbaug - Ein Denkanstoß für Betrachtungsweisen der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode, Felsbau 12 (1994) Nr.5
- [6] Schweiger, H.F., The Role of Advanced Constitutive Models in Geotechnical Engineering, Geomechanik und Tunnelbau, Heft 5/2008
- [7] Vavrovsky, G-M., Gebirgsdruckentwicklung, Hohlraumverformung und Ausbaudimensionierung, Felsbau 12 (1994) Nr. 5

schaftliche Errichten von Untertagebauwerken im Fokus der Verantwortlichen Personen bleiben müssen. [9]

Langfristig sind auf diesem Gebiet aber noch viele Weiterentwicklungen zu erwarten. Die zentrale Frage ist allerdings ob es uns gelingen wird, begeisterte junge Mitstreiter (und deren Finanzierung) zu finden, die sowohl die Kompetenz als auch den Willen für interdisziplinäre Arbeiten mit jenen, die langjährige praktische Erfahrung im Tunnelbau haben, mitbringen. [10]

Referenzhinweise

- [1] Pilgerstorfer, T., Prediction of displacement development using closed form solutions, Diplomarbeit an der Technischen Universität Graz, 2008
- [2] Gschwandtner, G., Analytische Berechnungsansätze zum Kennlinienverfahren, Diplomarbeit an der Montanuniversität Leoben, 2010
- [3] Aldrian, W., Beitrag zum Materialverhalten von früh belastetem Spritzbeton, Dissertation an der Montanuniversität Leoben, 1991
- [4] Schubert, W., The Development of the Observational Method, Geomechanik und Tunnelbau, 5/2008
- [5] Martak, L., Liebsch, H., Seichtliegende Tunnel mit Überbaugung – Ein Denkanstoß für Betrachtungsweisen der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode, Felsbau 12 (1994) Nr. 5
- [6] Schweiger, H.F., The Role of Advanced Constitutive Models in Geotechnical Engineering, Geomechanik und Tunnelbau, Heft 5/2008
- [7] Vavrovsky, G-M., Gebirgsdruckentwicklung, Hohlraumverformung und Ausbaudimensionierung, Felsbau 12 (1994) Nr. 5
- [8] Schubert, W., Gebirgsdruck und Tunnelbau – aus der Sicht von Rabzecicz 1944, Felsbau 12 (1994) Nr. 5
- [9] Radončić, N., Tunnel design and prediction of system behaviour in weak ground, Doctoral Thesis 2011
- [10] Vavrovsky, G-M., Systemische Krise am Bau?, Festrede zum Betontag 2012, Schriftenreihe der Österreichischen Bautechnik Vereinigung Heft 71, April 2012
- [11] Feder G.: Versuchsergebnisse und analytische Ansätze zum Scherbruchmechanismus im Bereich tiefliegender Tunnel; Rock Mechanics Suppl. 6; 71–102; (1978)
- [12] Usman, M., Gschwandtner, G., Galler, R., 3-Dimensional Load Analysis of Lining in Tunnel using NATM, ICAGE, Perth, Australia, Nov 9th 2011

[8] Schubert, W., Gebirgsdruck und Tunnelbau – aus der Sicht von Rabzecicz 1944, Felsbau 12 (1994) Nr. 5

[9] Radončić, N., Tunnel design and prediction of system behaviour in weak ground, Doctoral Thesis 2011

[10] Vavrovsky, G-M., Systemische Krise am Bau?, Festrede zum Betontag 2012, Schriftenreihe der Österreichischen Bautechnik Vereinigung Heft 71, April 2012

[11] Feder G.: Versuchsergebnisse und analytische Ansätze zum Scherbruchmechanismus im Bereich tiefliegender Tunnel; Rock Mechanics Suppl. 6; 71–102; (1978)

[12] Usman, M., Gschwandtner, G., Galler, R., 3-Dimensional Load Analysis of Lining in Tunnel using NATM, ICAGE, Perth, Australia, Nov 9th 2011

50 Jahre Baubetrieb in der NATM – Streiflichter

50 years of construction with NATM – Highlights

Hans Georg Jodl, Technische Universität Wien, Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Austria,
hans.jodl@tuwien.ac.at, www.ibpm.tuwien.ac.at

1. Einleitung

50 Jahre NATM lassen eine stürmische Entwicklungsgeschichte im Baubetrieb erwarten. Bauen ist ein konservatives Geschäft, echte Neuerungen passieren in relativ großen Abständen. Gerade für die national wie international überaus erfolgreiche Vortriebsphilosophie der NATM erscheint diese Zeitspanne jedoch im Nachhinein relativ kurz. Die wichtigsten baubetrieblichen Neuerungen wurden auf der gerätetechnischen Seite mit der Errichtung der ersten großen alpenquerenden Straßentunnel, Tauern-, Katschberg und kurz nachher Arlbergtunnel entwickelt und eingesetzt. Viele Abläufe und Gerätschaften sind auch heute noch bewährt. Leistung, Steuerung, Verfügbarkeit und Reparaturanfälligkeit wurden stetig weiterentwickelt, die grundlegende Geräteausstattung für die NATM zeigt sich bis heute weitgehend ähnlich. Organisation, Prozesssteuerung, Datenerfassung und Dokumentation, Prüfmaßnahmen und Materialqualitäten stellen den höchsten Anteil an Veränderung. Der Grad der „Maschinisierung“ stieg platz- und systembedingt in einem geringeren Ausmaß. Die Weiterentwicklung der NATM ist aus baubetrieblicher Sicht ein konstanter anwendungsorientierter Prozess. Die gegenständliche Darstellung ist aus Platzgründen auf einige ausgesuchte Themen beschränkt.

2. Bohr- und Sprengarbeiten

Bis in die Mitte der Siebziger-Jahre war als Antriebsmedium für die Bohrmaschinen Druckluft gebräuchlich. Für kleine Querschnitte, z. B. ÖBB Kraftwerk Fulpmes, Unterwasserstollen Querschnitt 14,2 m², kamen Stützenbohrmaschinen zum Einsatz. Für größere Querschnitte, z. B. am Tauerntunnel, waren Böhler Raupenbohrgeräte Typ TC 110 mit Hammerbohrmaschinen Typ HM 751 Z nur mehr ergänzend zu den neuen Hydraulikbohrgeräten im Einsatz. Druckluftbe-

1. Introduction

50 years of NATM – this suggests a tempestuous history of development. In general, building tends to be a conservative business, true innovations happen at relatively large intervals. But considering the exceedingly successful tunnelling philosophy of NATM on both the national and international levels, this period appears surprisingly short when viewed in retrospect. The main innovations in terms of construction equipment were developed and used for the construction of the first major road tunnels through the Alps – Tauern, Katschberg and shortly afterwards Arlberg. Many processes and pieces of equipment have stood their test in hard service up to the present day. While their performance, control, availability and susceptibility to repairs have undergone constant improvement, the basic equipment needed for NATM projects has remained largely the same throughout all these years. Organisation, process control, data acquisition and documentation, testing methods and material qualities account for the greater part of the changes that have been made. The degree of mechanisation has risen less, which is due to systemic and spatial constraints. The continued development of NATM in terms of construction practice is a constant application-oriented process.

The following portrait of NATM needs to be confined to a few selected topics for reasons of space.

2. Drilling and blasting

Drilling rigs were powered by compressed air until well into the 1970s. Pusher-leg rock drills were used for minor profiles on projects such as the 14.2 m² cross section tailrace tunnel of the Fulpmes power development owned by Austrian Railways (ÖBB). For the larger cross sections, as on the Tauern Tunnel project, Böhler Type TC 110 crawler-mounted drilling equipment with Type HM 751 Z hammer drills were



Abb. 1. KW Fulpmes – Vortrieb im druckhaften Gebirge mit Esel und Halbmond
(Foto Jodl)

Fig. 1. Fulpmes hydro-electric development – Tunnelling aided by „donkey“ and „crescent“ as the tunnellers termed the two steel rails and arch in between provided as a safety measure in severely squeezing ground (Photo: Jodl)

triebene Stützenbohrhämmer sind allerdings auch heute noch in allen Tunnelvortrieben unentbehrlich, allerdings nur mehr für Notfälle, sehr kleine Querschnitte und einzelne Ergänzungsbohrungen, für die der Einsatz von Bohrwagen unwirtschaftlich wäre.

Die Einführung der hydraulischen Bohrgräte von etwa Mitte der 60er bis Mitte der 70er Jahre erhöhte schlagartig die Bohrleistung. Im 1971 begonnenen Baulos „Tauerntunnel-Nord“ war bereits ein schwerer Bohrwagen mit 11 hydraulischen Bohrräumen in 3 Ebenen für den Vollausbruch des Gesamtprofils von rund 100 m² vorgesehen, der als Bohrjumbo legendär wurde, allerdings konnte der Bohrjumbo wegen des nicht standfesten Gebirges nur eine kurze Strecke eingesetzt werden. Der Vortrieb wurde daher mit geteilter Ortsbrust nach dem damals neuen, heute bewährten System Kalotte – Strosse – Sohle aufgefahren. Bei dieser Vortriebsart kam eine adaptierte Bohrraupe D8 mit drei hydraulischen Bohrräumen zum Einsatz. Der mittlere Bohrraum vom Typ Tamrock-Rotaboom RP 625 konnte nur achsparallele Bohrlöcher bohren. Die beiden seitlichen Bohrräume vom Typ Tamrock-Zoomboom ZB 50 besaßen bereits radial schwenkbare Bohrlafetten für Ankerbohrungen. Für nachträgliche

only used to supplement the newly introduced hydraulic drills. In fact, compressed-air powered pusher-leg rock drills have remained indispensable aids in tunnelling to the present day, although now only being used in emergencies as well as for very small cross sections and now and then for a supplementary borehole where the use of a wagon drill would be uneconomical.

The drilling performance was raised substantially with the introduction of hydraulic drilling equip-

ment between the mid-sixties and the mid-seventies. On the Tauern Tunnel north lot, where work was begun in 1971, a heavy-duty wagon drill equipped with 11 hydraulic booms at three levels for full-face tunnelling was employed for the cross section of about 100 m². This drill went down in history as the famous drill jumbo. Nevertheless, its use was short on that project in the face of incompetent rock. Excavation of the face was continued with a subdivided cross section – top heading – bench – invert, then a novel idea, now a well-proven method. As a drilling equipment an adapted D8 crawler drill with three hydraulic booms was used. The central boom of Type Tamrock-Rotaboom RP 625 was able to drill axially parallel holes only. The two lateral booms of Type Tamrock Zoomboom ZB 50 were already equipped with radially swivelling feeds for anchor drilling. Subsequent radial drilling was carried out by hydraulic crawler drills of Type Zoomtrak. [1]

A gantry jumbo equipped with 2 platforms and 11 drilling booms was successfully employed in competent rock in the Katschberg Tunnel north section, reaching an advance rate of 8.3 m linear metres per 24 hours in full-face tunnelling. In the Katschberg Tunnel

Radialbohrungen kamen hydraulische Raupenbohrwagen der Type Zoomtrak zum Einsatz. [1]

Im standfesten Gebirge des Bauloses Katschbergtunnel Nord konnte ein unterfahrbarer Portaljumbo mit 2 Plattformen und 11 Bohrramen erfolgreich für eine durchschnittliche Vortriebsleistung im Vollausbuch von 8,3 Laufmetern pro 24 Stunden eingesetzt werden. Im Baulos Katschbergtunnel Süd kam bereits die „Mutter“ der heutigen Bohrwagen zum Einsatz, ein sogenannter „Bohrjumbo“ von Atlas Copco mit 4 hydraulischen Bohrramen mit Rotations- und Teleskopiereinrichtung, jeder mit Atlas Copco Cop 90 Bohrhämmern bestückt. Weiterentwickelte 3- und 4-armige vollhydraulische Bohrgeräte wurden dann auch am Arlbergstraßentunnel Ost eingesetzt. Moderne hydraulische Bohrwagen verfügen ebenfalls bis zu vier Ausleger mit allseits beweglichen Bohrlafetten für große Tunnel. Zusätzlich wird eine teleskopierbare Arbeitskonsole mit hoher Reichweite für Querschnitte bis zu ca. 210 m² eingesetzt. Der Bohrvorgang kann über computergestützte Kontrollsysteme automatisch gesteuert werden. Als Gesteinsbohrhämmer kommen Hochleistungshydraulikhämmer mit hoher Produktivität zur Anwendung. [2]

Hinsichtlich der Sprengtechnik ergaben sich wesentliche Entwicklungen. Eine besondere Herausforderung und Kostenfaktor war immer die sichere Lagerung der Spreng- und Zündmittel in speziellen Sprengstoffkavernen oder Sprengstoffbunkern. Die früher gebräuchlichen Sprengstoffe entwickelten erhebliche Sprengschwaden mit unangenehmen Auswirkungen auf Menschen und Bewitterung. Gelatinöse Sprengstoffe aus Nitroverbindungen (z. B. Gelatine Donarit)

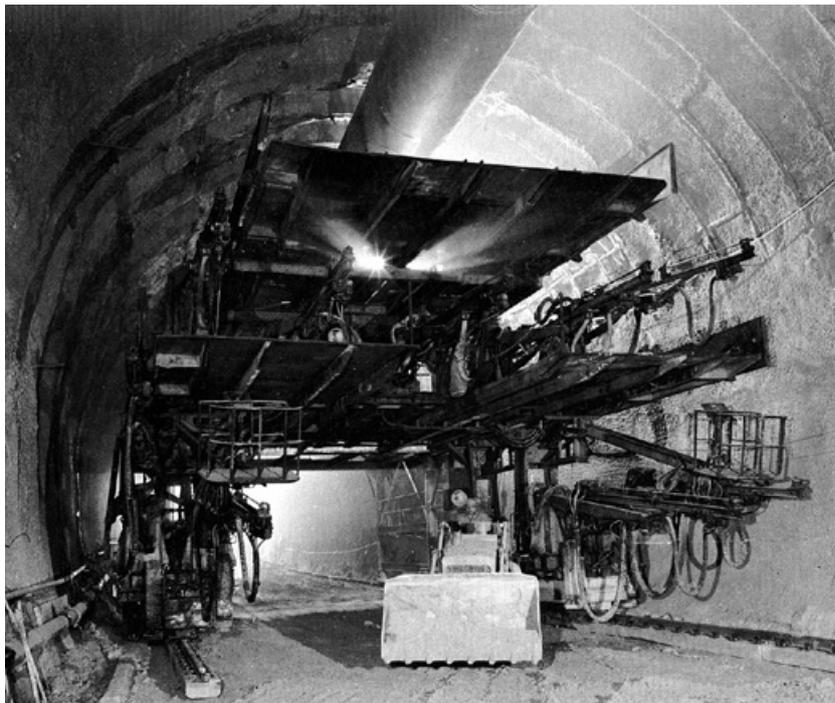


Abb. 2. Portalbohrwagen Katschbergtunnel Nord ([3] S. 786)
Fig. 2. Portal drill jumbo in Katschberg Tunnel North ([3] p. 786)

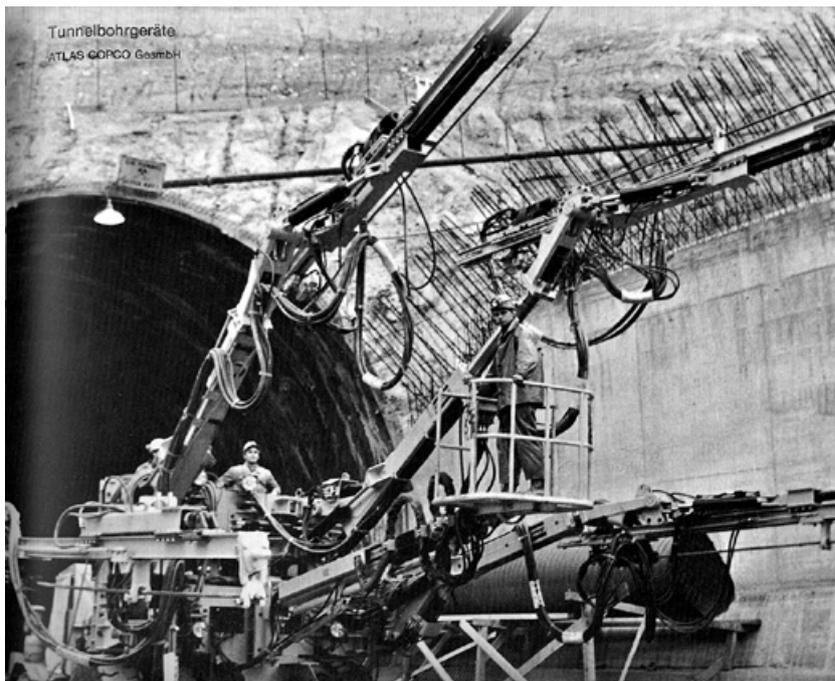


Abb. 3. Bohrwagen Katschbergtunnel Süd ([4] S. 797)
Fig. 3. Drill jumbo in Katschberg Tunnel South ([4] p. 797)

south section the „mother“ of today's wagon drills, the so-called Jumbo Drill manufactured by Atlas Copco with 4 telescoping hydraulic booms equipped with rotary swivels, each fitted with Atlas Copco Cop 90 hammer drills, was already used. Even more sophisticated 3 and 4 boom fully-hydraulic drilling equipment was then also used in the Arlberg Tunnel east section.

wurden und werden von Anfang an verwendet, jedoch wird seit langem versucht wegen der möglichen schädlichen Wirkung den krebserregenden Anteil zu reduzieren. Eine deutliche Verbesserung brachte Anfang der 90er Jahre die Einführung der wasserunempfindlichen Emulsionssprengstoffe mit einer wesentlich erhöhten Handhabungssicherheit und wegen der geringeren toxischen Schwadenbildung eine Verbesserung des Arbeitsumfeldes. Noch einen Schritt weiter geht die neuste Entwicklung mit dem direkt ins Bohrloch pumpbaren Emulsionssprengstoff, der erst vor Ort durch Sensibilisierung einer Matrix mit Spurenchemikalien in einem entsprechenden Mischladegerät als Sprengstoff erzeugt wird. Dieser Sprengstoff zeichnet sich durch sehr gute Wasserbeständigkeit, sehr geringe toxische Schadstoffanteile in den Schwaden und hohe Unempfindlichkeit gegen mechanische und thermische Beanspruchungen aus.

3. Baustelleneinrichtung, Bewetterung

Baustelleneinrichtungen für Tunnelvortriebe sind im Allgemeinen immer von einer relativ großen Flächeninanspruchnahme gekennzeichnet. Große Vorlagerflächen, portalnahe Materialzwischenlager und weitgehend autarke Werkstätten für den Durchlaufbetrieb benötigen früher wie heute viel Platz. Für Baustellen mit Gleisbetrieb sind Höhenunterschiede von mehreren Metern für die Unterbringung der Kippbrücke notwendig. Gestiegene Anforderungen an die Reinigung der Tunnelabwässer setzen große Absetzbecken und gegebenenfalls biologische Kläranlagen bzw. nachgeschaltete Kohlendioxid-Neutralisation voraus. Eine gegenüber den Anfängen der NATM Baustellen immer wichtiger werdende umweltschonende Maßnahme ist bei größeren Tunnelbaustellen die Verwendung des Ausbruchsmaterials als Rohstoff für Gesteinskörnungen für Spritzbeton, Innenschalenbeton und Drainagen. Erste diesbezügliche Versuche im großen Stil fanden am Säusensteintunnel Anfang der 90er Jahre statt, jedoch ohne baustelleneigene Aufbereitungsanlage. Die großen alpenquerenden Tunnel Lötschberg und Gotthard in der Schweiz setzten mit großem Erfolg auf eigene Materialbewirtschaftung, die losgelöst vom Tunnelbau vom Bauherrn an eigene Aufbereitungsunternehmer vergeben wurde.

Die Bewetterung erfolgte schon in den 70er Jahren bei größeren Profilen drückend mit Kunststofflatten

Modern hydraulic drill jumbos are also equipped with up to four booms with feeds movable in every direction for large tunnels. In addition, a large-reach telescoping working platform is used for cross sections of up to about 210 m². The drilling process can be controlled automatically via computer-aided control systems. High-capacity hydraulic hammer drills are used for hard rock. [2]

Important developments have been made in blasting techniques. The safe storage of explosives and igniters in special caverns or hoppers has always been a particular challenge and cost factor. The explosives formerly in use produced considerable vapours with bothersome effects on humans, requiring artificial ventilation. Gelatinous explosives from nitro compounds (such as Gelatine-Donarit) have always been used and are still in use, but attempts have long been made to reduce their carcinogenic components with their potentially toxic effects. A substantial improvement was brought about in the early nineties by the introduction of water-resistant emulsion explosives which ensured much greater handling safety and produced less toxic vapour so as to greatly enhance the work environment. A further development step is the recent introduction of an emulsion agent which can be pumped directly into the drill hole and is turned into an explosive in situ by means of a matrix sensitised with trace chemicals in an appropriate mix loader. This type of explosive boasts excellent resistance to water, a very low proportion of toxic contaminants in the vapours and high insensitiveness to mechanical and thermal stress and strain.

3. Site equipment, artificial ventilation

Site facilities for tunnel drives tend to be spacious. Substantial surfaces have always been and are still needed for preliminary storage, near-portal intermediate storage areas and the largely independent workshops to enable round-the-clock work. Where rail-mounted equipment is used, level differences must be provided to accommodate the tipper unloading bridge. Increased treatment requirements for used water from the tunnel call for the provision of large settling basins and possibly also biological sewage treatment or downstream carbon-dioxide neutralisation facilities. An environmentally compatible method for major tunnelling sites which has constant-

mit 1.600 bis 1.800 mm Durchmesser. Im kleindimensionierten Stollenbau, z. B. im Unterwasserstollen des ÖBB-Kraftwerks Fulpmes kam noch die saugende Bewetterung mit Blechlutten mit gedichtetem Schraubstoß zum Einsatz. Die Lüfter wurden leistungsfähiger und durch die elektronische Steuerung konnte vor allem das Energiemanagement wesentlich reduziert werden.

4. Vortriebslogistik, Geräteausstattung

In NATM Vortrieben im Festgestein hat sich die Anwendung des Gleisbetriebes, auf die mitgezogene Betonsohle verlegt für den Abtransport des Ausbruchsmaterials bei langen Tunnels und großen Profilen schon seit dem Tauerntunnel und dem Arlbergtunnel, gut bewährt. Bei kleinen Profilen lag das Gleis auf der unbefestigten Fahrbahn auf, wodurch ein erheblicher Wartungsaufwand für das Gleisstopfen anfiel. Als Beispiele können die fast zeitgleich Mitte der 70er Jahre vorgetriebenen Stollen Beileitung Melach (Länge 11,5 km, Querschnitt 10,5 m²) und Unterwasserstollen Fulpmes (Länge 6,2 km, Querschnitt 14 m²) genannt werden. Geschuttet wurde mit einem druckluftbetriebenen Überkopflader, der in Fulpmes dann auch durch einen Bandlader vom Typ Häggloader probenhalber ersetzt wurde. Wegen des kleinen Querschnitts kamen E-Lokomotiven mit je zwei Batteriesätzen zum Einsatz, den Materialtransport übernahmen mit einander verbundene Bunkerpendelwagen vom Typ Hägglund mit Kettenstegförderer am Wagenboden, wodurch auf der Kippbrücke eine durchgängige Entladung ohne Abkuppeln möglich war. [5]

Im österreichischen Tunnelbau für Verkehrsinfrastruktur kam, ab etwa der Jahrhundert- bzw. Jahrtausendwende, durch den verstärkten Einzug der Tunnelvortriebsmaschinen für große Querschnitte, das Förderband als Transportmittel zum Einsatz. Für NATM-Vortriebe ist das Förderband bei langen Tunnels mit Bewetterungsproblemen und bei großen Steigungen wegen der hohen Betriebssicherheit und der Entlastung des Versorgungsweges eine vielfach plausible Lösung. Nachteilig kann der relativ hohe Energieverbrauch im Leerlauf sein [5].

Großer Wert wurde schon in der „Frühzeit“ der großen NATM Vortriebe auf Schadstoffoptimierung bei

ly been gaining in importance since NATM was first employed, is the recovery of tunnel spoil as a raw material to serve as aggregate for sprayed concrete, secondary-lining concrete and drainage facilities. First large-scale tests were performed on the Säusenstein Tunnel project in the early 1990s, but without provision of an on-site preparation plant. The large trans-Alpine tunnel projects in Switzerland, Lötschberg and Gotthard, relied with great success on having their own materials management for which the client awarded separate contracts to aggregate preparation contractors.

Artificial ventilation for major cross sections was based on compressed air already in the 1970s, using 1.600 to 1.800 mm dia. plastic ducts. Up to the 1970s, galleries of minor diameter, such as the tailrace of the ÖBB-owned Fulpmes hydro development, were exhaust ventilated using sheet-iron ducts fitted with sealed screwed joints. The fans have since increased in efficiency and electronic control has greatly improved the energy management.

4. Tunnelling logistics, equipment

In NATM hard-rock tunnelling, track systems installed on the advancing concrete invert have proved successful ever since the construction of the Tauern and Arlberg Tunnels for the spoil haulage in tunnels of major length and cross sections. In tunnels of small cross section the rails were and sometimes are still placed directly on the unfortified ground, which involves substantial maintenance requirements in terms of track tamping. This was practised in two tunnels driven almost simultaneously in the mid-seventies – Melach diversion (11.5 km length, 10.5 m² cross section) and Fulpmes tailrace (6.2 km length, 14 m² cross section). Mucking was by means of a compressed-air driven overhead loader, which at Fulpmes was replaced by a Häggloader belt conveyor for testing purposes. In view of the small cross section electric locomotives equipped with two battery sets each were used. Materials haulage was by two Hägglund shuttle hoppers with chain conveyors installed in the car bottom, which enabled continuous unloading without the need for uncoupling on the tipper unloading bridge. [5]

The increasing advent of the tunnel boring machine for large cross sections in Austrian traffic tunnel con-

der Geräteausstattung gelegt. Am Arlbergtunnel Ost kamen bereits Mitte der 70er Jahre radgebundene Muldenfahrzeuge vom Typ Kiruna mit Abgaskatalysatoren und schadstoffoptimierten Dieselmotoren in den anderen Geräten zum Einsatz. Die Abgaswerte und die Kohlenstoffkonzentration im Tunnel wurden laufend gemessen und überwacht ([6] S. 561). Im Gegensatz zur früheren Verwendung vieler Spezialgeräte werden im modernen NATM-Vortrieb, wenn möglich, Standardgeräte auf dem neuesten technologischen Gerätestandard eingesetzt, auch um neben einfacher Ersatzgerätebeschaffung ohne großen Aufwand den Schadstoffausstoß so gering wie möglich zu halten.

Erstmalig in Mitte der 90er Jahre kam im Vereinastollen in der Schweiz die sogenannte „First- oder Hän-

struction since the turn of the century – or the millennium – has entailed the use of conveyor belts as a means of transport. For NATM drives in long tunnels with ventilation problems and/or major gradients these have often proved a satisfactory solution because of their operational reliability while easing traffic through the tunnel. However, their relatively high energy consumption during no-load running [5] may be a disadvantage.

An important focus of equipment design was laid on minimising contaminant emissions already in the early days of large-scale NATM drives. Kiruna wheel-mounted skips with catalytic exhaust converters and low-contaminant diesel engines in other equipment were used on the Arlberg East project already during the mid-seventies. Exhaust gas levels and the carbon dioxide concentration in the tunnel were constantly monitored ([6] p. 561). Unlike earlier applications of special equipment types, state-of-the-art standard equipment is used wherever possible in modern NATM work, not only with a view to easing equipment sourcing but also in order to minimise contaminant emission.

What has come to be described as “roof or hanging logistics” was used for the first time in the Vereina Tunnel in Switzerland. A frame of some 200 to 300 m length suspended from the tunnel roof and moved along with the advancing face carries supply and removal equipment for the work, such as belt conveyor, foot-path, ventilation equipment etc., clearing the invert for heavy-duty traffic. This not only improves the haulage performance by avoiding collisions but also and more importantly so, enhances the safety of the crews in the face working area. This new logistics system was used in Austria in the pilot gallery for the Semmering base tunnel project. [7]



Abb. 4. Hängebühnenkonstruktion Lötschbergtunnel (Foto Rowa)
 Fig. 4. hanging scaffold construction Lötschberg Tunnel (photo Rowa)

gelogistik“ zum Einsatz. Eine an der Firste aufgehängte und mitgezogene, ca. 200 bis 300 m lange Rahmenkonstruktion nimmt die Einrichtungen zur Ver- und Entsorgung des Vortriebs auf (Förderband, Gehweg, Bewetterung, etc.) und entlastet die Sohle für den Schwerverkehr. Neben der Leistungssteigerung durch Vermeidung von Kollisionen wird vor allem die Sicherheit für das Personal im vortriebsnahen Arbeitsbereich wesentlich gesteigert. Auch am Semmering Basistunnel Pilotstollen kam dieses für Österreich neue Logistiksystem zum Einsatz. [7]

5. Personal, Schichtbetrieb, Sicherheit

Gegenüber den Anfängen der NATM vor etwa 50 Jahren hat sich das Bild vom Mineur, dem „rauen Gesellen“ der seine Stützenbohrmaschine mit Urgehalt in das Gestein drückt, erheblich gewandelt. Bei Vortrieben nach der NATM waren und sind nach wie vor gut ausgebildete Mineure eine wichtige Voraussetzung für einen zügigen und sicheren Vortrieb. Arbeiten im Tunnel sind gefährlich und erfordern Disziplin und sichere Handhabung aller Gerätschaften und Arbeitsmittel. Tunnelmineure sind heutzutage hochspezialisierte Fachkräfte, die sich ihrer besonderen Arbeitssituation ständig bewusst sind. Mineure arbeiten im geologischen Umfeld mit einer respektvollen intensiven Beziehung zum Baugrund. Sie verfügen über ein entsprechendes Sensorium für potenzielle Gefahren und bewegen sich mit erhöhter Wachsamkeit für alle Arten von Unregelmäßigkeiten im Baubetrieb und im Gebirgsverhalten. Mineure sind nicht nur besonderen physischen, sondern auch erhöhten mentalen Belastungen ausgesetzt. Seit 50 Jahren ist es üblich, dass in den Vortrieben nach der NATM der Grundsatz gilt: „einer für alle, alle für einen“. Naturgemäß waren die Vortriebsarbeiten in den frühen Jahren der NATM wesentlich gefährlicher als heute. Die Statistik Austria weist in einer Tabelle aller anerkannten Versicherungsfälle zwischen 1975 und 2010 eine Reduktion der nicht spezifizierten Arbeitsunfälle um 63,5 % bzw. der tödlichen Arbeitsunfälle um 71 % [8]. In einer Statistik der AUVA werden die anerkannten Arbeitsunfälle im Tunnel- und Brückenbau zwischen 2007 und 2011 mit 6,6 % (724 von 10.999) ausgewiesen, wobei hier der Tiefbau mit 10,7 % generell gegenüber dem Hochbau und sonstigen Bauarbeiten (10.999 von 102.834) relativ gut abscheidet.

5. Personnel, shift work, safety

The image of the miner as a raucous fellow vigorously pressing his pusher-leg rock drill into the rockmass has undergone a great change since the beginnings of NATM about 50 years ago. Well-trained miners have always been and still are indispensable for speedy and safe NATM tunnel driving. Work in a tunnel is hazardous and calls for discipline and safe handling of all equipment and appliances. Tunnel miners today are highly specialised experts aware at all times of their particular working situation. Miners work within their geological environment in an atmosphere of a close and respectful relationship with the ground. They possess a special feel for potential hazards and move with an acute alertness for any kind of irregularity in the construction process or the behaviour of the ground. Miners are exposed to particular stress, both physical and mental. „All for one and one for all“ has been the declared motto of NATM work for 50 years. Naturally, tunnelling in the early years was much more hazardous than it is today. A Statistik Austria table listing all acknowledged insurance cases between 1975 and 2010 shows a 63,5 % reduction in non-specified work accidents and a 71 % reduction in casualties [8]. A statistic issued by the Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (Austrian accident insurance) lists 6,6% (724 out of 10,999) acknowledged work accidents in tunnel and bridge construction between 2007 and 2011, with civil engineering construction, by accounting for 10,7 %, coming out relatively well as against building construction and other construction work (10,999 out of 102,834). This can be interpreted as particular alertness and prudence being exercised within the exceedingly risky environment in which civil engineering work and, in particular, tunnelling is performed [9].

Shift work has improved with the restriction of working hours to 8 per shift. Long 12-hour shifts were practised up to the 1970s. The so-called 4/3 system based on 10 (or 9) days' round-the-clock work has now stood its test and is generally practised in conventional tunnelling. This means that tunnelling is performed by three crews simultaneously present on site, each working for 8 hours. The fourth one-third is on a four or five day leave. That means the maximum number of working hours p.a. is observed while the normal weekly working hours may exceed 40 provided the maximum number of working hours per week as specified in the wage agreement is not exceeded

Dies kann dahin gehend ausgelegt werden, dass im Tiefbau und insbesondere im Tunnelbau eben wegen des hochrisikoreichen Arbeitsumfeldes besondere Wachsamkeit und Vorsicht geübt wird [9]

Der Schichtbetrieb hat sich mit der Einschränkung der Arbeitszeit auf 8 Stunden je Schicht verbessert. Noch in den 70er Jahren waren lange 12-Stundenschichten üblich. Der sogenannte 4/3 Betrieb als Dekaden-Durchlaufbetrieb hat sich bewährt und ist im konventionellen Tunnelbau generell üblich. In dieser Arbeitsform wird der Vortrieb rund um die Uhr mit 3 anwesenden Vortriebsmannschaften mit je 8 Stunden Arbeitszeit geführt, das vierte Drittel befindet sich im 4 bis 5-tägigen Abgang. Die Durchrechnungszeiten pro Jahr sind einzuhalten, d.h. die wöchentliche Normalarbeitszeit kann auf über 40 Stunden ausgedehnt werden, wenn in einem definierten Durchrechnungszeitraum die übliche wöchentliche Normalarbeitszeit nach Kollektivvertrag im Durchschnitt nicht überschritten wird. Die Konzentration und damit die Arbeitssicherheit ist in einer 8-Stunden Schicht hoch. Für die Mannschaft ist diese Betriebsform angenehm und durch den längeren Abgang mit den privaten Ansprüchen gut planbar.

Nicht nur die Fahrzeuge wurden sicherer durch entsprechende Ausleuchtung und Signalgebung bei Rückwärtsfahrten, auch der Schadstoffausstoß der Dieselaggregate wurde durch Einbau von Abgasrückführung und Partikelfilter mit thermischer Regeneration wesentlich reduziert. Die Zeiten, als am Stollenportal ein Fass mit frischer Milch für die ausfahrenden Mineure bereit stand, sind längst vorbei. Eine erhebliche Entwicklung ist auch in der Steuerung und Kontrolle der Gerätschaften zu beobachten. Datenaufzeichnung und -Speicherung sind Stand der Technik und ermöglichen laufende Leistungskontrollen und Verbesserungen.

Literaturverzeichnis

- [1] Köllensperger Günther. Planung, Projektierung und Bau der Tauernautobahn-Scheitelstrecke. [Buchverf.] Tauernautobahn AG. Tauernautobahn Scheitelstrecke Band I. Salzburg: Tauernautobahn AG Eigenverlag, 1976.
- [2] Arge Porr-Union-Universale-Hinteregger-Mayreder-Rella. Der Tauerntunnel. Tauernautobahn Schei-

when averaged over an agreed period of time. The mental concentration and therefore, working safety in a 8-hour shift is high. The crew likes this system, which permits good planning for private needs thanks to relatively long periods of time off.

Vehicle traffic has become safer due to appropriate lighting and signalling during reversing and contaminant emission from diesel generator sets have been significantly reduced through exhaust gas recycling and particle filters with thermal regeneration equipment. The time when a barrel of fresh milk stood by the portal for miners to help themselves before entering the tunnel are over. Considerable development has also taken place in equipment control and monitoring. Data recording and storage are state of the art and permit constant performance checking and improvement.

References

- [1] Köllensperger Günther. Planung, Projektierung und Bau der Tauernautobahn-Scheitelstrecke. [Buchverf.] Tauernautobahn AG. Tauernautobahn Scheitelstrecke Band I. Salzburg: Tauernautobahn AG Eigenverlag, 1976.
- [2] Arge Porr-Union-Universale-Hinteregger-Mayreder-Rella. Der Tauerntunnel. Tauernautobahn Scheitelstrecke Band II. Salzburg: Tauernautobahn AG Eigenverlag, 1976.
- [3] Das Baulos „Katschbergtunnel-Nord“. [Buchverf.] Tauernautobahn AG. Tauernautobahn Scheitelstrecke Band II. Salzburg: Tauernautobahn AG Eigenverlag, 1976.
- [4] Atlas Copco GesmbH. Tunnelbohrgeräte. [Buchverf.] Tauernautobahn AG. Tauernautobahn Scheiteltunnel Band II. Salzburg: Tauernautobahn AG Eigenverlag, 1976.
- [5] Lauffer Harald. Die Logistik langer Tunnelvortriebe. [Buchverf.] Altinger/Heegemann/Jurecka. Festschrift 60. Geb. Prof. Jodl. Wien: Eigenverlag Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2007.
- [6] Arge ATO Oberranzmeyer-Soraviabau-Ilbau AG-Innerebner & Mayer. Vortrieb und Ausbau im Haupttunnel Ost einschließlich Kaverne und schacht Maienwasen. [Buchverf.] Arlberg Strassentunnel AG. Der Arlberg Strassentunnel und die Zufahrtsrampen - Baudokumentation. Innsbruck: Eigenverlag Arlberg Strassentunnel AG, 1981.

telstrecke Band II. Salzburg: Tauernautobahn AG Eigenverlag, 1976.

[3] Das Baulos „Katschbergtunnel-Nord“. [Buchverf.] Tauernautobahn AG. Tauernautobahn Scheitelstrecke Band II. Salzburg: Tauernautobahn AG Eigenverlag, 1976.

[4] Atlas Copco GesmbH. Tunnelbohrgeräte. [Buchverf.] Tauernautobahn AG. Tauernautobahn Scheiteltunnel Band II. Salzburg: Tauernautobahn AG Eigenverlag, 1976.

[5] Lauffer Harald. Die Logistik langer Tunnelvortriebe. [Buchverf.] Altinger/Heegemann/Jurecka. Festschrift 60. Geb. Prof. Jodl. Wien: Eigenverlag Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2007.

[6] Arge ATO Oberranzmeyer-Soraviabau-Ilbau AG-Innerebner & Mayer. Vortrieb und Ausbau im Haupttunnel Ost einschließlich Kaverne und schacht Maienwasen. [Buchverf.] Arlberg Strassentunnel AG. Der Arlberg Strassentunnel und die Zufahrtsrampen – Baudokumentation. Innsbruck: Eigenverlag Arlberg Strassentunnel AG, 1981.

[7] Rowa Tunnelling Logistics AG. Rowa Tunnelling Logistics. Referenzblatt Raron Lötschbergtunnel. [Online] 05 2005. [Zitat vom: 28. 05. 2012.] http://www.rowa-ag.ch/images/PDFs/ref_Raron_d.pdf.

[8] Statistik Austria. Anerkannte Versicherungsfälle siet 1975. [Online] 30. 09 2011. [Zitat vom: 28. 05. 2012.] http://www.statistik.at/web_de/statistiken/gesundheit/unfaelle/arbeitsunfaelle/026374.html.

[9] Unfallstatistik Bauwesen 2011. hst@auva.at. [Online] 2011. http://www.auva.at/mediaDB/788221_Unfallstatistik%20Bauwesen.pdf.

[10] Arge Oberanzmeyer-Ilbau AG-Soravia Bau. Das Baulos „Katschbergtunnel-Süd“. [Buchverf.] Tauernautobahn AG. Tauernautobahn Scheiteltunnel Band II. Salzburg: Tauernautobahn AG Eigenverlag, 1976.

[7] Rowa Tunnelling Logistics AG. Rowa Tunnelling Logistics. Referenzblatt Raron Lötschbergtunnel. [Online] 05 2005. [Zitat vom: 28. 05 2012.] http://www.rowa-ag.ch/images/PDFs/ref_Raron_d.pdf.

[8] Statistik Austria. Anerkannte Versicherungsfälle siet 1975. [Online] 30. 09 2011. [Zitat vom: 28. 05 2012.] http://www.statistik.at/web_de/statistiken/gesundheit/unfaelle/arbeitsunfaelle/026374.html.

[9] Unfallstatistik Bauwesen 2011. hst@auva.at. [Online] 2011. http://www.auva.at/mediaDB/788221_Unfallstatistik%20Bauwesen.pdf.

[10] Arge Oberanzmeyer-Ilbau AG-Soravia Bau. Das Baulos „Katschbergtunnel-Süd“. [Buchverf.] Tauernautobahn AG. Tauernautobahn Scheiteltunnel Band II. Salzburg: Tauernautobahn AG Eigenverlag, 1976.

Die vertragliche Abwicklung von Untertagebauarbeiten nach der New Austrian Tunnelling Method

The contractual practice for underground work projects using the New Austrian Tunnelling Method

Walter Purrer, Universität Innsbruck, Austria, w.purrer@me.com, www.uibk.ac.at/i3b

1. Chronologie

Kurz vor jenem Zeitpunkt, als der Autor dieses Beitrages seinen beruflichen Einstieg in den praktischen Tunnelbau feierte, ist die Werkvertragsnorm ÖNORM B2203 vom 01. Juli 1983 offiziell in Kraft getreten. Diese Werkvertragsnorm war aus der Vorgängernorm von 1978 und einer

Vornorm von 1975, d. h. einem Werk, das noch nicht als „Werkvertragsnorm“, sondern als „Richtlinien und Vertragsbestimmungen“ bezeichnet wurde, entstanden und sollte über einen Zeitraum von 11 Jahren die Grundlage der Untertagebauarbeiten und damit auch aller Arbeiten nach der Neuen Österreichischen Tunnelmethode in Österreich sein.

Am 1. Oktober 1994 wurde eine überarbeitete Version der B2203 veröffentlicht und er sollte weitere 7 Jahre dauern bis auch diese von der ÖNORM B2203-1 abgelöst wurde (1. Dezember 2001). Ab diesem Zeitpunkt wurde die Werkvertragsnorm für Untertagebauarbeiten in einen Teil1 „Zyklischer Vortrieb“ B2203-1 und einen Teil2 „Kontinuierlicher Vortrieb“ B2203-2 getrennt. Letztere wurde allerdings erst gut 3 Jahre später, d. h. am 1. Jänner 2005 veröffentlicht.

Für den Zyklischen Vortrieb ist die gültige Werkvertragsnorm B2203-1 somit bereits mehr als 10 Jahre in Kraft und sie wird im Februar 2013 die Werkvertragsnorm für Untertagebauarbeiten mit der längsten Gültigkeitsdauer sein.

2. Grundlagen und Ziele

Tunnelbau ist eine Ingenieurdisziplin, die geprägt ist von einem hohen Maß an Unvorhersehbarkeit. Vor allem die Unsicherheiten des Baugrundes, d. h. sowohl dessen Beschaffenheit als auch dessen Verhalten erfordern eine Vorgangsweise, die sich von vielen anderen Ingenieurdisziplinen unterscheidet:

1. History

Shortly before the author of this article celebrated his professional entry in the field of practical tunnel construction, ÖNORM B2203 of July 1st 1983, an Austrian standard regarding contracts for work, had officially entered into force. This standard had developed from a predecessor standard of 1978 as well as from a preliminary instrument of 1975, which was not yet termed „standard regarding contracts for work“, but went under the title „guidelines and terms of contract“. In the next 11 years, the 1983 standard was to be the basis governing underground work, thus extending to include all work using the New Austrian Tunnelling Method in Austria.

A revised version of the B2203 was published on October 1st 1994, and another 7 years were to pass until this was superseded by ÖNORM B2203-1 issued on December 1st 2001. From that time, the standard governing contracts for underground construction work, „Werkvertragsnorm für Untertagebauarbeiten“ with the official English title „Underground Works – Works Contract“, has been split into two separate parts, Part 1 „Cyclic Driving (Conventional Tunnelling)“ and Part 2 „Continuous Driving (TBM Tunnelling)“. The latter was published more than three years later, on January 1st 2005.

The standard on conventional tunnelling has thus been in force for more than 10 years and by February 2013 will be the standard for underground construction work with the longest period of validity.

2. Fundamentals and Goals

Tunnel construction is an engineering discipline that is characterised by a large measure of unpredictability. The uncertainties of the ground – both its properties and its behaviour – call for an approach

Die Besonderheit liegt in der intensiven Rückkopplung zwischen Annahmen und Wirklichkeit: Laufend sind Informationen über tatsächliche Baugrundbeschaffenheit, tatsächliches Baugrundverhalten und die Interaktion des Baugrundes mit den tatsächlich gewählten Vortriebsmaßnahmen (d. h. Stützmaßnahmen und Bauabläufe) einzuholen. Daraus erfolgt eine ebenso laufende Anpassung aller Vortriebsmaßnahmen, mit denen die Ziele des Projektes wie z. B. Sicherheit, Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit, Verträglichkeit mit Anrainerbedürfnissen etc. erreicht werden sollen.

Die Umsetzung dieser Prinzipien in die Praxis erfordert neben technischer Kompetenz eine weitere wichtige Voraussetzung, nämlich den „flexiblen“ Bauvertrag. Dieser muss derart gestaltet sein, dass er das Erreichen der Projektziele bestmöglich unterstützt. Bei der Entwicklung der Werkvertragsnorm ist dieses Bemühen, die Anpassung aller Vortriebsmaßnahmen durch einen „flexiblen“ Bauvertrag bestmöglich zu unterstützen, als „roter Faden“ in den vergangenen 50 Jahren erkennbar. Alle bisherigen Werkvertragsversionen der B2203 bzw. B2203-1 und B2203-2 haben daher die folgenden Gemeinsamkeiten:

- das Baugrundrisiko, d.h. das Risiko für Änderungen sowohl der Beschaffenheit als auch des Verhalten des Baugrundes wird vom Auftraggeber getragen
- der Bauvertrag enthält Einheitspreise für alle Vortriebsmaßnahmen, die aufgrund der Ausschreibungsplanung erwartet werden
- vergütet werden nicht die geplanten, sondern die tatsächlich eingesetzten Vortriebsmaßnahmen
- die Positionen des Leistungsverzeichnisses und die Vergütungsmodelle sind so strukturiert, dass bei Änderungen im Vortrieb die entsprechende Anpassung der Vergütung über die entsprechend geänderten Mengen weitgehend automatisch erfolgt
- der Bauvertrag sieht für die tatsächlich gewählten Vortriebsmaßnahmen eine Entscheidungsfindung im Einvernehmen zwischen AG und AN vor
- für den Fall nicht erzielbaren Einvernehmens wird eine „Rückfallebene“ in Form einer verbindlichen Entscheidung durch einen anerkannten neutralen Experten eingerichtet

Hinter diesen Gemeinsamkeiten steht das Ziel „Kooperation“ zwischen allen Projektbeteiligten zu unterstützen, d.h. eine Situation des „Win-Win“ zu be-

that needs to differ from many other engineering disciplines:

The peculiarity of tunnelling lies in the intensive feedback between assumptions and reality. Constant information needs to be sought on the actual properties and the actual behaviour of the ground as well as its interaction with the tunnelling measures actually selected (such as support measures and construction sequences). This entails the need for the equally constant adjustment of all tunnelling measures with the aim of reaching the goals of the project such as safety, economy, environmental compatibility, allowance for the needs of residents etc.

Translating these principles into the daily practice of construction activities requires not only technical competence but also a „flexible“ construction contract as a condition of equal importance. This contract should be formulated so as to help the attainment of the project goals in the best possible manner. The effort of providing optimal support to the adjustment of all tunnelling measures through a flexible contract has thus been the golden thread running through the development of the ÖNORM standard over the past 50 years. All the versions of ÖNORM standards B2203 as well as B2203-1 and B2203-2 share the following basic ideas:

- *The risk of the ground, that is, the risk of both variations in ground properties and ground behaviour as tunnelling advances is borne by the client*
- *The construction contract specifies unit prices for all tunnelling measures to be expected on the grounds of the ideas underlying tender planning*
- *Payment is made for tunnelling measures actually implemented rather than those planned*
- *The items listed in the specifications and the payment models are structured so as to permit the largely automatic adjustment of payment to the changed quantities in case changes occur during tunnelling*
- *The construction contract provides for joint decision-making between client and contractor in matters regarding the tunnelling measures actually selected*
- *Where no agreement is reached, a binding decision is sought from a neutral approved expert as a fallback solution.*

The idea behind these common points is to support the cooperation among all those involved in the pro-

günstigen, bei dem sowohl die übergeordnete Projektziele als auch die Eigeninteressen der Projektbeteiligten berücksichtigt werden.

3. Die Entwicklung der B2203 im Rückblick

Die rückblickende Betrachtung der Entwicklung der B2203 beginnt mit der Version des Jahres 1983:

Wie in der Chronologie erwähnt, war diese Werkvertragsnorm mehr als 11 Jahre lang in Verwendung. Sie hat sich als eine gute Grundlage für das Erreichen der Ziele beim Tunnelbau nach der NATM bewährt. Der Grund für die Neuauflage des Jahres 1994 ist im Zusammenhang mit der allgemeinen gesellschaftlichen Entwicklung erklärbar:

Die B2203 1983 sieht eine Gebirgsklassifikation nach dem „bautechnischen Verhalten und den sich daraus ergebenden Folgerungen“ vor. Sie ergibt sich aus der „Wechselwirkung von Stehzeit, Stützweite, Verformungsmaß und Verformungsgeschwindigkeit, dem Vortriebsverfahren und den dadurch notwendigen Stützungsmaßnahmen“ (Textierung gemäß Punkt 2.3 dieser Norm). Für diese Gebirgsklassifikation enthält die B2203 von 1983 eine Tabelle, die insgesamt 7 Gebirgsgüteklassen unterscheidet. Die Unterscheidung des bautechnischen Verhaltens erfolgt durch Begriffe wie „standfestes“, „nachbrüchiges“, „gebräches“, „druckhaftes“ oder „fließendes“ Gebirge. Der Einfluss der Stützmaßnahmen auf den Vortrieb wird ebenso durch Begriffe wie „unbehindert“, „teilweise behindert“, „fallweise unterbrochen“ etc. definiert.

In den 11 Jahren der Anwendung dieser Norm wurde festgestellt, dass die Gebirgsklassifikation anhand dieser Begriffe subjektiven Einschätzungen unterworfen ist und schwer objektiviert werden kann. Dazu kam, dass die allgemein sinkenden Preise im Tunnelbau die Eigeninteressen der Vertragspartner verschärften, und zwar in Richtung einer Einflussnahme auf die Gebirgsklassifikation nach wirtschaftlichen Kriterien. Daher wurde der Wunsch nach einer besseren Objektivierbarkeit stärker und die allgemeine gesellschaftliche Entwicklung hat diese Forderung einer Objektivierbarkeit nach nachvollziehbaren Kriterien zusätzlich unterstützt.

Die B2203 von 1994 hat sich daher von der o.a. begrifflichen Unterscheidung der Gebirgsgüteklassen verabschiedet und stattdessen die vom Unternehmer zu erbringende Vortriebsleistung in der Vordergrund

ject, helping in fact to create a win-win situation with due allowance being made for the superior objectives of the project and the individual interests of all concerned.

3. The development of B2203 in retrospect

Reflecting on the development of the B2203 takes us back to the year 1983:

As mentioned in the above chronology, this standard regarding contracts for work remained in use for more than 11 years. It proved to be an excellent basis for reaching the goals of tunnel construction by use of NATM principles. The publication of a new version in 1994 was intended to reflect the general social development that had been taking place:

Standard B2203 of 1983 provided for classifying ground according to „the structural behaviour and the requirements involved“. This classification arises from the „interaction between stand-up time, span, deformation magnitude and deformation rate, the tunnelling method employed and the support requirements involved „(see item 2.3 of this standard). The B2203 of 1983 included a table listing a total of 7 rock quality classes as a basis for rock classification. Structural ground behaviour was classified by terms such as „competent“, „susceptible to roof falls“, „squeezing“ or „flowing“. The influence of support requirements on the rate of advance was defined by terms such as „unimpeded“, „partly impeded“, „occasionally interrupted“ etc.

During the 11 years of application of this standard, however, classification based on these terms was found to be amenable to subjective judgment rather than objective assessment. In addition, the fact of generally declining prices in tunnelling was accentuating the contractual partners' self-interests, encouraging a trend towards controlling rock classification according to economic criteria. This finally aroused the desire for greater objectivity, and the general social development gave additional impetus to the demand for objective classification according to clearly comprehensible criteria.

The B2203 of 1994 thus took leave of the differentiation of rock quality classes based on the above terms describing rock properties and placed its emphasis on the tunnelling work to be implemented by the contractor. In the light of the practical ex-

gestellt. Aus der mittlerweile gewonnenen praktischen Erfahrung wurden 2 Parameter als leistungsbestimmend, d.h. als maßgebende Kriterien für die erzielbare Vortriebsleistung definiert: Die Abschlagslänge und die nach jedem Abschlag einzubauenden Stützmaßnahmen. Es wurden 2 Ordnungszahlen festgelegt, die erste für einen gestaffelten Abschlagslängenbereich und die zweite für Umfang und Art der zeitbestimmenden Stützmaßnahmen, dieser ebenso mit Bandbreiten versehen und gestaffelt. Daraus ergab sich eine Vortriebsklassenmatrix.

Dieselbe Zielrichtung der verbesserten Objektivierbarkeit nach der erzielbaren Leistung hat auch dazu geführt, dass in der B2203 von 1994 eine gesonderte Klassifizierung der Strosse und Sohle vorgenommen wurde. Die Version von 1983 hatte die Klassifizierung der Kalotte als maßgebend für das gesamte Profil fixiert. Schließlich wurde auch der Begriff Gebirgsgüteklasse nicht mehr verwendet, mit den neuen Kriterien wurde als neuer Begriff die „Vortriebsklasse“ eingeführt.

Die praktische Anwendung der neuen ÖNORM B2203 von 1994 bestätigte, dass das angestrebte Ziel der verbesserten Objektivierbarkeit erreicht werden konnte. Zugleich wurden aber auch neue Fragen aufgeworfen, die nicht so sehr mit der Objektivierbarkeit der Vortriebsklassifizierung, sondern vielmehr mit dem weiter sinkenden Preisniveau in österreichischen Tunnelbau und der dadurch verschärfte Verfolgung von Eigeninteressen durch die Projektbeteiligten im Zusammenhang steht. Hier einige der neu entstandenen Fragestellungen:

- Sprunghafte Erlössituation: Wahl von Abschlagslängen und Vortriebsmaßnahmen an der oberen bzw. unteren Grenze der Bandbreite einer Vortriebsklasse
- Ermittlung von Einheitspreisen und vertraglichen Leistungen für Vortriebsklassen außerhalb der urvertraglichen Vortriebsklassenmatrix („neue“ Vortriebsklassen)
- Vorläufige Verrechnung von „neuen“ Vortriebsklassen in Teilrechnungen
- Verrechnung von Vortriebsklassen mit unterschiedlicher Art der Stützmittel „Stützmittelmix“ bei gleicher 2.Ordnungszahl
- Umgang mit vorausseilenden Stützmittel wie z. B. Ortsbrustanker

Für die Lösung der neu entstandenen Fragestellungen wurden unterschiedliche Lösungswege beschritten:

perience gathered in the meantime, two parameters have emerged as determining advance rates in tunnelling and, consequently, as being main criteria of feasible tunnelling performance: Round length and the support elements to be installed after each round. Two Organising Numbers were defined, one for graduated round length ranges and one for the amount and type of support measures affecting time, the latter also graduated and provided with ranges. The result was a tunnelling class matrix.

The same strategy towards an improved objectivity based on attainable tunnelling performance also led to the introduction of separate bench and invert classifications in the B2203 of 1994. The version of 1983 had defined the classification of the crown as representative of the whole cross section.

Finally, the term „rock quality class“ was dropped and „tunnelling class“ introduced as a new term along with the new criteria.

The practical application of the new ÖNORM standard B2203 of 1994 showed that the intended aim of improved objectivity had been achieved. At the same time, however, new questions were arising, not so much in relation to the potential objectivity of tunnelling classification, but in the light of the continued price decline in Austrian tunnel construction and the resulting accentuated insistence on self-interests on the part of those involved in a project. Here are some of the new issues on hand:

- *Erratic proceeds situation: round lengths and tunnelling measures selected at the upper/lower limit of a tunnelling class range tended to „jump“ into an adjacent payment class*
- *Specification of unit prices and contractual work for tunnelling classes outside the tunnelling class matrix provided in the original contract („new tunnelling classes“)*
- *Preliminary billing of „new“ tunnelling classes in partial invoices*
- *Billing tunnelling classes with different types of support elements – „support matrix“ – for the same Second Organising Number*
- *Uncertainty regarding the manner of handling support measures ahead of the advancing tunnel face, such as face anchors.*

Various approaches were considered for finding an answer to these new issues:

Ein Weg lag in der Beibehaltung der Vortriebsklassenmatrix mit Verbesserungen zur Klärung der neuen Fragestellungen. Andere Ansätze suchten die Lösung in einer Alternative zur 2.Ordnungszahl. So wurde z. B. beim Vortriebsklassensystem LAST (Lohnstundenvergleich für Ausbruch und Stützung) [1] (Purrer, Lohnstundenvergleich für Ausbruch und Stützung „LAST“, 1999) der sprunghafte Anstieg von Einheitspreis und vertraglicher Leistung vermieden. Dasselbe Ziel wurde mit dem Vortriebsklassensystem KLIMT verfolgt. Beide Systeme LAST und KLIMT wurden bei konkreten Tunnelprojekten eingesetzt und von einigen AG gegenüber den System Vortriebsklassenmatrix bevorzugt. Nachdem sich keines der Systeme als das objektiv beste in der Praxis etablieren konnte, wurde in der Überarbeitung der ÖNORM B2203-1 vom 1.12.2001 für den Zyklischen Vortrieb auch den o.a. alternativen Modellen die Möglichkeit ihrer Anwendung geschaffen.

4. Vertragliche Abwicklung von NATM-Projekten „Quo Va-dis“?

Die beschriebenen Bemühungen um Objektivierbarkeit und leistungsgerechte Vergütung haben es mit sich gebracht, dass die Vertragsmodelle im Vergleich zur ehemaligen B2203 von 1983 komplizierter bzw. auch komplexer geworden sind. Die Komplexität ergibt sich nicht nur aus dem Modell selbst sondern auch aus der Preisgestaltung der Einheitspreise. Das schon erwähnte sinkenden Preisniveau im österreichischen Tunnelbau und die dadurch verschärfte Verfolgung von Eigeninteressen bringen es mit sich, dass über die Art der Kalkulation verstärkt Möglichkeiten der Optimierung des Vertragsmodell im Sinne eigener wirtschaftlicher Interessen gesucht werden.

Hier zeigt sich, dass die Grenzen der Komplexität des Vertragsmodells bereits erreicht sind und eine weitere Detaillierung nicht zielführend ist. Vielmehr ist eine Vereinfachung anzustreben, eine Vereinfachung in Verbindung mit eine klareren Definition des BAUSOLL und einer mit dem Modell „stimmigen“ Preisgestaltung.

Es zeigt sich auch immer deutlicher, dass das Vertragsmodell alleine nicht ausreicht um das Ziel einer guten „Kooperation“ zwischen den Projektbeteiligten zu erreichen. Gute vertragliche Strukturen sind nur eine „Seite der Medaille“ für Kooperation. Die zweite Seite ist die Fähigkeit und Kompetenz der

One idea was to retain the tunnelling class matrix and add improvements to clarify the new questions. Other approaches attempted to solve the problem by finding an alternative to the Second Organising Number. By means of the LAST tunnelling class system (comparison of man-hours for tunnelling and support measures) [1] (Purrer, Lohnstundenvergleich für Ausbruch und Stützung „LAST“, 1999), for example, the erratic increase of unit price and contractual rate of advance was avoided. The same goal was pursued by the KLIMT tunnelling class system. Both the LAST and KLIMT systems were used on actual tunnelling projects and were preferred over the tunnelling class matrix system by some clients. As none of these systems was able to establish itself as the best beyond any doubt, ÖNORM B2201 of December 1st 2001 relating to conventional tunnelling was revised to include the above alternative models.

4. Contractual practice for NATM projects, „Quo vadis“?

In the wake of the above efforts to enhance objectivity and payment commensurate with the work, contract models have become more complicated and more complex as against the former B2203 of 1983. In fact, the complexity does not only come from the model itself, but from the manner in which unit prices are established. As mentioned above, declining prices in Austrian tunnelling and, consequently, the increasing pursuance of self-interests have led contractual partners to seek possibilities for contract model optimisation with their own economic interests in mind.

This demonstrates that the limits of complexity for contract models have been reached and that there is no use in going into further detail. On the contrary, greater simplicity should be the aim – simplicity combined with greater clarity in defining the contractual construction work as well as with a pricing model consistent with the overall contract model.

It has become more and more apparent that a contract model alone is not sufficient to ensure satisfactory „cooperation“ among those involved in a project. Good contractual structures are only one side of the medal for ensuring good cooperation. The other side is the parties' ability and competence needed to strike the appropriate balance for bringing long-term benefits to all involved even where interests differ.

Projektbeteiligten, auch bei unterschiedlichen Interessenslagen jenen goldenen Mittelweg zu finden, der langfristig allen Projektbeteiligten Vorteile bringt. Es handelt sich hier um keine technisch-vertraglichen Kompetenzen, sondern Fähigkeiten, die üblicherweise als „soft skills“ bezeichnet werden [2] (Purrer, Kooperation auf Baustellen, 2012). Ein Tunnelbauprojekt ist eben nicht nur als technisches Werk (wie z. B. eine Baumaschine), sondern auch als sozialer Organismus zu betrachten, dessen erfolgreiche Steuerung durch das Vertragsmodell alleine nicht gelingen kann.

Literaturverzeichnis

[1] Purrer, W. (1999). Lohnstundenvergleich für Ausbruch und Stützung „LAST“. Felsbau 17 , Nr. 3.

[2] Purrer, W. (2012). Kooperation auf Baustellen. In B. 2012 (Hrsg.), BrennerCongress 2012. Ernst & Sohn.

Such competences should not be understood in technical or contractual terms, the abilities needed are what is understood today by soft skills [2] (Purrer, Kooperation auf Baustellen, 2012). In fact, a tunnelling project should not be considered simply as a work of technology (such as a piece of construction equipment). A tunnelling project is at the same time a social organism which cannot be governed by the contract model alone.

References

[1] Purrer, W. (1999). Lohnstundenvergleich für Ausbruch und Stützung „LAST“. Felsbau 17 , Nr.3.

[2] Purrer, W. (2012). Kooperation auf Baustellen. In B. 2012 (Hrsg.), BrennerCongress 2012. Ernst & Sohn.

Die Entwicklung der Werkvertragsnorm für Untertagebauarbeiten B 2203 für den zyklischen Vortrieb

The development of Austrian Standard B 2203, Underground Works – Works Contract for Cyclic Driving

Harald Lauffer, Porr Tunnelbau GmbH, Austria, harald.lauffer@porr.at, www.porr-group.com

1. Einleitung

Die NATM entwickelte sich als Antwort auf wechselhafte und nie exakt prognostizierbare Gebirgseigenschaften, wie sie in den alpinen Ländern üblicherweise auftreten. Zu dieser anpassungsfähigen Baumethode gehört zwingend auch ein anpassungsfähiges Vertragswerk, dessen Kern die Werkvertragsnorm B 2203 darstellt.

Die B 2203 regelt u.a. den Umfang der dem Bieter zur Verfügung zu stellenden Unterlagen und Informationen und gibt verbindliche Hinweise für die Erstellung der Leistungsverzeichnisse. Von besonderer Bedeutung für Ausschreibung, Kalkulation und Abrechnung von Untertagebauwerken ist eine möglichst eindeutige Leistungsbeschreibung. Das wichtigste Element der Leistungsbeschreibung ist neben der Beschreibung des geologischen und geomechanischen Umfeldes eine detaillierte Beschreibung der Vortriebsarbeit und deren Unterteilung in Form von Gebirgsgüteklassen bzw. von Vortriebsklassen.

2. Gebirgsklassifizierung bis zur B 2203/1978

Vorschläge zur Gebirgsklassifizierung stammen u. a. von Stiny (1950), Rabcewicz (1957), Pacher, Golser (1974). Diese bauen im Wesentlichen auf der Beschreibung des Gebirgsverhaltens auf (standfest, nachbrüchig, gebräch etc.), wobei teilweise Stehzeit und Stützmaßnahmen berücksichtigt werden. Eine geotechnisch eindeutige Klassifizierung wird von Lauffer-Innsbruck (1958) vorgeschlagen, bei der die Gebirgsklassen durch Wertepaare von Stehzeit und Spannweite (wirksame Stützweite) definiert werden.

1. Introduction

As rock qualities tend to be extremely variable in Alpine countries, tunnelling conditions have always been difficult to predict with reasonable accuracy. The NATM is an adaptable construction method that includes a response to this problem. An adaptable construction method needs to be matched by an adaptable contract. This is the main idea of Austrian Standard B 2203.

The B 2203 governs the amount of documentation and information to be made available to the bidders and provides obligatory guidelines for the preparation of bills of quantities. In fact, clearly formulated specifications are an essential basis for the bid invitations, costing and payment for underground structures. Specifications are based on a description of the geological and geomechanical setting of the project as well as on a detailed description of the tunnelling works and their differentiation in terms of rock-quality classes or tunnelling classes.

2. Rock Guidelines for the paper/abstract

Suggestions regarding rock classification have come from various authorities including Stiny (1950), Rabcewicz (1957), Pacher, Golser (1974). These are mainly based on the description of rock mass behaviour (stable, liable to roof falls, friable etc.), partly allowing for stand-up times and support measures. A clear classification method based on geotechnical aspects was offered by Lauffer-Innsbruck (1958) by defining rock classes in terms of the paired values stand-up time and span (effective span).

3. Werkvertragsnorm für Untertagebauarbeiten B 2203/1978

Die Unterteilung der Vortriebsarbeiten erfolgt in erster Linie nach dem Gebirgsverhalten (standfest, nachbrüchig, gebräch etc.), in zweiter Linie nach dem Einfluss der Stütz- und Baumaßnahmen auf die Vortriebsleistung (Vortrieb unbehindert, behindert, unterbrochen) und in dritter Linie durch Angaben über Stützmaßnahmen in Form von Regelplänen.

Regelungen für die Vergütung von Wassererschwerissen, von Mehrausbruch und verformungsbedingtem Übermaß sind vorhanden.

Die Festlegung der Gebirgsgüteklassen vor Ort ist wie folgt geregelt: „Die Gebirgsgüteklasse ist im Zuge des Vortriebes oder Ausbruches einvernehmlich zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer festzulegen“. (Anm.: Sinngemäß ist diese Bestimmung in allen folgenden Ausgaben der B 2203 enthalten).

Die einvernehmliche Bestellung eines Tunnelbautechnischen-Sachverständigen (unabhängiger Fachmann) zur Regelung von Meinungsverschiedenheiten ist vorgesehen („soll bestimmt werden“).

Eine Regelung über den Einfluss abweichender Stützmittelmengen auf die Bauzeit existiert nicht.

4. Werkvertragsnormen für Untertagebauarbeiten B 2203/1983

Die B 2203/1983 enthält keine wesentlichen Änderungen. Die Definition der Gebirgsgüteklassen wurde durch eine Spalte mit einer allgemeinen Beschreibung der Stützmaßnahmen („bauliche Maßnahmen“) ergänzt.

5. Werkvertragsnorm für Untertagebauarbeiten B 2203/1994

Die von vielen Seiten geäußerte Unzufriedenheit mit der beschreibenden Definition in den bisherigen Fassungen führte zur Suche nach einem neuen System der Unterteilung der Vortriebsarbeiten. Es wurde eine transparente, objektive und numerisch exakte Regelung, im Gegensatz zur bisherigen rein beschreibenden Definition, insbesondere von Golser für das Ausland, gefordert. Weiteres wurde eine Vergleichbarkeit der Vortriebsklassen unabhängig vom Teil-

3. Standard for Underground Works Contracts B 2203/1978

Tunnelling is classified mainly according to rock mass behaviour, such as stable, liable to roof falls, friable etc. and secondarily according to the effect support and structural measures have on the rate of advance (unimpeded, impeded, interrupted tunnelling) and thirdly, in terms of support requirements in the form of typical profiles.

The Standard also includes payment provisions for water complications, over-excavation and deformation allowance.

The Standard provides for on-site rock-quality classification as follows: The rock-quality class shall be decided on jointly by the owner and the contractor as tunnelling or excavation proceeds. (Note: All the subsequent versions of the B 2203 have contained an analogous provision).

The Standard also provides for the joint appointment of a tunnelling expert (independent specialist) for mediation in the case of difference of opinion („should be appointed“).

There is no provision regarding the effect of changes in support requirements on the construction time.

4. Standards for Underground Works Contracts B 2203/1983

The B 2203/1983 includes no major modifications. The definition of rock-quality classes was supplemented by a column showing a general description of support measures („structural measures“).

5. Standards for Underground Works Contracts B 2203/1994

Dissatisfaction voiced by several parties regarding the descriptive definition of tunnelling works in previous versions of the Standard prompted the search for a new tunnelling classification system. What was needed was a transparent, objective and numerically accurate provision unlike the merely descriptive approach, in particular for use in countries abroad as Golser pointed out. In addition, the tunnelling classes were to enable comparability independent of the respective partial drift (top heading, bench) or of the cross sectional area.

querschnitt (Kalotte, Strosse) bzw. von der Querschnittsgröße gewünscht.

Die Lösung wurde in einer Vortriebsklassenmatrix gefunden, wobei die erste Ordnungszahl für den Ausbruch, die zweite für den Einbau der Stützmittel steht. Einem Vorschlag von Judmann (1980 ff) folgend wird der Ausbruch nach Abschlagslängenbereichen unterteilt.

Golser schlug vor die Kosten des Stützmitteleinbaus pro m³ Ausbruch als zweites Bewertungskriterium zu verwenden. Der Vorschlag wurde verworfen, war jedoch Anregung für die Entwicklung der dimensionsfreien Stützmittelzahl durch Lauffer – Wien. Dabei werden alle Stützmittel pro Laufmeter im jeweiligen Vortriebsquerschnitt mit Bewertungsfaktoren multipliziert, aufsummiert und in Bezug zu einer Bewertungsfläche gesetzt. Die Bewertungsfaktoren wurden über verzerrte Vortriebs-Zeitansätze für den Einbau des jeweiligen Stützmittels hergeleitet und in mehreren Schritten abgestimmt. Die Bewertungsfläche entspricht der zum jeweiligen Umfang des Ausbruchquerschnittes gehörenden Kreissektorfläche. Diese Regelung erfüllt soweit möglich den Wunsch nach Vergleichbarkeit wie beispielhaft gezeigt wird.

- Gleiche Stützmittel an der Leibung von Kalotte und Strosse (Spritzbetonstärke, Ankerlänge, Ankerteilung gleich, keine Ortsbruststützung) ergibt exakt die gleiche Stützmittelzahl
- Unterstellt man eine lineare Abhängigkeit der Spritzbetonstärke und der Ankerlänge (bei gleicher Ankerteilung) vom Ausbruchdurchmesser ergibt sich für diese Stützmittel die gleiche Stützmittelzahl unabhängig vom Durchmesser des Ausbruchquerschnittes (Stützmittelmenge linear von der Kreissektorfläche = Bewertungsfläche abhängig). Für Baustahlgitter und Bögen gilt dies nicht (nur abhängig vom Umfang des Ausbruchquerschnittes), sodass sich für kleinere Querschnitte vergleichsweise höhere Stützmittelzahlen ergeben.

Es sind detaillierte Hinweise enthalten, insbesondere welche Angaben über das Projekt und das Gebirge zu machen sind. Das geomechanische Verhalten des Gebirges ist zu beschreiben und es ist in Anlehnung an die Fassung 1983 eine Typisierung des Gebirges (standfest, nachbrüchig, gebräch etc.) mit einer Be-

A solution was found by developing a tunnelling class matrix with two organising groups, the first for excavation and the second for the installation of support elements. Excavation was defined according to round length ranges as suggested by Judmann (1980 ff).

Golser suggested use of the cost of support element installation per cubic metre of excavation as a second rating criterion. This suggestion was rejected, but it inspired Lauffer-Vienna to develop a dimension-free support factor. This means that all support elements per linear metre in the respective excavated cross section are multiplied by rating factors, added up and related to a rating area. The rating factors have been derived from distorted excavation time assumptions for the installation of the respective support element, with the various suggestions being brought into agreement in several steps. The rating area is equal to the area of the circle sector corresponding to the respective circumference of the excavated cross section. This solution provides the best as possible answer for the comparability requirement as demonstrated by the following example.

- *The same type of support at the crown and bench surfaces (shotcrete thickness, anchor length, anchor spacing, no face support) implies exactly equal support factors*
- *Assuming a linear dependence of shotcrete thickness and anchor length (with equal anchor spacing) on the excavation diameter, the resulting support factor for these support elements will be the same, regardless of the diameter of the excavated cross section (support quantity is a linear function of the area of the circle sector = rating area). This does not apply to wire mesh and steel arches (which are dependent only on the circumference of the excavated cross section), which implies that smaller cross sections result in comparatively greater support factors.*

This Standard presents detailed guidelines relating in particular to what information should be provided on the project and the nature of the rock mass involved. The rock mass should be described in the tender documents in terms of geomechanical behaviour (stable, liable to roof falls, friable etc.) and classified along with a description of rock mass behaviour and the requirements for the excavation works and support measures.

schreibung des Gebirgsverhaltens und der Erfordernisse für Ausbruch und Stützmaßnahmen durchzuführen.

Die Leistungsbeschreibung der Vortriebsklassen hat, zusätzlich zur Abschlagslänge und einem Regelstützmittelplan, Angaben über Querschnittunterteilung, Abbaufolgen und Lösemethode zu enthalten (Anm.: Die Stützmittelzahl ist kein Teil der Leistungsbeschreibung, sondern dient ausschließlich der Benennung und Einordnung).

Der Gültigkeitsbereich einer Vortriebsklasse hinsichtlich der zweiten Ordnungszahl (Stützmittelzahl) wird durch einen Geltungsbereich von $\pm 20\%$ der Stützmittelzahl abgegrenzt.

Es sind sehr detaillierte Regelungen für die Vergütung von Mehrausbruch und Übermaß enthalten. Die geologischen, geotechnischen und tunnelbautechnischen Dokumentationserfordernisse werden angeführt.

Für das Einrichten und Räumen, für die zeitgebundenen Kosten (Bauregie) und die Gerätekosten der Baustelle sind eigene Positionen vorzusehen, die dem Bauablauf entsprechend zu unterteilen sind (z. B. Einrichten, Vortrieb, Innenschale, Räumen). Die Vortriebsdauer ist variabel und hängt von den tatsächlich aufgefahrenen Vortriebsklassen und den angebotenen und somit vertraglichen Vortriebsgeschwindigkeiten in den einzelnen Klassen ab. Der der Ermittlung der Baudauer zugrundeliegende Bauablauf ist zu beschreiben.

Die Aufgaben des tunnelbautechnischen Sachverständigen wurden erweitert („Beratung und allfällige Vertretung gegenüber Dritten“).

Das Kapitel geotechnische Messungen wurde komplett überarbeitet und erweitert. Es enthält detaillierte Angaben über das festzulegende Messprogramm. Anstelle der bis dahin üblichen Relativmessungen (Konvergenzmessungen) ist im Regelfall die Absolutmessung (Messung der Verschiebungen des Hohlraumrandes) anzuwenden.

Die Norm enthält betreffend der Entscheidungen Vorort folgende allgemeine Vertragsbestimmung: „Die den Vortrieb bestimmenden Maßnahmen sind

The specification of the tunnelling classes should include information on cross-section subdivision, excavation sequences and methods, in addition to the round length and a standard support drawing. (Note: The support factor does not form part of the specifications but serves exclusively the purpose of definition and classification).

The scope of application of a tunnelling class in respect of the second organising group (support factor) is delimited by a scope of application of $\pm 20\%$ of the support factor.

The Standard contains very detailed stipulations regarding payment for over-excavation and deformation allowance and also lists what geological, geotechnical and tunnelling documentation is required.

Special pay items are provided for the installation and clean-up, time-dependent cost (general site cost) and the cost of equipment on the job site. These should be subdivided according to the sequence of the construction process, such as site installation, tunnelling, final lining and clean-up. The tunnelling time is variable and depends on the tunnelling classes actually encountered and on the proposed and hence contractual advance rates within the various classes. The sequence of construction operations used as a basis for determining the construction time should be described.

The duties of the tunnelling expert were expanded („advice and, where necessary, representation vis-à-vis third parties“).

The section on geotechnical measurements was completely revised and broadened. It gives detailed guidelines in respect of the measuring programme to be decided on. Absolute measurements (measuring the displacements of the excavated surface) should normally be applied, rather than the relative measurements (convergence measurements) practised up to then.

The Standard contains the following general provision with respect to decision-making at the tunnel face: „The main tunnelling measures shall be mutually agreed upon between owner and contractor (as in B 2203/1978); in doing so, the owner shall give prime attention to the stability of the underground excava-

einvernehmlich zwischen AG und AN festzulegen (wie B 2203/1978); hierbei hat der AG vornehmlich die Standsicherheit des Hohlraumes, der AN vornehmlich die Sicherheit der Arbeitnehmer zu beachten.“

Mit der B 2203/1994 erfolgte erstmalig eine saubere Trennung zwischen Beschreibung des Gebirges und seines Verhaltens auf der einen Seite und klaren numerisch exakten Vergütungsregelungen auf der anderen Seite. Diese Neuregelung war dringend notwendig. Sie hat sich als Basis für eine weitgehend reibungsfreie Vertragsabwicklung von NATM-Vortrieben außerordentlich bewährt.

6. Werkvertragsnorm für Untertagebauarbeiten für B 2203/1994

Die Norm, die bisher sowohl NATM (zyklisch) als auch maschinelle (kontinuierliche) Vortriebe behandelt, wurde zweckmäßigerweise in zwei Teile, B 2203-1 und B 2203-2, getrennt. Parallel zur Erarbeitung der B 2203-1/2001 wurde im Auftrag der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik unter der Führung von Ayaydin, Schubert W., Schwab, Vavrovsky die „Richtlinie für die Geomechanische Planung von Untertagebauarbeiten mit zyklischem Vortrieb“ geschaffen. Ziel dieser Richtlinie ist die „Gebirgscharakterisierung und Vorgangsweise zur nachvollziehbaren Festlegung von bautechnischen Maßnahmen während der Planung und Bauausführung.“ Entsprechende Inhalte konnten daher in der B2203/2001 entfallen und wurden durch Hinweise auf die Richtlinie ersetzt.

Das Matrixsystem wurde aufbauend auf den praktischen Erfahrungen überarbeitet. Die Bewertungsfaktoren für die Stützmittel wurden neu abgestimmt. Fehlende Stützmittel (z. B. Ortsbruststützung) und nicht angeführte Zusatzmaßnahmen (z. B. Teilflächen, Kalotten-sohlgewölbe) wurden ergänzt.

Auf Vorschlag Lauffer – Wien wurde die Regelung der Gültigkeitsbereiche der zweiten Ordnungszahl der Matrix ($\pm 20\%$ der jeweiligen Stützmittelzahl) durch eine Neuregelung ersetzt, die für jeden Abschlaglängenbereich absolute Bandbreiten der Geltung festlegt. Dadurch wird erreicht, dass der Einfluss der Bandbreite auf die Tagesleistung und damit auf die Bauzeit für alle Vortriebsklassen unabhängig von Ab-

tion, the contractor shall give prime attention to the safety of the workforce.“

In the B 2203/1994, a distinct line was drawn for the first time between the description of the rock mass and its behaviour on the one hand and clear and numerically exact payment provisions on the other hand. This new regulation was an urgent need. It has since stood its test by offering a sound basis for a largely friction-free implementation of NATM tunnelling contracts.

6. Standards for Underground Works Contracts B 2203/1994

Having dealt with both NATM (conventional) and mechanical (TBM) tunnelling contracts, the Standard was now separated into two parts, B 2203-1 and B 2203-2, for practical reasons. In parallel with the development of B 2203-1/2001, the Guideline for the Geotechnical Design of Underground Structures with Conventional Excavation was drawn up by a team led by Ayaydin, Schubert W., Schwab, Vavrovsky for the Austrian Society of Geomechanics, with the aim of characterising rock mass and defining a procedure for the comprehensible definition of structural measures during design and construction. Contents of this kind have thus been omitted in the B2203/2001 and replaced by references to the Guideline.

The matrix system has been revised in the light of the practical experience that has been gathered. The rating factors for the support elements have been readjusted. The support elements and supplementary measures not listed in the previous issue (such as partial faces, crown invert) have been added.

On the suggestion of Lauffer-Vienna, the provision dealing with the application scopes of the second organising number of the matrix ($\pm 20\%$ of the respective support factor) has been replaced with a new provision specifying absolute scopes of application for each round length range. This ensures that the influence of the application scope on the daily advance rate and hence, on the construction time is about the same for all tunnelling classes, independently of the round length and the support factor. The standard of 1994 implied a strong influence greatly increasing both along with the round length and the support factor.

schlagslänge und Stützmittelzahl ungefähr gleich groß ist. In der ÖNORM 1994 war ein sowohl mit der Abschlagslänge als auch mit der Stützmittelzahl stark steigender Einfluss gegeben.

Der Vorschlag die Abschlagslängenbereiche durch festgelegte Abschlagslängen ohne Spielraum zu ersetzen wurde abgelehnt. Ebenso abgelehnt wurde der Gedanke an eine Interpolationsmöglichkeit für die Abschlagslängenbereiche.

Neu eingeführt wurden zwei Abrechnungsmodelle für die Vortriebsarbeiten. Das Modell a) sieht wie üblich je Vortriebsklasse eine Position für Lohn und Sonstiges pro m³ Ausbruch vor. Das Modell b) sieht eine einzige Position für die Lohnkosten der Vortriebsmannschaft je Zeiteinheit und Positionen für den nicht zeitgebundenen Anteil Sonstiges je Abschlagslängenbereich vor. Dazu ist für jede Vortriebsklasse die Vortriebsgeschwindigkeit verbindlich anzugeben. Über das Modell b) können auch Vortriebserschwerisse (z. B. Wassererschwerisse), Vortriebsunterbrechungen und nicht mit den vertraglichen Vortriebsklassen abrechenbare Vortriebsarbeiten (z. B. Verbrauchaufarbeitung) abgerechnet werden.

Nach langer kontrovers geführter Diskussion wurden auch alternative Modelle zur Vortriebsklassifizierung und Abrechnung wie z. B. LAST und KLIMT, in die Norm aufgenommen. Auf Wunsch der Wiener Linien (U-Bahn) wurden vereinfachte Ausschreibungs- und Abrechnungsregelungen zugelassen.

Die Regelungen für die Abrechnung von Ausbruch und Stützmittel unter Berücksichtigung von Mehrausbruch und Gebirgsverformung wurden überarbeitet und detailliert in Skizzen dargestellt.

Auf Vorschlag von Lauffer – Wien wurde eine neue Regelung für die Abgeltung der Wassererschwerisse erarbeitet. Die Erschwerisse werden über zusätzliche Vortriebszeiten abgegolten, die mittels prozentualen Abminderungsfaktoren der Vortriebsgeschwindigkeit ermittelt werden. Diese Faktoren sind einerseits von der Wasserspende [l/s] andererseits von der Wasserempfindlichkeit des Gebirges und dem Ort des Wasserzutritts (Leibung & Ortsbrust, Sohle) abhängig. Sie sind innerhalb der vom AG festzulegenden oberen und unteren Grenzen vom AN anzugeben. Es wurden Grenzwerte für die maximal zu kalkulierende Wasser-

A suggestion to the effect that the round-length ranges be replaced by fixed round lengths without margins was rejected, and so too was the idea of introducing an interpolation possibility for the round-length ranges.

Two new payment models for the tunnelling works have been introduced. Model (a) includes the usual item for wages and miscellaneous costs per cubic metre of excavation for each tunnelling class. Model (b) includes a single item for tunnelling crew wages per unit of time and items for the non-time-dependent proportion of miscellaneous for each round-length range. This implies that an obligatory rate of advance must be defined in the tender for each tunnelling class. Model (b) also enables the calculation of payment for tunnelling complications (such as water complications), tunnelling interruptions as well as tunnelling work not covered by the contractual tunnelling class system (such as extra works prompted by excavation collapse).

Following long controversial discussions, alternative tunnelling classification and payment models such as LAST and KLIMT have been incorporated into the Standard.

Simplified tendering and payment provisions have been accepted on the request of the Wiener Linien (public transport company, metro).

The provisions regarding payment for excavation and support elements with allowance being made for over-excavation and rock deformation have been revised and plotted in detailed graphs.

On the suggestion of Lauffer-Vienna, a new provision has been formulated regarding payment for water complications. These are paid for via additional tunnelling time calculated by use of reduction factors as percentages of the advance rate. These factors should be defined as functions of water yield [l/s] as well as of the vulnerability of the rock mass to water and the location of water ingress (tunnel wall and face, invert). They should be specified by the contractor within the upper and lower limits to be stipulated by the owner. Limits have been defined for the maximum water yield to be considered in costing and for the water yield to be allowed for as a function of the complication classes, otherwise limits specific to the respective project should be indicated.

spende und für die einzurechnende Wasserspende in Abhängigkeit von den Erschwernisklassen festgelegt bzw. sind die Grenzwerte projektspezifisch anzugeben.

Eine Extrapolation von Vortriebsklassen eines Abschlaglängenbereiches, die „außerhalb des Geltungsbereiches von ausgeschriebenen Klassen“ liegen wird zugelassen. Wenn zwei Vortriebsklassen vorhanden sind, ist eine lineare Extrapolation, bei drei Klassen eine Extrapolation mittels einer Ausgleichskurve möglich. (Anm.: Es ist unklar, ob eine Extrapolation aus einer Vortriebsklasse zulässig ist).

7. Anregungen für eine Neufassung der B 2203-1/2001 und generelle Anmerkungen

Es wird auch auf die detaillierte Stellungnahme von Ayaydin und Lauffer verwiesen (N. Ayaydin, H. Lauffer: ÖN B 2203-1, Vorstellungen der Verfasser, Missverständnisse der Anwender, Missbräuche, Unklarheiten und Problembereiche – Österreichischer Tunneltag 2006)

Zusätzliche Regelungen zur Verbesserung der partnerschaftlichen Zusammenarbeit, z. B. durch gemeinsamen Geotechniker, gemeinsamen Geologen, Einfordern und Verstärken der Mitarbeit AN bei geotechnischen Entscheidungen.

Kein Abgehen von den Bestimmungen der Norm, insbesondere nicht ohne Detailkenntnis der Hintergründe.

Erinnerung an die Tatsache, dass eine Vortriebsklasse keine Leistungsbeschreibung darstellt, sondern ausschließlich ein Ein-ordnungs- und Benennungskriterium ist.

Entfall der alternativen Modelle zur Vortriebsklassifizierung: Durch die Einführung der neuen Gültigkeitsbereiche für die Stützmittelzahl haben sich die Sprünge zwischen benachbarten Vortriebsklassen verkleinert, wodurch ein entscheidendes Argument für die alternativen Modelle an Bedeutung verliert. Durch den Entfall der alternativen Modelle wird die Anwendung der Norm einfacher und überschaubarer. Der bei den alternativen Modellen gegebene Zwang zur Spekulation (linearer Einfluss der Stützmittel) entfällt.

Extrapolation of the tunnelling classes present in a round-length range which are „outside the application scopes of tendered classes“ is permitted. Linear extrapolation is possible where two tunnelling classes are present, three tunnelling classes within a round-length range call for extrapolation using a best-fit curve. (Note: It is not clear whether extrapolation from a single tunnelling class is permissible).

7. Proposals for redrafting the B 2203-1/2001 and general remarks

Reference is also made to the detailed comments of Ayaydin and Lauffer (N. Ayaydin, H. Lauffer; ÖN B 2203-1, – Authors' ideas, applicers' misunderstandings, abuses, ambiguities and problems – Austrian Tunnel Day 2006).

Additional provisions for the enhancement of cooperation between owner and contractor, such as by sharing a geologist and a geotechnician and by summoning and intensifying the contractor's participation in geotechnical decision-making.

No departure from the provisions of the Standard, in particular not without detailed background knowledge.

Emphasis on the fact that a tunnelling class is nothing but a criterion of definition and classification and not a specification.

Elimination of the alternative models of tunnelling classification: The introduction of new scopes of application for the support factor has led to smaller steps between adjacent tunnelling classes, which weaken one important argument for the alternative models. Elimination of the alternative models will simplify and clarify the application of the Standard and do away with the need for speculation (linear influence of the support elements).

Elimination of the simplified payment provisions: The matrix model has stood its test and become common knowledge. Its merits are clear stipulations regarding construction time, while involving little extra effort and expense.

Fixed round lengths instead of round-length range: Costing must be based on the upper limit of the

Entfall der vereinfachten Abrechnungsregelungen: Das Matrixmodell hat sich bewährt und ist allgemein bekannt. Es bietet Vorteile durch eine klare Bauzeitregelung, während die Mehraufwendungen gering sind.

Feste Abschlaglängen anstelle Abschlaglängenbereich: Die Kalkulation hat für die Obergrenze des Abschlaglängenbereiches zu erfolgen, die Ausführung erfolgt im Regelfall auch dort. Wenn nicht, gibt es Diskussionen, die die Zusammenarbeit erschweren.

Zusätzliche Positionen für den Wechsel der Vortriebsklasse.

Entfall der Extrapolation aus einer oder auch zwei vorhandenen Vortriebsklassen: Wie Ayaydin (1999) gezeigt hat, steigt der Aufwand mit steigender Stützmittelzahl exponentiell an. Die lineare Extrapolation (2 Vortriebsklassen) ist daher grundsätzlich falsch. Eine „Extrapolation“ aus einer Klasse mit vom AG vorgegebener Steigung stellt einen unzulässigen Eingriff in den Bauvertrag dar.

8. Zusammenfassung

Die Entwicklung der Werkvertragsnormen für den zyklischen Vortrieb B2203 seit den Anfängen ab 1950 bzw. der Erstfassung 1978 ist eine bemerkenswerte Erfolgsgeschichte. Mit den Normen 1994 und 2001 ist es gelungen ein zur NATM passendes, systemkonformes Regelwerk zu schaffen. Das Matrixsystem erlaubt eine klare und transparente Benennung der Vortriebsarbeiten und damit eine klare und transparente Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung unterschiedlicher Vortriebsleistungen. Die erfolgreiche Weiterentwicklung der Norm ist der hervorragenden Zusammenarbeit aller Betroffenen zu danken.

round-length range, which corresponds to the usual construction practice. Where this is not so, discussions arise which tend to complicate cooperation.

Additional items for tunnelling-class change.

Elimination of extrapolation from one or even two tunnelling classes present in a round-length range. As demonstrated by Ayaydin (1999), the input of time and money increases exponentially along with the support factor. This implies that linear extrapolation (2 tunnelling classes) is fundamentally wrong. „Extrapolation“ from a single class with a gradient fixed by the owner represents an improper interference with the contract.

8. Summary

The development of Austrian Standard B2203, Underground Works – Works Contract for Cyclic Driving since its beginnings from 1950 and its initial version of 1978 is a remarkable success story. By formulating the standards of 1994 and 2001 it has been possible to create a set of rules matching the NATM. The matrix system permits clear and transparent definition of tunnelling work and consequently, clear and transparent tendering, contract award and payment for different tunnelling works. The successful constant development of the Standard has been possible thanks to the excellent cooperation among all those involved.

Standardisierte Ausschreibungstexte (Tunnelbau)

Standardised contract clauses (tunnelling)

Rudolf Hörhan, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Austria,
rudolf.hoerhan@bmvit.gv.at, www.bmvit.gv.at

Peter Strasser, GEOCONSULT, Austria, peter.strasser@geoconsult.eu, www.geoconsult.eu

1. Einleitung

Standardisierte Vertragstexte für den NATM-Tunnelbau wurden in Österreich schon vor langem angeboten. Diese waren innerhalb des Regelwerkes RVS („Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen“) der FSV („Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr“) gefasst. Diese Texte umfassten Leistungspositionen und Technische Vertragsbedingungen.

Zufolge verschiedenartiger Gegebenheiten entstand der Wunsch, diese Texte komplett neu zu erstellen. Diese Aufgabe wurde in bewährter Weise durch Vertreter der Auftraggeber, der ausführenden Firmen und der planenden bzw. bauüberwachenden Ingenieurbüros in mehrjährige ehrenamtlicher Arbeit bewältigt. Dieser Vorgang wurde 2004 mit dem Erscheinen der neuen „Leistungsbeschreibung Tunnelbau“ abgeschlossen [1]. Auch diese standardisierten Texte bestanden aus:

- Leistungspositionen
- Zugehörigen Grundtexten
- Technischen Vertragsbedingungen

Deren Positionen und Texte wurden dann 2008, aktualisiert, in die neu erstellte „Leistungsbeschreibung Verkehrs-Infrastruktur“ übernommen [2]. Diese neue Leistungsbeschreibung fügte die bestehende „Leistungsbeschreibung Tunnelbau“ mit den Leistungsbeschreibungen etlicher, weiterer Leistungsbereiche (z. B. Straßenbau, Eisenbahnbau, Brückenbau, Landschaftsbau ...) zusammen und bildet damit die wesentliche Breite des Tiefbaus ab.

In einem weiteren Schritt wurden 2011 die aktualisierten Technischen Vertragsbedingungen Tunnelbau veröffentlicht [3].

1. Introduction

Standard contract clauses for tunnelling using the New Austrian Tunnelling Method (NATM) were provided in Austria many years ago. They were included in the Richtlinien und Vorschriften für das Strassenwesen (RVS – Austrian Code for the Design, Construction and Maintenance of Roads) issued by the Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse-Schiene-Verkehr (FSV – Austrian Association for Research on Road - Rail - Transport). These standard clauses included both work items (for the preparation of the bill of quantity for a certain tender) and standard specifications (for the preparation of the project specifications for a certain tender) for tunnel construction. The release of a new, completely revised edition became necessary as a result of various developments. This task was carried out on a voluntary basis by a joint editorial group composed of representatives of owners, contractors and engineers. Austrian tenders for civil construction contracts consist of the following core documents:

- *work items for bill of quantities*
- *specifications*
- *general clauses for more complex work items*

The working group followed this set-up in its task, and the result comprised the documents:

- *work items for bill of quantities*
- *specifications*

In 2004, the first edition of these standard contract clauses was published under the title of “Leistungsbeschreibung Tunnelbau” (standard contract clauses for civil works/tunnelling) [1]. In 2008, the second edition was published, with topics concerning tunnelling being integrated into a new, more comprehensive guideline under the title of Leistungsbeschreibung Verkehrs-Infrastrukturbau (standard contract clauses

2. Veranlassungen

Mehrere, unterschiedliche Gründe führten dazu, für den Tunnelbau die Neuerstellung der standardisierten Vertragstexte zu initiieren.

Zunächst war es längst überfällig, die alten Vertragstexte an die Werkvertragsnorm ÖNORM B2203 „Untertagebauarbeiten“ anzugleichen [4].

Neue Bauverfahren (z. B. Düsenstrahlverfahren, Rohrschirm) waren unter Tage Routinebauverfahren geworden und sollten vertraglich durchdacht und geregelt werden.

Neue Materialien und zugehörige Prüfbestimmungen und -verfahren waren am Markt.

Die geotechnischen Mess- und Auswertverfahren hatten eine intensive Entwicklung durchgemacht und sollten zeitgemäß abgebildet werden.

Bautechnisch wie vertragstechnisch immer komplexer werdende Tunnelbauprojekte (Ausschreibungen mit 3000 Leistungspositionen waren keine Seltenheit mehr) erforderten Sicherheit in der Vertragsauslegung. Standardisierte Vertragstexte sind hier eine wesentliche Grundlage, da sich auf diesen aufbauend dann eine gleichförmige Vertragsinterpretation entwickeln kann. Der Ausschreibende soll sich durch die Möglichkeit, für Standard-Leistungen Standard-Texte verwenden zu können, auf die individuellen Aspekte der einzelnen Baumaßnahmen konzentrieren können.

3. Erfasste Tunnelbauweisen und -typen und Bauzeitmodelle

Das gegenständliche Werk wurde in Hinblick auf den zyklischen Vortrieb, nach den Grundsätzen der NATM hergestellte Straßen- und Eisenbahntunnel erstellt. Hierfür sind die häufigen Regelquerschnitte (Tunnel, Querschläge, Nischen) und Bauzeitmodelle erfasst.

Das Werk ist in seiner Nummersystematik aber offen angelegt für die projektspezifische Eingliederung von Untertagebauten mit anderen Nutzungszwecken (z. B. Wasserwege, Kavernen), Tunnelbauweisen (z. B. kontinuierliche Vortriebe) und Bauzeitmodelle.

4. Grundkonsens bei Erstellung der standardisierten Texte

In den alten Verträgen war ein stetes Leidwesen, dass technische Bedingungen (für Bauverfahren und -pro-

for civil works/infrastructure) [2]. This new edition supplemented the existing work items for tunnel works with items for several other civil works (such as road construction, bridge construction, landscaping...). This edition thus mirrors the greater part of the civil works section.

In 2011, an updated edition of the standard clauses for technical specifications was released [3].

2. Motifs

Several different aspects gave reason to initiate the release of a new edition of standard contract clauses for tunnelling. In the first place adjusting the existing work items to the contents of the Austrian Standard for Underground Works ÖNORM B2203 [4] was overdue. New construction methods (e.g. jet grouting, pipe roofing...) had become routine construction methods for underground works and were to be thoroughly evaluated and defined from the contractual point of view. New materials and testing methods had been developed and were now available. Geotechnical monitoring and geotechnical data evaluation had undergone intensive development in recent years and had to be allowed for. Last but not least, tunnel projects have become far more complex, both in terms of construction methods and from the contractual point of view. Bills of quantities comprising more than 3000 work items have become common and standardised contract clauses are also a requirement now to permit uniform contract interpretation (precedence).

Standard text blocks for standard works now help the engineer (BOQ writer, specification writer...) to focus on the particularities of the specific tender.

3. Tunnel construction methods and pay models for time dependent cost

The text under discussion has been written for road and rail tunnel projects using the NATM. For this purpose the text considers the most common typical cross sections (main tunnel, cross cuts, niches...) and pay models for the time dependent construction cost. The numbering system of work items has been set up to include the possibility of filling in work items for

dukte) vielfach mit abrechnungstechnischen Bedingungen teils im Ausschreibungs-(Vertrags-)teil „Technische Vertragsbedingungen“, teils im Ausschreibungs-(Vertrags-)teil „Leistungsverzeichnis“ oder an ganz anderer Stelle zu finden bzw. vielmehr zu suchen waren. Häufig kam es in der Vertragsabwicklung dann zu Schwierigkeiten, falls nämlich Parallelitäten, Widersprüche oder Unklarheiten festgestellt wurden.

Es war daher ein Grundkonsens der Arbeitsgruppe, mit Bearbeitung der Texte konsequent die Trennung von technischen Bedingungen und abrechnungstechnischen Bedingungen zu verfolgen.

Im Sinne der einfachen Angebotserstellung und späteren Vertragshandhabung für Auftragnehmer und Auftraggeber fand man rasch zu einem zweiten Grundkonsens. Dieser war, dass möglichst alle, für die Kalkulation, Abwicklung und Abrechnung einer Teilleistung erforderlichen Bedingungen in der Leistungsposition selbst (also: Im Leistungsverzeichnis) stehen sollen, und nur das Übergeordnete im Vertragsteil „Technische Vertragsbedingungen“.

Selbstredend kann nicht jede bautechnische (Einzel) Leistung als standardisierter Textblock angeboten werden: Die technische Entwicklung und die aktuellen (Vertrags)Erfahrungen schreiten auch während der mehrjährigen Erstellung der Texte ständig voran, so dass nur das bis zu einem gesetzten Redaktionschluss gesichert Vorhandene aufgenommen werden kann. Andererseits soll auch aus einer gewissen Raison und einem gewissen Pragmatismus heraus nicht alles standardisiert getextet angeboten werden: Manche Leistungen sind zu individuell, ändern sich zu häufig oder sind schlichtweg nicht wesentlich genug, um textlich fixiert zu werden. Letztlich, jedoch wohl das wichtigste, ist jedes Bauprojekt ein Unikat, bei dem es gilt Individualitäten zu erfassen, zu beplanen und vertraglich zur formulieren. Unikate standardisieren zu wollen wäre ein Widerspruch in sich. In der Beschränkung auf den Leitsatz „angeboten werden Texte, die die wesentlichen 80 % eines Tunnelbauprojektes abbilden“ wurde der dritte, wesentliche Grundkonsens gefunden.

5. Inhalte der standardisierten Vertragstexte

Die Leistungspositionen:

- beschreiben die Art der Leistung
- beschreiben den Umfang der Leistung

other tunnels types, which may be specific to a particular project (e.g. water tunnels, caverns), tunnelling methods (as e.g. TBM) or alternative pay models for time dependent cost.

4. Basic consensus of the joint working group for developing standardised texts

A former common deficit of Austrian unit-price based tunnel construction contracts was that the technical conditions and commercial conditions were scattered throughout the contract documents, in particular in the terms of reference, technical specifications, commercial conditions of contract and bill of quantities. As a consequence, the parties to the contract were often faced with contract interpretation conflicts due to inconsistencies, contradictions and omissions within the contract documents.

The consensus of the working group was thus to draw a clear line between technical and commercial conditions.

Aiming to ease the calculation of cost (price) for the bidder (contractor), and the subsequent management of the contract by both contractor and owner/engineer, a second important agreement has been reached: All information necessary for the calculation and subsequent payment of works should be provided within the relevant (single) work item of the bill of quantities, without the need to search in other chapters of the tender (contract) documents. Only specifications not substantially necessary for estimating the cost of the work item should be described in the technical conditions of tender (the contract).

It is obvious that providing standard contract clauses for each single work item of tunnel construction is not feasible: Technical progress and experience gathered in the management of contracts advance even as the work of the working group proceeds. The edition of such a comprehensive work takes years; an editorial deadline needs to be set. Concerns appearing after this deadline need to be the subject of a revision of the documents. On the other hand, some civil works are far too specific, tend to be changed frequently or are simply not important (technically or cost wise). The effort of editing standardised contract clauses for such works would not pay off.

- beschreiben die (wesentlichsten) technischen Bedingungen
- geben Abrechnungshinweise
- enthalten Nebenleistungen (z. B. Schächte, Bordsteine ...)
- regeln die Abgrenzung zu anderen Leistungen

Die Technischen Vertragsbedingungen enthalten die näheren technischen Spezifikationen, einschließlich Prüfungen.

6. Fachbereiche mit standardisierten Vertragstexten

Die Leistungspositionen und die zugehörigen Technischen Vertragsbedingungen des Tunnelbaus sind in folgende Leistungsgruppen unterteilt:

- Baustellengemeinkosten
- Ausbrucharbeiten
- Stützmaßnahmen
- Entwässerungsarbeiten
- Abdichtungen
- Betonarbeiten
- Nebenarbeiten (z. B. Entwässerungsschächte)
- Bauleistungen für geotechnische Messungen
- Bohrungen und Versuche
- Düsenstrahlverfahren
- Rohrschirm
- Geotechnische Messungen
- Regie

Es bestehen derzeit für 11 Leistungsgruppen ca. 1300 Positionen.

7. Zusammenfassung

Standardisierte Texte für Leistungspositionen des Tunnelbaus und Technische Vertragsbedingungen werden seit 2004 neu erstellt angeboten. Diese umfassen die üblichen im Straßen- und Eisenbahntunnelbau erforderlichen Leistungen und Leistungsgruppen.

Die Leistungsbeschreibungen sind offen gestaltet, so dass Projektspezifika, andere oder neuere Produkte oder Teilleistungen in die Systematik des Vertrages aufgenommen werden können. Sinngemäß das Gleiche gilt für Bauzeitmodelle und Tunnelbauweisen (kontinuierliche Vortriebe).

Last, but not least, each construction project is unique. Many work items (standard clauses) are required for preparing a specific bill of quantities (specification document), special ones will always be necessary. The attempt to standardise something that is unique would be self-contradictory. Consequently, it was agreed to provide standard clauses "only for the most relevant 80 % of tunnel construction".

5. Information provided through the standardised contract clauses

The work items (= basis for the bill of quantities) describe the commercial and specific conditions per work item:

- *the type of work*
- *the scope of work*
- *the most important technical specifications of the work relevant to costing*
- *give details relating to measurement and payment*
- *define minor works which are also to be implemented and paid for within this work item*

The technical specifications describe the technical requirements of the works including testing.

6. Fields of work included in the standardised texts

The work items and the technical specifications are grouped as follows:

- *Site installations*
- *Excavation works*
- *Rock support works*
- *Drainage works*
- *Tunnel waterproofing*
- *Concrete works*
- *Secondary works (e. g. drainage shafts ...)*
- *Works for geotechnical monitoring and instruments*
- *Drilling and testing*
- *Jet grouting*
- *Pipe umbrellas*
- *Implementation of geotechnical monitoring*
- *General site costs*

At present the documents comprise approximately 1300 work items grouped into 11 chapters of works.

Nach Ermessen der Verfasser besteht eine sehr gute Akzeptanz in der Wirtschaft und bei den Auftraggebern was Veranlassung gibt, die Pflege dieses wertvollen Werkes sorgfältig weiter zu betreiben.

8. Quellenangabe

- [1] FSV – Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr: Leistungsbeschreibung Tunnelbau, www.fsv.at
- [2] FSV – Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr: Leistungsbeschreibung Verkehrs-Infrastruktur, www.fsv.at
- [3] FSV – Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr: Technische Vertragsbedingungen UT (LG 42-57), www.fsv.at
- [4] ÖNORM B2203 „Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm Teil 1: Zyklischer Vor-trieb“
- [5] Betty, John G.: Engineering Contracts: Practical Guide, McGraw-Hill International (UK) Ltd., 1993
- [6] Cox, P. J.: Writing Specifications for Construction, McGraw-Hill book company, London 1994
- [7] Huse, J. A: Understanding and Negotiating Turnkey Contracts, Sweet & Maxwell, London 1997

7. Summary

Since 2004, a completely revised new edition of standard contract clauses (work items, clauses for technical specifications) for NATM tunnels was released. These comprise the most common works for the construction of road and rail tunnels.

The numbering system of work items is open in such a manner that specific work items can be listed in the system. This also applies for regular tunnel sections, tunnel construction methods (NATM, TBM) or payment models for time dependent construction cost. The acceptance of the documents by the construction industry is very satisfactory from the viewpoint of the authors and based on current experience from tendering and construction.

8. References

- [1] FSV – Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr: Leistungsbeschreibung Tunnelbau, www.fsv.at
- [2] FSV – Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr: Leistungsbeschreibung Verkehrs-Infrastruktur, www.fsv.at
- [3] FSV – Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr: Technische Vertragsbedingungen UT (LG 42-57), www.fsv.at
- [4] ÖNORM B2203 „Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm Teil 1: Zyklischer Vor-trieb“ (Underground Works – Works contracts Part 1: Cycling driving)
- [5] Betty, John G.: Engineering Contracts: Practical Guide, McGraw-Hill International (UK) Ltd., 1993
- [6] Cox, P. J.: Writing Specifications for Construction, McGraw-Hill book company, London 1994
- [7] Huse, J. A: Understanding and Negotiating Turnkey Contracts, Sweet & Maxwell, London 1997

Die ÖBV-Richtlinien „Spritzbeton“ und „Innenschalenbeton“

The ÖBV Guidelines on “Sprayed Concrete” and “Concrete for Inner Tunnel Linings”

Helmut Huber, Österreichische Bautechnik Vereinigung, Austria, huber@betonzentrum.at, www.betonzentrum.at
Michael Pauser, Österreichische Bautechnik Vereinigung, Austria, pauser@bautechnik.pro, www.bautechnik.pro

Während die allgemeinen Normen für den Baustoff Beton ein sehr breites Anwendungsgebiet abdecken müssen und daher nicht auf bauwerksspezifische Anforderungen oder Optimierungen eingehen können, bieten die ÖBV-Richtlinien der Österreichischen Bautechnik Vereinigung ein Gesamtkonzept für besondere Bauverfahren oder Spezialbetone an. Statt Beton nach Norm muss „Beton nach Maß in den ÖBV-Richtlinien“ treten.

Die ÖBV-Richtlinien enthalten technisch wie bauwirtschaftlich klare und objektive Vorgaben für Planung, Ausschreibung und Ausführung. Die Richtlinieninhalte werden von maßgebenden, praxiserfahrenen Vertretern der Bauherren, Planer, Bau- und Baustoffindustrie, Prüfanstalten und Wissenschaft gemeinsam erarbeitet und nach einigen Jahren jeweils nach dem letzten Wissensstand überarbeitet.

An Betone für den Vortrieb und Ausbau von Hohlraumbauten werden sehr hohe und vielseitige Anforderungen gestellt, die in den allgemeinen Normen nicht behandelt werden können. Mit den ÖBV-Richtlinien „Spritzbeton“ und „Innenschalenbeton“ wurden die Grundlagen für eine möglichst problemlose und qualitätsentsprechende Abwicklung von Tunnelbauvorhaben geschaffen.

ÖBV-Richtlinie „Spritzbeton“

Mit dem Bau der großen Verkehrstunnels nach der NATM begann um 1970 der Weg zu einem hochwertigen Qualitätsspritzbeton mit der zielsicheren Einhaltung einer bestimmten Festigkeitsentwicklung bereits ab der ersten Minute nach dem Auftrag sowie einer entsprechenden Endfestigkeit und Dauerhaftigkeit. Dazu war die Entwicklung von abgestimmten Zementen, Zusatzstoffen und

Whereas the general standards on concrete as a building material have to cover a very broad scope and therefore cannot elaborate in detail on structure-specific requirements or potential optimisation measures, the ÖBV Guidelines drawn up by the Austrian Society for Construction Technology provide a comprehensive set of rules for special construction procedures or special classes of concrete. The notion of concrete made to the specifications of standards is being replaced by “concrete made to measure” as outlined in the ÖBV Guidelines.

The ÖBV Guidelines clearly and objectively describe the technological and economic requirements to be met in project planning, tendering and execution. Highly experienced representatives of clients, design engineers, the construction and building materials industries, testing institutes and academic institutions contribute to the ÖBV Guidelines, which are periodically revised on the basis of the most recent practical and scientific findings.

Concrete for use in the excavation and support of underground structures has to meet varied and highly demanding requirements, which cannot all be dealt with in standards of a general nature. The ÖBV Guidelines on “Sprayed Concrete” and “Inner Lining Concrete” provide the basis for tunnel construction projects to be executed without problems and to a satisfactory level of quality.

ÖBV Guideline on “Sprayed Concrete”

The construction of major traffic tunnels according to the NATM around 1970 initiated a process aimed at the development of high-quality sprayed concrete that reliably meets the requirements of specified strength development from the first minute after placing as well as in terms of its final strength and durability. To this end,



Abb. 1. ÖBV-Richtlinien „Spritzbeton“ und „Innenschalenbeton“



Fig. 1. Guideline "Sprayed Concrete"

Erstarrungsbeschleunigern, exakten Dosieranlagen, neuen Verarbeitungsmethoden und Prüfverfahren erforderlich.

In der 1985 begonnenen und 1989 erstmalig herausgegebenen ÖBV-Richtlinie „Spritzbeton“ wurde der letzte Stand der österreichischen Spritzbetontechnologie eingearbeitet. Besonders beim Vortrieb im innerstädtischen Tunnelbau ist eine exakt eingehaltene Frühfestigkeitsentwicklung in den ersten 24 Stunden erforderlich. Erstmals wurden für den

modified cement grades, mineral aggregates and accelerators, accurate dosing systems and new working methods and testing procedures were needed.

The ÖBV Guideline on "Sprayed Concrete", which was begun in 1985 and first published in 1989, incorporated the state of the art of Austrian sprayed concrete technology. In urban tunnelling under built-up areas, in particular, early strength development according to specifications during the first 24 hours is

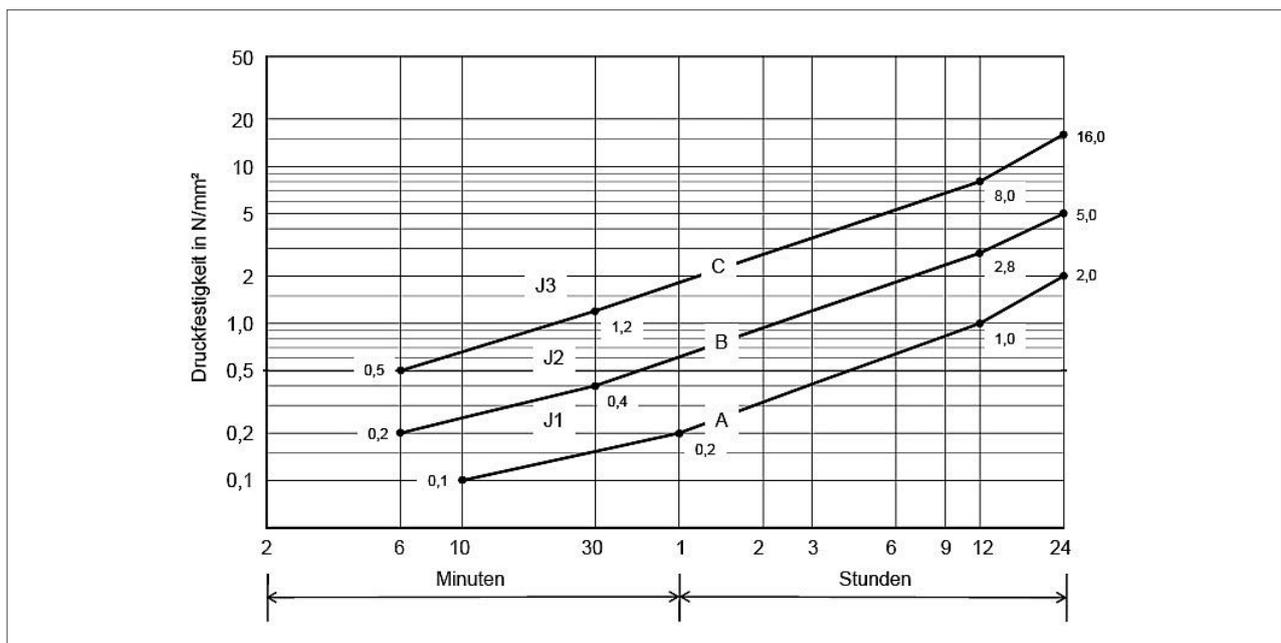


Abb. 2. Diagramm Frühfestigkeitsklassen aus Spritzbetonrichtlinie | Fig. 2. Early strength classes

„Jungen Spritzbeton“ Festigkeitskriterien definiert und in den Frühfestigkeitsklassen J1, J2 und J3 festgelegt.

Die Messverfahren dazu wurden am Institut für Baustofflehre und Materialprüfung der UNI Innsbruck entwickelt.

essential. For the first time strength criteria were defined for “young sprayed concrete” and classified according to strength classes J1, J2 and J3.

The measuring procedures were developed at the Institute of Building Materials and Material Testing of the University of Innsbruck.

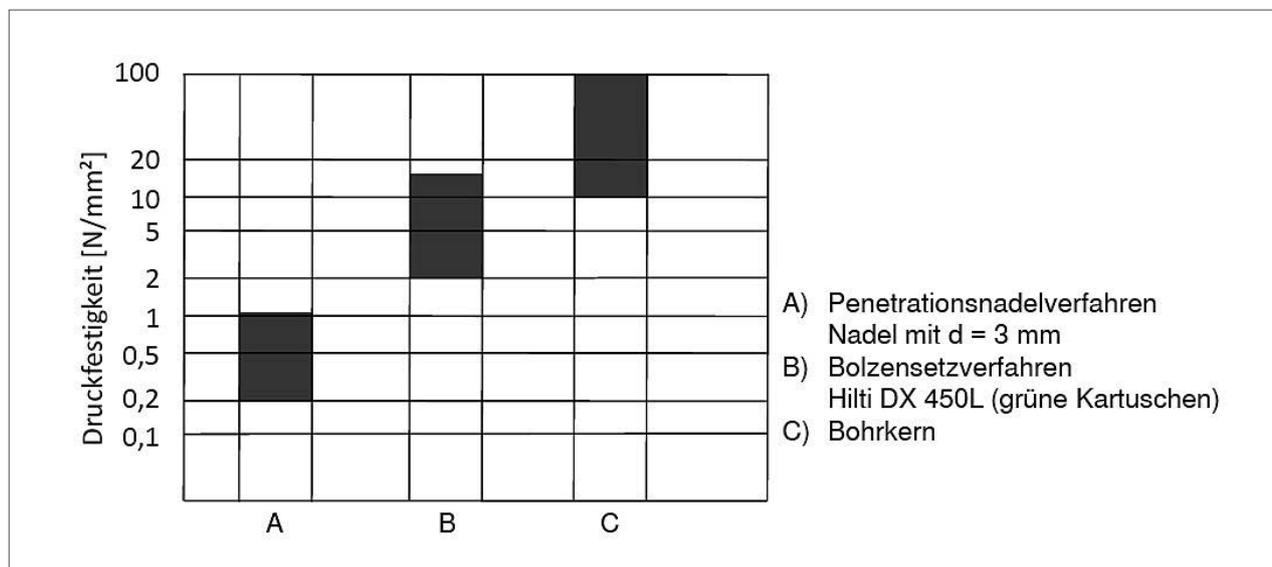


Abb. 3. Messverfahren zur Prüfung des Jungen Spritzbetons
Fig. 3. Measuring procedures for testing of young sprayed concrete

Wesentlich für die Einhaltung der Festigkeitsanforderungen sind abgestimmte und gleichmäßige Zement-eigenschaften und das Zusammenwirken von Zement und Erstarrungsbeschleuniger hinsichtlich Erstarrungsbeschleunigung und Endfestigkeit. In der Richtlinie wurden die für Tunnelbetone spezifischen und weit über die Norm hinausgehenden Zementanforderungen festgelegt („Tunnelzement“ TZ1, TZ2), die erst viel später in ÖNORM B 3327-1 übernommen wurden. Die bis 1980 übliche Verwendung von pulverförmigen Erstarrungsbeschleunigern mit ungenauer Dosierung bewirkten bei Einhaltung der geforderten Frühfestigkeiten einen Abfall der 28-Tagefestigkeit gegenüber einem zusatzmittelfreien Nullbeton bis zu 70 %. In der Richtlinie Spritzbeton 1989 wurden die Maßnahmen zur Minimierung des Festigkeitsabfalls auf 40 % und die notwendigen Prüfmethode dazu festgelegt.

Während in der ersten Ausgabe der Richtlinie „Spritzbeton“ die Schwerpunkte bei der Klassifizierung des Spritzbetons, Anforderung an die Ausgangsstoffe, Herstellung und Auftrag des Trockenspritzbetons sowie Prüfung lagen, wurden 1998 in der 2. Ausgabe die Anforderungen an einen „umweltverträglichen“

Compliance with the specified requirements in terms of acceleration and final strength largely depends on uniform and appropriately modified cement properties and on the interaction between cement and the accelerator. The Guideline indicates the specific requirements to be met by tunnel cement, which go far beyond those of the relevant standard (“tunnel cement” TZ1, TZ2) and were incorporated into the Austrian Standard ÖNORM B 3327-1 at a much later date.

The use of inaccurately dosed powder accelerators, which was common practice up to 1980, resulted in a drop in 28-day strength by as much as 70 % in concrete that met the specified early-strength targets, compared with additive-free reference concrete. The 1989 edition of the Guideline on “Sprayed Concrete” described measures to reduce the drop in strength to 40 % and indicated the test methods to be applied.

While the first edition of the Guideline on Sprayed Concrete focused on the classification of sprayed concrete, its constituent materials and the production, application and testing of dry-mix sprayed con-

Spritzbeton zum größeren Schutz der Mannschaft erarbeitet und die inzwischen neu eingeführten Herstellverfahren des Spritzbetonmischgutes (Trocken- und Nassmischgut, Feuchtmischgut lagerfähig) mit dazu erforderlichen Prüfverfahren aufgenommen. Mit der Forderung einer „alkalifreien Erstarrungsbeschleunigung“ (Begrenzung des pH-Wertes in der Suspension oder Lösung des flüssigen Zusatzmittels) wurde die Verletzungsgefahr durch Verätzungen wesentlich reduziert.

Die 3. Ausgabe von 2004 war notwendig, um die Anforderungen und Begriffe der neuen europäischen Betonnorm EN 206-1 auch für den Spritzbeton einzuarbeiten sowie Maßnahmen und Umfang der Erstprüfung, Konformitäts- und Identitätsprüfung für die verschiedenen Herstellverfahren festzulegen. Aufgrund der Verbesserungen bei der Zusammensetzung und Dosiergenauigkeit der flüssigen Erstarrungsbeschleuniger konnte der zulässige Festigkeitsabfall auf 20 % reduziert werden.

In der 4. Ausgabe 2009 der Richtlinie „Spritzbeton“ wurden die zahlreichen europäischen EN – Spritzbetonnormen berücksichtigt und erstmals auch die Möglichkeiten eines optimierten Verhaltens bezüglich der Versinterung von Drainagen behandelt, indem die Spritzbetoneigenschaft RV (reduziertes Versinterungspotential) eingeführt wurde. Die konstruktiven Aufgaben des Spritzbetons (Spritzbetonklassen SpC I, SpC II und SpC III) wurden exakter definiert. Die Aufgabe des überwiegend ausgeführten SpC II liegt im Allgemeinen bei der Sicherungs- und Stützfunktion, die bei fachgerechter Ausführung in Kombination mit späteren Maßnahmen dauerhaft erhalten bleibt.

Mit der Beigabe von Mikro-PP-Fasern kann die Eigenschaft BBG „Erhöhter Brandschutz für Beton für unterirdische Verkehrsbauwerke“ erreicht werden.

Aufbau der ÖBV-Richtlinie „Spritzbeton:

1. Anwendungsbereich
2. Begriffsbestimmungen
3. Umweltverträglichkeit von Spritzbeton
4. Spritzbetonausgangsstoffe
5. Mischgut
6. Spritzverfahren
7. Anforderungen an den Spritzbeton
8. Konstruktive Anforderungen
9. Einschalige Bauweise
10. Sonderverfahren
11. Festlegungen und Prüfungen

crete, the second edition of 1998 placed greater emphasis on the use of “environmentally safe” sprayed concrete for improved occupational health and safety. It also covered the newly introduced production methods (dry mix, wet mix, storable moist mix) and the related test methods. The requirement to use non-alkaline accelerators (limitation of pH value in the slurry or solution of the liquid admixtures) helped to significantly reduce the risk of injuries through acid burns.

The third edition, published in 2004, was necessary to incorporate the requirements and the terminology of the new European Concrete Standard EN 206-1, as applicable to sprayed concrete, and to specify the procedures and the scope of initial testing, conformity testing and identity testing for the different production methods. Through improvements in the composition and the dosing accuracy of liquid accelerators, the permissible drop in strength was reduced to 20 %. The fourth edition of the Guideline on Sprayed Concrete, published in 2009, covered the large number of European (EN) sprayed concrete standards and for the first time, dealt with the possibility of optimising concrete behaviour as far as segregation in drainage ducts is concerned by introducing a new sprayed concrete property RV (= reduced segregation potential). The structural function of sprayed concrete (sprayed concrete classes SpC I, SpC II and SpC III) were defined more accurately. SpC II, the sprayed concrete class used most frequently, generally fulfils a safety and support function, which is permanently maintained, provided the concrete is correctly applied and the necessary subsequent measures are taken.

If micro PP fibres are added, the concrete can be upgraded to meet the requirements of “increased fire protection for concrete in underground traffic structures”.

Structure of the ÖBV Guideline on Sprayed Concrete:

1. Scope
2. Definitions
3. Environmental compatibility of sprayed concrete
4. Constituent materials for sprayed concrete
5. Mix
6. Spraying procedures
7. Requirements to be met by sprayed concrete
8. Structural requirements
9. Single-shell construction method
10. Special procedures
11. Specifications and testing

12. Prüfverfahren
13. Qualitätsmanagement
14. Ausschreibungsempfehlungen
15. Normen, Richtlinien und Literatur

ÖBV – Richtlinie „Innenschalenbeton“

Mit der Ausarbeitung der ÖBV-Richtlinie „Innenschalenbeton“ wurde 1991 begonnen, da für die speziellen Anforderungen einer Tunnelinnenschale kein Gesamtkonzept für Konstruktion, Bemessung, Bontotechnologie und Ausführung vorhanden war. Die erste Fassung der Richtlinie aus dem Jahr 1995 wurde 2002 zur Anpassung an die Europäische Betonnorm EN 206-1 überarbeitet und liegt seit 2003 im Druck vor. Die Richtlinie umfasst die konstruktiven und betontechnischen Anforderungen für Innenschale, Zwischendecke und Trennwand von Lüftungskanälen:

1. Anwendungsbereich
2. Begriffsbestimmungen
3. Beton(Betonausgangsstoffe, Betonzusammensetzung, Prüfung)
4. Konstruktive Maßnahmen
5. Vorbereitung zur Betonierung
6. Betonherstellung und Einbau
7. Anforderungen und Maßnahmen nach dem Betoneinbau
8. Sonderverfahren
9. Zwischendecke und Trennwand für Lüftungskanäle
10. Ausschreibungsempfehlungen
11. Normen, Richtlinien, Literat

In der Ausführung werden

- unbewehrte Innenschalen mit und ohne Abdichtung
- bewehrte Innenschalen ohne und mit Abdichtung sowie
- wasserundurchlässige Innenschalen (WDI) unterschieden.

Für den Beton werden die Grundsätze der Betonzusammensetzung und Anforderungen festgelegt, um eine Optimierung der maßgebenden Betoneigenschaften Verarbeitbarkeit, Ausschalen mit Ausschalfestigkeit, Vermeiden von Rissen und Gebrauchseigenschaften zu erreichen. Eine Optimierung ist erforderlich, weil sich die Eigenschaften größtenteils

12. Testing procedures
13. Quality management
14. Recommendations for tendering
15. Standards, guidelines, bibliography

ÖBV Guideline on “Inner Lining Concrete”

Work on the ÖBV Guideline on Inner Lining Concrete was begun in 1991, because there was no comprehensive set of rules covering the special requirements to be met by the inner lining of a tunnel in terms of design, dimensioning, concrete technology and execution. The first edition of the Guideline from 1995 was revised in 2002 to adapt it to the European Concrete Standard EN 206-1 and has been available in print since 2003. The Guideline covers the requirements to be met by inner linings, intermediate ceilings and partitions for ventilation ducts both in structural terms and in terms of concrete technology.

1. Scope
2. Definitions
3. Concrete (constituent materials, composition, testing)
4. Structural measures
5. Preparations for concrete placing
6. Production and placing of concrete
7. Requirements and measures after concrete placing
8. Special procedures
9. Intermediate ceiling and partition for ventilation ducts in traffic tunnels
10. Recommendations for tendering
11. Standards, guidelines, bibliography

As regards execution, a distinction is made between:

- *inner linings without reinforcement, with and without sealing*
- *inner linings with reinforcement, with and without sealing, and*
- *waterproof inner linings (WDI)*

The Guideline refers to the principles of concrete composition and specifies the requirements to be met with a view to optimising the essential properties of concrete, i.e. workability, stripping and stripping strength, avoidance of crack formation and fitness for use. There is a definite need for optimisation, as most of the properties required are extremely

entgegenstehen, wie z. B. Vermeiden von Rissen gegen Ausschalzeit.

Wesentlich zur Vereinfachung und klaren Regelung bei Planung und Ausführung trägt die Einführung eines Gesamtkonzeptes für die hauptsächlich zur Anwendung kommenden Betonsorten bei (Kurzbezeichnung: IG – Gewölbebeton Normalbereich oder WDI wasserundurchlässige Innenschale, IXATG: Gewölbebeton mit Sulfatangriff:). Für diese „Regel-Betonsorten“ sind die gesamten Anforderungen an die Ausgangsstoffe, Betonzusammensetzung, Frisch- und Festbetoneigenschaften, Erstprüfung, Konformitäts- und Identitätsprüfung, mit Prüfhäufigkeit, Nachbehandlung genau festgelegt, sodass Planer, Betonhersteller und Verwender ein genau definiertes, qualitätsentsprechendes Gesamtkonzept vorfinden. Die praxisnahe Betontechnologie der Richtlinie ist möglich, weil die geforderten Betoneigenschaften direkt am Festbeton und nicht wie in den Betonnormen über niedrige W/B-Werte nachgewiesen werden, was eine meist günstigere Verarbeitbarkeit und geringere Wärmeentwicklung ermöglicht.

Anders als in den Betonnormen wird in der Richtlinie einer möglichen Rissbildung infolge Eigen- und Zwangsspannungen aus abfließender Hydratationswärme und Schwinden damit Rechnung getragen, dass Einbautemperatur, Wärmeentwicklung des Betons und die daraus resultierende Bauwerkstemperatur für die einzelnen Regelbetonsorten begrenzt sind. Gerade die Begrenzung der Wärmeentwicklung des Innenschalenbetons in Verbindung mit der Regel-Ausschalzeit von 12 Stunden erfordert die Optimierung des Bindemittels aus Mischungen von Tunnelzement TZ2 (Zement gemäß ÖN B 3327-1) und AHWZ.

Besonderer Wert wird bei der Prüfung des Innenschalenbetons auf Bauwerksprüfungen gelegt:

- Prüfung der Ausschalfestigkeit bei jedem Betonierabschnitt vor Absenken der Schalung
- Temperaturverlauf des Gewölbebetons
- Betondeckung der Stahleinlagen (bei bewehrten Innenschalen)

In den Kapiteln für konstruktive Maßnahmen und Vorbereitung zur Betonierung werden alle Anforderungen hinsichtlich Bewehrung, Zeitpunkt des Betoneinbaus, Ausschalfestigkeit, Untergrund und Trennschichten, Schalungen und Trennmittel sowie der Herstellungstoleranzen festgelegt.

difficult to reconcile, e.g. avoidance of cracks and stripping time.

The introduction of a comprehensive and coherent set of rules covering the most frequently used classes of concrete (abbreviations used: IG = arch concrete, normal or WDI, i.e. waterproof; IXATG: arch concrete exposed to sulphate attack) essentially helps to simplify and clarify the steps to be taken in project design and execution. For these “standard” concrete classes, the guideline specifies all the requirements to be met in terms of constituent materials, concrete composition, properties of fresh and cured concrete, initial testing, conformity and identity testing, including testing frequency and after treatment, which enables designers, concrete producers and contractors to follow a set of clearly defined and quality-oriented rules. The concrete technology described in the Guideline can be applied under practical conditions, as the required concrete properties are not demonstrated on the basis of low water/binder ratios, as stipulated by the concrete standards, but directly in cured concrete, which offers the advantages of better workability and lower heat development.

Unlike the concrete standards, the Guideline takes account of the possibility of crack formation due to internal and confining stresses from the outflow of hydration heat and shrinkage by setting limits on placing temperature, the development of heat in concrete and the resulting temperature of the structure as a whole that are specific to the individual standard concrete classes. In particular, setting limits on heat development in inner lining concrete in combination with a standard stripping time of twelve hours requires optimisation of the binder consisting of a mix of tunnel cement (TZ2 (cement according to ÖN B 3327-1) and prepared hydraulically active additives (AHWZ).

Within the framework of tests of inner lining concrete, special attention is paid to structural testing:

- *Testing of stripping strength in each concreting section prior to the removal of formwork*
- *Temperature development in arch concrete*
- *Concrete cover on steel reinforcement bars (in reinforced inner linings)*

The chapters on structural measures and preparations for concrete placing specify all requirements to

In den Kapiteln Betonherstellung und Einbau sowie Anforderungen und Maßnahmen nach dem Betoneinbau werden die Anforderungen an die Mischanlage mit zulässiger Frischbetontemperatur, Fördern, Einbau, Ausschalen und Nachbehandlung bearbeitet.

Derzeit wird die Richtlinie "Innenschalenbeton" überarbeitet und wird Ende 2012 als 3. Ausgabe erscheinen.

Aus betontechnischer Sicht ist die Erweiterung der Regelbetonsorten auf praktisch alle möglichen Expositionsklassen ein weiterer Schritt für eine bautechnisch wie vertragsmäßig klar geregelte und qualitative Herstellung von Tunnelinnenschalen mit allen nötigen Vorgaben in der Richtlinie.

be met with regard to reinforcement, time of concrete placing, stripping strength, substrate, separating layers, formwork and formwork release agents as well as production tolerances.

The chapters on concrete production and placing and on the requirements and measures after concrete placing specify the requirements to be met by the mixing plant, including the permissible fresh concrete temperature, conveying of concrete, placing, stripping and after-treatment.

The Guideline on Inner Lining Concrete is currently being revised and will be published in its third edition at the end of 2012.

Anwendung	Normalbereich		Gewölbebeton und Sohlebeton mit besonderen Eigenschaften (6)					
	Gewölbebeton	Sohle, Sohl-Gewölbe, Widerlager	Frostangriff mit Taumittelohne Tunnelanstrich	Wasserundurchlässige Innenschale	Sulfatangriff SO_4^{2-} 200–3000mg/l	lösender Angriff	Erhöhter Brandschutz für Innenschalen	Erhöhter Brandschutz für WDI
Abkürzungen für Betonsorte (Kurzbezeichnung)	IG ⁷⁾	IS	IT	WDI ⁵⁾	IXAT/A ^{2a)} IXAT/B ^{2b)} IXAT/C ^{2c)}	IXAL/A ^{17a)} IXAL/B ^{17b)} IXAL/C ^{17c)}	I/BBG	WDI/BBG
Expositionsklassen nach ÖNORM B 4710-1 abgedeckt	XC3 XA1L	XC3 XA1L	XC4 XF4 XA2L ^{17b)}	XC4 XF3 XA1T ^{2a)} C3A-frei XA2L ^{17b)}	XC3 ^{2a)} XC4 ^{2b, 2c)} XF3 XA1T ^{2a)} XA2T ^{2b, 2c)} C3A-frei XA1L ^{17a)} XA2L ^{17b)}	XC3 ^{17a)} XC4 ^{17b)} XF3 XA1L ^{17a)} XA2L ^{17b)}	XC3, XF310), BBG / XA1L	XC4 XF3 XA1T ^{2a)} C3A-frei XA2L ^{17b)} BBG
Festigkeitsklassen (56d, bzw. 90d)	C20/25 (56), (90) C25/30 (56), (90)	C20/25 (56), (90) C25/30 (56), (90)	C20/25 (56), (90) C25/30 (56), (90)	C20/25 (56), (90) C25/30 (56), (90)	C25/30 (56), (90)	C25/30 (56), (90)	C20/25 (56), (90) C25/30 (56), (90)	C20/25 (56), (90) C25/30 (56), (90)

Abb. 4. Regel-Betonsorten für Innenschalen: Auszug aus Tab 3/3 der ÖBV-RL

Fig. 4. Standard concrete classes for inner linings

Nur für hohe Festigkeitsanforderungen und Kombinationen von hohen Expositionsklassen ist ein Sonderbeton mit einem eigenen Betonkonzept erforderlich.

Für die Erstprüfung, Konformitäts- und Identitätsprüfung wurden ein übersichtliches Prüfprogramm und dessen Dokumentation festgelegt. Die Betonentnahme für KF- und ID-Prüfungen muss immer am Einbauort erfolgen, um ungünstige Mischungseffekte beim Betontransport zu erkennen.

From the viewpoint of concrete technology, extending the use of standard concrete grades to all possible exposure classes is a further step towards the establishment of clear rules – in terms of both construction technology and contract provisions – for high-quality inner tunnel linings. Special concrete based on a specific design concept is only required for high-strength applications in combination with high exposure classes.

A clear programme of tests, complete with the necessary documentation, has been established for ini-

Die Neuerungen auf konstruktiver Seite sind die praktische Ermittlung des Regelprofils für die Planung und als vertragliche Basis unter Berücksichtigung der Vorhaltemasse sowohl für den zyklischen als auch kontinuierlichen Vortrieb sowie die Festlegung der Betondeckung, für die der Korrosionsschutz und der Brandschutz maßgebend sind.

Abschließend ein Aufruf an die zukünftigen Tunnelbauer: Die langjährigen praktischen Erfahrungen bei Tunneln in Österreich zeigen, dass unbewehrte Tunnelinnenschalen den Anforderungen an den endgültigen Ausbau von Straßen- und Eisenbahntunneln voll gerecht wurden und damit eine wirtschaftliche Lösung ohne Qualitätseinbußen darstellen. Bei Einhaltung der Richtlinie „Innenschalenbeton“ wird das auch in Zukunft gewährleistet sein.

tial testing as well as conformity and identity testing. Samples for conformity and identity testing must always be taken at the site of placing in order to detect unfavourable effects on the concrete mix during transport.

Innovations regarding structural aspects include the practical determination of the standard cross section for design purposes and as a basis for contracting, taking into account the allowance for tolerance, both for cyclical and continuous tunnel driving as well as the specification of the concrete cover required for corrosion protection and fire-proofing.

In conclusion, here is an appeal addressed to future tunnelling engineers: Many years of practical experience gained in tunnel construction in Austria have shown that non-reinforced inner tunnel linings fully meet the final support requirements of road and railway tunnels and therefore constitute a cost-effective solution without any quality trade-offs. This finding will remain valid for future tunnel projects, provided the rules of the Guideline on “Inner Lining Concrete” are complied with.

Richtlinien zur NATM – ein kurzer Überblick

Guidelines regarding NATM – a short overview

Robert Galler, Lehrstuhl für Subsurface Engineering, MontanUniversitaet, Austria, robert.galler@unileoben.ac.at, www.subsurface.at, www.ita-aites.at

1. Einleitung

Seitens der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG) und der ITA Austria (Nationalkomitee der International Tunnelling Association) wurden in den letzten Jahren einige Regelwerke und Bücher herausgegeben, die dem Verständnis der Abläufe im Tunnelbau – unter anderem bei Anwendung der NATM – dienen sollen. Der vorliegende Aufsatz gibt darüber einen kurzen Überblick. Die nachstehend angeführten Bücher und Richtlinien sind über die Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, Bayerhamerstraße 14, A 5020 Salzburg beziehbar (salzburg@oegg.at).

2. 100 Jahre Prof. Leopold Müller

Im Jahre 2008 wurde anlässlich des 100. Geburtstages von Prof. Leopold Müller, dem Gründer der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG) und der International Society for Rock Mechanics (ISRM) beschlossen, alle seine Publikationen gesamthaft in einem Buch mit dem Titel „100 Jahre Prof. Leopold Müller“ zu veröffentlichen. Da dieses Buch bei Abdruck aller seiner Publikationen mehr als 1000 Seiten umfasst hätte, wurde beschlossen, die Fachpublikationen auf einer CD dem Buch beizulegen und seinen Lebenslauf und die sonstigen Veröffentlichungen, derer es ebenfalls zahlreiche gibt, im Buch abzu drucken. Das Buch wurde entsprechend den Publikationen von Prof. Leopold Müller in deutscher Sprache aufgelegt.

3. The Austrian Art of tunnelling in construction, consulting and research

Gleichzeitig mit dem oben genannten Buch wurde beschlossen, die österreichi-

1. Introduction

During the past few years, the Austrian Association for Geomechanics (ÖGG) and the ITA Austria (national committee of the International Tunnelling Association) published several guidelines and books, which serve as a basis for a better understanding of tunneling procedures by the application of NATM. This paper gives a short overview about this topic. The following mentioned books and guidelines can be obtained via the Austrian Association for Geomechanics, Bayerhamerstraße 14, A 5020 Salzburg (salzburg@oegg.at).

2. 100 years Prof. Leopold Müller

In 2008, on occasion of the 100th birthday of Prof. Leopold Müller, the founder of the Austrian Association for Geomechanics (ÖGG) and the International Society for Rock Mechanics (ISRM), it was decided to publish all his publications in a book with the title "100 years Prof. Leopold Müller". Since the book including all his publications would have contained



Abb.1. Buchcover „100 Jahre Prof. Leopold Müller
Fig. 1. Cover of the book "100 years Prof. Leopold Müller

schen Aktivitäten im Fachgebiet des Tunnelbaus gesamthaft darzulegen. Das Buch gibt einen Überblick über zahlreiche Aktivitäten österreichischer Universitäten, Auftraggeber, Planer und Baufirmen in diesem Fachgebiet. Das Buch wurde von der ITA-Austria herausgegeben und steht in englischer Sprache zur Verfügung.

4. NATM – The Austrian Practice of Conventional Tunnelling

Die Entwicklung einer Tunnelbaumethode wird von vielen Faktoren, wie beispielsweise geographischen, politischen, sozialen und kulturellen beeinflusst. Eng verbunden damit ist auch der Bedarf an unterirdischen Infrastrukturen, die Entwicklung technischer Standards, der rechtliche Status der Eigentümer, die Verfügbarkeit qualifizierter Arbeitnehmer, vertragliche Sichtweisen und viele andere mehr. Da Österreich im Zentrum Europas liegt und hier schon immer Korridore für den Personen- und Warenverkehr durchführten und das Land zudem von Bergen geprägt ist, waren Tunnelbauwerke schon in früherer Zeit von großem Interesse. Aus geologisch-geotechnischer Sicht sind die Tunnelbaubedingungen in den Alpen generell als schwierig einzustufen. Seit 1970 wurden und werden in verstärktem Ausmaß Tunnelbauwerke für die Infrastruktur errichtet. Einige herausragende

over 1000 pages, it was decided to print his curriculum vitae and numerous other publications in the book and to enclose his specialised publications on a CD as attachment. The book was printed in German in accordance with the publications of Prof. Leopold Müller.

3. The Austrian Art of tunnelling in construction, consulting and research

At the same time it was decided to publish all Austrian activities in the field of tunnelling. The book gives an overview of the numerous activities of Austrian universities, clients, designers and construction companies in this field. The book was published by the ITA Austria and is available in English.

4. NATM – The Austrian Practice of Conventional Tunnelling

The development of a tunnelling method is influenced by many factors, for example geographical, political, social and cultural considerations. The demand on underground infrastructures, the development of technical standards, the legal status of the owners, the availability of qualified employees, contractual views and

many more are closely linked to this topic. Since Austria, characterised by mountainous areas, is situated in the centre of Europe and has always been a corridor for passenger and merchandise traffic, tunnel constructions were of high interest since early days. In general the tunnelling conditions in the Alps are difficult from a geological-geotechnical point of view. Since 1970 infrastructural tunnels were and still are constructed at an increasing rate. Some extraordinary Austrian engineers, among them Rabcewicz, Müller, Pacher, Lauffer, Seiber et al., supported the



Abb.2. Kernteam der Bearbeitung des Buches "NATM – the Austrian practice of conventional tunnelling" von links nach rechts: Prof. E. Schneider, Dipl.-Ing. P. Bonapace, Prof. R. Galler, Dr. B. Moritz, Dipl.-Ing. M. Eder

Fig.2. Members of the core team of authors regarding the book "NATM – the Austrian practice of conventional tunnelling"; from left to right: Prof. E. Schneider, Dipl.-Ing. P. Bonapace, Prof. R. Galler, Dr. B. Moritz, Dipl.-Ing. M. Eder

österreichische Ingenieure, unter ihnen Rabcewicz, Müller, Pacher, Lauffer, Seeber, et al., haben zu dieser Zeit die Entwicklung des Tunnelbaus mit innovativen Ideen gefördert, die schließlich in der NATM – New Austrian Tunnelling Method, in welcher der observational approach inkludiert war, mündeten.

Das Buch gibt einen Überblick über den Stand der Technik, beginnend von Prinzipien im konventionellen Tunnelbau über die Planungsphase, einen Überblick über das erforderliche Explorationsprogramm, das geotechnische Design und geotechnische Sicherheitsmanagement, das geotechnische Monitoring und die Dateninterpretation bis hin zum Tunnelbauvertrag und die Organisation der Tunnelbaustelle bei Anwendung der NATM.

5. Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb

Diese Richtlinie gibt einen Überblick über den Ablauf der geomechanischen Bearbeitung sowohl in der Planungs- als auch in der Ausführungsphase und steht in deutscher als auch englischer Sprache zur Verfügung. Weitere Ausführungen dazu finden Sie im Aufsatz von Schubert in diesem Buch.

6. The Austrian Practice of NATM Tunnelling Contracts

Um die Stärken der NATM auch vertraglich abzubilden, muss der zugehörige Bauvertrag die Anforderungen der Flexibilität erfüllen. Die Basis für diesen Vertrag bildet die ÖNORM B2203-1 „Werkvertragsnorm für Untertagebauarbeiten“.

Die hier zitierte Richtlinie wurde im Jahr 2011 herausgegeben und beinhaltet erstmals konkrete Beispiele zur vertraglichen Regelung der Vortriebsarbeiten in englischer Sprache.

7. Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung der Projektrisiken

Die Realisierung von Verkehrsinfrastrukturprojekten insbesondere von Untertagebauwerken wird von einer

development of tunnelling with innovative ideas at this time, leading to the NATM – New Austrian Tunnelling Method, which included the observational approach.

The book gives an overview about the current state of the art, from the principals of conventional tunnelling over the design stage, the required exploration programme, the geotechnical design and geotechnical safety management, the geotechnical monitoring and data interpretation to the tunnelling contract and the organisation of a tunnel construction site during application of the NATM.

5. Guideline for the geotechnical design of underground structures with conventional excavation

This guideline gives an overview about the geomechanical processing in the design stage as well as the construction phase and is available in German and English. Further elaborations on this topic can be found in the essay of Schubert within this book.

6. The Austrian Practice of NATM Tunnelling Contracts

In order to contractually show the strengths of the NATM, the associated building contract needs to be flexible. The basis for this contract is the norm ÖNORM B2203-1 “Underground works – Works contract”.

The mentioned guideline was introduced in 2011 and includes specific examples regarding the contractual regulations of advance works in English for the first time.

7. Cost determination for infrastructure projects with consideration of project risks

The realisation of traffic infrastructure projects, especially of underground structures, is accompanied by many complex influences. In most cases, tunnelling projects are to be considered as prototypes due to the project specific boundary conditions. The project costs are difficult to determine and therefore they need to be estimated over a long project phase

Vielzahl an komplexen Einflüssen begleitet. Tunnelbauvorhaben sind aufgrund der projektspezifischen Randbedingungen meist mit Prototypen gleichzustellen. Die Projektkosten sind dabei im Voraus nur schwer exakt ermittelbar und müssen daher über eine lange Projektphase auf Basis einer noch nicht konsolidierten Projektkennntnis abgeschätzt werden. Die zu erwartenden Kosten sind daher oft erst nach Vorliegen aller Genehmigungen und detailliert durchgeplanter Bauprojekte realistisch einschätzbar.

Besonders in frühen Projektphasen müssen in den Kostenannahmen die wesentlichen Kostenbestandteile von Risiken in sachgerechtem Ausmaß berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck muss eine auf die jeweilige Planungstiefe abgestimmte Bewertung der relevanten Risiken durchgeführt werden.

Zielsetzung dieser Richtlinie ist die Vereinheitlichung der kostenmäßigen Abschätzung von Infrastrukturprojekten, ferner die Darstellung einheitlicher Grundlagen für die Kostenermittlung unter Berücksichtigung der relevanten Risiken sowie die Durchführung einer Kostenermittlung basierend auf nachvollziehbaren Ansätzen.

Aktuell wird diese Richtlinie ins Englische übersetzt. Im Rahmen dieser Übersetzung werden Unklarheiten der deutschsprachigen Fassung aufgeklärt. Es ist geplant, nach Fertigstellung der englischen Fassung auch die deutsche Fassung dieser Richtlinie neu aufzulegen.

8. Handbuch Geotechnical Monitoring in Conventional Tunnelling

Bis dato liegen für die Auslegung des geotechnischen Monitorings, der Interpretation der daraus gewonnenen Daten und für die Erstellung von Sicherheitsmanagementplänen keine Standards vor. Die aktuell in englischer Sprache in Ausarbeitung befindliche Richtlinie soll zukünftig eine Hilfestellung für die Planung des Monitorings bieten.

9. Planungsleitfaden für tiefliegende Tunnel

Nach Aufstellung einer umfassenden Literatursammlung zum Thema „tiefliegende Tunnel“ wird aktuell an der Erstellung eines Planungsleitfadens für tiefliegende Tunnel gearbeitet.

based on not yet consolidated project knowledge. Hence, the expected costs can often only be estimated after all approvals and detailed construction projects are available.

Especially in early project phases the essential cost elements need to be taken into account reasonably in the cost estimations. For this purpose an assessment of the relevant risks in accordance to the particular project depth must be performed. The goal of this guideline is the standardisation of cost estimations for infrastructure projects, the presentation of uniform basics regarding the cost determination with consideration of the relevant risks as well as the realisation of a cost determination based on comprehensible approaches.

Currently, this guideline is being translated into English. Within the framework of this translation uncertain formulations of the German version are cleared up. There are plans to reissue the German version of this guideline after the English version has been completed.

8. Handbook Geotechnical Monitoring in Conventional Tunnelling

Up to this day no standards exist for the interpretation of data collected by geotechnical monitoring as well as for the creation of safety management plans. The intended guideline, which is currently being written in English, is expected to provide assistance for the planning of the monitoring in the future.

9. Design guideline for deep tunnels

After listing an extensive literature collection regarding the topic "deep tunnels" a design guideline for deep tunnels is currently in progress.

50 Jahre NATM aus der Sicht des Auftraggebers

50 years of NATM as seen by the Client

Georg-M. Vavrovsky, ÖBB-Infrastruktur AG, Austria, georg.vavrovsky@oebb.at, www.oebb.at/infrastruktur
Bernd Moritz, ÖBB-Infrastruktur AG, Austria, bernd.moritz@oebb.at, www.oebb.at/infrastruktur

1. Einleitung

Die „Neue Österreichische Tunnelbaumethode“ (NATM) ist heute weltweit ein Begriff und zum Meilenstein in der Entwicklung des modernen Tunnelbaus geworden. Sie entstand aus einer langen Entwicklung, welche zur Zeit der Hochblüte des Eisenbahnbaues im 19. Jahrhundert ihren Anfang hatte.

Der Begriff NATM wurde 1962 von L. v. Rabcewicz geprägt, um die Differenzierung zur lange Zeit angewandten „Österreichischen Tunnelbauweise“ zu ermöglichen. „Neu“ nannte er diese Methode, um sie von der bisher bekannten (alten) Österreichischen Bauweise zu unterscheiden. „Österreichisch“ bezeichnete er sie, um zum Ausdruck zu bringen, dass „österreichische Ingenieure an ihrer Entwicklung einen wesentlichen Anteil hatten“.

In [1] fasste er damals den Stand der Erkenntnisse folgendermaßen zusammen:

„Ich glaube, wir sind heute im Hohlraumbau zu der Erkenntnis gekommen, dass das eigentliche tragende Material das Gebirge ist, wobei die Verkleidung nur die Rolle einer vergüteten Oberfläche übernimmt. Die tragenden Eigenschaften des Gebirges möglichst zu erhalten und zu unterstützen ist daher die wichtigste Aufgabe des modernen Tunnelbaues.“

Die NATM baut auf zahlreichen, an verschiedenen Orten und von verschiedenen Personen gemachten Beobachtungen und theoretischen Untersuchungen auf. Wie jede andere technische Entwicklung stützt sich auch die NATM auf Naturgesetze. Teils wegen der Komplexität der Materie Baugrund, teils wegen der erst spät einsetzenden wissenschaftlichen Beschäftigung, hat sich der Tunnelbau ab Mitte des 20. Jahrhunderts in eine Richtung entwickelt, welche heute allgemein als die richtige anerkannt wird. Bei der Weichenstellung waren österreichische Bauherren, Ingenieure, Poliere und Mineure wesentlich beteiligt. Sie haben den Mut gefunden eine neue, nur

1. Introduction

The New Austrian Tunnelling Method (NATM), which is now known all over the world, has become a milestone in the development of modern tunnelling. Its roots date back to the 19th century and the heyday of railway construction.

The term NATM was coined by L.v.Rabcewicz in 1962. He called it „new“ to define it as being different from what was then understood by the Austrian Tunnelling Method, which had long been in use by that time, and he called it „Austrian“ to underline the fact that Austrian engineers had played an important part in its development.

In [1] he summarises at that time the state of the art as follows:

„I believe that we as engineers engaged in underground construction have come to realise that the ground is the true load-bearing element while the lining assumes the role of an enhanced surface. Preserving and supporting the load-bearing properties of the ground in the best possible manner is thus the main goal in present-day tunnelling.“

NATM is based on a long series of observations and theoretical studies undertaken in various places by various persons. Like any other technical development, NATM relies on the laws of nature. Due partly to the complexity of the ground as a material, partly to the scientific approach found relatively late, tunnelling entered a path now generally recognised as being the appropriate one around the middle of the 20th century. Austrian clients, engineers, foremen and miners have all had an important part in setting the course. They have had the courage to introduce a new method of which only a few elements had already been tried and to accept the substantial personal risk involved. Today many of the ideas underlying NATM have become common knowledge.

in Teilelementen erprobte Methode unter Übernahme hoher persönlicher Verantwortung einzuführen. Heute sind viele der Ideen, welche der NATM zugrunde liegen, Allgemeingut.

Im Tunnelbau wurde in den letzten Jahrzehnten gerade auch im Bereich der Infrastrukturvorhaben der ÖBB-Infrastruktur AG eine Vielzahl an Innovationen rund um die NATM vorangetrieben, um sowohl die Wirtschaftlichkeit als auch die Sicherheit wesentlich zu erhöhen. Zusätzlich stehen nunmehr aus diesen Innovationen Technologien zur Verfügung, die Tunnelbauten unter Randbedingungen ermöglichen, die noch vor 30 Jahren nicht zu realisieren gewesen wären.

2. Die Messung als integraler Bestandteil der NATM

Die Beobachtung des Gebirgs- und Systemverhaltens während und nach dem Ausbruch von Tunneln ist seit langer Zeit eine wichtige Basis für Entscheidungen über die Art und Menge der erforderlichen Stützung, sowie ein wesentlicher Faktor in der Beurteilung der Standsicherheit. Systematische Messungen von Verschiebungen des ausgebrochenen Hohlraumrandes als Funktion der Zeit wurden vor allem von L. v. Rabcewicz [2, 3] bereits frühzeitig als wichtiges Mittel zum Verständnis gebirgsmechanischer Vorgänge erkannt. Die Verbreitung der NATM führte zu einem entscheidenden Fortschritt in der Messtechnik, sowie der Auswertung und Interpretation der Messdaten.

Mit der Einführung der geodätischen Absolutverschiebungsmessung wurde es möglich, die Verschiebungen jedes einzelnen Messpunktes im Raum zu erfassen. Hand in Hand mit der Verbreitung dieser Art der Verschiebungsmessung ging eine Weiterentwicklung der Darstellungsformen der Ergebnisse.

Heute ist die Darstellung der vortriebsabhängigen Verschiebungen verbreitet. Die Kombination der vortriebsorientierten Verformungsdarstellung mit der zeitlichen Entwicklung wurde maßgeblich von G.-M. Vavrovsky [4] betrieben (Abb. 1).

Weitere Pionierarbeit auf diesem Gebiet lieferte W. Schubert, der insbesondere auf die Bedeutung der Auswertung und Betrachtung der Längsverschie-

A great number of tunnelling innovations around NATM have lately been advanced, especially also by ÖBB-Infrastruktur AG (Austrian Railways) in the domain of its infrastructure projects, with a view to boosting both economic efficiency and safety. These innovations have, in addition, provided us with technologies that enable tunnelling under extremely difficult conditions and of a nature that would have precluded any possibility of implementation only 30 years ago.

2. Monitoring as an integral part of NATM

The observation of ground and system behaviour during and following the excavation of tunnels has long been an important basis for decision-making in respect to the type and amount of support requirements and has been an essential factor in stability assessment. Systematic measurement of displacements around an underground opening as a function of time was recognised at an early stage, especially by L. v. Rabcewicz [2, 3], as being an important means of throwing light on rock mechanics processes. The spreading of NATM has led to essential progress in monitoring and in the evaluation and interpretation of measured data.

The introduction of geodetic measurement of absolute displacements has made it possible to survey each measuring point in space. The spreading of this method of measuring displacement has been paralleled by progress made in the manner of representing the results.

It has now become common practice to plot displacements as a function of tunnel advance. G.-M. Vavrovsky [4] has been a chief proponent of the idea of combining advance-oriented displacement representation with the development over time (Fig. 1).

Other pioneering work in this field has come from W. Schubert, who has pointed to the idea of interpreting and considering the component of longitudinal displacement in order to draw early conclusions from the trend line of the displacement vector orientation and predict potential changes in ground properties [5] as tunnelling proceeds.

The increased amount of information obtained from absolute 3D displacement results has permitted substantially improved assessment of system behaviour

bungskomponente hinwies, um aus dem Trendlinienverlauf der Verschiebungsvektororientierung schon im Voraus auf Änderungen in der Baugrundqualität schließen zu können [5].

Der höhere Informationsgehalt aus absoluten 3D-Verschiebungsmessergebnissen erlaubte in der Folge eine viel genauere Beurteilung des Systemverhaltens und der den Hohlraum umgebenden Baugrundverhältnisse. Effiziente Auswertesoftware wurde entwickelt, um auf Basis der

Verschiebungsmessergebnisse auch den Auslastungsgrad der Spritzbetonschale zu ermitteln (Abb. 2), ein wesentlicher Indikator zur Beurteilung der Standsicherheit des Bauwerkes und der noch zur Verfügung stehenden Sicherheitsmarge.

Um dem Anspruch einer qualifizierten Aufbereitung und Analyse der Verschiebungsmessdaten gerecht zu werden, wird bei der ÖBB-Infrastruktur AG bei geotechnisch schwierigen, risikobehafteten Vortrieben seit jeher ein sogenannter Geotechniker vor Ort innerhalb der Baustellenorganisation als Berater der Örtlichen Bauaufsicht für Ausbruch und Stützung eingesetzt.

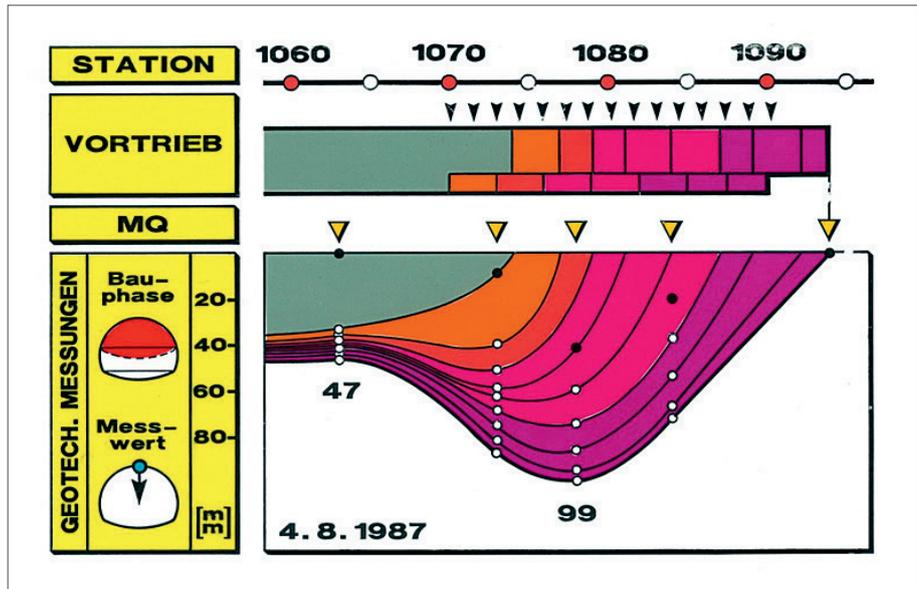


Abb. 1. Einflusslinie nach [5] | Fig. 1. Influence line diagram according to [5]

and of the ground conditions around the underground opening. Efficient interpretation software has been developed to use the displacement data for calculating the level of loading of the shotcrete shell (Fig. 2), which is a main indicator for the assessment of stability and of the available safety margin.

In order to satisfy the requirement of qualified processing and analysis of displacement results, ÖBB-Infrastruktur AG has always employed a so-called on-site geotechnical engineer on projects where tunnelling is faced with difficulties and major risks. This geotechnical engineer serves as a consultant to the on-site supervision in matters of excavation and support.

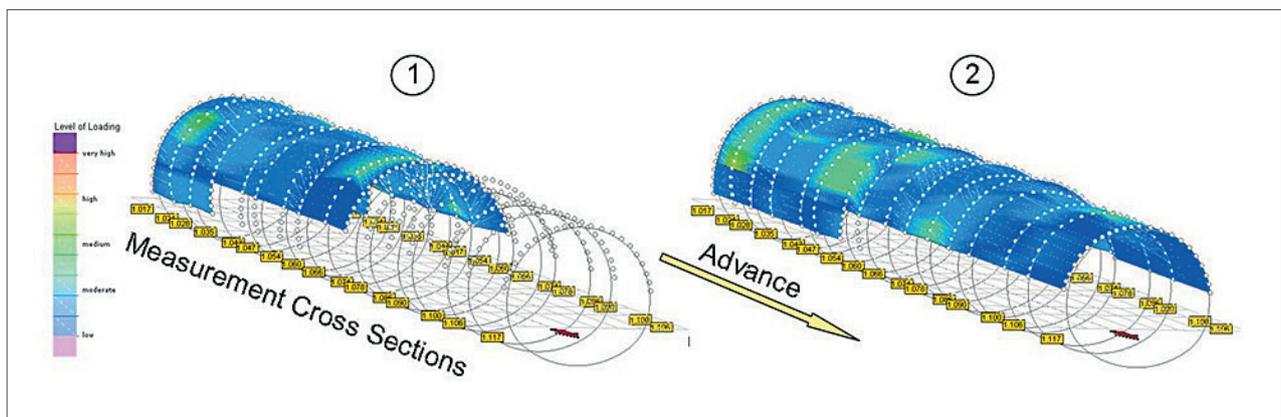


Abb. 2. Ermittlung des Auslastungsgrades einer Spritzbetonschale auf Basis von gemessenen Absolutverschiebungen (Hybride Methode) – Beispiel mit Darstellung der Auslastung in den jeweiligen Messquerschnitten bei einem Kalotten-Strossen und Sohlvortrieb in Form eines Konturplots aus [6]

Fig. 2. Calculation of the load level of the shotcrete lining using absolute displacements (hybrid method) – example of the evaluation of the stress intensity in the respective measuring cross sections during top heading-, bench and invert excavation by a contour plot [6]

3. Einsatz der NATM bei unterschiedlichen Randbedingungen

3.1 Tiefliegende Tunnel in schwachem Gebirge

Einen entscheidenden Meilenstein in der Entwicklung der NATM stellte der Bau des Tauern隧unnels dar [7], der international für großes Aufsehen sorgte. Hier wurde einerseits in einer längeren Hangschuttstrecke vorgetrieben, andererseits in einem Gebirge mit hoher Überlagerung und gestörten Phylliten. Als Planer und Berater wurden L. v. Rabcewicz und F. Pacher beigezogen. Die großen Verformungen in den Phylliten zwangen zur Auflösung der Spritzbetonschale (Abb. 3), nachträglich betrachtet ein mutiger Schritt von Bauherrn und Unternehmer.

Die systematische Messung erlaubte eine laufende Kontrolle des in der Regel planmäßig ablaufenden Stabilisierungsprozesses und bestätigte die Zweckmäßigkeit der gewählten Vorgangsweise.



Abb. 3. Tauerntunnel – In Segmente unterteilte Spritzbetonschale mit Verformungsschlitzten [8]

Fig. 3. Tauern Tunnel – Shotcrete lining divided into segments with deformation gaps [8]

In der Folge wurde diese Methode mit offenen Verformungsschlitzten in Kombination mit einer dichten Ankerung beim Arlbergtunnel, Karawankentunnel, Inntaltunnel und im Bergbau erfolgreich angewandt. Auch beim Galgenbergtunnel der ÖBB wurde dieses Konzept bis zu einem folgenschweren Verbruch, der ein Menschenleben forderte, verfolgt.

Das Ausbau- und Vortriebskonzept wurde überdacht. Zur Erhöhung der Tragkapazität der Spritzbetonschale bei gleichzeitig bruchloser Verformung wur-

3. Use of NATM under varying boundary conditions

3.1 Deep tunnels in weak ground

The construction of the Tauern Tunnel [7] marked an important milestone in the development of NATM and drew great international interest. The tunnel had to be driven through a major section of talus material as well as in ground with faulted phyllites and under high cover. L. v. Rabcewicz and F. Pacher were called in as consultants. Severe deformations in the phyllites made it necessary to leave open longitudinal gaps in the shotcrete lining (Fig. 3), which, viewed in retrospect, was a courageous move on the part of both client and contractor.

Systematic measurement ensured the continuous supervision of the stabilisation process, which in general developed according to plan and proved the appropriateness of the implemented approach.

This method of using open deformation gaps in combination with a dense rock bolting system was thereafter successfully applied on the Arlberg, Karawanken and Inntal tunnel projects as well as in mining. Austrian Railways also applied this method on the Galgenberg Tunnel project until a fatal cave-in caused a casualty.

This led to reconsidering the lining and tunnelling concept. The solutions developed included the introduction of yielding-steel-elements, which were installed in the deformation gaps (Fig. 4) to increase the load-bearing capacity of the shotcrete shell while permitting the lining to deform without failing [8].

This system proved to be so successful that it has become the state-of-the-art solution for ensuring well-controlled and economic tunnelling in weak ground under high overburden.

3.2 Shallow tunnelling in soft ground

Over the past two decades, ÖBB-Infrastruktur AG has implemented a great number of tunnel projects under low overburden (Melk, Wachberg, Lambach, Sieberg, Lainzer Lot 22 tunnels).

A textbook example of successful NATM shallow tunnelling with large diameter in soft ground is Lot 31 of the Lainzer twin-tunnel project (Fig. 5), which was faced with difficult conditions and major geotechnical challenges [9]. Ground water lowering had to be carried out ahead of the advancing tunnel face throughout the entire construction period. Approximately

den u. a. Stauchelemente aus Stahl entwickelt, die in die Kontraktionsfugen eingebaut wurden (Abb. 4) [8].

Dieses System bewährte sich derart, dass es bis heute Stand der Technik wurde, um einen kontrollierten und wirtschaftlichen Vortrieb in schwachem Gebirge bei hoher Überlagerung zu gewährleisten.

3.2 Vortriebe in Oberflächennähe im Lockergestein

In den letzten zwei Jahrzehnten wurden zahlreiche Tunnelprojekte der ÖBB-Infrastruktur AG bei geringer Überlagerung abgewickelt (Tunnel Melk, Wachberg-Tunnel, Tunnel Lambach, Siebertunnel, Lainzer Tunnel LT22).

Ein Paradebeispiel eines erfolgreichen seichtliegenden Vortriebes mit großem Durchmesser im Lockergestein nach NATM stellt der Bau in einem Abschnitt des zweigleisigen Lainzer Tunnels LT 31 dar (Abb. 5). Dieser war gekennzeichnet von schwierigen und geotechnisch anspruchsvollen Rahmenbedingungen [9]. Der Vortrieb erfolgte mit vorlaufender Grundwasserabsenkung. Rund zwei Drittel der Tunneltrasse führen direkt unter den Gleisen der Verbindungsbahn, große Teile queren wichtige Infrastrukturanlagen und dicht besiedelte Gebiete.

Derartige Randbedingungen erfordern in der Planungsphase eine intensive Auseinandersetzung mit den möglichen Risiken im Zuge der Bauarbeiten. Aufbauend auf eine Risikoanalyse resultierte im Lockergesteinsabschnitt ein Auffahren des Tunnels über getrennte Ulmenstollen und nachfolgendem Kernquerschnitt. Während des Tunnelvortriebes erfolgte eine lückenlose Kontrolle des Bauwerksverhaltens im Rahmen eines umfassenden geotechnischen Sicherheitsmanagements.

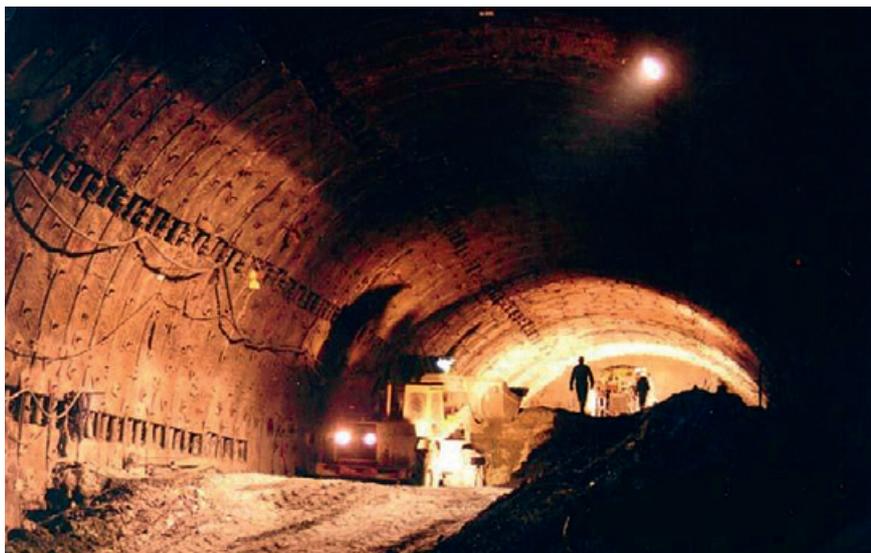


Abb. 4. Galgenbergtunnel – Stauchelemente in Verformungsschlitten einer in Segmente unterteilten Spritzbetonschale

Fig. 4. Galgenberg Tunnel – Yielding-steel-elements installed in the deformation gaps of the shotcrete lining

two thirds of the tunnel route is situated immediately beneath another railway line and major tunnel sections cross a large number of important infrastructural facilities and residential areas.

Conditions of this kind already at the design stage call for thorough consideration of potential risks that may arise during construction. The risk analysis performed for this problem resulted in a concept providing for tunnel driving through separate side-wall drifts followed by core excavation. During the works,



Abb. 5. Lainzer Tunnel – Ulmenstollenvortrieb im Lockergestein unter Bebauung [Foto ÖBA LT31]

Fig. 5. Lainzer Tunnel – Side-wall drift in soft ground beneath buildings [Photo: ÖBA LT31]

4. Schlussbemerkung und Perspektiven der NATM

Es ist unbestreitbar, dass die NATM heute zu einem Inbegriff des modernen Tunnelbaues geworden ist. Die ihr zugrundeliegenden Erkenntnisse und die daraus abgeleiteten Grundsätze sind bis dato gültig und kaum widerlegbar. Es ist auch ein historisches Faktum, dass es österreichische Ingenieure waren, welche die zum Teil vorhandenen Einzelteile zu einem Gesamtbild zusammengefügt und den Mut bewiesen haben, diese Erkenntnisse konsequent in die Praxis umzusetzen.

Trotzdem blieben Misserfolge nicht aus. Insbesondere L. v. Rabcewicz wies immer wieder darauf hin, dass eine erfolgreiche Ausführung sehr wesentlich davon abhängt, dass das Projekt nach den Grundsätzen der Methode ausgeführt wird und auch erfahrene Mannschaften mit einem Willen zur engen Zusammenarbeit vor Ort tätig sind. Leider werden diese Bedingungen im Ausland allzu oft missachtet, Konzepte von anderen Projekten unkritisch übernommen oder unerfahrene Mannschaften mit der Ausführung betraut. Gemessen an der Zahl der in der NATM ausgeführten Projekte sind die Versagensfälle jedoch gering. Durch die laufende messtechnische Überwachung konnten kritische Situationen beim Vortrieb meist rechtzeitig erkannt werden.

Ein wichtiger Aspekt der Baumethode (im Gegensatz zu anderen Methoden) besteht darin, dass durch die Flexibilität bei der Anpassung der Stützmittel und der Ausbruchfolgen an das Gebirge sowohl technisch als auch wirtschaftlich auch in schwierigen Abschnitten vorteilhaft agiert werden kann. Dies bedeutet, dass nur jene Stützmittelmenge eingebaut und bezahlt wird (ÖN B 2203-1), welche aufgrund der angetroffenen Gebirgsverhältnisse und des beobachteten Systemverhaltens tatsächlich benötigt wird. Somit wird letztendlich ein Optimum im Verhältnis Wirtschaftlichkeit und Sicherheit erreicht.

Die Mechanisierung hat auch vor dem Tunnelbau nicht halt gemacht. Leistungsfähige Geräte und Baumaschinen erlauben heute das Bauen mit enorm reduziertem Personaleinsatz. Außer Frage steht, dass bei Tunnel mit Längen von mehreren Kilometern in gut bekanntem Gebirge künftig überwiegend Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) zum Einsatz kommen werden. Aus technischer und wirtschaftlicher Sicht wird

the behaviour of the structure was continuously monitored by a comprehensive system within a geotechnical safety management.

4. Conclusion and perspectives for NATM

There is no doubt that NATM has become a synonym for up-to-date tunnel construction. The underlying knowledge and the principles derived from it have remained valid down to the present and are hard to disprove. It is also a historical fact that Austrian engineers have included existing elements to form an overall picture and have been courageous enough to consistently translate this knowledge into practice. Yet, failures have occurred. It was mainly L. v. Rabcewicz who kept pointing out that the success of implementation is essentially dependent on whether the project is constructed according to the principles of the method and on the work being done by experienced crews willing to cooperate closely at the site. It is unfortunate that these conditions are often ignored in other countries, with concepts taken on indiscriminately from other projects or inexperienced crews being entrusted with the work. However, measured against the number of projects implemented by use of NATM, the number of failures is small. Continuous monitoring has in most cases enabled the timely identification of critical situations during tunnelling.

An important aspect of this method (as distinct from other methods) is both the economic and technical benefit that lies in appropriate reaction being possible even in difficult ground, thanks to its flexibility in adjusting support elements and work sequences to the respective requirements of the rock mass. In other words, the quantity of support elements installed and paid for (Standard ÖNORM B 2203-1) corresponds to what is deemed necessary in view of the ground conditions actually encountered and the system behaviour actually identified. Ultimately this will ensure that an optimum relationship is reached between economy and safety.

Mechanisation has not failed to conquer the domain of tunnelling. High-capacity devices and equipment permit construction activities with enormously reduced manpower. There is no question that in tunnels several kilometres in length passing through well-

eine Kombination beider Baumethoden als zweckmäßig angesehen. Die NATM wird aufgrund ihrer konzeptbedingten Möglichkeit zur flexiblen Anpassung an Querschnittsform und Gebirge auch in Zukunft verbreitet Anwendung finden.

5. Literaturverweise

- [1] Rabcewicz, L. v.; „Aus der Praxis des Tunnelbaues“, In: Geologie und Bauwesen, Jahrg. 27, Heft 3–4 (1962)
- [2] Rabcewicz, L. v.: Gebirgsdruck und Tunnelbau; Springer Verlag Wien (1944)
- [3] Rabcewicz, L. v., Hackl, E.: Die Bedeutung der Messung im Hohlraumbau III, Der Bauingenieur, Jg. 50, 369-379, Springer Verlag (1975)
- [4] Vavrovsky, Georg-M.; Ayaydin, N.; „Bedeutung der vortriebsorientierten Auswertung geotechnischer Messungen im oberflächennahen Tunnelbau“, Forschung u. Praxis, Band 32 (1988)
- [5] Schubert, W.; Steindorfer, A.; „Gezielte Auswertung geotechnischer Messungen“, Felsbau 14, Nr. 2 (1996)
- [6] Schubert, W; Moritz, B.: Stand der Auswertung und Interpretation von Verschiebungsmessdaten bei Tunneln, Geomechanik und Tunnelbau Heft 05, 371–380, Berlin: Ernst & Sohn Verlag (2011)
- [7] Rabcewicz, L. v., Hackl, E.: Die Bedeutung der Messung im Hohlraumbau III, Erfahrungen beim Tauernntunnel, Der Bauingenieur 50, 369–379, Springer Verlag (1975)
- [8] Schubert, W., Golser, J., Schwab, P.: Weiterentwicklung des Ausbaues für stark druckhaftes Gebirge, Felsbau 14, Nr. 1, 36–42 (1996)
- [9] Moritz, B.; Koinig, J.: Geotechnische und messtechnische Herausforderungen beim Auffahren großer, oberflächennaher Querschnitte im Lockergestein, Taschenbuch für den Tunnelbau, 105–142, VGE Verlag (2011)

known ground tunnel boring machines (TBM) will in future do the greater part of the work. From the technical and economic points of view, however, a combination of the two will be appropriate. Thanks to the possibility of flexible adjustment to cross-section shape and ground properties, NATM will continue to spread widely.

5. References

- [1] Rabcewicz, L. v.; „Aus der Praxis des Tunnelbaues“, In: Geologie und Bauwesen, Jahrg. 27, Heft 3–4 (1962)
- [2] Rabcewicz, L. v.: Gebirgsdruck und Tunnelbau; Springer Verlag Wien (1944)
- [3] Rabcewicz, L.v., Hackl, E.: Die Bedeutung der Messung im Hohlraumbau III, Der Bauingenieur, Jg. 50, 369–379, Springer Verlag (1975)
- [4] Vavrovsky, Georg-M.; Ayaydin, N.; „Bedeutung der vortriebsorientierten Auswertung geotechnischer Messungen im oberflächennahen Tunnelbau“, Forschung u. Praxis, Band 32 (1988)
- [5] Schubert, W.; Steindorfer, A.; „Gezielte Auswertung geotechnischer Messungen“, Felsbau 14, Nr. 2 (1996)
- [6] Schubert, W; Moritz, B.: Stand der Auswertung und Interpretation von Verschiebungsmessdaten bei Tunneln, Geomechanik und Tunnelbau Heft 05, 371–380, Berlin: Ernst & Sohn Verlag (2011)
- [7] Rabcewicz, L. v., Hackl, E.: Die Bedeutung der Messung im Hohlraumbau III, Erfahrungen beim Tauernntunnel, Der Bauingenieur 50, 369-379, Springer Verlag (1975)
- [8] Schubert, W., Golser, J., Schwab, P.: Weiterentwicklung des Ausbaues für stark druckhaftes Gebirge, Felsbau 14, Nr. 1, 36–42 (1996)
- [9] Moritz, B.; Koinig, J.: Geotechnische und messtechnische Herausforderungen beim Auffahren großer, oberflächennaher Querschnitte im Lockergestein, Taschenbuch für den Tunnelbau, 105–142, VGE Verlag (2011)

50 Jahre NATM, eine Erfolgsgeschichte im Autobahnbau

50 years of NATM, a success story in motorway construction

Michael Steiner, ASFINAG, Austria, michael.steiner@asfinag.at, www.asfinag.at

1. Einleitung

Das hochrangige Straßennetz Österreichs umfasst derzeit rd. 2.200 km. 140 Tunnel mit einer Gesamtlänge von rd. 300 km sorgen ganzjährig für kurze, sichere und umweltfreundliche Transportwege.

1. Introduction

The Austrian primary road system, totalling at present about 2.200 kilometres in length and 140 tunnels with a total length of about 300 kilometres, provides short, safe and environmentally friendly transport routes throughout the year.

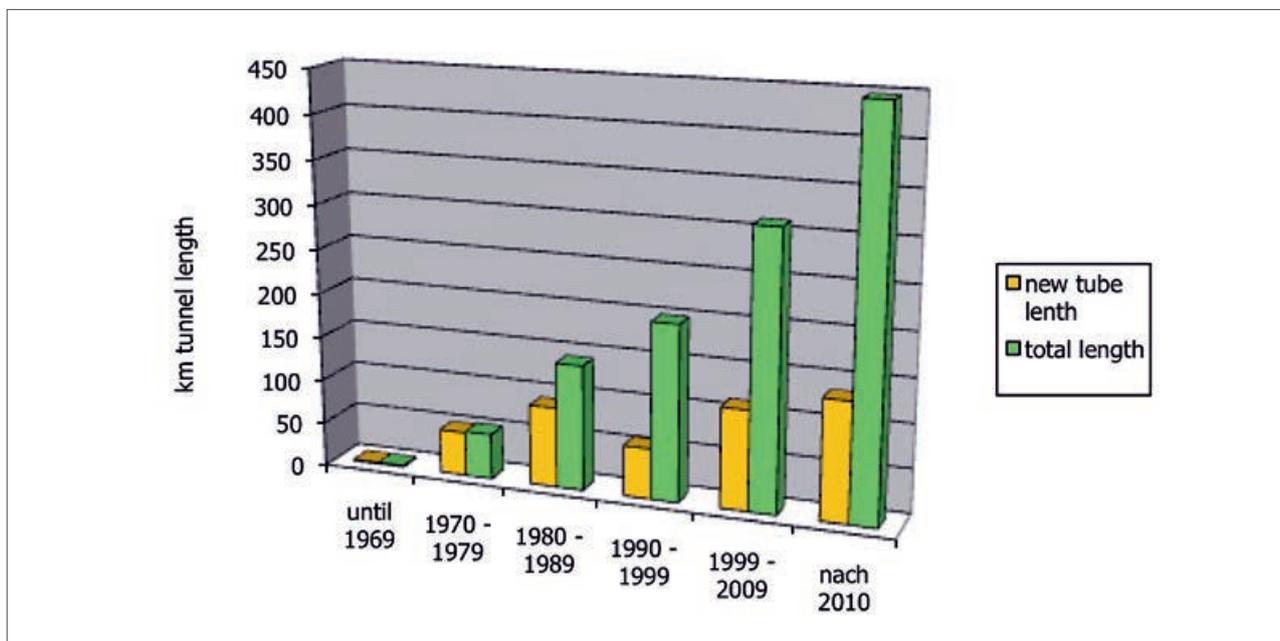


Abb. 1. Tunnel Röhrenlänge im österreichischen Autobahnnetz
Fig. 1. Total tunnel tube length on the Austrian motorway system

2. Die Anfänge des Autobahn(tunnel)baus in Österreich (1936–1945)

Die Entwicklung des österreichischen Autobahnnetzes ist eng mit dem technischen Fortschritt und der mit dem Wohlstand einhergehenden Motorisierung der Zivilbevölkerung verbunden.

Mit den politischen Ereignissen folgte in der Zeit von 1938 bis 1941 eine rasante Entwicklung im Autobahnbau. Wurden in der Zeit davor nur Projektüberlegungen zu einem österreichischen Fernstraßennetz angestellt, so folgte unmittelbar mit dem Anschluss Österreichs an das Deutsche Reich die Bekanntgabe

2. The beginnings of motorway (tunnel) construction in Austria (1936–1945)

The development of the Austrian motorway system is closely linked with the progress of technology and the motorisation of the broader population in the wake of the general rise in prosperity.

The period between 1938 and 1941 saw the rapid growth of motorway construction against the background of the political situation of that time. While little more than project ideas for an Austrian system of arterial roads had been considered until that time, the annexation of Austria to the Third Reich was immedia-

der Pläne für die Erweiterung des Deutschen Autobahnnetzes um 1100 km in alle Ballungsräume nördlich der Alpen. Auch die genaue Linienführung stand bereits in Teilbereichen fest. Der Spatenstich für die A 1 Westautobahn erfolgte am 7. April 1938, 1941 wurde das erste rund 9,3 km lange Teilstück der A 1 West Autobahn von Salzburg Mitte bis zur Staatsgrenze am Walsertal und das 7,5 km langen Teilstücks der A 10 Tauern Autobahn vom Knoten Salzburg bis Salzburg Süd eröffnet.

Parallel dazu begannen im Jahr 1938 intensive Planungen zur Querung der Alpen mit einer Autobahn A 10 von Salzburg nach Villach. Es folgte im Mai 1939 dazu ein Spatenstich im Raum Villach, bauvorbereitende Maßnahmen wie Zufahrtsstraßen und weitere Trassenplanungen. Darüber hinaus stellte ein derart langer Straßentunnel, wie er für die Querung der Alpen erforderlich werden würde, die Ingenieure vor gänzlich neue Herausforderungen. Es gab zwar eine Vielzahl von in Betrieb befindlichen alpenquerenden langen Eisenbahntunneln, die baulichen Anforderungen, Einrichtungen und Ausrüstungen zum sicheren Betrieb von langen Straßentunneln für den motorisierten Individualverkehr mussten erst gefunden werden. Dazu war in Villach unter Leitung des Tunnelsachverständigen Professor Dipl.-Ing. Dr. techn. Rabcewicz, einem der wesentlichen Entwickler der NATM, ein Tunnelmodell aus Holz mit vollem Querschnitt und ein 500 m langes Modell im halben Maßstab für Fahrversuche errichtet worden. Damit wurden grundlegende Untersuchungen zu den Themen Belüftung und Beleuchtung langer Straßentunnel durchgeführt.

Auch tunnelbautechnisch war die bevorstehende Herausforderung auf Grund der zu erwartenden Tunnellänge, der Geologie und der hohen Überlagerung äußerst groß. Erkundungen erfolgten, bis zur kriegsbedingten Einstellung sämtlicher Planungen und Arbeiten im Jahr 1942, mittels eines 2500 m langen Untersuchungsstollens im Gebiet des Katschberges und eines Probestollens im Bereich des Nordportals des Tauerntunnels.

3. Die Fertigstellung der ersten Autobahnen, A 1 Westautobahn und A 13 Brenner Autobahn 1954–1971

Erst nahezu zehn Jahre nach Kriegsende wurde der Ausbau des Autobahnnetzes am 17. Juli 1954 wieder

tely followed by the announcement of plans for an extension of the German Motorway System by 1.100 kilometres towards all large population centres north of the Alps. It also emerged that exact layouts for several parts of the system had already been decided on. The ground-breaking ceremony for the A 1 West Motorway took place on April 7, 1938, and the first section of the A 1 with a length of about 9.3 km between Salzburg Mitte and the national boundary on Walsertal as well as the 7.5 km-long section of the A 10 Tauern motorway between the Salzburg Interchange and Salzburg South were opened to traffic in 1941.

Simultaneously, intensive planning work was commenced in 1938 with a view to crossing the Alps with a motorway A 10 between Salzburg and Villach in Carinthia. The ground-breaking took place near Villach in May 1939, followed by preparatory measures such as access roads and additional route planning. It was clear that a road tunnel of a length needed for crossing the Alps would present engineers with entirely new challenges. Although many long rail tunnels across the Alps were in operation at that time, the structural requirements as well as the facilities and equipment needed for the safe operation of long road tunnels for private motor transport were still to be developed. With this purpose in mind, a full-face tunnel model in wood and a 500 m-long half-scale model were built under the direction of the tunnel expert Professor L. v. Rabcewicz, one of the main developers of NATM, to enable driving tests during which fundamental research could be conducted in respect of air supply and lighting in long road tunnels.

The tasks that lay ahead were considerable not least in construction technology terms, in view of the substantial tunnel lengths, the geological properties of the ground to be tunnelled through and the substantial cover involved. Reconnaissance work was carried on in a test drift in the Katschberg area and a test tunnel near the site of the Tauern Tunnel north portal, until the war stopped all planning and other work.

3. Completion of the first motorways – A 1 West Motorway and A 13 Brenner Motorway – between 1954 and 1971

The development of the motorway system was resumed almost a decade after the end of World War 2,

in Angriff genommen. Im Jahr 1958 wurden mit der Eröffnung weiterer Teilabschnitte der A 1 schließlich über 100 Autobahnkilometer für den Verkehr freigegeben. Mit der Inbetriebnahme des letzten Teilstückes zwischen Amstetten Ost und Amstetten West konnte die A 1 nach rund 13 Baujahren durchgängig befahren werden.

Einen besonderen Stellenwert unter den Alpenübergängen hat die Brennerroute (E 45). Sie verbindet Nord- mit Südtirol und im größeren Kontext die Wirtschaftsräume Deutschland und Italien. Der Baubeginn für eine Hochleistungsstraßen-Verbindung, die A 13 Brenner Autobahn, fand 1959 im Raum Innsbruck Süd statt.

Südlich der Stadt Innsbruck wurde 1965 mit dem Bau des zweiten österreichischen Autobahntunnels, des rd. 500 m langen 2-röhrigen Bergiseltunnels, begonnen. Die Ausschreibung sah einen Vortrieb mit der „New Austrian Tunneling Method (NATM)“ vor. Die Bauweise, basierend auf dem gebirgsverhaltensorientierten und systematischen Einsatz von u. a. Anker und Spritzbeton, war sehr jung und hat erst bei wenigen Projekten – insbesondere im Kraftwerksbau – Anwendung gefunden. Auf Basis eines Alternativangebotes des Unternehmers erfolgte der Vortrieb letztendlich nicht mit der NATM sondern in Schildbauweise. Dabei wurde im Vergleich zur geologischen Prognose ein wesentlich höherer Anteil an Fels angetroffen, der für die vom Auftragnehmer gewählte Schildbauweise große Schwierigkeiten bereitete.

on July 17, 1954. Further sections of the A 1 were opened to traffic in 1958, thus adding about 100 kilometres to the system. The commissioning of the last section, between Amstetten East and Amstetten West, marked the completion of the A 1 after about 13 years' construction.

The Brenner route (E 45) plays a special role among the crossings of the Alps. It connects North Tyrol with South Tyrol and in a larger context, the economic areas of Germany and Italy. Construction for the high-capacity road link, the A 13 Brenner Motorway, was commenced near Innsbruck South in 1959.

Work on the second Austrian motorway tunnel project, the Berg Isel twin tunnel of about 500 m length south of the City of Innsbruck, was started in 1965. The tender documents provided for using the New Austrian Tunneling Method (NATM). This method, based on the systematic use of such elements as anchors and shotcrete tailored to the requirements of the ground, was still young and had been applied on few projects, mainly in power development construction. Eventually, an alternative offer using shield-tunnelling was accepted in the place of NATM. During the work, however, the proportion of hard rock along the tunnel route turned out to be much greater than anticipated, and the shield method selected by the contractor had to cope with substantial difficulties. This made all those involved and moreover, many interested clients and contractors realise the merits offered by NATM.



Abb. 2. Das österreichische Autobahnnetz im Jahr 1969 | Fig. 2. The Austrian motorway system in 1969

Dadurch wurden allen Beteiligten und darüber hinaus vielen interessierten Auftraggebern und Unternehmungen die Vorzüge der flexiblen NATM bewusst.

Mit der Fertigstellung auch dieses Abschnittes bestand im Jahr 1969 das hochrangige Straßennetz aus der A 1 West Autobahn, einem Teilstück der A 13 Brenner Autobahn und der A 12 Inntal Autobahn sowie aus einem kurzen Teilausbau der A 2 Süd Autobahn von Wien Richtung Süden und im Raum Graz.

4. Die Anwendung der NATM für die ersten Tunnel im Autobahnnetz

Einen besonderen Anstieg an Verkehr gab es in den Ballungsräumen. Im wirtschaftlich florierenden Raum Leoben konnten mit der Eröffnung des Massenberg-tunnels, als Teil einer Bundesstraßen-Umfahrung, im Jahr 1965 die Verkehrsprobleme gelöst werden. Beim Vortrieb des Tunnels kam es zu einem Verbruch. Der beigezogene Berater Prof. Rabcewicz änderte das bisherige Vortriebskonzept grundlegend und führte für die Sanierung und den weiteren Vortrieb die NATM ein. Der Bau des Tunnels wurde ohne weitere Probleme erfolgreich beendet. Der Massenberg-tunnel wurde später Teil der Schnellstraße S 6 und ist damit der erste Tunnel im hochrangigen Straßennetz, der nach den Grundsätzen der NATM errichtet wurde.

Die Wiederaufnahme des Autobahnbaus auf der Scheitelstrecke der A 10, welche den Alpenhauptkamm in Nord-Südrichtung durchörtert, erfolgte aus finanziellen Gründen erst 30 Jahre nach dem Spatenstich im Jahr 1971.

Mit dem Bau der ersten Röhre des rd. 6.400 m langen Tauern-tunnels wurde eine neue Ära im Gebirgs-tunnelbau eingeleitet. Schwierigste geotechnische Verhältnisse mit stark druckhaftem Gebirge führten zu Firstsetzungen bis 120 cm.

Durch die konsequente Anwendung und Weiterentwicklung der von Professor Rabcewicz im Jahr 1962 erstmalig benannten „New Austrian Tunneling Method“ (NATM) wurde der Vortrieb sicher und auch wirtschaftlich bewältigt. Erstmals im Tunnelbau wurden im Spritzbeton mehrere, in Längsrichtung verlaufende Deformationsschlitze vorgesehen. Die Stöße der Tunnelbögen wurden zur Gewährleistung der Beweglichkeit gelockert und damit ineinander verschieblich gemacht. So konnte die Zerstörung der

With the completion of this section in 1969, the Austrian primary road system included the A 1 West Motorway, one section of the A 13 Brenner Motorway and the A 12 Inntal Motorway as well as two short sections of the A 2 South Motorway, one from Vienna southwards and one near Graz.

4. Applying NATM on the first motorway tunnel projects

The growth of traffic volumes was particularly high in and around the large population centres. The traffic problems of the booming Leoben area in Styria were thus solved when the Massenberg Tunnel was built as part of a federal-road by-pass and opened to traffic in 1965. A cave-in had occurred during the work. Professor Rabcewicz, called in as a consultant, changed the tunnelling approach used until then fundamentally by introducing NATM for repair and the remaining tunnel length. Later on, the Massenberg Tunnel became part of the S 6 expressway, and is thus the first tunnel on the primary road system to be built according to NATM principles.

Motorway construction on the summit section of the A 10, which crosses the main ridge of the Alps in a north-south direction, was not resumed until 30 years after commencement of the project in 1971, for financial reasons.

Construction of the first tube of the Tauern Tunnel of about 6.400 m length marked a new era in mountain tunnelling. Extremely difficult geotechnical conditions in severely squeezing ground caused roof sagging of up to 1.20 m.

Consistent application and continued advancement of the New Austrian Tunnelling Method (NATM) as Professor Rabcewicz named it for the first time in 1962, eventually enabled the work to be completed safely and economically. As another novelty in tunnel construction, several longitudinal slots were provided in the shotcrete lining and the joints between the steel arches were loosened to allow the butt ends to slide into each other. It was thus possible to prevent the destruction of the primary lining and preserve its efficient action in the zone of major ground deformation. This method is still in use for stabilisation in squeezing rock. Following a four year construction period, the summit section of the first tube of the A 10 was opened to traffic in 1975.

Außenschale verhindert und damit die Wirksamkeit des Ausbaus im Bereich der enormen Verformungen aufrechterhalten werden. Diese Methode zur Sicherung von druckhaftem Gebirge wird noch heute angewendet. Bereits 1975 wurde die Scheitelstrecke nach vierjähriger Bauzeit in Betrieb genommen.

5. Die Netzerweiterung, der Lückenschluss und der Vollausbau mit der NATM als bewährte Tunnelbaumethode

Nicht zuletzt auf Grund der Bewältigung der großen Herausforderungen beim Bau des Tauern隧nells war die NATM als rasche, flexible und damit wirtschaftliche Baume-thode auch weit über die Grenzen Österreichs anerkannt. Die Geologie im alpinen Raum ist im Regelfall stark wechselhaft und tunnelbautechnisch anspruchsvoll. Unter Anwendung der NATM wurden zahlreiche geotechnisch schwierige Tunnel – wie der Arlberg-tunnel (13.972 m, Eröffnung 1972), der Pfändertunnel (6.717 m, Eröffnung 1980) oder der Bosrucktunnel (5.509 m, Eröffnung 1983) – aufgefah-ren. Neben einem einzigen mittels Tunnelvortriebs-maschine aufgefah-ren Erkundungsstollen (Pfänder) ist die derzeit in Fertigstellung befindliche zweite Röhre des Pfändertunnels der erste maschinell im Schildvortrieb aufgefah-rene Autobahntunnel.

In den nächsten Jahren liegt der Schwerpunkt der Tunnelbauaktivität und damit auch der Aktivität der ASFINAG in der Sicherstellung der Tunnelsicherheit bestehender Tunnels. Einzelne einröhrige Tunnel, wie der Pfändertunnel (s.o.) oder der Gleinalmtunnel (8.431 m, Eröffnung 1978), haben Ihre Leistungs-fähigkeit erreicht und eine zweite Röhre ist auf Grund der Bestimmungen des Straßentunnelsicherheits-gesetzes zu bauen. Andere einröhrige Tunnel, wie der Bosrucktunnel (s. o.) oder der Karawankentunnel (7.864 m, Eröffnung 1981), haben durch die Einwir-kung des Gebirges auf die Innenschale Schaden ge-nommen und benötigen daher eine neue Tunnel-röhre, um die umfangreichen Sanierungsarbeiten des

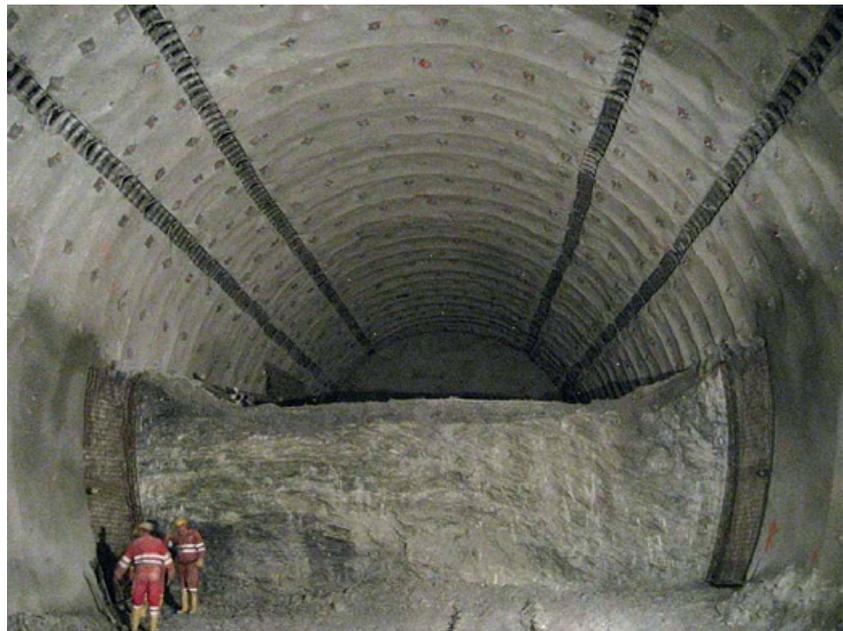


Abb. 3. Deformationsschlitze im Tauern隧nell, 2. Röhre
Fig. 3. Deformation slots in the Tauern Tunnel, second tube

5. Road system extension, gap closure and the final construction phase using NATM as a tried-and-tested method

NATM had earned a reputation beyond Austria's boundaries as a speedy, flexible and thus also an economic construction method, not least as a result of the challenges that had been successfully dealt with in the Tauern Tunnel project. The geology in Alpine areas is variable and tends to present substantial difficulties to tunnelling. Using NATM, a great number of tunnel projects faced with geotechnical difficulties have been constructed, thus the Arlberg Tunnel (13.972 m, opened 1972), the Pfänder Tunnel (6.717 m, opened 1980) or the Bosruck Tunnel (5.509 m, opened 1983). Besides the only TBM driven exploration gallery (Pfänder), the second tube of the Pfänder Tunnel, now nearing completion, is the first motorway tunnel to be excavated by use of a shield tunneling machine.

Tunnelling activities and therefore also ASFINAG's activities in the years to come will mainly focus on upgrading the safety equipment of existing tunnels. Several single-tube tunnels, such as Pfänder (see above) or Gleinalm (8.431 m, opened 1978), have come to be operated to capacity and second tubes need to be built under the Road Tunnel Safety Act. In other single-tube tunnels, such as the Bosruck (see above)

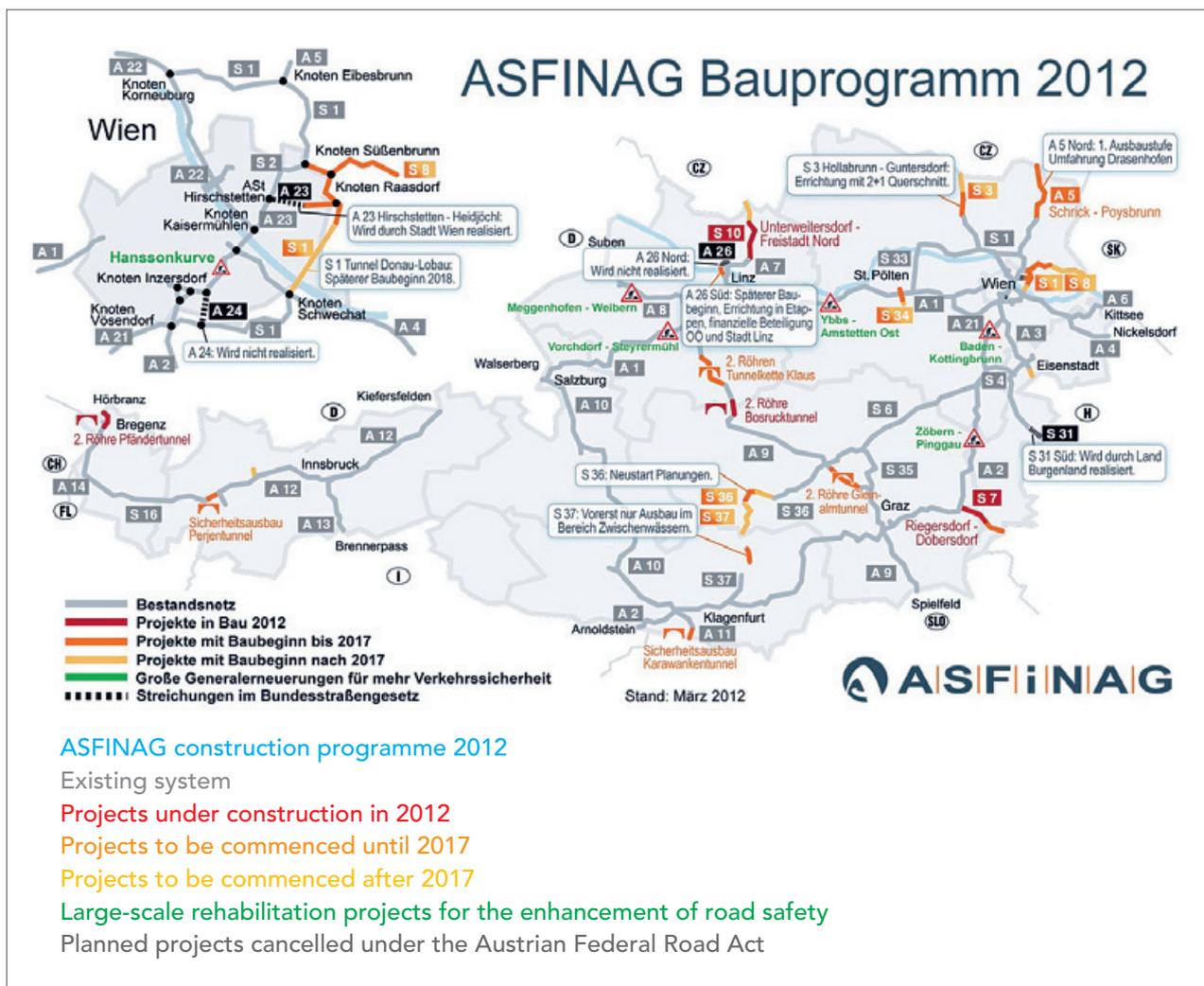


Abb. 4. Das ASFINAG Bauprogramm 2012 | Fig. 4. The ASFINAG construction programme 2012

Bestandes durchführen zu können. Bis 2019 erhalten alle einröhriigen Autobahntunnels eine zweite Tunnelröhre mit begehbaren Querschlägen oder Fluchtwegen.

Auch hier ist beim Erweitern eines bestehenden Tunnelsystems, aber auch beim Sanieren von Schäden an der Tunnelstruktur, die NATM die bewährte Baumethode.

6. Die Stärken der NATM beim Bau von Straßentunnel

Straßentunnel sind hoch technisierte Bauwerke mit einer Vielzahl an Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen die dem Tunnelbenützer ein Maximum an Sicherheit bieten. Bei neuen Tunneln sind im Regelfall folgende Einrichtungen in Nischen außerhalb des Regelprofils unterzubringen bzw. zusätzliche Tunnelteile zu errichten:

and Karawanken Tunnels (7.684 m, opened 1981), stress redistribution processes in the rock mass have damaged secondary linings, so that second tubes need to be constructed to permit comprehensive rehabilitation works to be carried out in the existing tubes. All single-tube motorway tunnels are to receive second tubes with walkable cross-cuts or escape routes by 2019.

Again, NATM with its proven track record will be the method both for extending existing tunnel systems and for repairing damage to tunnel structures.

6. The merits of NATM for road tunnel construction

Road tunnels are sophisticated structures with comprehensive operational and safety equipment offering maximum safety to tunnel users. New tunnels must normally be equipped with the following faci-

Notrufstellen (im Abstand von 150 m)
Löschwasserentnahmestellen (im Abstand von 250 m)
Begehbare Querschläge bzw. Fluchtwege (im Abstand von 250 m/500 m)
Pannenbucht (im Abstand von 1000 m)
Entwässerungsnischen (im Abstand von 50–100 m)
Lüftungsnischen (nach Erfordernis)
Lüftungsbauwerke (projektspezifisch)
Elektronischen (projektspezifisch)

Mit der NATM können die unterschiedlichen Querschnitte beim Ausbruch – von ca. 10 m² bei begehbaren Querschlägen bis zu ca. 130 m² bei Pannenbuchten – und auch die diversen anderen Nischen mit der gleichen Vortriebsmethode einfach und kostengünstig aufgeföhren werden.

Die weitaus überwiegende Mehrheit der österreichischen Autobahntunnel ist kürzer als 3000 m. Die relativ geringen Tunnellängen, die kurzen Mobilisierungszeiten und die vergleichsweise geringen Investitionskosten sind Gründe für den Erfolg der NATM. Darüber hinaus erfolgt bei der NATM die Hohlraumstützung angepasst an die tatsächlich im Vortrieb angetroffenen Gebirgsverhältnisse, wodurch eine maximale Wirtschaftlichkeit erzielt wird. Das hohe Niveau der geotechnischen Messungen ermöglicht heute das rechtzeitige Erkennen von Störzonen. Eine sichere Bewältigung ist auch durch den Einsatz und die Kombination einer Vielzahl von erprobten Sondermaßnahmen im Bereich der frei zugänglichen Ortsbrust gegeben.

Die NATM hat sich durch das Zusammenspiel und die ständige Weiterentwicklung von Vorerkundungen, geotechnischer Messungen und der Interpretation der Daten, der Material- und der Maschinentechnologie zu einer Erfolgsgeschichte für den Autobahntunnelbau entwickelt.

Literaturverweise

Tauernautobahn Band 1 bis 3
ASFINAG Buch 2011
Michael Steiner, e.h.

ties to be accommodated in niches outside the typical cross section or in adits:

Emergency roadside telephones (spaced 150 m apart)
Fire fighting niches (spaced 250 m apart)
Walkable cross-cuts or escape passages (spaced 250 m/500 m apart)
Breakdown bays (spaced 1000 m apart)
Drainage niches (spaced 50–100 m apart)
Air vent niches (as required)
Ventilation structures (project-specific equipment)
Electricity niches (project-specific equipment)

NATM permits straightforward and low-cost excavation of the various different cross sections needed during tunnelling – from about 10 m² for walkable cross-cuts through to about 130 m² for breakdown bays – as well as all other niches.

The great majority of Austrian motorway tunnels by far are less than 3000 m long. The relatively short tunnel lengths, the short mobilisation times and the comparatively low capital expenditure involved are reasons for the success of NATM. In addition, the underground opening is supported to the extent required by the properties of the ground actually encountered and thus permits maximum economy. The current high standard of geotechnical measurement enables early identification of fault zones, which can be handled safely through the use and combination of a multitude of well-tried special measures taken at the easily accessible tunnel face.

Thanks to interaction and constant advancement in the fields of preliminary reconnaissance, geotechnical measurement and data interpretation as well as materials and machine technology, NATM has become a resounding success story in motorway construction

References

*Tauernautobahn Band 1 bis 3
ASFINAG Buch 2011
Michael Steiner, e.h.*

50 Jahre NATM – 30 Jahre NATM beim Wiener U-Bahnbau

50 years of NATM – 30 years of NATM for metro construction in Vienna

Günter Steinbauer, Wiener Linien, Austria, gf@wienerlinien.at, www.wienerlinien.at

Vor 50 Jahren hat Prof. L. von Rabcewicz anlässlich des XI Geomechanischen Kolloquiums erstmals den Begriff Neue Österreichische Tunnelbaumethode verwendet, eine Methode, welche auf der Erfahrung vorangegangener Jahrzehnte des Tunnelbaus beruhte, durch die damals rasante Entwicklung neuer Möglichkeiten der Hohlraumstützung begünstigt und unter maßgeblicher Beteiligung österreichische Ingenieure zur Praxisreife gebracht worden ist, und nunmehr international unter der Abkürzung NATM firmiert.

Vor 30 Jahren hielt die NATM Einzug beim Wiener U-Bahnbau als die damalige Vizebürgermeisterin Gertrude Fröhlich-Sandner am 7. September 1983 den feierlichen Anschlag für den ersten Pfeilerstollen der Wendeanlage des Bauloses U6/1 Wagenseilgasse durchführte. Davor standen aber umfangreiche Untersuchungen und Berechnungen, um die Zweifel an der Einsetzbarkeit dieser Tunnelbaumethode im Wiener Boden mit seinen quartären Kiesen, neogenen Sanden und Schluffen bei gleichzeitig knapp unter der Oberfläche anstehendem Grundwasser auszuräumen. Dabei konnte auch auf die Erfahrung vorangegangener Anwendung, vor allem aus dem Münchener U-Bahnbau, zurückgegriffen werden. Begleitet wurde der Tunnelbau von einem intensiven Messprogramm ober- und untertage, galt es doch, nicht nur für das Baulos selbst den Nachweis des erfolgreichen Einsatzes zu erbringen, sondern darüber hinaus wertvolle Erfahrung für nachfolgende und schwierige Bauvorhaben zu sammeln.

Nachdem die komplexe Wendeanlage und ihre beiden knapp daneben verlaufenden Streckenröhren ohne Probleme aufgefahren werden konnten, war die Einsetzbarkeit der NATM unbestritten und konnten nunmehr die Herausforderungen sukzessive gesteigert werden.

The term New Austrian Tunnelling Method was first used by Professor L. v. Rabcewicz at the XIth Geomechanics Colloquy 50 years ago. This method was developed from the tunnelling experience gathered during the preceding decades and, favoured by the breathtaking advance of new techniques of supporting underground openings and with the important involvement of Austrian engineers, it has been brought to the level of practical application and is now internationally known by the abbreviation NATM.

NATM found its way to the Vienna metro 30 years ago, when Ms. Gertrude Fröhlich-Sandner, then vice-mayor of the City of Vienna, attended the official ground-breaking ceremony for the first pier drift for the reversing facility of Lot U6/1 Wagenseilgasse. This was preceded by a comprehensive analysis and



Abb. 1. Gertrude Fröhlich-Sandner bei der Tunnelanschlagsfeier U6/1 unter Anwendung der NATM (1983)
Fig. 1. Gertrude Fröhlich-Sandner at the celebration for the start of NATM tunnelling at U6/1 (1983)



Abb. 2. NATM unter Anwendung des Gefrierverfahrens
 Abb. 2. NATM by the use of ground freezing

Die erste Herausforderung bestand in der Unterföhrung des Wöhlamtes in Meidling der damaligen österreiehischen Post- und Telegraphenverwaltung mit einer Überdeckung von wenigen Metern. Der damaligen Technik entsprechend war das Wöhlamt mit auf analoger Basis funktionierenden Schaltschränken ausgerüstet und daher extrem setzungsempfindlich. Durch den gleichzeitigen Einsatz von Druckluft und Vereisung als Bauhilfsmaßnahme konnten die Setzungen so reduziert werden, dass ein ununterbrochener Betrieb des Wöhlamtes sichergestellt war.

Nun da die NATM auch diese Prüfung souverän gemeistert hatte, stand ihrem Einsatz beim Bau der Linie U3 durch das Zentrum von Wien ab dem Jahre 1985 nichts mehr im Wege. War man 10 Jahre zuvor noch davon ausgegangen diese Linie in offener Bauweise durch das Stadtzentrum zu errichten und hatte man im Zuge des Baus der Station Stephansdom für die Linie U1 auch alles dafür vorbereitet, so ergaben sich durch den Einsatz der NATM jetzt völlig neue Möglichkeiten. Nicht nur, dass die Wiener Innenstadt mit ihrer Jahrhunderte alten Geschichte und engen Gassen von umfangreichen und störenden Grabungsarbeiten verschont werden konnten, auch eine verkehrstechnisch wesentlich günstigere Linienführung war dadurch erreichbar.

Für die NATM bedeutete dies aber, sich auf wahrhaft unbekanntes Terrain zu begeben, mit Resten alter Stadtbefestigungen, 3-Stock tiefen Kellern mit unbekanntem Grundrissen, von Fluchtgängen, zugeschüt-

computation programme intended to dispel the doubts about the suitability of this tunnelling method in the soil of Vienna with its Quaternary gravels as well as Neogene gravels and silts along with a near-surface water table. The practical experience that had already been gained, mainly on the Munich metro project, proved to be great value. The work was accompanied by an intensive aboveground and underground measurement programme as it was important not only to prove the successful application of

the method for the project itself but also to gather valuable information for subsequent and difficult construction projects.

As tunnelling for the complex reversing facility and the two line tubes adjacent to it had met with no problems, the suitability of NATM was now indisputable and the method was further advanced as the challenges increased.

The first challenge to be faced was the metro tunnel passing, under a cover of a few metres, beneath the Wöhlamt (automatic telephone exchange) building in the district of Meidling in Vienna belonging to the Österreichische Post- und Telegraphenverwaltung. The automatic exchange was equipped with analog-based switch cabinets according to the state of the art of that time, and was thus extremely vulnerable to ground settlements. The combined use of compressed air and artificial ground freezing during construction helped to reduce settlement to a level that permitted the uninterrupted operation of the automatic exchange.

Since NATM had thus stood yet another test with ease and confidence, the way was clear for its use on the U3 metro project through the centre of Vienna and work was commenced in 1985. Although the original plan had provided for constructing this line in open cut and all preparations had already been made during the construction of the Stephansdom station for Line U1, entirely new possibilities now emerged

teten Hausbrunnen und dies noch dazu mit einem Vortrieb, der hauptsächlich durch neogene Feinsande und quartäre Kiese bis zu 15 m unterhalb des Grundwasserspiegels führte. Dies war nur durch den Einsatz der gesamten Bandbreite an Bauhilfsmaßnahmen, welche damals zur Verfügung standen, zu bewältigen, wie Grundwasserabsenkung, Druckluft, Vereisung, Abdichtungsinjektionen und Düsenstrahlverfahren. Als dieses Teilstück der Linie U3 im Jahre 1991 ohne nennenswerte Zwischenfälle termingerecht in Betrieb gehen konnte, waren alle am Bau Beteiligten nicht nur erleichtert, sondern auch um viele Erfahrungen reicher, welche künftig nicht nur in Wien selbst, sondern auch international zur Lösung technischer Herausforderungen im Rahmen des innerstädtischen Tunnelbau beitragen.

Nicht unerwähnt bleiben soll, dass im Zuge des Vortriebs für das Baulos Herrengasse der Linie U3 mit Quecksilber verseuchte Böden angetroffen wurden. Dabei kam Gott sei Dank niemand zu Schaden, jedoch mussten die Vortriebsarbeiten unter Zuhilfenahme von Atemschutzgeräten fortgesetzt werden.

Ungefähr zu dieser Zeit – also um 1986 – fand im Rahmen des Wiener U-Bahnbaus beim Baulos Rochusgasse auch der erste Vortrieb im Schutze eines horizontalen DSV oder Jet Schirmes – wie dieser damals auch genannt wurde – statt.

from the use of NATM. This meant not only that extensive and troublesome excavation work within the city centre of Vienna with its century-old history and narrow streets was avoided, but it was now also possible to select a new route that was better situated within the transport system.

This meant for NATM, however, that truly new ground had to be broken – the tunnel route touched the remains of ancient city fortifications, three-level basements with unknown ground plans, escape passages and filled-up house wells, all this combined with the challenge of tunnelling through mainly Neogene fine sands and Quaternary gravels to a depth of up to 15 m below the water table. The full range of auxiliary methods then available, such as water table lowering, compressed air, artificial ground freezing, below ground waterproofing by normal grouting or jet grouting were in demand. When this section finally commenced operation according to schedule, all those involved in the construction of the project were not only relieved but had gathered much valuable experience, which was to make an important contribution to the solution of technical challenges in inner-city metro construction not only in Vienna but on an international level.

It must also be mentioned that mercury-contaminated soil was encountered during tunnelling for the Herrengasse Lot of Line U3. Fortunately, nobody



Abb. 3. Verwendung von Atemschutzgeräten bei Antreffen von kontaminierten Böden während der Tunnelbauarbeiten

Fig. 3. Use of breathing devices by encountering contaminated soils during tunnelling

Anfang der 90-iger Jahre – die U-Bahnlinie 3 wurde nunmehr sukzessive auch in Richtung der Außenbezirke erweitert – stellte die Herstellung der Station Westbahnhof unsere Tunnelbauer vor neue Herausforderungen. War doch eine Station bestehend aus 2 Stationsröhren und dazwischenliegenden Bahnsteigtunnel unterhalb eines setzungsempfindlichen Gebäudes aufzufahren, wobei eine maximale Tangentenneigung von 1: 1000 der Fundamente einzuhalten war. Um dies zu lösen, kamen erstmals Hebungsinjektionen zum gezielten Ausgleich der vom Vortrieb herrührenden Setzungen zur Anwendung. Dabei zeigten sich aber auch die Grenzen dieser Methode, war doch im Zuge der Herstellung der letzten Teilvortriebe festzustellen, dass pro 1 cm Hebung der Fundamente die Tunnelfirsten um beinahe 2 cm nach unten wanderten.

In den folgenden Jahren kam die NATM immer wieder zur Anwendung, wenn auch nicht in so spektakulärer Weise als zuvor. Sie war aber mittlerweile auch zu einer Standardbaumethode des Wiener U-Bahnbaus gereift.

Schlagartig änderte sich das mit dem Entschluss die Linie U2 zum Praterstadion rechtzeitig vor Beginn der Fußball Europameisterschaften 2008 zu verlängern. Gleich zu Beginn stand die Unterquerung des Donaukanals in seichter Lage an. Die Fundamente der denkmalgeschützten Kaiserbadschleuse endeten nur knapp oberhalb des Stationstunnels. Als Bauhilfsmaßnahme kam das Gefrierverfahren zum Einsatz, wobei die Vereisung des Bodens mit flüssigem Stickstoff, Sole und einer Kombination aus beiden erfolgte. Der Vortrieb selbst gestaltete sich völlig problemlos, der gefrorene Boden wurde mit Hilfe einer am Tunnelbagger montierten Anbaufräse gelöst.

Ganz andere Qualitäten der NATM waren bei der folgenden Unterquerung des eng verbauten 2. Wiener Gemeindebezirks gefragt. Lag doch zu Baubeginn wegen rechtlichen Einsprüchen nur für ca. ein Drittel aller Häuser eine Genehmigung zur Unterquerung vor. Auch wenn dann sukzessive die Genehmigungen erteilt wurden, hatte dies zur Folge, dass oftmals der Tunnelvortrieb unterbrochen, das Gebäude mittels Querschläge zur Nachbarröhre umgangen und anschließend weiter fortgesetzt werden musste. Welche andere Methode hätte auch unter diesen Rahmenbedingungen eine rechtzeitige Fertigstellung ermöglicht?

came to grief, but the work had to be continued using breathing devices.

Approximately at that time – around 1986 – horizontal jet grouting, or the jet umbrella as it also used to be called, was introduced for tunnelling on the Vienna metro project, Rochusgasse Lot.

New challenges began to face our tunnellers at the Westbahnhof station in the early 1990s as the U3 was being extended step by step towards the suburbs. The station, consisting of two station tubes with a platform tunnel between them, had to be driven beneath a building vulnerable to settlement, and a maximum tangent slope of 1: 1000 had to be observed for its foundation. This problem was solved by the first ever use of grouting for well-controlled compensation of settlement caused by tunnelling. But the limits of this method appeared when we found out during the excavation of the last partial drifts that one centimetre of foundation lift meant that the tunnel roof moved downward by almost two centimetres.

During the next years, NATM was employed whenever appropriate though not in such spectacular situations. In fact, it had matured to be a standard method for the construction of the Vienna metro system.

This changed practically overnight when the decision was taken to extend the U2 to the Prater stadium in time for the 2008 European Football Championship. The first challenge to be met was the crossing under shallow cover beneath the Danube Channel. The foundations of the heritage-protected Kaiserbad lock ended immediately above the station tunnel location. This problem was handled by use of artificial ground freezing with liquid nitrogen, brine and a combination of the two. Tunnelling itself met with no problems at all, the frozen ground was excavated with a special cutter attachment fixed to the tunnel excavator.

Entirely different NATM qualities were in demand for the adjoining passage beneath the densely built-up 2nd district of Vienna. In fact, by the time work was to be commenced for this section, building permits had been granted for only about one-third of the houses involved as a host of legal objections had been raised. Despite the various permits eventually being granted on a step-by-step basis, the tunnelling works had constantly to be interrupted and structures needed

Schlussendlich kommt auch bei der jetzt in Bau befindlichen Verlängerung der Linie U1 Richtung Süden die NATM für die Tunnelstrecken zum Einsatz.

Vor etwas mehr als 10 Jahren hat auch der maschinelle Tunnelvortrieb wieder Einzug gefunden in den Wiener U-Bahnbau. Für die Wiener Linien gibt es diesbezüglich kein „entweder oder“, sondern die Beurteilung wird jeweils im Einzelfall nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien gefällt. Aus diesem Gesichtspunkt wird die NATM auch in Zukunft ein fixer Bestandteil des Wiener U-Bahnbaus bleiben.

Besonders stolz sind wir darauf, dass in diesen 30 Jahren Einsatz der NATM im Wiener U-Bahnbau keine nennenswerten Schadensereignisse zu verzeichnen waren. Dies hat auch ein Vertrauen in der Wiener Bevölkerung geschaffen ohne welches verschiedene Linienführungen im eng verbauten Stadtgebiet so nicht durchsetzbar gewesen wären. Basis für diesen langjährigen erfolgreichen Einsatz war die Zusammenarbeit aller am Bau Beteiligten. Nur so war es möglich die technischen Herausforderungen zu meistern, denn, auch bei allen unterschiedlichen Standpunkten, stand die rasche und zielgerichtete Lösung der Probleme immer im Vordergrund.

So wird es für diese Neue Österreichische Tunnelbaumethode stets immer wieder neue Herausforderungen geben, welche sie auch in Zukunft jung und frisch erhalten wird.

In diesem Sinne möchte ich mich bei allen bedanken, die zum Erfolg dieser Baumethode beigetragen haben.

to be by-passed by cross cuts provided to the neighbouring tube until routine work was continued. What other method could have made it possible under such circumstances to complete the project in time for the championship?

At present, NATM is being used for constructing the tunnel sections for southward extension of the U1.

Mechanical tunnelling found its way into the Vienna metro projects again a little more than 10 years ago. Wiener Linien does not consider this as an either-or problem but makes its decision in each individual case on the basis of the technical and economic criteria. NATM will thus continue in the future to form an integral part of metro construction in Vienna.

We are particularly proud to say that no major damage has been caused during 30 years' use of NATM in metro construction in Vienna. This has also created confidence among residents. Otherwise many a route in densely built-up areas would have been impossible to implement in this form. Close cooperation among all those involved in the work has been the basis for this long-standing successful use of NATM. This has been the only means of coping with the technical challenges as the rapid and target-oriented solution of problems has always been the main concern whatever differences of opinion arose.

There will always be new challenges to be met by the New Austrian Tunnelling Method, and this will continue to keep it young and alive in the future.

Let me take this opportunity to thank all those who have contributed their share to the success of this construction method.

Kavernenbau in Österreich am Beispiel der Wasserkraftprojekte Limberg II und Reisseck II

Construction of power caverns in Austria shown on the hydroelectric power projects Limberg II and Reisseck II

Karl-Heinz Gruber, VERBUND Hydro Power AG, Austria, karl-heinz.gruber@verbund.com, www.verbund.com
Harald Tafatsch, VERBUND Hydro Power AG, Austria, harald.tafatsch@verbund.com, www.verbund.com
Andreas Blauhut, VERBUND Hydro Power AG, Austria, andreas.blauhut@verbund.com www.verbund.com

1. Einleitung

VERBUND, Österreichs größtes Stromunternehmen, setzt auf den Ausbau von Pumpspeicherkraft an bestehenden Standorten. Die VERBUND-Projekte Limberg II und Reisseck II zählen europaweit zu den größten Kraftwerksbaustellen. Limberg II wurde im Herbst 2011 offiziell eröffnet und ergänzt die Kraftwerksgruppe Kaprun um 480 MW Pumpspeicherleistung. Reisseck II in Kärnten (zusätzliche Leistung: 430 MW) befindet sich derzeit in Bau und soll 2014 fertiggestellt werden.

2. Limberg II

2.1 Geologische und felsmechanische Voruntersuchungen

In Vorbereitung auf die wasserrechtliche Einreichung des Projekts Limberg II 1992/93 wurden verschiedene geologische Erkundungen (Erkundungsstollen, -bohrungen, etc.) bzw. felsmechanische Untersuchungen durchgeführt. Auf Grund der ersten geologischen Erkundungen wurde die Kaverne so weit in den Berg gelegt, dass sie einerseits möglichst außerhalb des oberflächennahen Auflockerungsbereichs zu liegen kommt und andererseits die Überlagerung nicht zu groß wird. Die Lage der Kavernenachse wurde dabei in Bezug auf die Haupttrennflächen des Gebirges (Kalkglimmerschiefer und Prasinite) optimiert.

2.2 Optimierung der Kavernenanlage

Die Kavernenanlage Limberg II liegt mit rd. 200 m Gebirgsüberdeckung in der orographisch rechten Hangflanke unterhalb der Limbergsperrde. Die Kavernenanlage besteht aus einer Kraftkaverne mit zwei Maschinensätzen, einer Trafokaverne und den beiden Generatorableitungstollen.

1. Introduction

VERBUND, Austria's largest electric power company, enforces the development of pumped storage schemes on existing power plant locations. The VERBUND-projects Limberg II and Reisseck II are among the largest power plant construction sites in Europe. Limberg II has started operation in autumn 2011 and completes the production of the Kaprun power plants with an installed capacity of 480 MW. Reisseck II in carinthia (installed capacity 430 MW) is currently under construction and shall be completed in 2014.

2. Limberg II

2.1 Geological and rockmechanical investigations

In preparation of the submission of the project to the authorities 1992/93 several geological investigations (exploration galleries, exploratory drillings, etc.) and rockmechanical analysis were carried out. As a result of the first geological investigations the cavern in the mountain was defined in a position below the near to surface loosening zone as well as with a limited amount of rock mass overburden. The position of the cavern axis was orientated normal to the main discontinuities of the rock mass (consisting of calcareous mica schists and green schists).

2.2 Optimization of the cavern

The caverns of Limberg II are located at the right wing slope below the Limberg dam, having a rock mass overburden of app. 200 m. The whole cavern system consists of a power cavern with two sets, a transformer cavern and two generator leads.

Auf Basis der guten, wasserarmen Gebirgsverhältnisse konnte das Ausbruchsvolumen gegenüber dem Einreichprojekt von ursprünglich 109 000 m³ um 36 % auf 69 700 m³ verringert werden. Dies wurde in bewährter Zusammenarbeit zwischen Bauherr und Planer durch folgende Massnahmen, v.A. im Rahmen der NATM, bewerkstelligt:

- Änderung des statischen Systems von einer im Ausbruchquerschnitt der Kaverne freistehenden zu einer integrierten Betonkonstruktion mit einem innovativen Ausbruch- und Ausbaukonzept, wobei die Ausbruchsicherung mit Spritzbeton, Baustahlgitter, Stahlgitterbögen und Ankern auch als Endauskleidung dient.
- Selbsttragende Kranbahn für den Baukran unter Verwendung von Vorspannankern.
- Systematische Bergwasserdrainage mittels Bohrlöchern anstelle einer Entwässerung zwischen Ausbruch und innerer Betonschale.
- Diverse maschinenbauliche bzw. elektrotechnische Modifikationen

2.3 Bauausführung

Im März 2007 wurde mit dem Ausbruch der beiden Kavernen und der Generatorableitungsstollen begonnen. In einer Rekordzeit von 12 Monaten wurden von der Bau-Arge rd. 70 000 m³ im konventionellen Sprengvortrieb ausgebrochen, und zugleich die beiden Ankerbalken betoniert und die Regelsicherung mit Stahlbögen, 2 bis 3 Lagen Baustahlgitter, Spritzbeton mit maximal 35 cm Stärke, SN-Anker mit 6 m und Dauereinstabanker mit 15 m Länge eingebaut. Die maximalen Verformungen in der Maschinenkaverne betragen nur wenige mm.

3. Reisseck II

3.1 Geologische und felsmechanische Voruntersuchungen

In Vorbereitung auf die behördliche Einreichung des Projekts wurden wie beim Projekt Limberg II verschiedene geologische Erkundungen bzw. felsmechanische Untersuchungen durchgeführt.

Im Rahmen der geologischen Vorerkundung wurden für den Kavernenbereich mehrere Tiefbohrungen abgeteuft. Darüber hinaus wurden die geologisch-felsmechanischen Daten von den benachbarten Anlagenteilen der Kraftwerksanlage Malta-Hauptstufe

Due to the sound, almost dry rock mass conditions the excavation volume could be reduced from originally foreseen 109 000 m³ to 69 700 m³ (reduction of 36 %). This improvement, done in good cooperation between the owner and the designer, was possible throughout the following measures (mainly in connection with NATM):

- *Change of the static system from a selfsupporting to an integrated concrete structure with an innovative excavation and support design, where the support with shotcrete, wire mesh, steel bars and anchors is also used as a final lining.*
- *Selfsupporting crane beam with pre-stressed anchors*
- *System of drainage holes instead of a drainage between the excavation profile and an originally foreseen concrete lining*
- *Several modifications in mechanical and electrical engineering*

2.3 Construction works

The excavation works of both caverns and the generator leads started in March 2007. At record speed of just 12 months the contractor excavated approx. 70 000 m³ by drill & blast method. At the same time both crane beams were built and the normal support with steel bars, two to three layers of wire mesh, shotcrete (max. thickness 35 cm), SN-anchors (length 6 m) and longer threadbar anchors (length 15 m) had to be installed. With this kind of support the deformations in the power cavern reached a maximum of just a few mm.

3. Reisseck II

3.1 Geological and rockmechanical investigations

In preparation of the submission of the project to the authorities several geological investigations and rockmechanical analysis were carried out, similar to the project Limberg II. During the geological investigations several deep boreholes were carried out for the cavern area. Beside these investigations the geological and rockmechanical data from the nearby power plant Malta Hauptstufe (headrace tunnel section Hattelberg, surge tank Burgstall) were also taken into consideration.

(Triebwasserwegsabschnitt Hattelbergstollen, Wasserschloß Burgstall) miteinbezogen.

3.2 Bauausführung

Die Kavernenkraftstation Burgstall liegt rd. 200 m tief in der orografisch rechten Hangflanke des Mühldorfer Grabens und besteht aus einer Maschinenkaverne, einer davon getrennt angeordneten Trafokaverne und den beiden Generatorableitungsstollen. Im Jahr 2011 wurde der Felsausbruch im kompakten Granitgneis und Augengneis durchgeführt. Der Ausbruch der Maschinenkaverne erfolgte über zwei Rampenstollen in 7 Ausbruchhorizonten, beginnend in der Kalotte. Zeitgleich wurde die Trafokaverne ausgebrochen, wobei hier nur zwei Ausbruchshorizonte vorgesehen waren. Durch eine Regelsicherung bzw. steifen Ausbau ähnlich wie beim Projekt Limberg II konnten auch hier die Verformungen minimiert werden.

4. Schlussfolgerungen

Die Kavernenbauten wurden bei den Projekten Limberg II und Reisseck II unter Anwendung der NATM in standfestem, relativ gering wasserführendem Gebirge errichtet, was als wesentliche Grundvoraussetzung für Hohlrumbauteilen dieser Dimension anzusehen ist. Im Vergleich zu früheren Planungen konnte die Größe der Kavernen u.A. durch tunnelbautechnische Maßnahmen (Reduktion der Auskleidung, Entwässerung, etc.) entscheidend reduziert werden. Zur Realisierung des Ausbruchs- und Ausbaukonzepts waren im Wesentlichen erforderlich:

- Eine umfassende Vorkundung (Erkundungsstollen zu empfehlen)
- Eine abgestimmte, fächerübergreifende Planung (unter Einbeziehung von Maschinen- und Elektrobau)
- Ein adaptives Mess- und Beobachtungsprogramm
- Ein gutes Zusammenwirken von allen Beteiligten auf der Baustelle (Bauherr, Planer, bauausführende Firmen, Örtliche Bauaufsicht, etc.)

5. Literatur

[1] VERBUND AG: Das Kraftwerk im Berg – Die Baugeschichte des Pumpspeicherkraftwerks Limberg II, Residenz Verlag, 2011.

3.2 Construction works

The subsurface power plant Burgstall is located at the right wing slope of the Mühldorfer Graben having a rock mass overburden of app. 200 m. The whole cavern system consists, similar to Limberg II, of a power cavern with two sets, a transformer cavern and two generator leads. In the year 2011 the excavation works were carried out in sound granite gneiss and so called Augengneis. The excavation of the power cavern was done by the use of two ramp galleries in seven benches, starting with the crown excavation. At the same time the transformer cavern was excavated in two benches. With installation of a normal support similar to Limberg II the deformations could also be minimized here.

4. Conclusions

The caverns at the Limberg II and the Reisseck II project were built with the NATM method in sound, almost dry rock mass conditions, what has to be classified as an essential requirement for underground excavation in these dimensions. Compared to previous design stages the dimension of the caverns could be reduced substantially by tunneling measures (reduction of support, drainage, etc.). For realization of the innovative excavation and support design the following measures were required:

- *Comprehensive investigations (exploration galleries can be recommended)*
- *Coordinated, cross-disciplinary design (in cooperation with departments of mechanical and electrical engineering)*
- *Adaptive measuring- and surveillance program*
- *Good cooperation between all participants on site (owner, designer, contractor, site supervision, etc.)*

5. References

[1] VERBUND AG: Das Kraftwerk im Berg – Die Baugeschichte des Pumpspeicherkraftwerks Limberg II, Residenz Verlag, 2011.

[2] Kummerer, J. & Stäubli, H.: Auswertung felsmechanischer Untersuchungen, gezeigt am Beispiel der Vorarbeiten für eine Kraftwerkskaverne, Felsbau Jg. 8, H. Nr. 4, 1990.

[2] Kummerer, J. & Stäubli, H.: Auswertung felsmechanischer Untersuchungen, gezeigt am Beispiel der Vorarbeiten für eine Kraftwerkskaverne, Felsbau Jg. 8, H. Nr. 4, 1990.

[3] Freitag, M.; Larcher, M.; Hager, A.: Das Pumpspeicherkraftwerk (PSKW) Reißbeck II in Kärnten, Geomechanics and Tunnelling, H. Nr. 5, 2011.

[3] Freitag, M.; Larcher, M.; Hager, A.: Das Pumpspeicherkraftwerk (PSKW) Reißbeck II in Kärnten, Geomechanics and Tunnelling, H. Nr. 5, 2011.

NATM – Erinnerungen an die Zukunft **Erinnerungen an den Beginn einer Baumethode,** **die heute noch eine Zukunft hat**

NATM – Memories of the future ***Memories of the beginnings of a construction method*** ***that still holds a future***

Wolfgang Gobiet, Leiter der Verkehrsabteilung im Amt der Steiermärkischen Landesregierung i.R

Nach der Blütezeit des Eisenbahntunnelbaues in den Jahren 1852 bis 1912 – die Vortriebsarbeiten erfolgten u.a. nach belgischer, französischer, österreichischer, deutscher, englischer oder italienischer Bauweise – trat, auch kriegsbedingt, eine Stagnation im Verkehrstunnelbau ein.

Der Bau des Hochtör- und Mittertörltunnels (1935) und die kriegsbedingt eingestellten Vortriebe des Wolfsberg-, Gollinger- und Katschbergtunnels stehen am Beginn des Straßentunnelbaues.

Nach kurzen Tunnel in Tirol und Vorarlberg, dem Schlossbergtunnel (Kapfenberg), den Dürnstein- und Klammsteintunnel stehen die Tunnelbauten Massen-berg, Loibl, Wolfsberg, Felbertauern und Berg Isel am Beginn der Blütezeit des Straßentunnelbaus (ab 1965).

Der Vortrieb für den Massenbergtunnel (1962–1965), als wichtiges Objekt der Umfahrung Leoben (damals Teil der gefürchteten Gastarbeiterroute, heute Teil der S 6 Semmering Schnellstraße) wurde noch nach „alter österreichischer Bauweise“ begonnen und nach einem Verbruch, nach „neuer österreichischer Bauweise“ unter Einbindung von Prof. Rabcewicz, fortgesetzt und erfolgreich beendet.

Im Zuge der Trassenfindung für die A 2 Süd Autobahn im Raum Gleisdorf wurde um das Jahr 1960 der Versuchsstollen Wetzawinkel für einen ca. 1,5 km langen Tunnel errichtet und nach Vorschlägen vom Büro Pacher – Rabcewicz eine geotechnische Messstation eingerichtet. (Ausgeführt wurde eine Trasse mit einem tiefen Einschnitt.)

Als Nachweis des Schubbruchs bei „dünnen Schalen“ im Tunnelbau, wurden von Sattler/Rabcewicz Versuche

The boom of rail tunnel construction between 1852 and 1912 – employing Belgian, French, Austrian, German, English or Italian construction methods – was followed by stagnation against the background of a looming war.

The beginning of the era of road tunnels was marked by the construction of the Hochtör and Mittertörl tunnels in 1935 as well as by the Wolfsberg, Gollinger and Katschberg tunnel projects, on which work was discontinued due to the Second World War.

Tunnelling was resumed after the war. At first short tunnels were built in Tyrol and Vorarlberg, as well as the Schlossberg tunnel at Kapfenberg, the Dürnstein and the Klammstein tunnels. Then followed major projects – the Massen-berg, Loibl, Wolfsberg, Felbertauern and Berg Isel tunnels, which, beginning in 1965, ushered in the heyday of road tunnel construction.

The Massen-berg tunnel was constructed between 1962 and 1965 as the main feature of the Leoben by-pass in Styria, then part of the dreaded accident black spot on the Gastarbeiterroute, now on the S 6 Semmering expressway. While work was begun by use of the Old Austrian Tunnelling Method, a tunnel collapse prompted the change-over to the New Austrian Tunnelling Method, with Professor Rabcewicz assisting.

The planning work for the A 2 South Motorway, beginning around 1960, involved the construction of the Wetzawinkel test drive for a tunnel of about 1.5 km length near Gleisdorf in Styria. A

an der TU Graz erfolgreich durchgeführt, die in einem Beitrag zum Geomechanik-Kolloquium 1968 in Salzburg, damals noch in der Residenz, vorgestellt wurden. In der Entwicklung der Ingenieurbüros für den Tunnelbau hat das Büro Pacher – Rabcewicz – damals noch in der Franz-Josefs-Straße in Salzburg – eine Mutterfunktion inne.

Die siebziger und achtziger Jahre des 20. Jahrhunderts brachten eine Fülle von Tunnelbauten für das Autobahnen-, Schnellstraßen- und Bundesstraßen- aber auch Landesstraßennetz in Österreich, die alle nach der „neuen österreichischen Tunnelbaumethode“ ausgeschrieben und realisiert wurden.

Als Beispiele zählen dazu:

Ofenauer und Hiefler, Katschberg und Tauern, Arlberg, Gleinalm, Pfänder, Selzthal, Ganzstein, Tanzenberg, Perjen, Bosruck, Plabutsch, Gratkorn, Tunnelkette Pack der A 2, Brentenberg, Zetzenberg, Helbersberg, Reit, Mils, Niklasdorf.

Bei den Vortriebsarbeiten mussten teilweise auch einige Probleme gelöst werden.

So sind beim Ostvortrieb des Ganzsteintunnel in den druckhaften Phylliten, Quarziten und tektonisch verdrückten Mischgesteinszonen, sowie plastifizierten Quarzmylonit flankierende Maßnahmen wie Bohrpfähle im Ulmenbereich und Injektionen im gesamten Firstbereich gesetzt worden. Im anschließenden Ulmenstollenvortrieb wurde ein Verfahren mit variablen (sägezahnförmige) Überhöhungen mit kontrolliertem Sohlschluss umgesetzt.

Beim Westvortrieb für den Herzogbergtunnel der Tunnelkette Pack im Kristallin wurde bei den täglichen Stationsmeldungen an den Chef der Bauunternehmung eines Tages eine um 4 m kürzere Station gemeldet, als es am Vortag geschah (Stat. 112 m; Stat. 108 m). Verbunden mit dem Eindringen großer Wassermengen kam es zu einem Firstverbruch, dessen Aufarbeitung einige Zeit in Anspruch nahm.

Auch beim Mitterbergtunnel der Tunnelkette Pack kam es im Strossenvortrieb ausgelöst durch eine mit Montmorillonit belegte Gleitschicht, parallel zur Tunnelachse, zu einem gewaltigen Verbruch, der zum Glück nur großen Schaden an Baugeräten verursachte.

geotechnical measuring station was installed according to proposals by Pacher-Rabcewicz Geotechnical Engineers. (A route with a deep cut was finally selected instead).

Sattler/Rabcewicz carried out successful tests at the Graz University of Technology to study shear fracture in connection with what they called „thin shells“. The results were presented in a paper at the Salzburg Geomechanics Colloquy in 1968.

In fact, Pacher-Rabcewicz Geotechnical Engineers, then in Franz-Josef-Straße in Salzburg, were prominent in mothering the development of engineering firms for tunnelling.

The 1970s and 1980s saw an abundance of tunnel projects for the motorway, expressway as well as federal and provincial road networks in Austria, which were all tendered and implemented using the New Austrian Tunnelling Method.

Such as:

Ofenauer and Hiefler, Katschberg and Tauern, Arlberg, Gleinalm, Pfänder, Selzthal, Ganzstein, Tanzenberg, Perjen, Bosruck, Plabutsch, Gratkorn, Pack tunnel series on the A2, Brentenberg, Zetzenberg, Helbersberg, Reit, Mils, Niklasdorf.

Work on these projects involved the need to solve some specific problems.

Thus, flanking measures such as bore piles in the tunnel walls and grouting over the whole tunnel roof had to be taken in the eastern drive of the Ganzstein tunnel to handle the squeezing phyllites, quartzites and tectonically shattered zones of hybrid rock as well as plastified quartzitic mylonites. The adjoining side-wall drift was excavated using a method employing variable (saw-tooth shaped) cambers with controlled invert closure.

On the Herzogberg tunnel project within the Pack tunnel series in crystalline rock, one daily station report to the head of the contracting firm signalled that the day's advance had fallen short of the previous day's by 4 m (Station 112 m; Station 108 m). The inrush of substantial water flows had led to roof failure, which took some time to handle.

A severe collapse also occurred in the bench heading for the Mitterberg tunnel of the Pack tunnel series,

Die Vortriebsarbeiten für die Weströhre des Selzthal-tunnels wiederum wurden vom Auftragnehmer nach dem System Bernold begonnen. Dieser wurde jedoch nach einem Verbruch (Teile der Ausrüstung sind heute noch einbetoniert) rasch auf die „neue österreichische Baumethode“ umgestellt.

Natürlich haben österreichische Ingenieure auch so manchen Blick über die Grenzen getan, so war vor allem der Bau des Gotthardstraßentunnels (1970–1980) ein Ziel von Exkursionen.

Andererseits haben japanische Ingenieure tage- und wochenlang die NATM auf österreichischen Bau- stellen mit Akribie studiert.

Vertreter von Bauunternehmen, der Technischen Uni- versitäten, von Auftraggebern und Ingenieurbüros, der Geräte- und Baustoffhersteller haben stets zur Weiterentwicklung der NATM in Theorie und Praxis beigetragen und so zu einer Leistungs- und Sicher- heitssteigerung beigetragen.

(Bohr- und Ankertechnik, Stützelemente, Schlitz- e mit Dämpfungselementen, Trocken-Nassspritzbeton, Alkalifreie Erstarrungsbeschleuniger, Messtechnik u.v.a.m.)

Trotz beeindruckender Entwicklung und Zunahme der TBM-Vortriebe hat die NATM noch immer eine Zukunft und ist bei kritischem Gebirgsverhalten (z. B. Schlaglstörung Semmering) schwer zu ersetzen.

Über 300 Straßentunnel, mit weit über 400 km Röhrenlänge, sind heute im österreichischen Straß- netz in Betrieb und sind Zeugen eindrucksvoller Inge- nieurleistungen.

due to the presence of a montmorillonite-covered slip layer running parallel to the tunnel centreline. Fortunately there were no injuries and damage was caused only to mechanical equipment.

By contrast, the Bernold system was first used by the contractor for the excavation for the western tube of the Selzthal twin tunnel project. But this was immediately replaced by the New Austrian Tunnelling Method as soon as a tunnel collapse had occurred – some equipment parts are still embedded in the concrete.

Needless to say Austrian engineers also cast many a glance across the national borders; thus the construc- tion site of the Gotthard road tunnel, built between 1970 and 1980, was a main destination for technical excursions, while Japanese engineers spent days and weeks studying meticulously the NATM at Austrian construction sites.

Representatives of contractors, from the universities of technology, of owners and engineering firms, of equipment and building materials suppliers have always contributed their share to the continued deve- lopment of the NATM in theory and practice, thus enhancing its performance and safety. (This includes drilling and anchoring technologies, support ele- ments, slots with damping elements, dry or wet shotcrete, alkali-free accelerators, metrology etc.)

Despite the impressive development of the method and the increase in TBM drives, the NATM still has a future and is hard to replace wherever tunnelling is confronted with critical rock behaviour, as demons- trated by the Schlagl fault at the Semmering tunnel site.

More than 300 road tunnels, totalling much more than 400 kilometres in tube length, are now in opera- tion in the Austrian road system. They are witnesses of remarkable engineering achievements.

Einführung der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise in Deutschland

The introduction of the New Austrian Tunnelling Method in Germany

Friedrich Blindow, BeMo, Innsbruck (GF: 1963–1993), Austria, fbl@blindowconsult.com, www.blindowconsult.com
Josef Arnold, ALPINE BeMo Tunnelling GmbH, Austria, josef.arnold@alpine-bemo.com, www.alpine-bemo.com

1. Einleitung

Auf ersten Erfahrungen in Österreich aufbauend, folgten in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts erste Anwendungen der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (NÖT) in Deutschland. Die erfolgreichen Ausführungen haben wesentlich zur raschen, weltweiten Verbreitung der neuen Bauweise beigetragen. Im folgenden Beitrag wird über die erste Anwendung der NÖT in Deutschland beim Bau des Schwaikheimer Eisenbahntunnels und die weltweit erste Anwendung der NÖT im innerstädtischen Verkehrstunnelbau in Frankfurt/Main berichtet.

2. Schwaikheimer Tunnel

In den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts wurde im Zuge der Elektrifizierung der Bundesbahnstrecke Waiblingen-Backnang im Nordosten Stuttgarts der nur eingleisig befahrbare Schwaikheimer Tunnel durch den Bau eines zweigleisigen Tunnels ersetzt. Für die Planung des Tunnels holte sich die Deutsche Bahn Prof. Dr. v. Rabcewicz, Prof. Dr. Müller und Dipl.-Ing. Pacher als Gutachter. Das Gutachtertteam schlug zur Ausführung die Neue Österreichische Tunnelbauweise (NÖT) als die technisch und wirtschaftlich günstigste Lösung vor.

Gegenüber den bis dato bekannten Tunnelbaumethoden wurde u. a. auf folgende Vorteile verwiesen [1]:

- Wirksamer Schutz der Vortriebsmannschaft durch sofortige Spritzbetonsicherung
- Vermeidung des früher unvermeidbaren Auflockerungsdruckes
- Anpassungsfähigkeit der Sicherungsmaßnahmen an die jeweiligen Gebirgsverhältnisse
- Kostenersparnis durch geringere Gewölbestärken

1. Introduction

First experience had already been gathered in Austria when the New Austrian Tunnelling Method was first employed in Germany in the 1960s. The successful implementation of NATM projects contributed a great deal to the rapid worldwide dissemination of the method.

The following article deals with the first use of NATM in Germany on the Schwaikheim rail tunnel project as well as the first use ever of NATM in urban traffic tunnel construction in Frankfurt/Main.

2. Schwaikheim Tunnel

During the sixties of the last century, the German Federal Railways electrified the Waiblingen-Backnang line in north-eastern Stuttgart. The project included the replacement of the single-track Schwaikheim Tunnel by a new twin-track tunnel.

German Railways called in Professor Dr. v. Rabcewicz, Professor Dr. Müller and Dipl.-Ing. Pacher as experts for the design of the project. The expert team suggested that the New Austrian Tunnelling Method (NATM) be used as the best solution in terms of both technology and economy.

They listed the following advantages over the tunnelling methods known up until then [1]:

- *Efficient protection of the tunnelling crew through immediate sprayed concrete support*
- *Avoidance of the – formerly unavoidable – breaking-up pressures in the ground*
- *Adaptability of support measures to answer the respective ground requirements*
- *Economies resulting from reduced lining thicknesses.*

Als Voraussetzung für eine Vergabe verlangten die Gutachter von den anbietenden Baufirmen den Nachweis entsprechender Referenzen und die Verfügbarkeit von im Tunnelbau erfahrenem Personal.

Weil mit der neuen Bauweise zur damaligen Zeit in Deutschland keine Erfahrungen vorlagen, bildete Beton- und Monierbau (BeMo) mit der in Innsbruck ansässigen Tunnelbaufirma Rembert Oberranzmeyer eine Bietergemeinschaft und erhielt im Jahre 1963, erweitert um drei weitere deutsche Firmen, den Auftrag zum Bau des neuen rd. 310 m langen Schwaikheimer Eisenbahntunnels.

Im Sinne der neuen Bauweise verzichtete das Bundesbahnzentralamt auf herkömmliche Berechnungs-

The expert team specified certain requirements to be met by potential bidders. These had to produce appropriate references and had to possess staff experienced in tunnelling techniques.

Since no experience with the new method was available in Germany at that time, Beton- und Monierbau (BeMo) formed a joint venture with the tunnelling firm Rembert Oberranzmeyer with headquarters in Innsbruck and together with three German firms, was awarded the contract for the construction of the Schwaikheim rail tunnel of about 310 m length in 1963.

In keeping with the new construction method, the central administration of German Railways did without the conventional methods of lining cross section design and implemented an extensive measuring

programme in a top heading driven ahead of the tunnel face instead. Whereas the assessment of rock pressures practised in former times had remained vague and the theoretical designs tended to show little agreement with the actual conditions, the results from the top heading formed a firm basis for the design of the primary and secondary linings.

The Schwaikheim Tunnel passes through Triassic marls. The time allowed between the excavation of the crown and full face excavation was not to exceed 15 days. The shotcrete thickness in all the specified tunnelling classes (I – V after Lauffer [2]) was a uniform 0.2 m, the secondary lining being 0.25 m over the whole length of the tunnel.

The on-site specification of tunnelling classes was in the hands of the client's geologist who had to take full responsibility. Decision-making regarding Class V was the responsibility of the expert team.

The Austrian experts accompanied the construction activities in routi-



Abb. 1. Ausbruchvorgang im Vortriebsbereich [3]
Fig. 1. Excavation in the face working area [3]

methoden zur Bemessung des Ausbauquerschnittes. Stattdessen wurden in einem vorseilenden Firststollen umfangreiche Messungen durchgeführt. Anstelle der früher oft vagen Abschätzungen des Gebirgsdruckes und theoretischer, mit den tatsächlichen Verhältnissen wenig übereinstimmenden, Bemessungen, lieferten die Messergebnisse aus dem Firststollen konkrete Grundlagen für die Bemessung des Außen- und Innengewölbes.

Bei der Auffahrung des Tunnels wurden Mergelgesteine der Trias durchfahren. Von der Ortsbrust der Kalotte bis zum Ringschluss des Vollprofils war eine max. Dauer von 15 Tagen vorgegeben. In allen ausgeschriebenen Gebirgszüteklassen (I – V nach Lauffer [2]) betrug die Spritzbetonstärke einheitlich 20 cm, das Innengewölbe durchgehend 25 cm.

Die Festlegung der Gebirgszüteklasse vor Ort oblag alleinverantwortlich dem Geologen des Auftraggebers. Die Entscheidung über das Vorliegen der Klasse V war den Gutachtern vorbehalten.

Die österreichischen Gutachter haben das Baugeschehen in regelmäßigen Sitzungen auf der Baustelle begleitet und in intensiven Diskussionen mit Auftraggeber und Bauleitung die tunnelbautechnischen Maßnahmen entschieden.

Die Rohbauarbeiten für die Herstellung des Schwaikheimer Tunnels wurden nach einer Bauzeit von 24 Monaten mit einer Abrechnungssumme von rd. 6 Mio. DM (rd. 3 Mio. Euro) abgeschlossen. Die erstmalige, erfolgreiche Anwendung der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise in Deutschland erweckte große Aufmerksamkeit in der internationalen Fachwelt und hat zur raschen Verbreitung der neuen Bauweise beigetragen.

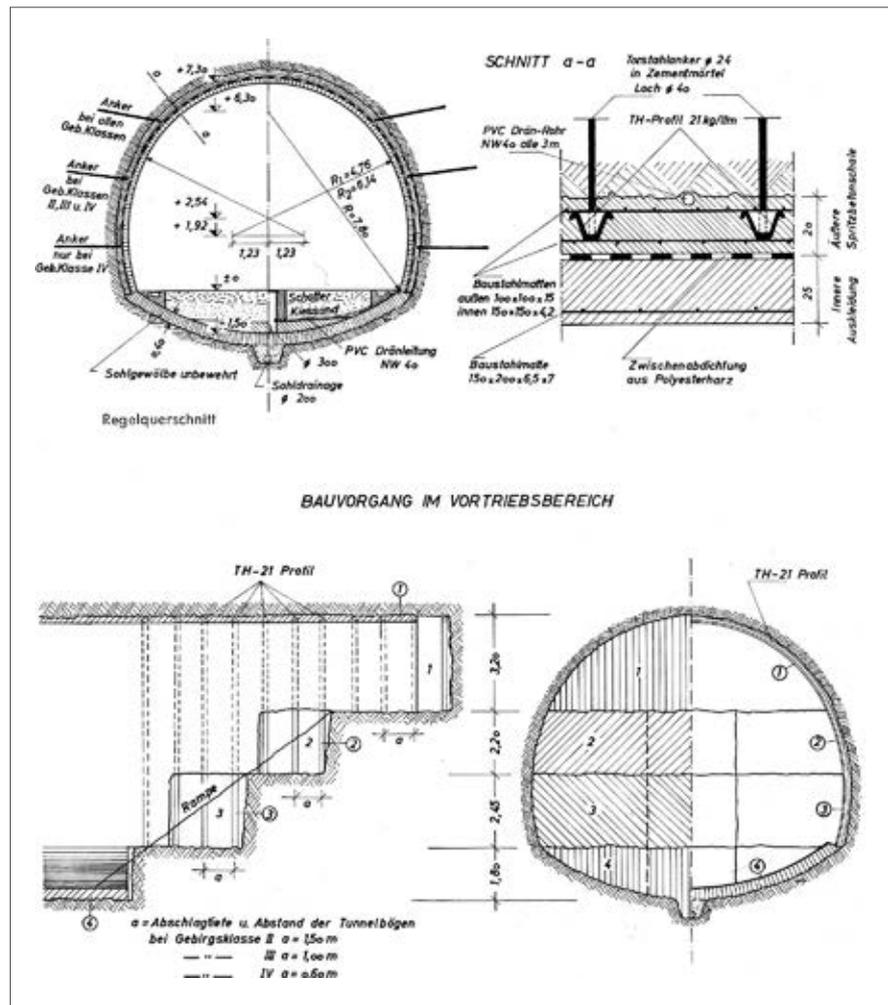


Abb. 2. Regelquerschnitt und Bauvorgang [3]
Fig. 2. Typical cross section and construction sequence [3]

ne site meetings and decided on tunnelling measures in intensive discussions with the client and the site management.

The tunnelling work for the Schwaikheim project was completed following a 24 months' construction period and with a payment sum of about 6 million German marks (about 3 million euros). This successful first employment of the New Austrian Tunnelling Method in Germany aroused great attention in the scientific community worldwide and contributed a great deal to the dissemination of the new construction method.

3. Metro construction in Frankfurt/Main

The success of the Schwaikheim Tunnel project encouraged Beton- und Monierbau to search for more

3. U-Bahnbau in Frankfurt/Main

Der Erfolg beim Schwaikheimer Tunnel veranlasste die Firma Beton- und Monierbau weitere Einsatzmöglichkeiten für die neue Bauweise zu suchen. Eine erste Möglichkeit bot sich in Frankfurt am Main.

Die bisherigen Erfahrungen mit der neuen Tunnelbaumethode stammten ausschließlich aus dem Felstunnelbau. Die neue Herausforderung bei der Unterfahrung von Gebäuden in innerstädtischen Bereichen bestand darin, die Setzungen sowohl an der Geländeoberfläche als auch in den Fundamentebenen der Gebäude so gering wie möglich zu halten.

Ein typisches Merkmal der Frankfurter Bodenverhältnisse ist die Wechselfolge von Tonschichten mit eingelagerten, Wasser führenden Sand- und Schlufflinsen und Kalksteinbänken unterschiedlicher Dicke. Die Stadt Frankfurt hatte 1968 am Römerberg zwei eingleisige Tunnelröhren eines U-Bahnlozes von rd. 300 m Länge in Schildbauweise ausgeschrieben. Beton und Monierbau gewann Prof. Müller als Berater, und bot dieses Los in Arbeitsgemeinschaft mit der Innsbrucker Firma Rembert Oberranzmeyer in der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise an. Aufgrund fehlender Erfahrungen mit der NÖT unter den gegebenen geologischen Verhältnissen hat sich die Stadt Frankfurt für eine Auffahrung des Bauloses mit einem teilmechanisierten Schild entschlossen.

Daraufhin entschied der Vorstand der Beton- und Monierbau, in Frankfurt auf eigene Kosten einen Schacht mit einem Probestollen herzustellen, in dem die Anwendung der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise im Frankfurter Boden nachgewiesen werden sollte. Der Nachweis gelang, nicht zuletzt aufgrund des Einsatzes erfahrener österreichischer Poliere und Vortriebsmannschaften.

Und schon bald ergab sich eine neue Gelegenheit, das U-Bahnlos 25, mit einer Gesamtlänge der eingleisigen Tunnelröhren von 765 m, mit mehreren Hausunterfahrungen, darunter die Unterfahrung des Römers, dem historischen Rathaus der Stadt Frankfurt. Der Abstand zwischen Tunnelfirste und den Fundamenten der zu unterfahrenden Gebäude betrug zwischen 4 und 6 m.

Eine Arbeitsgemeinschaft unter der technischen Federführung der Beton- und Monierbau bot mit der

applications of the new method. A first opportunity presented itself in Frankfurt am Main.

The experience gained with the new tunnelling method up to then had come from hard rock tunnelling only. The new challenge faced in tunnelling beneath buildings in urban areas was the need to minimise settlement both at the ground surface and in the foundation levels of the buildings.

A typical feature of the Frankfurt ground is the presence of clay layers alternating with water-bearing sand and silt lenses and limestone beds of varying thickness. In 1968, the municipal government of Frankfurt had invited bids for the construction of two single-track tunnel tubes for a metro section of some 300 m length in the Römerberg area, using shield tunnelling. Beton- und Monierbau enlisted the services of Professor Müller as a consultant and submitted a bid for this contract in a joint venture with the Innsbruck firm Rembert Oberranzmeyer. The bid was based on the use of NATM. However, as experience with NATM under the given geological conditions in Frankfurt was lacking, the municipal government decided in favour of a partially mechanised shield.

Thereupon the board of Beton- und Monierbau offered to construct a shaft and test tunnel in Frankfurt at its own expense to demonstrate the application of NATM in the local ground. The demonstration was successful, not least because experienced Austrian foremen and tunnelling crews had done the job.

Soon a new opportunity appeared. Metro lot 25 with a total single-track tube length of 765 m had to be built beneath several buildings including Römer, the historic town hall of Frankfurt. The distance between the tunnel roof and the buildings beneath which the tunnel passed varied between 4 and 6 m.

A joint venture under the technical management of Beton- und Monierbau, with Professor Müller, Karlsruhe, as a consultant, again submitted a special proposal involving the use of NATM. Before passing beneath Römer, the tunnel route crossed beneath another building for a length of 80 m which was due to be demolished to allow the redevelopment of Römer Square. Following long discussions, this enabled the municipal government to agree to a contract award on the condition that specified settlement cri-

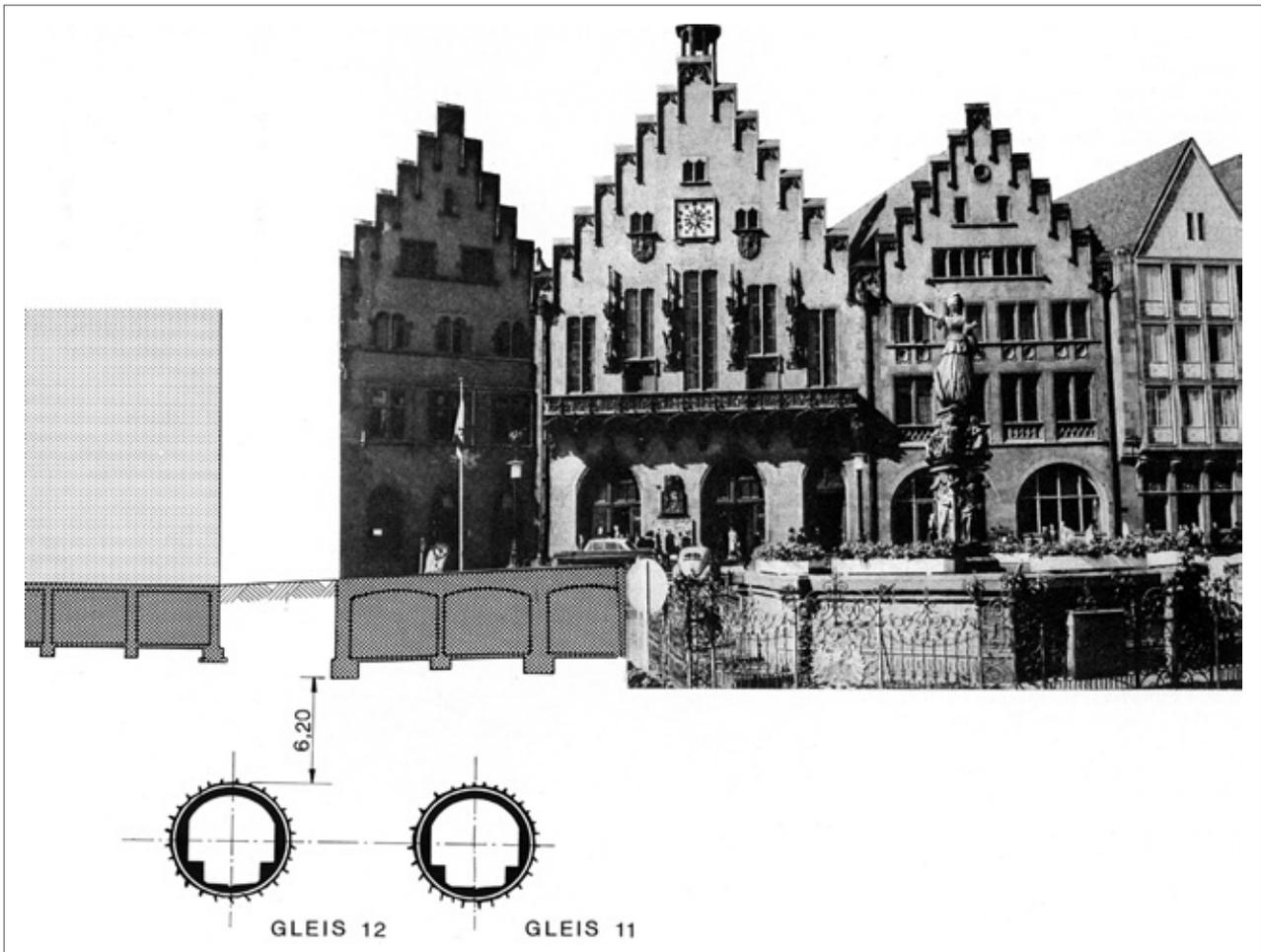


Abb. 3. Römerunterfahrung [4] | Fig. 3. Passage beneath the Römer town hall [4]

Beratung von Prof. Müller, Karlsruhe, für dieses Baulos erneut einen Sondervorschlag in der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise an. Vor der Unterfahrung des Römers war auf einer Länge von rd. 80 m ein Gebäude zu unterfahren, das im Zuge der Neugestaltung des Römerplatzes abgerissen werden sollte. Dieser Umstand versetzte die Stadt Frankfurt in die Lage, nach langwierigen Verhandlungen einer Vergabe des Sondervorschlags unter der Bedingung zuzustimmen, dass vordefinierte Setzungskriterien bei der Auffahrung einer rd. 50 m langen Probestrecke unter dem zum Abriss freigegebenen Gebäude eingehalten würden.

Für den Fall, dass die Setzungsziele nicht erreicht würden, hätte die weitere Auffahrung unter dem Frankfurter Römer auf einen Schildvortrieb umgestellt werden müssen. Hierfür wurde vor Auftragsvergabe die Vergütung einer Zusatzpauschale mit dem Auftraggeber vereinbart.

Unter der Leitung von Prof. Breth, TH Darmstadt, wurde ein umfangreiches Messprogramm entwickelt

teria were observed in a trial section of some 50 m length to be excavated beneath the building earmarked for demolition.

Had the settlement requirements not been met, it would have been necessary to change over to shield tunnelling for excavation work beneath Römer, for which event an additional lump sum was agreed upon with the client.

A comprehensive measuring programme was developed under the guidance of Professor Breth from the Darmstadt university of technology, with the aim of testing the observance of settlement criteria during the excavation of the 50 m-long test tunnel. Prior to the commencement of the work, a systematic pattern of wells was sunk for water table relief.

Tunnelling work was started in April 1970 under the technical management of Beton- und Monierbau, Innsbruck (now ALPINE BeMo Tunnelling GmbH). The excavation of the two tubes was synchronised, with

mit dem Ziel, die Einhaltung der Setzungskriterien bei der Auffahrung der 50 m langen Probestrecke zu überprüfen. Vor Beginn der Tunnelauffahrung wurde das Grundwasser durch eine systematische Anordnung von Tiefbrunnen entspannt.

Mit den Vortriebsarbeiten wurde im April 1970 unter der technischen Leitung der Beton- und Monierbau, Innsbruck (jetzt: ALPINE BeMo Tunnelling GmbH), begonnen. Um eine möglichst gleichmäßige, ausgeglichene Setzungsmulde zu erreichen, wurden die beiden Tunnelröhren synchron vorgetrieben, wobei der maximale Abstand 6 m in Vortriebsrichtung nicht übersteigen durfte. Zur Begrenzung der Setzungen hatte Prof. Müller eine Ringschlusszeit von max. 5 Tagen vom Öffnen der Firste bis zum Ringschluss mit Spritzbeton in der Sohle gefordert. Dieser Zeitraum konnte im Verlauf des Vortriebs auf 24 Stunden gesenkt werden.

Die maximalen Setzungen an der Geländeoberfläche der Probestrecke betragen 80 mm, davon etwa die Hälfte aus der Grundwasserabsenkung. Aufgrund der flachen, gleichmäßigen Setzungsmulde über den beiden Tunnelröhren waren keine nennenswerten Schäden an dem unterfahrenen Gebäude festzustellen. So kamen die Gutachter des Auftraggebers und des Auftragnehmers übereinstimmend zu dem Schluss, dass die vorgesehene Baumethode auch bei den relativ ungünstigen Baugrundverhältnissen in Frankfurt/Main unter der vorhandenen Bebauung anwendbar ist. Dieser Auffassung schloss sich der Magistrat der Stadt Frankfurt an und gab grünes Licht für die Fortführung der Tunnelarbeiten unter dem Frankfurter Römer.

Doch bevor es soweit war, gab es noch einmal eine 9-wöchige Unterbrechung. Ein Statiker hatte Bedenken angemeldet, dass die alten Gewölbe des historischen Römers die Setzungen nicht aushalten würden. Daraufhin wurden alle Gewölbe vorsichtshalber flächenhaft nachgiebig eingeschalt und eingerüstet.

Der weitere Vortrieb hat die Gewölbe nicht in der befürchteten Weise beansprucht. Beim späteren Entfernen der Einrüstung wurden keinerlei Schäden festgestellt. Auch an den städtischen Versorgungsleitungen im Bereich der Setzungsmulde sind weder an Gas-, Wasser- und Abwasserleitungen noch im Stromnetz erkennbare Schäden aufgetreten.

the longitudinal distance between the two faces not exceeding 6 m in order to produce a settlement trough as uniform and broad as possible. Professor Müller insisted that the ring closure time between excavation of the roof down to the shotcrete stabilisation of the invert should not exceed five days. This period was not only observed but eventually reduced to 24 hours as tunnelling proceeded.

Maximum settlement at the ground surface above the trial section was 80mm, half of which was due to water table lowering. Thanks to the shallow and uniform settlement trough above the two tunnel tubes, the affected buildings suffered no appreciable damage. Consequently, the experts of both client and contractor came to the unanimous conclusion that the construction method in question was suitable even for the unfavourable ground conditions in Frankfurt/Main beneath the existing buildings. The municipal government was of the same opinion and gave the nod for the continuation of tunnelling beneath the Römer building.

But before that, there was another 9-week interruption. A stress analyst had warned that the ancient vaults of the historic Römer building might not be able to withstand the settlement. All the vaults were thus supported with resilient formwork as a precaution.

Eventually, the strain on the arches caused by the tunnelling activities was less than anticipated. No damage was detected when the formwork was removed. Similarly, no appreciable damage was found to gas, water or sewerage piping nor to the electricity supply system within the area of the settlement trough.

The successful first application of the New Austrian Tunnelling Method in metro construction under difficult geological conditions triggered further contracts awards of this kind in Frankfurt as well as in other German cities, including Munich, Bochum, Essen and Dortmund.

At first, these were mainly special and reasonably priced proposals submitted by construction firms wishing to enhance their market position in tunnelling. Much credit for spreading the new construction method is also due to the Austrian experts Müller, Rabcewicz and Pacher, who were able to convince potential cli-

Die erfolgreiche, erstmalige Anwendung der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise im U-Bahnbau unter schwierigen geologischen Bedingungen hat in der Folge zu weiteren Anwendungen u. a. in Frankfurt, München, Nürnberg, Bochum, Essen und Dortmund geführt.

Am Anfang waren es in der Regel kostengünstige Sondervorschläge von Baufirmen, die mit der neuen Bauweise ihre Marktstellung im Tunnelbau verbessern wollten. Einen großen Anteil an der raschen Verbreitung der neuen Bauweise ist auch den österreichischen Gutachtern Müller, Rabcewicz und Pacher zuzuschreiben, die mit ihrem tunnelbautechnischen und boden-/felsmechanischen Fachwissen die Auftraggeber von der technischen Machbarkeit überzeugen konnten. Ausschlaggebend für die Entwicklung war jedoch zweifellos die erhebliche Kosteneinsparung gegenüber den früher üblichen Schildvortrieben von bis zu 50 %.

Inzwischen hat sich die Neue Österreichische Tunnelbauweise sowohl im Tunnel- als auch im innerstädtischen U-Bahnbau weltweit durchgesetzt. Dabei konnte der Anwendungsbereich durch Zusatzmaßnahmen wie z. B. Injektionen, Vereisung und Druckluft deutlich ausgeweitet werden.

Literatur

- [1] v. Rabcewicz, Sattler: Die neue Österreichische Tunnelbauweise, Bauing. 1965 H 8
 [2] Lauffer: Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau, Geol. und Bauwesen, 1951 H 1

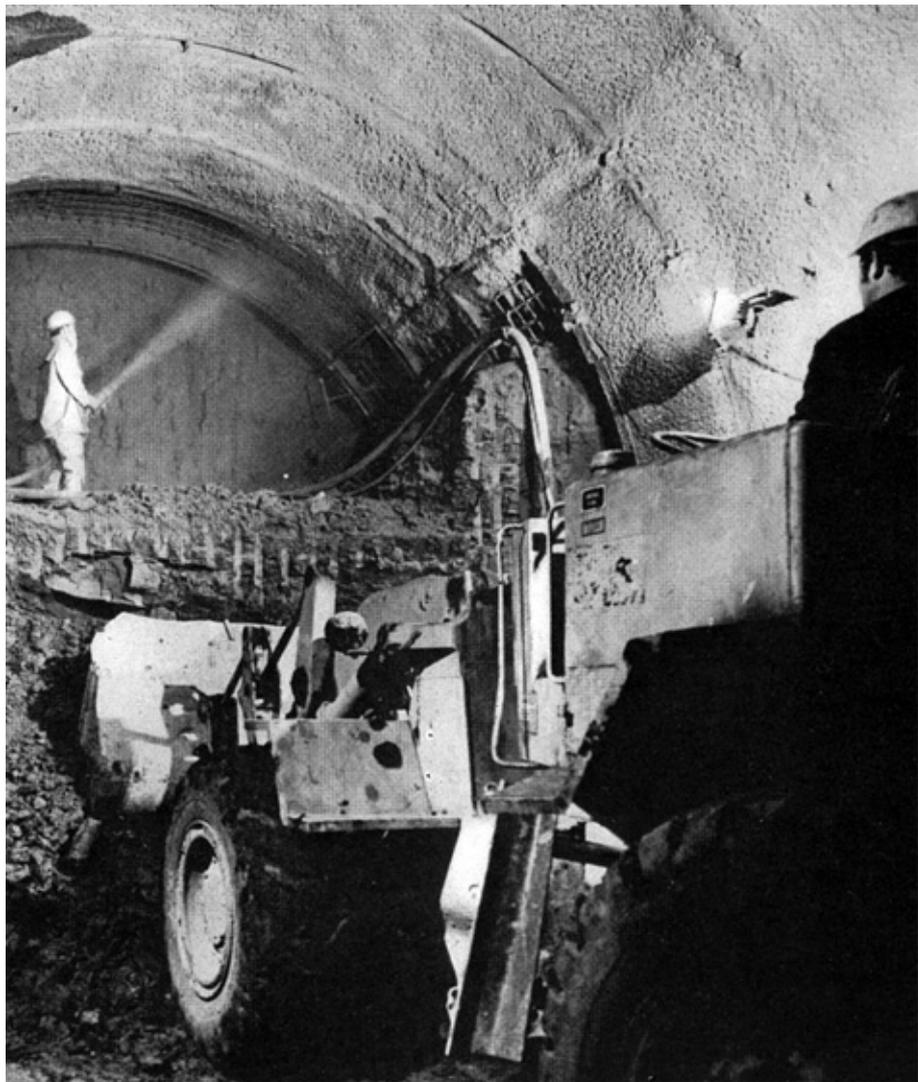


Abb. 4. Einspritzen Firstring [4] | Fig. 4. Concrete spraying for the roof ring [4]

ents by virtue of their extraordinary knowledge in the fields of tunnelling technology as well as soil and rock mechanics. The vital factor for the successful development of NATM, however, was the substantial cost savings of up to 50 % involved as against conventional shield tunnelling practised until then.

Meanwhile the New Austrian Tunnelling Method has gained its ground worldwide both in tunnel and metro construction, its applications having been widened considerably by the inclusion of auxiliary measures such as grouting, artificial ground freezing and compressed air.

References

- [1] v. Rabcewicz, Sattler: Die neue Österreichische Tunnelbauweise, Bauing. 1965 H 8

[3] Blindow: Eisenbahntunnel Schwaikheim, Der Monierbauer, 1970 Sonderheft

[4] Edeling: Unterfahung des Frankfurter „Römer“, Der Monierbauer, 1973 Sonderheft

[2] Lauffer: Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau, Geol. und Bauwesen, 1951 H 1

[3] Blindow: Eisenbahntunnel Schwaikheim, Der Monierbauer, 1970 Sonderheft

[4] Edeling: Unterfahung des Frankfurter „Römer“, Der Monierbauer, 1973 Sonderheft

Röhre Massenbergtunnel (1962–1965) – erste Anwendung der NATM bei einem Straßentunnel in Österreich

Massenberg Tunnel First Tube (1962–1965) – First application of NATM on a road tunnel project in Austria

Manfred Bauer, G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H., Österreich,
m.bauer@hinteregger.co.at, www.hinteregger.co.at

1. Einleitung

Die durch Professor Rabcewicz beim XIII. Kolloquium der Internationalen Gesellschaft für Felsmechanik 1962 in Salzburg erstmals unter dem Begriff „Neue Österreichische Tunnelbauweise“ vorgestellte moderne Baumethode des Tunnelbaus trat unter anderem ihren Siegeszug weltweit mit der ersten konsequenten praktischen Anwendung bei der Auffahrung der ersten Tunnelröhre des Massenbergtunnels der Südumfahrung Leoben an.

2. Projektinformationen

2.1 Das Projekt Südumfahrung Leoben – Massenbergtunnel

Die vorgesehene Baumaßnahme sah die Errichtung einer insgesamt 12,18 km langen Umfahrungsstraße mit 17 Brückenbauwerken sowie als Schlüsselobjekt den **397 Meter langen Massenbergtunnel** vor. Für das damalige im Jahresschnitt Österreichweit für Bundesstraßen verbaute Volumen von rund 300 Mio. Schilling, waren die ursprünglich geplanten Baukosten in der Höhe von 100 Mio. Schilling, verteilt auf 3 Jahre, Ausdruck der Bedeutung dieser Straßenbaumaßnahme.

2.2 Bauausführung des Massenbergtunnels

Am 23.10.1962 erhielt die Arbeitsgemeinschaft Teiml & Spitzky, Graz (technisch federführende Firma), **G. Hinteregger & Söhne**, Niklasdorf/Salzburg (technische Co-Geschäftsführung), Beyer & Co, Graz (kaufmännische Geschäftsführung) und J. Zwettler, Steyr den Auftrag zur Errichtung des Tunnelbauloses. In der „Neuen Zeit“ vom Donnerstag, des 25. Oktober 1962 stand auf Seite 5 „... Die Arbeiten im Tunnel, typische Winterarbeiten, werden sich äußerst schwie-

1. Introduction

NATM began its successful round the world trip with a first consistent practical application on the Massenberg Tunnel First Tube project for the Leoben south by-pass shortly after its first presentation as a modern method of tunnel construction by Professor Rabcewicz at the XIIIth Colloquy of 1962 held by the International Society for Rock Mechanics in Salzburg.

2. Project information

2.1 The Leoben South Bypass – Massenberg Tunnel project

*The overall scheme provided for the construction of a road of 12.18 km length by-passing Leoben on its southern side to relieve the town, then traversed by an extremely busy traffic route, of its congestions. This included 17 bridge structures as well as the **397 m-long Massenberg Tunnel** as a main feature. At this time the average annual spending on federal roads in Austria was about 300 million Austrian schillings, and this clearly illustrates the importance that was attached to this road construction measure with its originally planned construction cost of 100 million Austrian schillings spread over three years.*

2.2 Implementation of the Massenberg Tunnel project

*A joint venture formed by Teiml & Spitzky, Graz (technical management), **G. Hinteregger & Söhne**, Niklasdorf/Salzburg, (technical co-management), Beyer & Co, Graz (commercial management) and J. Zwettler, Steyr was awarded the contract for the construction of the Massenberg Tunnel project on October 23rd 1962. The daily Neue Zeit of Thursday, October 25th 1962 reported on page 5 that „... work in the tunnel,*

rig gestalten. ...". Angekündigt wurde in diesem bei Auftragsvergabe erschienenen Artikel auch, dass die geplanten Baukosten in der Höhe von 100 Mio. Schilling „nach derzeitigem Stand der Preise wohl weit überschritten werden“.

Tatsächlich waren mit „graphitischen und serizitischen Schiefen und Schiefertönen mit zerdrückten Quarzadern, leicht wasserführend, überall stark durchbewegt und streckenweise sehr weich“ 2) schwierige geologische Verhältnisse zu durchhören. Nur auf eine kurze Strecke war eine Kalkzone zu durchfahren. Die maximale Überlagerung betrug rund 60 m.

typical winter work, will turn out to be extremely difficult...“ This article, published shortly after contract award, also mentioned that the planned construction cost in an amount of 100 million schillings would „... probably be exceeded by far taking present price levels into account.“

In fact, the geology to be tunnelled through – „graphitic and sericitic schists and shales with crushed quartz seams, slightly water-bearing, affected by intense tectonic movement and very soft in places“ [2] – suggested that work would indeed turn out to be exceedingly difficult. A short limestone section was the only competent rock zone expected to be encountered. The maximum cover was about 60 m.

Work was already begun on the north portal on January 1st 1963.

*Tunnelling began by use of the **Belgian construction method**. A short timber-lined pilot heading (named „Lichttunnel“) served the on-site crew for deciding on what steps to take next. At first, only the top heading was driven in several partial cross sections as far as Station 67.*

Excavation was by hand. Support was provided by means of a wire-mesh reinforced sprayed concrete layer of 0.4 to 0.6 m thickness and steel lattice girders spaced not more than 1 m apart. The advance rates achieved in the top heading ranged around 25 m per month.

After Station 67 had been reached by the top heading, bench excavation began by driving a central slot, the Belgian method also providing for an unsupported invert. The distinct deformation processes experienced already during crown excavation increased dramatically in May 1963, as soon as a few metres of lateral bench had



Abb. 1. Anschlag am Portal Nord am 31.01.1963; geschmückter „Lichttunnel“. Quelle: Archiv der Fa. G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.
 Fig. 1. Ceremonial start of tunnelling at the north portal on January 31st 1963; decorated pilot heading „Lichttunnel“. Source: Archives of G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.

Bereits am 31.01.1963 erfolgte am Nordportal der Tunnelanschlag.

Der Beginn der Vortriebsarbeiten erfolgte nach der **Belgischen Bauweise**. Ein kurzer mit Holzverbau aufgefahrener Erkundungsstollen (Lichttunnel) diente dabei der Mannschaft vor Ort für die Festlegung der weiteren Vorgangsweise. Man fuhr den Kalottenquerschnitt unterteilt in mehrere Teilquerschnitte vorausseilend bis Station 67 auf.

Der Ausbruch erfolgte händisch. Die Sicherung wurde mit 40–60 cm starkem, mit Baustahlgitter bewehrtem Spritzbeton und Gitterbögen, im Abstand von max. 1 m eingebaut. Die erzielten Vortriebsleistungen in der Kalotte lagen bei rund 25 m pro Monat.

Nach Erreichen von Station 67 begann man mit dem Ausbrechen der Strosse durch das Auffahren eines zentralen Schlitzausbruches, wobei bei der belgischen Bauweise auch eine offene Sohle vorgesehen war. Bereits beim Auffahren der Kalotte traten deutliche Verformungen auf, die sich nach dem Ausbruch von wenigen Metern seitlicher Ulmen im Mai 1963 dramatisch verstärkten und zu ausgeprägten Rissen in der Außenschale führten.

Letztendlich führten diese Bewegungen zu einem Tagbruch der ersten 27 Meter des bis dahin aufgefahrenen Kalottenquerschnittes.

Aufgrund dieses Ereignisses wurde Prof. Rabcewicz durch den Auftraggeber mit einer Neuplanung und Beratung zur Bauausführung beauftragt.

Als Ursache des Verbruches wurde der Einsatz einer nicht geeigneten Querschnittsform mit dem Fehlen eines Sohlgewölbes erkannt. Rabcewicz führt im Bauingenieur 1965 aus: „Den Einsturz konnte weder die stets sorgfältig ausgeführte Spritzbetonsicherung

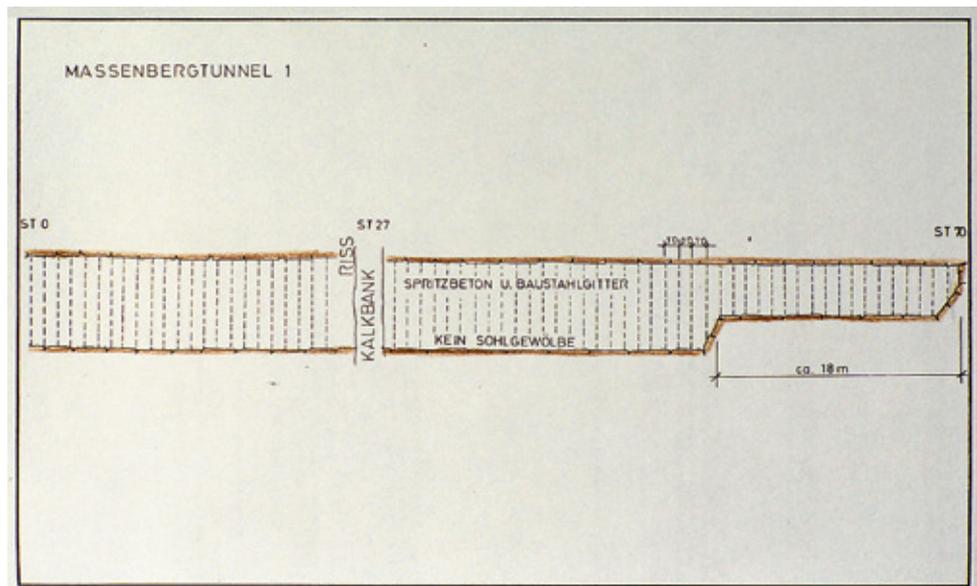


Abb. 2. Längsschnitt Belgische Bauweise in Tunnelachse; deutlich ist die nur über eine kurze Strecke anstehende Kalkstrecke zu sehen. Quelle: Archiv der Fa. G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.

Fig. 2. Longitudinal section along tunnel centreline through the section excavated by use of the Belgian method; the short length of competent limestone rock is clearly seen. Source: Archives of G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.



Abb. 3. Deutliche Rissbildung bei Station 15 über den gesamten Querschnitt; Bewegungen führten beim Auffahren der Strosse zum Verbruch von Station 0–27. Quelle: Archiv der Fa. G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.

Fig. 3. Major fissuring over the entire cross section at Station 15; movement occurring during bench excavation finally led to the collapse of the section between Stations 0 and 27. Source: Archives of G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.



Abb. 4. Tagbruch von Station 0–27, vom restlichen stehen gebliebenen Kalottenbereich ist noch die Kalotte zu sehen. Quelle: Archiv der Fa. G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.

Fig. 4. Collapse between Stations 0 and 27; the crown of what was left from the top heading can be seen. Source: Archives of G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.

noch das mehrfach überdimensionierte Firstgewölbe in Spritzbeton aufhalten 2). Die Verbruchstrecke wurde mit Laderaupen ausgeräumt und in weiterer Folge dieser Abschnitt in Offener Bauweise parallel zur Auf-fahrung der bergmännischen Strecke errichtet.

absence of an invert arch. Rabcewicz wrote in 1965: „Neither the carefully applied shotcrete support nor the amply over-dimensioned shotcrete roof arch could possibly have prevented the collapse“ [2]. The section affected by the collapse was cleared by crawler-mounted loaders and then constructed in open cut in parallel with the implementation of the mined section.



Abb. 5. Herstellung N-Portal, Ausräumen des Verbruchbereiches mit Laderaupen, Neu hergestellter bergmännischer Anschluss nach den Grundsätzen der NATM. Quelle: Archiv der Fa. G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.

Fig. 5. Construction of the north portal, crawler-mounted loaders clearing the section affected by the collapse, newly constructed mined connection by use of NATM. Source: Archives of G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.

been driven. Major fissuring in the secondary lining was the result.

The deformation processes finally resulted in the complete collapse of the 27 metres of top heading driven until then.

This incident led the client to engage Professor Rabcewicz to redesign the project and act as a consultant during the implementation of the work.

The cause of the collapse was identified as being the use of an inappropriate cross sectional shape combined with the absence of an invert arch. Rabcewicz wrote in 1965: „Neither the carefully applied shotcrete support nor the amply over-dimensioned shotcrete roof arch could possibly have prevented the collapse“ [2]. The section affected by the collapse was cleared by crawler-mounted loaders and then constructed in open cut in parallel with the implementation of the mined section.

The mined section was then to be excavated entirely on the basis of all principles of the New Austrian Tunnelling Method, thus superseding the method originally planned.

In addition, Professor Rabcewicz modified the typical cross section. The freshly excavated surface was supported by means of a primary shotcrete lining of 0.2 m thickness,

Für die Auffahrung der bergmännischen Strecke wurden nunmehr in Abänderung der ursprünglichen Bauweise **alle Grundsätze der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode** vorgesehen.

Dazu wurde von Prof. Rabcewicz der Regelquerschnitt geändert. Es kam ein Spritzbetonaußengewölbe mit 20 cm Spritzbeton, verstärkt durch Gitterbögen und Baustahlgewebe, 4 m langen Perfo-Ankern sowie ein geschlossenes Sohlgewölbe zum Einsatz. Die Abschlagslänge war mit 0,6 bis 1,0 m vorgesehen. Teilquerschnitte sowie das Stehenlassen eines Brustkernes und das systematische Aufbringen einer Ortsbrustsicherung mit Spritzbeton wurden eingeführt. Der Sohlschluss wurde sehr rasch (nach 15–25 m Kalottenvortrieb) ausgeführt. Die Innenschale wurde nach dem Aufbringen einer erstmals eingesetzten Polyesterabdichtung (im Spritzverfahren) in einer Stärke von 30 cm, 100 bis 150 m hinter der Ortsbrust eingebaut.

Ein weiteres wesentliches Merkmal der neuen Methode war die systematische Anwendung und Auswertung von Verformungsmessungen. Dazu wurden regelmäßig Firstsetzungsmessungen durchgeführt und wöchentlich die vertikalen und horizontalen Konvergenzen alle 15 m gemessen. Zusätzlich kamen auch Messanker zum Einsatz.

Mit der nach dem Verbrauch angewendeten Neuen Ös-



Abb. 6. von links nach rechts DI Pacher, Prof. Rabcewicz, BL Wrann.

Quelle: Archiv des Ingenieurbüros IGT Salzburg

Fig. 6. From left to right: F. Pacher, Professor L. v. Rabcewicz, site manager Wrann; Source: Archives of Ingenieurbüro IGT, Salzburg

reinforced by steel lattice girders, wire mesh, perfo anchors of 4 m length as well as a closed invert arch. The round length was to be 0.6 to 1.0 m. New features introduced were excavation in partial cross sections as well as a face core left standing and systema-

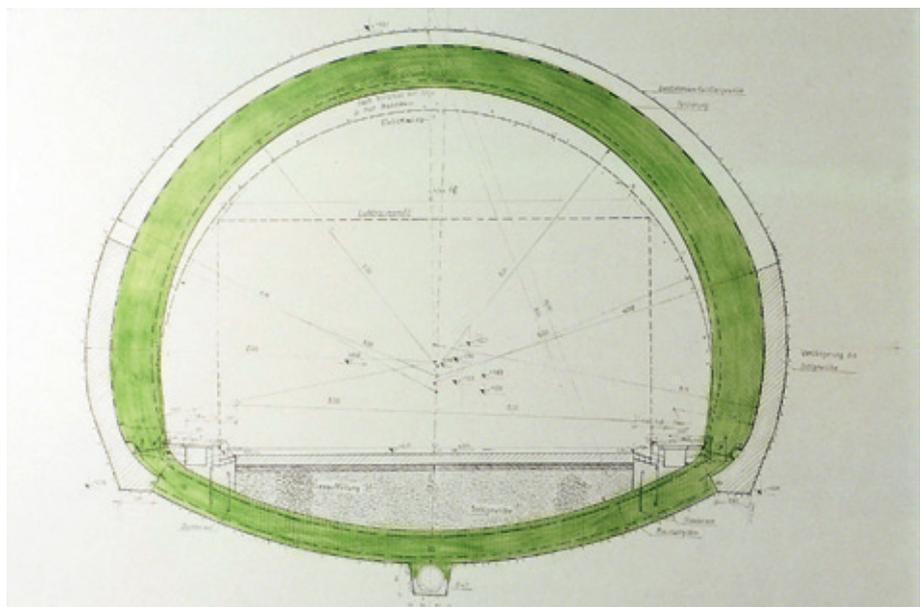


Abb. 7. Neuer, von Professor Rabcewicz eingeführter Regelquerschnitt nach den Grundsätzen der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode.

Quelle: Archiv der Fa. G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.

Fig. 7. New typical cross section introduced by Professor Rabcewicz, based on the principles of the New Austrian Tunneling Method.

Source: Archives of G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.



Abb. 8. Neuer Querschnitt mit geschlossenem Sohlgewölbe, im Hintergrund die in offener Bauweise aufgewältigte Verbruchstrecke. Quelle: Archiv der Fa. G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.

Fig. 8. New cross section with closed invert arch and, in the background, the collapse section redone in open cut. Source: Archives of G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.

terreichischen Tunnelbaumethode konnten die restlichen Tunnelbauarbeiten ohne weitere Probleme mit einer Durchschnittsleistung von rund 1,5 m pro Arbeitstag fertig gestellt werden. Der Durchschlag des Tunnels erfolgte am 01.09.1964. Die Inbetriebnahme gemeinsam mit dem Rest der Panoramastraße erfolgte am 17.07.1965. Wie bereits von der Presse befürchtet waren die Baukosten mit Bauende auf 150 Mio. Schilling angewachsen.

Ich danke DI Bernd Reisner (GHS) für die Unterstützung bei der Suche nach Archivmaterial, OIng. Otto Gachowetz (GHS) für seine Angaben als Zeitzeuge. Kollegen DI N. Ayadin (IGT), DI Dr. Peter Schubert (iC consulenten) und DI Dr. Alfred Joham (Ref. Raumplanung und Stadtvermessung der Stadt Leoben) für die Zurverfügungstellung wertvoller Unterlagen.

Literaturverzeichnis

- [1] Kleine Zeitung 62./17. Jahrgang vom Sonntag, 18. Juli 1965 – Nr. 164 Seite 9
- [2] Professor Rabcewicz; „The New Austrian Tunneling Method“, part three; Der Bauingenieur 40. Jahrgang, Heft 8, August 1965

tic application of a shotcrete face support layer. Invert closure was implemented very early (after 15–25 m of top heading),

The secondary lining of 0.3 m thickness was installed about 100 to 150 m behind the advancing face, following sprayed application of a polyester waterproofing layer, a complete novelty at that time.

Another typical feature of the new method was the systematic employment of deformation measurement and interpretation of the results. To this end, roof subsidence was regularly measured and supplemented by weekly measurement of vertical and horizontal convergence at 15 m spaces. In addition, measuring anchors were used.

Using the New Austrian Tunneling Method after the collapse, the remaining tunnelling works were completed without any problems at an average advance rate of about 1.5 m per workday. Hole-through was celebrated on September 1st 1964. The tunnel plus the remaining part of the by-pass then affectionately referred to as „Panorama Road“, relieving the dreaded accident black spot on the „Gastarbeiter“ route used by migrant workers, were opened to traffic on July 17th 1965. As suspected by the press from the very beginning, the construction cost had risen to 150 million schillings by the time the project was completed.

My thanks are due to Bernd Reisner, Dipl.-Ing. (GHS) for his help in searching in the archives, Otto Gachowetz, OIng. (GHS) for his help as a contemporary witness as well as to colleagues N. Ayadin, Dipl.-Ing. (IGT), Peter Schubert, Dipl.-Ing., Dr. (iC consulenten Ziviltechniker GesmbH) and Alfred Joham, Dipl.-Ing. Dr., (regional planning and town survey department of the Leoben municipal administration) for providing valuable information.

My thanks are due to Bernd Reisner, Dipl.-Ing. (GHS) for his help in searching in the archives, Otto Gachowetz, OIng. (GHS) for his help as a contemporary witness as well as to colleagues N. Ayadin, Dipl.-Ing. (IGT), Peter Schubert, Dipl.-Ing., Dr. (iC consulenten Ziviltechniker GesmbH) and Alfred Joham, Dipl.-Ing. Dr., (regional planning and town survey department of the Leoben municipal administration) for providing valuable information.

- [3] Professor Rabcewicz, „Über die Bemessung von Fels-Hohlraumbauten II“;XV. Kolloquium der Internationalen Gesellschaft für Felsmechanik (Österreichische Regionalgruppe i. Gr.) „Sicherheit im Felsbau“ Kurzfassungen der Vorträge
- [4] <http://www.rundfunkmuseum.at>
Diverse Veröffentlichungen Leobner Umfahrung Gastarbeiterroute
- [5] DI Dr. Alfred Joham; Tag X – 17. Juli 1965, Stadtmagazin Leoben Juli/August 2010, Seite 12–13
- [6] Neue Zeit – Freitag, 03. September 1965, Umfahrung Leoben bewährt sich
- [7] Kleine Zeitung 62./17. Jahrgang Sonntag, 18. Juli 1965 – Nr. 164; „Ein Tunnel und 17 Brücken beseitigen Verkehrsfalle Nr. 1“
- [8] Neue Zeit – Mittwoch, 2. September 1964, „Umfahrung Leoben schon im Sommer 1965 befahrbar?“
- [9] Kleine Zeitung 61./16. Jahrgang, Dienstag, 1. September 1964 „Heute Durchschlag beim Massenbergtunnel“
- [10] Neue Zeit – Donnerstag, 25. Oktober 1962, „Baubeginn für den Leobner Straßentunnel“
- [11] Archiv der Fa. G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.

References

- [1] Kleine Zeitung 62./17. Jahrgang vom Sonntag, 18. Juli 1965 – Nr. 164 Seite 9
- [2] Professor Rabcewicz; „The New Austrian Tunneling Method“, part three; Der Bauingenieur 40. Jahrgang, Heft 8, August 1965
- [3] Professor Rabcewicz, „Über die Bemessung von Fels-Hohlraumbauten II“;XV. Kolloquium der Internationalen Gesellschaft für Felsmechanik (Österreichische Regionalgruppe i. Gr.) „Sicherheit im Felsbau“ Kurzfassungen der Vorträge
- [4] <http://www.rundfunkmuseum.at>
Diverse Veröffentlichungen Leobner Umfahrung Gastarbeiterroute
- [5] DI Dr. Alfred Joham; Tag X – 17. Juli 1965, Stadtmagazin Leoben Juli/August 2010, Seite 12–13
- [6] Neue Zeit – Freitag, 03. September 1965, Umfahrung Leoben bewährt sich
- [7] Kleine Zeitung 62./17. Jahrgang Sonntag, 18. Juli 1965 – Nr. 164; „Ein Tunnel und 17 Brücken beseitigen Verkehrsfalle Nr. 1“
- [8] Neue Zeit – Mittwoch, 2. September 1964, „Umfahrung Leoben schon im Sommer 1965 befahrbar?“
- [9] Kleine Zeitung 61./16. Jahrgang, Dienstag, 1. September 1964 „Heute Durchschlag beim Massenbergtunnel“
- [10] Neue Zeit – Donnerstag, 25. Oktober 1962, „Baubeginn für den Leobner Straßentunnel“
- [11] Archiv der Fa. G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.

Arlberg Straßentunnel (Baulos West)

The "Arlberg" Road Tunnel (West Portal)

Manfred Jäger, Jäger Bau GmbH, Austria, m.jaeger@jaegerbau.com, www.jaegerbau.com

1. Einleitung

Der Arlbergtunnel verbindet die zwei westlichsten Bundesländer Österreichs, Tirol und Vorarlberg. Mit einer Länge von 14 km ist er der längste Straßentunnel Österreichs und stellt die einzige wintersichere Straßenverbindung Vorarlbergs mit dem übrigen Bundesgebiet sicher.

Auf Grund des stark gestiegenen Verkehrsaufkommens im 20. Jahrhundert war die Passstraße mit einer Höhe von 1793 m unzureichend geworden, und es wurde 1974 mit dem Bau des Arlberg Straßentunnels begonnen.

2. Arlberg Straßentunnel (Baulos West)

2.1 Geologische Verhältnisse

Dass die geologischen Verhältnisse schwierig sein werden, war bereits vor Baubeginn bekannt, liegt doch die Trasse des Arlbergtunnels zwischen zwei geologischen Großeinheiten, den Nördlichen Kalkalpen und dem Kristallin der Silvretta. Die Silvrettaeinheit besteht aus zwei tektonischen Untereinheiten, der Silvrettadecke und der Phyllit-Gneis-Decke. Letztere wurde vom Straßentunnel durchörtert. Die tektonische Beanspruchung im Zusammenhang mit der Silvrettaüberschiebung führte zu starker Zerlegung und Entfestigung und besonders auf der Westseite zu druckhaftem Gebirgsverhalten. Als Hauptgestein wurde Glimmerschiefer und Schiefergneis mit wechselhaftem Feldspatgehalt angetroffen.

2.2 Bauausführung (Baulos West)

Die Bauausführung erfolgte nach den Prinzipien der „Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode“ (NÖT), welche sich beim Bau des Tauerntunnels, der kurz vor Baubeginn des Arlbergtunnels fertiggestellt wurde, als überaus erfolgreich erwiesen hatte und auch wichtige Bemessungsansätze lieferte.

1. Introduction

The Arlberg tunnel connects the two western Austrian districts of Tirol and Vorarlberg. With a total length of 14 km, it is the country's longest road tunnel and in the winter it becomes the only secure road connection between Vorarlberg and the rest of Austria.

Due to heavy increase in traffic during the second half of the Twentieth Century the capacity of the almost 1800 m high Arlberg mountain pass as the only connection between the two districts, became insufficient. Thus the construction of a tunnel became necessary and began in 1974.

2. The Arlberg Road Tunnel (West Portal)

2.1 Geological Conditions

It was already known that the geological conditions would be difficult before construction began, since the planned route of the Arlberg tunnel ran between two diverse geological formations, the northern limestone Alps and the crystalline Silvretta Alps. The Silvretta formation is composed of two sub-formations, the Silvretta layer and the phyllite-gneis layer; the tunnel was driven through the second of these. Tectonic stress in the Silvretta layer led to severe softening and decomposition of the formation, particularly on the western side. The main rock types encountered were micaceous schist and gneiss interspersed with feldspar.

2.2 Project Execution (West Portal)

The project was carried out following the concepts of the "New Austrian Tunneling Method" (NATM), which had already provided important new design approaches that proved to be effective during the construction of the "Tauern" Tunnel, which was built shortly before the Arlberg Tunnel.

Der 105 m² große Ausbruchsquerschnitt wurde in sieben Teilquerschnitten aufgeföhren. Die Bohrarbeiten der Kalotte wurden mit einem dreiarmligen, pneumatisch betriebenen Bohrwagen durchgeföhrt. Die Schutterung erfolgte mit zwei bis drei Radladern,

The 105 m² cross-section was driven in seven sub-sections. Drilling in the top heading was done using a three-armed pneumatic drill rig. Mucking was done with two, and occasionally as many as three, wheel loaders that transported the material to the ramp at

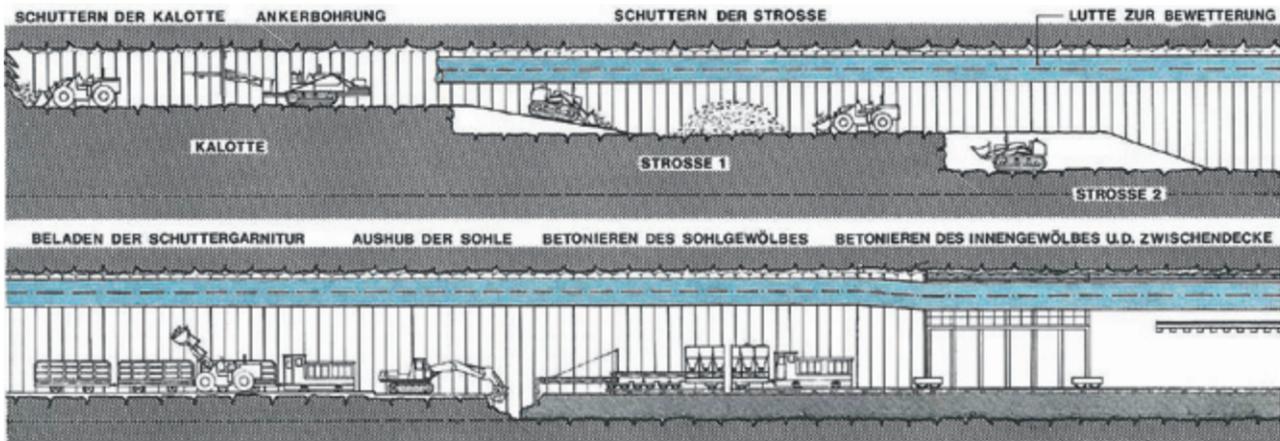


Abb. 1. Vortriebs- und Arbeitsschema im Längsschnitt beim Baulos West [1]

Fig. 1. Longitudinal section of advance method and mucking system at the West Portal [1]

welche das Ausbruchsmaterial zunächst bis zur Rampe der Kalotte brachten, um so schnell wie möglich den offenen Abschlag für Sicherungsarbeiten frei zu bekommen. In einem weiteren Arbeitsgang wurde dann das Ausbruchsmaterial über die zwei halbseitigen Rampen der Strosse I und II zur gleisgebundenen Schuttergarnitur verfahren (siehe Abb. 1). Die Schuttergarnitur, welche die ausführende Arbeitsgemeinschaft vom Tauern Tunnel übernommen hatte, bestand aus sechs Kippem à 15 m³ und einer Diesel-

the back of the top heading so that room could be cleared to allow rock support installation to begin as quickly as possible. In a further stage, the excavated material was transported back over the two bench ramps and loaded onto railbound muck cars that took it out of the tunnel (see Fig. 1). This train, which was brought in from the Tauern job site, was composed by a diesel locomotive and six tipping wagons with 15 m³ loading capacity each. This rail bound transport system proved to be energy saving and cut down on personnel, but it was also very inflexible because it closed the tunnel off to other means of transport (see Fig. 2). Rock support was essentially provided by reinforced shotcrete, steel ribs and rock bolts. The geological conditions encountered along the heading of the West portal required the application of rock support class IV with an advance length between 1.5 to 2.0 m over the longest part of the tunnel. In many sections extreme deformations occurred rapidly after ex-

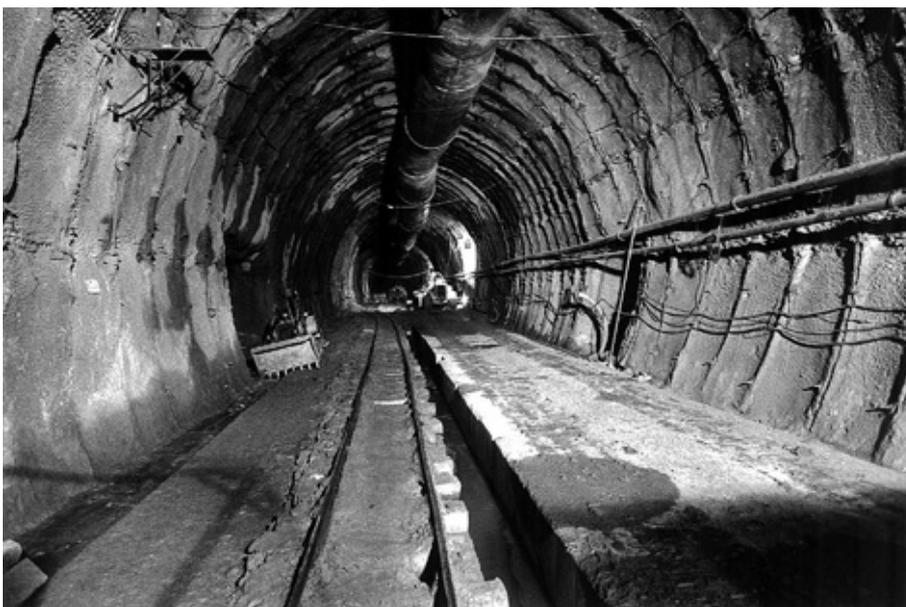


Abb. 2. Fertig ausgebrochene Streckenröhre mit Schuttergleis [2]

Fig. 2. Finished tunnel section and mucking rail line [2]

lok. Der gleisgebundene Materialtransport erwies sich zwar als energie- und personalsparend, aber sehr unflexibel, da der Tunnel für anderen Verkehr versperrt war (siehe Abb. 2). Als Stützmittel wurden im Wesentlichen bewehrter Spritzbeton, Tunnelbögen und Anker eingesetzt. Die Gebirgsgüteklasse IV mit einer Abschlagslänge von 1.5 – 2.0 m kam im überwiegenden Teil der Vortriebsstrecke des Baulos West zur Anwendung. Auf Grund der geologischen Verhältnisse und Gebirgsüberlagerungen von bis zu 1000 m kam es unmittelbar nach dem Abschlag zu teilweise starken Konvergenzen.

Als Kriterium für die Festlegung der Stützmittel wurde die Verformungsgeschwindigkeit unmittelbar nach dem Abschlag herangezogen. Die Erfahrung hatte gezeigt, dass bei den bestehenden Verhältnissen und einer Verformungsgeschwindigkeit von < 5 cm innerhalb der ersten beiden Tage der über die im Vortriebsbereich eingesetzten Stützmittel vorhandene Ausbauwiderstand ausreichte, um das Gebirge zu stabilisieren. Bei höherer Verformungsgeschwindigkeit musste nachgeankert werden. Die Anpassung des Ausbauwiderstandes wurde in erster Linie durch die Ankerungen erzielt, während die anderen Stützmittel nur wenig variiert wurden. Es wurden bis zu 500 lfm Mörtelanker (6 m, 9 m, 12 m) je Laufmeter Tunnel eingebracht. Die freigelegten Hohlräume wurden sofort versiegelt, um ungünstige Auflockerungen zu verhindern. Die Verformungen erfolgten dennoch oft in einem Ausmaß, dass ein Zerschneiden der Spritzbetonschale nur über entsprechende Gelenkschlitzte verhindert werden konnte (siehe Abb. 3).

Der Ausbau erfolgte weitgehend parallel zum Vortrieb. Bereiche stärkeren Wasserandrangs bzw. betonaggressiver Wässer wurden gefasst und abgeleitet, zusätzlich sah man eine Isolierung mittels verschweißter PVC-Folie vor. Im Anschluss an den Einbau des Sohlgewölbes wurde nach Abklingen der Gebirgsdeformationen eine 25 cm starke, unbewehrte Ortbetonnenschale eingebracht.

cavation due to the combination of weak ground and overburden of up to 1000 m.

The main criterion for the definition of rock support measures was the deformation rate of the tunnel shell. Experience showed that, with a deformation rate of < 5 cm during the first two days, the chosen rock support was sufficient to stabilize the ground. At higher deformation rates, additional rock bolts were installed. In general, the particular required rock support was mainly achieved by the adjustment of number and length of rock bolts, while other support measures more or less have not been varied. Up to 500 linear meters of grouted bolts (6, 9, 12 m long) were used per tunnel meter. Shotcrete has been applied immediately after excavation, in order to avoid any further loosening of the rock. The extent of rock deformations often caused cracking of the shotcrete shell. This could only be avoided by providing deformation slots in the shotcrete layer (see Fig. 3).

The final tunnel lining was installed parallel to the heading works. In areas with high water ingress or aggressive water chemism, a PVC sealing was installed in addition. Following the installation of the concrete invert, a 25 cm thick non-reinforced concrete shell was carried out.

2.3 Construction schedule, Costs

Initial investigation work began in the autumn of 1971. Then, the following year, exploration work was

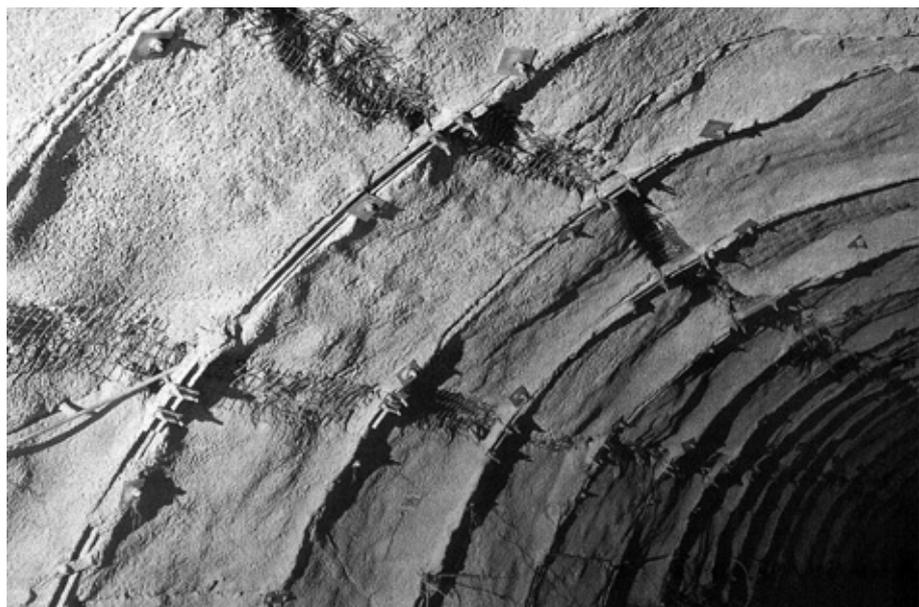


Abb. 2. Fertig ausgebrochene Streckenröhre mit Schuttergleis [2]

Fig. 2. Finished tunnel section and mucking rail line [2]

2.3 Bauzeit, Kosten

Erste Vorstudien wurden im Herbst 1971 beauftragt. Bereits im Folgejahr erfolgten die Erkundungsarbeiten, deren Ergebnisse in die weiteren Behördenverfahren und Ausschreibungen einfließen. Die Vergaben der Ende 1973 ausgeschriebenen 3 Tunnelbau- und 2 Schachtbaulose erfolgten im Frühjahr 1974. Mit der Bauausführung des Arlbergtunnels wurde im Juli 1974 begonnen. Am 1. Dezember 1978 erfolgte die Verkehrsfreigabe. Die Ausbruchsarbeiten wurden bereits nach 39 Monaten abgeschlossen. Die Kosten betragen damals 4 Mrd. ATS, was ca. 300 Mio. EUR entspricht.

3. Zusammenfassung

Zweifelsfrei gehört der Bau des Arlbergtunnels zu den Pionierleistungen des Tunnelbaus. Er hat wesentlich dazu beigetragen, die „Neue Österreichische Tunnelbaumethode“ weiter zu entwickeln und zu einer international anerkannten Baumethode zu machen. Bei richtiger Anwendung besticht diese Methode durch ihre Flexibilität und Wirtschaftlichkeit und hat Projekte und Linienführungen ermöglicht, die früher undenkbar waren. Die erfolgreiche Umsetzung basiert allerdings darauf, dass erfahrene Tunnelbauingenieure auf Seiten der Planer, Bauherren und Ausführenden vor Ort sind, kurze Entscheidungswege gegeben sind und eine faire Risikoverteilung vertraglich vereinbart wird. Diese Voraussetzungen und ein von allen getragener Geist, im Sinne einer dem gemeinsamen Projekterfolg dienlichen Art und Weise zu agieren, lassen sich heutzutage oftmals vermissen.

Quellen

[1] Der Arlbergstraßentunnel und die Zufahrtsrampen; Johann Vilanek; Herausgeber: Arlberg Straßentunnel AG

[2] Bildarchiv Jäger Bau

commenced. The award of the end of 1973 tendered 3 tunnel and 2 shafts lots took place in spring of 1974. The execution of the Arlberg Tunnel construction already began in July of the same year. The tunnel was opened to traffic in December 1978. Excavation works were accomplished within a period of 39 months. The overall costs at that time totaled 4 Billion Austrian Schillings (approx. 300 Million Euros).

3. Conclusion

The construction of the Arlberg Tunnel can unequivocally be considered as a pioneer project in the world of tunneling. It was instrumental in the development of the "New Austrian Tunneling Method" and helped the NATM to gain international reputation. When applied in an appropriate way, the method stands out for its efficiency and flexibility and enables the execution and alignment of tunnels in a previously unthinkable way. Successful implementation is based, however, on having experienced tunneling engineers by the designer, client and contractor on site. An efficient decision making process and a contractually fair risk assignment are further preconditions for a successful execution. These conditions and a mutual spirit, to aim for a collective success, often seem to be lacking.

Sources

[1] *Der Arlbergstraßentunnel und die Zufahrtsrampen (The Arlberg Tunnel and its Access Ramps); Johann Vilanek; Herausgeber: Arlberg Straßentunnel AG*

[2] *Jäger Bau Photo Archives*

Gleinalmtunnel – 1. Röhre

Gleinalm Tunnel – First Tube

Peter Schwab, ÖSTU-STETTIN Hoch- und Tiefbau GmbH, untertagebau@oestu-stettin.at, www.oestu-stettin.at

1. Einleitung

Der Gleinalmtunnel und die Tunnelkette Klaus sind die Nadelöhre auf der sonst voll ausgebauten Pyhrnautobahn, die vom Voralpenkreuz bei Sattledt bis zur Staatsgrenze bei Spielfeld führt.

Mit dem Budget-Gesetz vom Juli 1964 wurde in Österreich ein neuer zukunftsweisender Weg für die Verwirklichung von Großbauvorhaben beschritten. Aufgrund der guten Erfolge bei der Realisierung der „Brenner Autobahn“ wurde 1968 mit der Novellierung des Bundesstraßengesetzes die Errichtung der Pyhrnautobahn mit einer Länge von 231,1 km beschlossen.

Durch diese damals neue Finanzierungsmethode konnte der Gleinalmtunnel zeitlich vorgezogen werden. Zur Bauabwicklung wurde am 23. Dezember 1971 dafür die „Gleinalm Autobahn Aktiengesellschaft - GABAG“ gegründet, aus der im Jahr 1976 die „Pyhrn Autobahn AG“ hervorging. Am 6. Oktober 1972 wurde mit den Arbeiten für den 32,6 km langen Gleinalmabschnitt von St. Michael i. O. bis Friesach, nördlich von Graz, begonnen. Erstes Bauwerk war die Murbrücke bei St. Michael. Mit dem Anschlag des Richtstollens für den Gleinalmtunnel am 17. Februar 1973 durch die ARGE Universale – Porr – Union-Hinteregger – Mayreder – Rella wurden die Tunnelbauarbeiten aufgenommen. Schon nach knapp elf Monaten, am 14. Jänner 1974, erfolgte der Durchschlag des Richtstollens. Im Frühjahr 1974 wurden zwei Firmengruppen mit dem Vollausschub des Gleinalmtunnels beauftragt. Auf der Südseite die ARGE Tiefbau – Stettin – Sprengbau und auf der Nordseite die ARGE Stuaug – Kunz – Züblin. Baubeginn war im Sommer 1974. Schon im September 1975 konnten die Ausbruchsarbeiten, früher als geplant, beendet werden. Die Verkehrsfreigabe des Autobahnabschnittes erfolgte durch den Bundespräsidenten am 11. August 1978.

1. Introduction

The Gleinalm tunnel in Styria and the Klaus series of tunnels in Upper Austria are the bottlenecks on the otherwise fully developed Pyhrn motorway linking the Voralpenkreuz interchange to the north with Spielfeld at the boundary with Slovenia to the south.

The Budget Act of July 1964 marked a forward-looking first step towards the implementation of large-scale construction contracts in Austria. The great success experienced in the construction of the Brenner motorway linking Tyrol with Italy then encouraged the Austrian government to amend the Federal Road Act in 1968 to the effect that a decision was also taken to construct the Pyhrn motorway with a length of 231.1 kilometres.

Through the introduction of a new financing method it was possible to bring forward the construction of the Gleinalm Tunnel on the Pyhrn route. A company, Gleinalm Autobahn Aktiengesellschaft – GABAG, was founded to this end on December 23rd 1971, from which Pyhrn Autobahn AG emerged in 1976. Work on the 32.6 km-long Gleinalm section between St. Michael in Upper Styria and Friesach north of Graz was begun on October 6th 1972. The first project feature to be built was the bridge across the River Mur near St. Michael. The tunnelling activities were commenced by starting work on a pilot heading for the Gleinalm Tunnel on February 17th 1973. The contractor in charge of the project was a joint venture formed by Universale – Porr – Union-Hinteregger – Mayreder – Rella. Hole-through on this project was achieved less than eleven months later, on January 14th 1974. In the spring of the same year two joint ventures were awarded contracts for driving the Gleinalm Tunnel. These were ARGE Tiefbau – Stettin – Sprengbau on the south section and ARGE Stuaug – Kunz – Züblin on the north section. Work was commenced in the summer of 1974. The excavation works were completed earlier than planned, in September 1975. Three years later, on August 11th 1978,

2. Erfahrungsbericht

Vom Projekt „Gleinalmtunnel 1. Röhre“ gibt es nur mehr spärliche Aufzeichnungen beim Bauherrn und den ausführenden Unternehmungen, da die gesetzliche Aufbewahrungsfrist für Unterlagen schon weit überschritten ist. Deshalb stütze ich mich auf das Heft „Österreichische Bauwirtschaft,“ BW 38 und die „Österreichische Ingenieur-Zeitschrift“, Heft 6 vom Juni 1980 sowie meine persönlichen Aufzeichnungen und Erinnerungen.

Im Jahr 1974 setzte mich Baumeister Kurt Stettin beim damaligen Großbauprojekt „Gleinalmtunnel“ als Bauleiter-Stellvertreter ein, nachdem ich meine ersten Schritte als Tunnelbauer 1973 beim Assingberg-tunnel, einem dreispurigen Autobahntunnel über die Pack, gemacht hatte.

Der Auftrag für das Baulos Süd an die damaligen Unternehmungen Tiefbau, Stettin und Sprengbau war das erste große Tunnelbauvorhaben, das an diese Firmengruppe vergeben wurde. Allen Beteiligten wurde klar, welche Aufgaben nun zu bewältigen waren. Sofort nach Auftragserteilung haben wir mit der Bauvorbereitung begonnen und einen Teil der Einrichtung vom Richtstollen übernommen. Die Baustelleneinrichtung wurde mit Werkstätte sowie Baubüro, Mannschaftslager und Kantine seitlich vom Portal inmitten einer Waldfläche erweitert. Am Tunnelportal wurde eine Kompressorstation mit Atlas Copco Kolbenkompressoren errichtet und über eine 12" Luftleitung die notwendige Pressluft für die Bohr- und Spritzbetonarbeiten vor Ort gebracht. Nachdem bei den Unternehmungen keine Tunnelbaugeräte vorhanden waren, wurden alle neu angeschafft bzw. in Eigenregie zusammengebaut.

Parallel zur Baustelleneinrichtung begannen die Hangsicherungsarbeiten. Die großen Felsböschunganschnitte wurden mittels Baustahlgitter, Spritzbeton und SN-Ankern gesichert. Nachdem sich dieser Abtrag als schwieriger und zeitraubender als ursprünglich angenommen herausgestellt hat, entschlossen sich die Firmenchefs diesen Voreinschnittsbereich mit einer provisorischen Aufweitung des Richtstollens zu durchörteren, damit parallel zum Abtrag des Voreinschnitts mit dem Vollausbruch begonnen werden konnte.

Der vorhandene Richtstollen war zentral auf Kalottenhöhe angeordnet und da durch den Richtstollen

this motorway section was officially opened to traffic in the presence of the President of Austria.

2. Experiential report

Not much has survived either with the client or the contractors in the way of reports on the Gleinalm Tunnel – First Tube project, the legal retention period for such documents having long expired. For this reason, I am relying on the periodicals Österreichische Bauwirtschaft, number BW 38, and Österreichische Ingenieur-Zeitschrift, number 6 of June 1980 as well as some of my own records and personal memories.

In 1974, builder Kurt Stettin appointed me vice site-manager on the Gleinalm Tunnel large-scale project after I had gained my first spurs as a tunneller in 1973, on the Assingberg three-lane tunnel project on the Pack pass motorway route between Styria and Carinthia.

The Gleinalm Tunnel South project, to be implemented by the firms Tiefbau, Stettin and Sprengbau of that time, was the first large-scale tunnel contract to be awarded to that joint venture. All those involved were clearly aware of what tasks lay before them. Preparations for the work were begun immediately after contract award, part of the site facilities being taken over from the pilot heading. The site equipment, supplemented by workshop, site office, crew camps and canteen, was set up in the forested landscape adjacent to the tunnel portal. A compressor station equipped with Atlas Copco piston compressors was erected at the portal, with a 12" air-pipe conveying the compressed air needed for drilling and concrete spraying in the face working area. Since none of the partners of the joint venture possessed any tunnelling equipment, we had to purchase or build all machinery we needed ourselves.

Slope stabilisation work was started while the site equipment was being set up. The large preparatory cuts made in the rock face for the tunnel entrance were stabilised by means of wire mesh, sprayed concrete and SN anchors. Work on this slope soon proved to be more difficult and time-consuming than expected. The company heads thus decided to have crews and equipment reach the portal site by crossing the critical zone through the pilot heading, which was widened to allow crews and equipment to pass so as to be able to start full-face tunnelling.

bekannt war, dass der Fels äußerst standfest ist, entschied sich die Arbeitsgemeinschaft den Ausbruch im Vollprofil aufzufahren. Dafür wurden von Atlas Copco 8 hydraulische Bohrrarme, die mit Pressluft betriebenen Hämmern bestückt waren, angeschafft und auf 2 Panzertransportern der US-Armee aufgebaut. Als Schuttergeräte wurden 1 Broyt X4, 2 Radlader CAT 966 und 5 Caterpillar Mulden 969B mit einem Fassungsvermögen von 20 m³ angekauft.

Für die Bewetterung wurde für damalige Verhältnisse ein sehr modernes Konzept entwickelt. Der durchgehende Richtstollen und der bei TM 3000 vorhandene Pilotschacht wurden zur Bewetterung verwendet. Dazu wurde am Schachtkopf ein saugender Ventilator installiert. Die notwendige Energie wurde dabei durch ein Stromaggregat mit einem großen Dieseltank, durch welchen der Winterbetrieb sichergestellt wurde, erzeugt. Der über Relais gesteuerte Startvorgang wurde mittels Kurbelinduktor über eine Steuerleitung aus dem Richtstollen bedient. Wie im Vortriebskonzept geplant, war während der Bohrarbeiten für die ca. 4 m langen Abschlänge durch die Verwendung von Presslufthämmern keine Bewetterung notwendig. Nach dem Laden der Ortsbrust wurde das Aggregat mit dem Kurbelinduktor gestartet, sodass nach Abtun der Sprengung das Auswettern so rasch erfolgte, dass die Schuttermannschaft keine Pause machen musste und unverzüglich mit dem Schuttern beginnen konnte.

Bei einem 4 m langen Abschlag fielen ca. 500 m³ Fels lose an. Nachdem sich das Schuttern eingespielt hatte, war die Mannschaft in der Lage, einen Abschlag in ca. 1,5 Stunden auszuschuttern. Die Beladung der CAT-Mulden erfolgte mit einem Broyt X4 und einem Radlader CAT 966 gleichzeitig. Dieser Beladevorgang musste synchron erfolgen, da der Broyt X4 über den Ladebereich des CAT 966 schwenkte. Die Positionierung der Schuttergeräte war derart, dass der Broyt X4 hinter der Mulde stand und durch eine 180°-Drehung von hinten beladen hat, während mit dem CAT 966 die Beladung von der Seite erfolgte.

Since the existing pilot heading, situated at crown level centre, had revealed extremely competent rock, the joint venture decided to venture full face tunnelling. For this purpose, 8 Atlas Copco hydraulic drilling booms fitted with compressed-air powered hammer drills were purchased and mounted onto two US Army armoured transport vehicles. The mucking equipment was composed of 1 Broyt X4, 2 CAT 966 wheel loaders and 5 Caterpillar 969B dumpers of 20 m³ capacity.

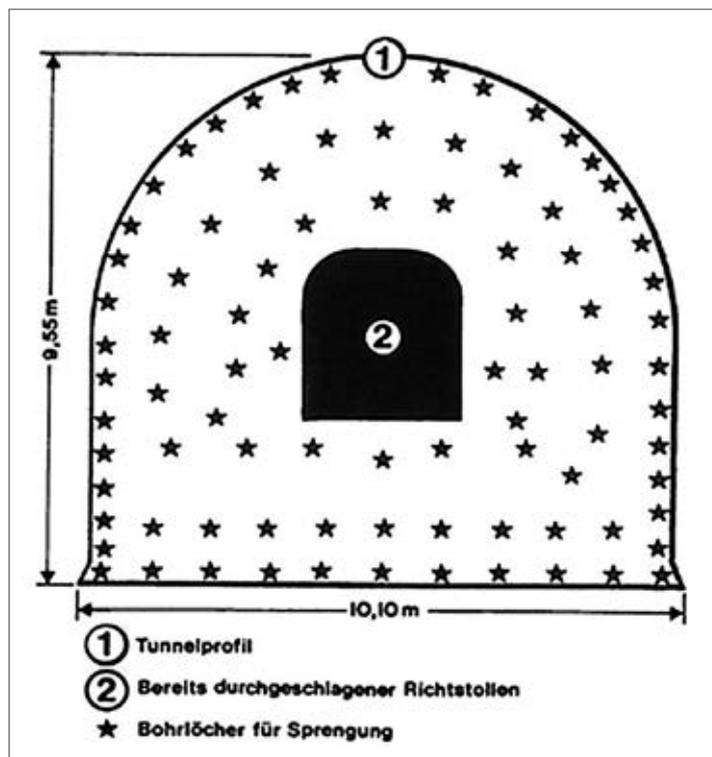


Abb. 1. Schematische Darstellung des Ausbruchprofils
 Fig. 1. Schematic diagram showing excavation profile



Abb. 2. Fertig ausgebrochener Tunnel vor der Isolierung
 Fig. 2. Excavated tunnel prior to waterproofing

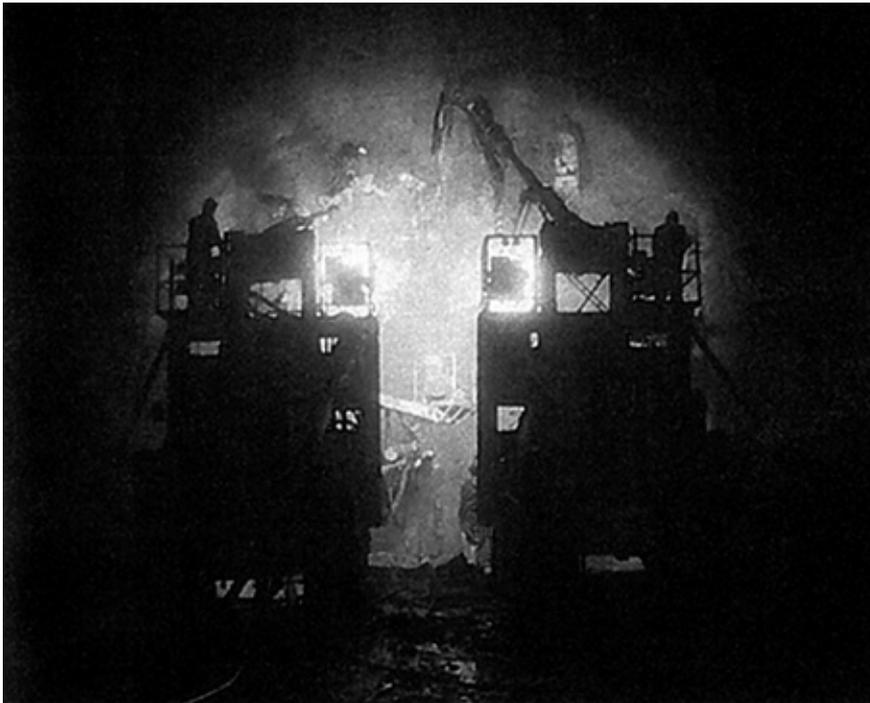


Abb. 3. Jumbo-Bohrwagen mit den Mineuren vor Ort
 Fig. 3. Drill jumbo and miners in the face working area

The artificial ventilation concept developed for this site was highly innovative at that time. The pilot heading, which had been driven over the whole length of the tunnel alignment, and the pilot shaft at station TM 3000 were used for ventilation. A suction ventilator was installed at the shaft head, and the necessary power was generated by a diesel set equipped with a large tank to ensure continued operation even in winter. The relay-controlled starting process was operated from a crank inductor set up in the pilot heading and via a control wire. As provided for in the tunnelling concept, no artificial ventilation was needed for the round lengths of some 4 m thanks to the use of pneumatic



Abb. 4. Bohrjumbos im Einsatz
 Fig. 4. Drill jumbos working

hammers. After loading of the blast holes in the tunnel face, the generating set was started by means of the crank inductor. The vapours dispersed so quickly after the blast had been fired that the mucking crew was able to proceed with their work without interruption.

A round of 4 m length produced about 500 cubic metres of loose rock. After the crews had become acquainted with the mucking routine, they were capable of handling the spoil material from one round within about one and a half hours. The CAT dumpers were loaded by means of a Broyt X4 and a CAT 966 wheel loader working simultaneously. These two loading processes had to be synchronised as the Broyt X4 pivoted above the loading space of the CAT 966. Thus, the Broyt was standing behind the dumper loading it from behind by a 180° turn, while loading by the CAT 966 was from the side.

After clearing out the muck from the invert and loose rock from the roof, application of dry shotcrete provided sufficient head protection in view of the excellent properties of the rock mass. Concrete spraying was by means of Doubrava equipment with 2 Aliva shotcrete machines.

Nach dem Sohleräumen und dem Ablauten der Firste wurde aufgrund der guten Gebirgseigenschaften nur ein Kopfschutz mit Trockenspritzbeton aufgebracht. Der Einbau erfolgte mit einer Doubrava-Spritzbetonanlage mit 2 Aliva Spritzbetonmaschinen.

For the new drilling cycle, the two 4-boom drill jumbos were placed in front of the face. The upper two

Beim neuerlichen Bohrzyklus wurden die beiden 4-armigen Bohrwägen vor der Ortsbrust positioniert. Die oberen 2 Lafetten bohrten die Löcher für die Spreizdübelanker mit Plastikkonen, die anderen 6 Lafetten die Bohrlöcher für den nächsten Abschlag. Für einen Regelabschlag betrug die Zykluszeit 6 Stunden, sodass die Tagesleistung im Tunnelvortrieb 16 m in der besten Gebirgsgüteklasse betrug.

Es wurde im Durchlaufbetrieb mit 3 Dritteln im 12-Stunden-Rhythmus gearbeitet, wobei die Vortriebsmannschaften ca. 10 bis 11 Stunden vor Ort eingesetzt waren. Der Vortrieb war so organisiert, dass die Vortriebsmannschaften nach Abtun des Abschlags zu Mittag und um Mitternacht ausgefahren sind und in der Kantine ihr Essen einnehmen konnten. Ein Teil der Mannschaft arbeitet versetzt, sodass während dieser 1,5 Stunden die Schutterung durchgeführt werden konnte.

Auf dem ersten Tunnelkilometer wurde das Ausbruchsmaterial direkt von der Ortsbrust auf den am Tunnelportal beginnenden Damm verführt und während der Tagschicht profilgerecht eingebaut. Das Ausbruchsmaterial aus dem zweiten Tunnelabschnitt wurde am Tunnelportal zwischendeponiert und während der Bohr- und Sicherungsarbeiten von der Schuttermannschaft auf den ca. 3 bis 4 km langen Damm südlich des Portals verführt. Da das Material größtenteils grobblockig angefallen ist, musste ein Mann ständig die großen Blöcke durch Sprengen direkt an der Einbaustelle zerkleinern.

Die Profilgenauigkeit wurde schon damals relativ genau und laufend hinter dem Bohrwagen kontrolliert. Über eine auf einem LKW aufgebaute kardanisch gelagerte Stollenuhr wurde der Einsatzmittelpunkt mit Hilfe der Richtlaser hergestellt. Von diesem Mittel aus wurden alle Meter am Umfang 20 Punkte mittels eines Alustabes gemessen, in Querschnittsbilder eingetragen und somit laufend die Vortriebsgenauigkeit dokumentiert.

Dies war deshalb so wichtig, da es am Gleinalmtunnel noch einen echten Akkordvertrag mit der Vortriebsmannschaft gab. In diesem Akkordvertrag wurden die Arbeitsleistungen mit den Regelstützmaßnahmen in den einzelnen Gebirgsgüteklassen festgelegt und mit einer Vortriebsleistung in Metern in einer Tabelle dargestellt. Bei Mehrleistungen war eine Überzah-

feeds drilled the holes for the expansion-plug bolts with plastic cones, while the other 6 feeds were drilling the holes for the following round. The cycle time for a normal round was 6 hours, which gave a daily advance rate of 16 m in the best rock quality class.

Tunnelling work was continuous on a three-thirds basis in a 12-hour rhythm, with two out of the three tunnelling crews present on site, each working some 10 to 11 hours at the face. The crews left the tunnel after firing the blast at noon and midnight to have their meals in the canteen. Part of the crew started work about one and a half hour later to allow the others to remove the tunnel spoil.

Over the first tunnel kilometre, the excavated material from the face was hauled directly to the embankment beginning to rise at the tunnel portal and being placed true to profile by the day shift. The material from the second tunnel section was dumped for intermediate storage at the portal to be hauled to an embankment of 3 to 4 km length south of the portal by the mucking crew while drilling and support work was being performed at the face. As most of the spoil material was blocky, one man was continuously stationed at the site of the dam placement to crush the large blocks by blasting.

The excavation line was continuously checked with satisfactory accuracy behind the drill jumbo already at that time. The laser target designators adjusted a tunnel clock gimballed onto a truck so as to mark the centre of the tunnel cross section. From this centre, 20 points around the tunnel perimeter were measured every metre by means of an aluminium bar and plotted in cross section drawings. In this manner, tunnelling accuracy was continuously documented.

This was particularly important as the crews still worked under a true job-wage agreement at the time of building the Gleinalm Tunnel. This agreement specified round lengths including standard support measures to be reached within the individual rock quality classes. These were listed in a table in terms of advance in metres per day. Work in excess of these quantities was likely to entail bonus payments of up to 200 %. But the agreement also included provisions regarding damage to plant and equipment due to improper handling as well as a reduction factor for pay-line inaccuracies. The monthly tunnel face advance was

lung bis zu 200 % möglich. Es waren im Vertrag aber einerseits auch die Abzüge für Gewaltschäden an Geräten und Einrichtungen festgelegt und andererseits ein Abzugsfaktor für die Profilungenauigkeit. Die monatlichen Vortriebsleistungen wurden als Basis herangezogen und davon die Profilungenauigkeiten und die Gewaltschäden in Abzug gebracht und bei der Lohnabrechnung berücksichtigt.

Es gab selbstverständlich immer wieder Diskussionen mit den Drittführern über Geräteausfälle, die nicht durch unsachgemäße Bedienung verursacht wurden. Wie schon erwähnt, wurden bei guten Leistungen der Vortriebsdrittel eine Überzahlung von 150 bis 200 % erreicht.

Nach Abschluss der Ausbrucharbeiten an der Baulosgrenze wurde, wie laut Arbeitsvorbereitung vorgesehen, der Innenausbau von innen nach außen durchgeführt. Die Entscheidung, diese Arbeiten so zu machen, hat sich im Nachhinein als nicht wirtschaftlich erwiesen, da die gegenseitigen Behinderungen erheblich waren.

Der Schalwagen wurde in Tunnelmittel montiert und in Richtung Portal täglich ein Block betoniert. Vor dem Schalwagen wurden die Widerlager errichtet. Darauf wurde auch der Profilwagen auf Schienen geführt. Wir mussten feststellen, dass wir die mit unserer Profilkontrolle festgestellten Unterprofile unterschätzt haben. Aufgrund des guten Gebirges konnten alle Unterprofilspitzen damals nur durch Sprengen abgetragen werden. Dies führte zu erheblichen Problemen, da die gesamte Versorgung der Betonarbeiten wie Ringbeton, Zwischendecke und Widerlager durch den Arbeitsbereich für die Nachprofilierung geführt werden musste. Die Betonarbeiten wurden im Durchlaufbetrieb ausgeführt, daher mussten die Sprengarbeiten für die Nachprofilierung überwiegend in die Nacht, wo nicht betoniert wurde, verlegt werden.

Es konnten beim Arbeitsgang Profilierung und Abdichtungsträgerherstellung nur ähnliche Tagesleistungen wie im Vollausschub erzielt werden und der notwendige Vorlauf, welcher für eine tägliche Betonierleistung von 12 m je Tag erforderlich war, gerade erreicht werden. Es war damals noch üblich, dass ein Profilwagen mit einer Ungenauigkeit von mehr als 5 cm zur Profilkontrolle eingesetzt wurde. Die genaue Messung konnte also erst am gestellten Schalwagen

used as a basis from which amounts for equipment damage and excavation inaccuracies were deducted. This was then allowed for in payroll accounting. Discussions naturally arose periodically with foremen regarding equipment failures which were not the result of improper handling. But, as already mentioned, good performance by the crews could bring bonus payments of between 150 and 200 % of the basic wage levels.

Following completion of excavation work at the boundary of the tunnel lot, the secondary lining was installed starting from the inside and working towards the outside as planned in the work schedule. This decision subsequently proved to be uneconomical as the mutual interference among the various tunnelling activities was considerable.

The travelling formwork was erected in the middle of the tunnel and one block was poured every day proceeding in the direction of the portal. The lateral abutment strips were constructed ahead of the formwork and the profiling car then travelled on rails installed on the abutments. As work proceeded, we came to realise that we had underestimated the under-profiles, which were identified by our profile check. The good quality of the ground permitted no other method than blasting for removing the under-profile peaks. This caused substantial problems, as all the concrete supplies for ring concrete, intermediate ceiling and abutments had to pass through the post-profiling working area. Concrete work was carried out on a seven-day week basis, so that blasting had to be done mainly during the night, when no concrete pouring was being performed.

The advance rates achieved by the profiling operations as well as concrete placement for the levelling layer were in fact of the same magnitude as those of full-face tunnelling and we just managed to provide the longitudinal distances between the various tunnelling operations necessary for the daily pour rate of 12 m. It was still common practice at that time to use a profiling car with an inaccuracy of more than 50 mm for the profile check. Accurate measurement was thus possible only on the firmly positioned formwork. In some places where the ring-concrete thickness requirements were not observed, the formwork had to travel back, the waterproofing membrane was opened and the rock peaks were removed, which was a

erfolgen. Dabei kam es vor, dass bei Nichteinhalten der Sollstärke des Ringbetons der Schalwagen noch einmal zurückgefahren, die Abdichtung geöffnet, die Felsspitzen mühsam abgetragen, der Abdichtungsträger händisch ergänzt und die Abdichtungsfolie wieder geschlossen werden mussten. Manchmal konnte deswegen der Tagestakt beim Betonieren nicht eingehalten werden.

Die Berater unserer Arbeitsgemeinschaft hatten uns während der Ausbruchsarbeiten immer wieder darauf hingewiesen, dass das Überprofil sehr teuer ist.

tedious job, and after it was completed the levelling layer was repaired and the membrane closed again. Sometimes in such cases it was not possible to meet the daily concrete pouring schedule.

The advisors of our joint venture had continuously warned us during excavation work that over-profile was an expensive matter. They claimed that 10 mm of ring-concrete thickness would cost as much as 1 million Austrian schillings for that tunnel lot. However, the repair of under-profile cost twice as much, and this taught us the lesson of our life!



Abb. 5. Profilierungsarbeiten | Fig. 5. Profiling work



Abb. 6. Kaverne | Fig. 6. Cavern

Die Kosten für 1 cm Ringbeton-Mehrstärke würden für das Baulos 1 Mio. Schilling betragen. Die Unterprofilbeseitigung hat uns dann das Doppelte gekostet und das war für uns eine Lehre fürs Leben!

Trotz dieser Umstände hat die ARGE den Bauzeitplan eingehalten, die nachfolgenden E & M-Installationen liefen plangemäß, sodass, wie schon erwähnt, der Tunnel am 11. August 1978 für den Verkehr freigegeben werden konnte. Die Herstellung der 2. Tunnelröhre, die Adaptierung und Modernisierung der 1. Röhre sind durch die ASFINAG von 2013 bis 2019 vorgesehen.

Despite all these troubles, the joint venture met the construction schedule. The electro-mechanical installations that followed went according to plan, so that, as mentioned above, the tunnel was ready for opening to traffic on August 11th 1978. ASFINAG is scheduling the construction of the second tube to be followed by the refurbishment and upgrading of the first tube for years 2013 to 2019.

Tauerntunnel 1. und 2. Röhre

Markante Entwicklungsschritte der NATM

Tauern Tunnel – First and Second Tubes

Prominent steps in the development of NATM

Franz Weidinger, Porr Tunnelbau GmbH, Austria, franz.weidinger@porr.at, www.porr-group.com

1. Einleitung

Der Bau der 1. Röhre des Tauerntunnels in den Jahren 1970 bis 1975 war ein Meilenstein in der Entwicklung der NATM. Der Vortrieb des Großprofils in den stark druckhaften Bereichen mit Verformungen im Meter-Bereich stellte höchste Anforderungen an die Kreativität der Tunnelbauer. Zur erfolgreichen Bewältigung wurden die wesentlichen Elemente des modernen Tunnelbaus erarbeitet und aus den dabei gemachten Erfahrung verbessert. Es zeigte sich, dass es notwendig war anstelle von 4 m langen Ankern eine dichte System- Ankerung mit 6 bis 9 m langen SN-Ankern zu versetzen um die Gebirgsverformungen zu kontrollieren. Die großen Verformungen zerstörten die Spritzbetonschale, gefährdeten die Vortriebsmannschaften und die Geräte, daher wurden versuchsweise Verformungsschlitze in der Spritzbetonschale angeordnet, über den Erfolg dieser Maßnahmen gibt es zahlreiche Literatur.

2. Allgemein

Der Bau der 2. Röhre zeigt die Weiterentwicklung der NATM in den letzten 35 Jahren. Die Bauarbeiten für die 2. Röhre begannen am 10. Juli 2006. Die von der ersten Röhre bereits vorhandenen Bauteile und Bauwerke waren für einen schnellen Start von großem Vorteil. Die Verkehrsfreigabe der 2. Röhre erfolgte am 30. April 2010 nach rund 46 Monaten Bauzeit.

3. Vortriebsarbeiten

3.1 Generelles

Die Baumaßnahmen umfassen jeweils die Portale am Bestand, die Herstellung und Betreuung der erforderlichen

1. Introduction

The construction of the first tube of the Tauern Tunnel between 1970 and 1975 was a milestone in the development of NATM. Driving the large cross section through severely squeezing ground with deformation magnitudes of around a metre in places presented considerable challenges to the creativity of the tunnellers. The need to handle these challenges gave rise to the development of what are today the main elements of state-of-the-art tunnelling. Improvements were made as lessons were being learned from practical application. Thus, tunnellers had to realise that the idea of using 4 m-long anchors as originally planned had to be dropped and a dense anchorage system of SN anchors with lengths of between 6 and 9 m provided instead in order to be able to control the substantial ground deformations occurring in the squeezing ground. As these not only destroyed the shotcrete shell but also constituted a hazard to tunnelling crews and equipment, deformation slots were provided in the shotcrete shell by way of trial. The success of this measure has since been amply dealt with in the relevant literature.

2. General

The construction of the second tube of the Tauern Tunnel reflects the development of NATM over a period of 35 years. Construction work was commenced on July 10th 2006. Structures and structural components left from the first tube provided a great advantage for an early commencement. The second tube was opened to traffic on April 30th 2010, after a construction time of some 46 months.



Abb. 1. Tauerntunnel Nordportal | Fig. 1. Tauern Tunnel north portal

derlichen Deponien zur Ablagerung des Ausbruchsmaterials sowie diverse Oberbauarbeiten. Die Tunnel-Portalbauwerke für beide Röhren wurden bereits zum Zeitpunkt der Errichtung der Bergröhre hergestellt.

Die Errichtung der 6545 m langen Talröhre teilt sich in folgende Abschnitte:

- 300 m offene Bauweise bzw. Schneedach an den Portalen
- 259 m Tunnelbestand. Diese Strecken liegen an den Portalen aber auch im Bereich der drei bereits hergestellten befahrbaren Querschnitte. Sie wurden bereits bei der Herstellung der Bergröhre aufgeföhrt und müssen aber über die gesamte Länge aufgeweitet werden, um dem neuen, größeren Tunnelregelquerschnitt für Querlüftung Rechnung zu tragen.
- 5986 m bergmännischer Vortrieb Haupttunnel. Der Vortrieb erfolgt sowohl von Nord als auch von Süd.
- Im Zuge des Vortriebs wurden insgesamt 22 Querschnitte (4 EQ, 2 EA, 16 GQ) in Richtung bestehende Bergröhre bis auf einen Abstand von 10 m hergestellt.

Der Anschlag erfolgte an beiden Portalen am 06.09.2006. Der Durchschlag konnte am 18.07.2008, nach rund 22 Monaten gefeiert werden.

3.2 Geologische Verhältnisse

Vom Bau der ersten Tunnelröhre lagen umfangreiche Aufzeichnungen vor. Ergänzend zu diesen Dokumentationen wurden in den bereits aufgeföhrenen Tunnelabschnitten der 2. Röhre bei den bestehenden

3. Tunnelling

3.1 General considerations

The tunnel construction contract included work at the existing portals, the provision and management of the landfills required for the deposition of tunnel spoil as well as various above-ground items. The portal structures for the two tubes had already been built along with the upgradient tube.

Construction of the downgradient tube of 6545 m length was composed of the following sections:

- *300 m of open-cut work as well as snow roofs above the portals;*
- *259 m of tunnel sections existed already; these were situated at the portals as well as near the driveable cross cuts. They had been excavated along with the construction of the upgradient tube, but needed widening over their whole lengths to allow for the new, larger typical cross section selected to accommodate cross ventilation*
- *5986 m of mined main tunnel. Tunnelling proceeded both from the north and south ends.*
- *The project included a total of 22 cross cuts (4 accessible to vehicles, 2 electricity tunnels, 16 accessible to pedestrians) to be excavated to within 10 m of the existing tube.*

Excavation work was started at both portals on September 6th 2006. Hole-through was celebrated on July 18th 2008, about 22 months later.

3.2 Geology

Comprehensive records were available from the construction of the first tube. These were supplemented

befahrbaren Querschlügen im Jahre 2002 zusätzliche Erkundungsbohrungen durchgeführt, um zusätzliche Informationen aus Laborversuchen über Gesteinskennwerte zu erhalten. Die geologischen und geotechnischen Verhältnisse für den Bau wurden als sehr schwierig beurteilt. Hohe Überlagerung und geringe Gebirgsfestigkeiten führen teilweise zu stark druckhaftem Gebirgsverhalten und damit auch zu großen und lange anhaltenden Verformungen.

Der Tauerntunnel durchörtert die penninische Schieferhülle mit teilweiser Überlagerung der ostalpinen Decke mit häufiger Wechsellagerung von Schwarz-, Grau-, Grün und Buntphylliten. Die Phyllite sind überwiegend karbonatisch, es treten häufig Anhydritlagen auf.

3.3 Hangschuttstrecke

Der Ausbruchquerschnitt wurde in eine rund 6 m hohe Kalotte mit Stützkern, eine Strosse und eine Sohle unterteilt. Vorgängig wurde die Kalotte mit Kalottensohlgewölbe über die gesamte Länge des Hangschuttstretes von 400 m aufgefahren. Die Strosse und die Sohle folgen erst nach dem Durchschlag. Sie wurden über die volle Breite ausgebrochen. In der Hangschuttstrecke kam das gesamte Instrumentarium des modernen Tunnelbaues wie Ortsbrustanker (IBO), Selbstbohrspieße mit zusätzlichen Injektionen und Selbstbohranker zum Einsatz. Über große Strecken mussten im kohäsionslosen Kalkschutt wie in der ersten Röhre Getriebedielen als Vorausmaßnahme geschlagen werden. Das Lösen in bis zu 15 Teilflächen erfolgte mit einem großen Tunnelbagger.

3.4 Felsstrecke

Der Ausbruchquerschnitt wurde in eine 6,5 m hohe Kalotte, eine Strosse und eine Sohle unterteilt. Der Vortrieb erfolgte im Stop and Go-Betrieb. Dabei wurde vorgängig die Kalotte auf eine Länge von 200 m bis 300 m aufgefahren, anschließend wurden abwechselnd Strosse und Sohle über die ganze Breite in Abschnitten von jeweils 80 m nachgezogen. Wegen des günstigeren Gebirgsverhaltens, dem günstigeren Schichteinfallen und dem Fehlen einer Hangschuttstrecke im Südabschnitt wurde der Durchschlagspunkt

by additional exploratory drillings performed in 2002 in the already excavated sections of the second tube near the cross cuts driven from the first tube, in order to obtain further information on rock properties from laboratory tests. The geological and geotechnical conditions for tunnel construction were assessed as being exceedingly difficult. A high cover and poor rock strength led to squeezing behaviour in places and consequently, large and sustained ground deformation. The alignment of the Tauern Tunnel passes through the Penninic Schieferhülle partly overlain by the East Alpine nappe where alternations of black, grey, green and variegated phyllites are common. The phyllites, mainly carbonatic, are combined with a substantial occurrence of anhydrite layers.

3.3 Tunnelling through talus material

The excavation cross section was subdivided into a top heading of about 6 m height with a supporting core as well as bench and invert headings. At first, the top heading was driven over the entire 400 m length of talus material, with bench and invert headings following after the first hole-through. These were excavated over their full width. The whole arsenal of up-to-date tunnelling technology, including self-drilling bolts and self-drilling grouted spiles, had to be used within the rock detritus. As in the first tube, steel sheets had to be struck into the limestone debris as a precaution ahead of the advancing face. The work in up to 15 partial faces was carried out by a large tunnel excavator.



Abb. 2. Vortrieb Hangschuttstrecke | Fig. 2. Tunnelling through talus material



Abb. 3. 2-armiger Bohrwagen | Fig. 3. 2-boom drill jumbo

von der ursprünglich vorgesehenen fixen Station bei der Lüfterkaverne nach Norden verlegt.

Die Herstellung der Innenschale wurde nach Durchschlag des Südvortriebes in die Querkaverne der Lüfterstation vom Süden aus gestartet, nachdem die Bewetterung auf eine Frischluftzufuhr aus dem Lüftungsschacht und zusätzlich auf eine Zufuhr von gereinigter Luft aus der Röhre 1 umgestellt werden konnte.

In den stark druckhaften Bereichen wurden wie bei der 1. Röhre Verformungsschlitzte angeordnet, diese

3.4 Tunnelling through hard rock

The excavation cross section was subdivided into a top heading of 6,5 m height as well as bench and invert headings. Tunnelling was based on a stop-and-go system. The top heading was driven over a length of between 200 and 300 m ahead of the other drives. Then followed the full-width excavation of bench and invert in alternating turns, in sections of 80 m. In view of the more favourable ground behaviour, more

favourable dip of the strata and the absence of hills-side material in the south section, the hole-through point was moved further north from the originally planned meeting point of the two sections at the ventilator cavern in the middle of the tunnel alignment.

Construction of the secondary lining was started from the south portal after hole-through of the south drive into the cross-cut cavern of the ventilator station, as it had been possible to change over from artificial ventilation to fresh air supply from the ventilation shaft plus supply of purified air from the first tube.



Abb. 4. Verformungsschlitzte | Fig. 4. Deformation slots

Deformation slots were provided in the severely squeezing ground regions as practised in the first tube, with the difference that these were not left open but equipped with lining stress controllers (LSC) which ensured transfer of forces.

These lining stress controllers are intended to ensure controlled yielding of the shotcrete shell. In an effort to optimise the absorption of geotechnical forces in the vertical, radial and axi-

aber nicht offen gelassen, sondern mit kraftübertragenden Stauchelementen ausgestattet.

Die Stauchelemente sollen eine kontrollierte Nachgiebigkeit der Spritzbetonschale gewährleisten. Zur Optimierung der Aufnahme der geotechnischen Kräfteinflüsse in vertikal, radial und axialer Richtung wurden von der Firma PORR gemeinsam mit der Firma Bochumer Eisenhütte im Juli 2007 als innovative Alternative zum ausgeschriebenen Stauchelement LSC das System „Wabe“, entwickelt, umfangreich getestet und nach Prüfung bzw. Bewilligung des Auftraggebers eingebaut.

Stauchelement LSC:

Bei dem LSC Stauchelement (Lining Stress Controller) werden mehrschalige Stauchrohre zwischen zwei Druckübertragungplatten angeordnet. Das Stauchrohr wird zur Begrenzung von Ein- und Ausbeulungen zwischen zwei kürzeren Führungsrohren angeordnet. Im Bereich des Stirnrandes des Stauchrohres sind Imperfektionen vorgesehen, die den anfänglichen Ausbeulwiderstand aufgrund einer Querschnittsschwächung bestimmen. Steigt die axiale Druckbelastung, so beginnt das Stauchrohr allmählich im Bereich der Imperfektion ringförmig auszubeulen. Eine Beschränkung der Last bei gleichzeitig erhöhter Verformungsmöglichkeit ist gewährleistet.

Stauchelement System Wabe:

Jedes Element besteht aus kreisförmigen Hohlprofilen, welche lageweise angeordnet und durch Stahlplatten getrennt bzw. verbunden sind. Die auftretenden Schalenkräfte führen zu einer Verformung quer zur Rohrachse. Durch geeignete Variation der Rohrdurchmesser und Wandstärken bzw. durch die Verwendung von Grundelementen, die zusätzlich mit verstärkenden Einschubrohren versehen werden können, ist ein Höchstmaß an Flexibilität und Anpas-



Abb. 5. Stauchelemente LSC | Fig. 5. LSC lining stress controllers

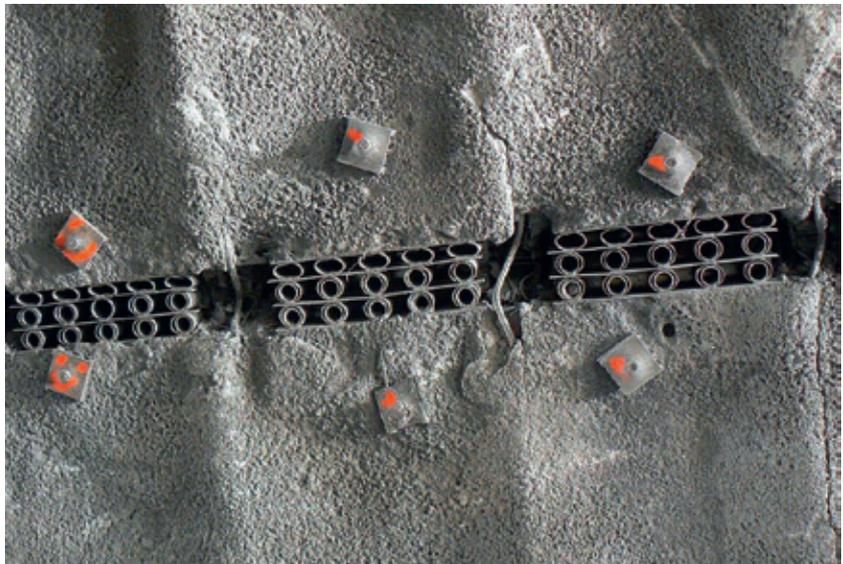


Abb. 6. Stauchelemente Wabe

Fig. 6. Honeycomb-type lining stress controllers

al directions, PORR in conjunction with Bochumer Eisenhütte developed the honeycomb system as an innovative alternative to the tendered lining stress controllers. The honeycomb system was eventually applied after intensive testing and upon examination and approval by the client.

Lining stress controller LSC:

The LSC element is an assembly of concentric steel tubes arranged between two load-transfer plates. The LSC tube is installed between two shorter guide tubes in order to limit bulging inwards and outwards. Imperfections provided at the front edge of the LSC tube weaken the cross section so as to determine the initial resistance to bulging. As the axial load increa-



Abb. 7. Tauerntunnel Nordportal | Fig. 7. Tauern Tunnel north portal

sungsvermögen an das jeweilige Gebirgsverhalten gegeben. Der Verformungswiderstand steigt kontinuierlich mit der Druckbelastung und der Stauchung. Laborversuche zeigten eine ruhig verlaufende Arbeitslinie, was auf einen nahezu stufenlosen Anstieg der Normalkraft in der Schale schließen lässt.

4. Zusammenfassung

Der Bau der ersten Röhre des Tauerntunnels in den Jahren 1970 bis 1975 war ein grundlegender Schritt in der Entwicklung der NATM und des modernen Tunnelbaues. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse zur Beherrschung druckhaften Gebirges, mit aufgetretenen Verformungen im Meter-Bereich und mit massiver Zerstörung der Außenschale, führten zur Entwicklung von Verformungsschlitzen und Systemankerungen. Der Vortrieb der 2. Röhre des Tauerntunnels von 2006 bis 2008 hat gezeigt, dass durch konsequente Anwendung dieser Maßnahmen eine sichere und wirtschaftliche Beherrschung der schwierigen Verhältnisse möglich ist und damit ein erfolgreicher Vortrieb in den stark druckhaften Bereichen nahezu problemlos erfolgen konnte.

ses, the LSC tube gradually starts forming a circumferential bulge in the region of the imperfection. This ensures restriction of the load while offering greater deformation possibility.

Lining stress controller, honeycomb system:

Each element consists of circular hollow profiles arranged in layers which are both separated and connected by steel plates. The shell forces cause deformation across the tube axis. Appropriate variation of tube diameters and wall thicknesses and use of basic elements, which in addition can be equipped with reinforcing insertion tubes, ensure maximum flexibility and adaptability to the respective ground behaviour. The resistance to deformation increases continuously along with pressure load and compression. The laboratory tests gave a harmonious stress-strain diagram, which suggests a fairly smooth rise of the normal-force curve within the shell.

4. Summary

The construction of the first tube of Tauern Tunnel between 1970 and 1975 was a fundamental step in

Literatur

- [1] D.I. Johann Herbeck: Die Tauern-Scheiteltunnel-Vortriebsarbeiten, Porr-Nachrichten Heft 50/51, 1972
- [2] D.I. Horst Pöchhacker: Österreichische Tunnelbauweise in sehr stark druckhaftem Gebirge, Theorie und Praxis, Porr-Nachrichten Heft 57/58, 1974
- [3] D.I. Johann Herbeck: Arbeitsgemeinschaft Tauern-Scheiteltunnel, Bauarbeiten 1970 bis 1975, Porr-Nachrichten Heft 63, 1975
- [4] D.I. Horst Pöchhacker: Gebirgsklassifikation bei Groß-Strassentunnel, Kritik und Anregungen, Porr-Nachrichten Heft 63, 1975
- [5] D.I. Dr. Harald Lauffer: Lüfterkaverne-Tauern-tunnel, Porr-Nachrichten Heft 63, 1975
- [6] Tauernautobahn AG: Tauernautobahn Scheitelstrecke, Eine Baudokumentation, Band 1+2, Eigenverlag Tauernautobahn AG, nicht im Handel, 1976
- [7] Dipl.-Ing. Franz Weidinger, Porr Tunnelbau GmbH, Wien, A
Dipl.-Ing. Dr. Harald Lauffer, Porr Tunnelbau GmbH, Wien, A
Tauern-tunnel 1. + 2. Röhre aus Sicht des Bauausführenden; Porr-Nachrichten Heft 155. 2009

the development of NATM and modern tunnel construction. The insights gained in handling squeezing rock that resulted in ground deformations of up to one metre in magnitude and massive destruction of the secondary lining initiated the development of deformation slots and systematic bolting.

The experience gained in the construction of the second tube of Tauern Tunnel between 2006 and 2008 demonstrated that consistent application of the measures taken was a safe and economic means of handling such difficulties. This enabled successful tunneling in the severely squeezing zones practically without problems.

References

- [1] D.I. Johann Herbeck: Die Tauern-Scheiteltunnel-Vortriebsarbeiten, Porr-Nachrichten Heft 50/51, 1972
- [2] D.I. Horst Pöchhacker: Österreichische Tunnelbauweise in sehr stark druckhaftem Gebirge, Theorie und Praxis, Porr-Nachrichten Heft 57/58, 1974
- [3] D.I. Johann Herbeck: Arbeitsgemeinschaft Tauern-Scheiteltunnel, Bauarbeiten 1970 bis 1975, Porr-Nachrichten Heft 63, 1975
- [4] D.I. Horst Pöchhacker: Gebirgsklassifikation bei Groß-Strassentunnel, Kritik und Anregungen, Porr-Nachrichten Heft 63, 1975
- [5] D.I. Dr. Harald Lauffer: Lüfterkaverne-Tauern-tunnel, Porr-Nachrichten Heft 63, 1975
- [6] Tauernautobahn AG: Tauernautobahn Scheitelstrecke, Eine Baudokumentation, Band 1+2, Eigenverlag Tauernautobahn AG, nicht im Handel, 1976
- [7] Dipl.-Ing. Franz Weidinger, Porr Tunnelbau GmbH, Wien, A
Dipl.-Ing. Dr. Harald Lauffer, Porr Tunnelbau GmbH, Wien, A
Tauern-tunnel 1. + 2. Röhre aus Sicht des Bauausführenden; Porr-Nachrichten Heft 155. 2009

9,3 Kilometer NATM-Vortrieb im Lockergestein

More than 9 kilometres of NATM tunnelling in unconsolidated formations

Ernst-Rainer Tirpitz, Bilfinger Berger Ingenieurbau GmbH, Deutschland,
ernst-rainer.tirpitz@civil.bilfinger.com, www.bilfingerberger.at
Frank Deffner, Bilfinger Berger Ingenieurbau GmbH, Deutschland,
frank.deffner@civil.bilfinger.com, www.bilfingerberger.at

1. Einleitung

Für die im Januar 2007 in Betrieb gegangene Hochgeschwindigkeits-Eisenbahnstrecke an der taiwanesischen Ostküste zwischen Taipeh und Kaohsiung wurden unter Federführung von Bilfinger Berger die Baulose C260 und C270 erstellt. Im 36.60 km langen Baulos 6 (C 260) wurden 7 Tunnel mit einer Gesamtlänge von 9.3 km unter äußerst erfolgreicher Anwendung der NATM in schwierigen geologischen Verhältnissen aufgeföhren. Darunter befindet sich auch der mit 7359 m längste Tunnel der gesamten Hochleistungsstrecke (Paghuashan Tunnel). Infolge strenger Umweltschutzaufgaben, nicht auszuschließender Wasserdrücke und Erdbebeneinwirkungen wurden alle Tunnel druckdicht mit durchgehend bewehrter Innenschale ausgeführt. Je nach Ausbruchklasse und Innenschalenstärke (40–60 cm) beträgt der Ausbruchquerschnitt der zweigleisigen Tunnelröhren 125 bis 135 m².

1. Introduction

A high-speed rail link went into operation between Taipei and Kaohsiung on the east coast of Taiwan in January 2007. The construction of Lots C260 and C270 was implemented under the management of Bilfinger Berger. Lot C260 with the considerable length of 36.60 km included 7 tunnels totalling 9.3 km in length and passing through extremely difficult ground. These were constructed most successfully by use of NATM. One of them, the Paghuashan tunnel of 7359 m length, is the longest tunnel on the whole high-capacity line. Waterproofing and a reinforced secondary lining were provided over the full length of each tunnel to meet environmental constraints and allow for suspected risks of ground water pressures and earthquake effects. Depending on the respective tunnelling class and lining thickness (0.4–0.6 m), the excavated cross section of the twin-track tunnel tubes varied between 125 and 135 m².

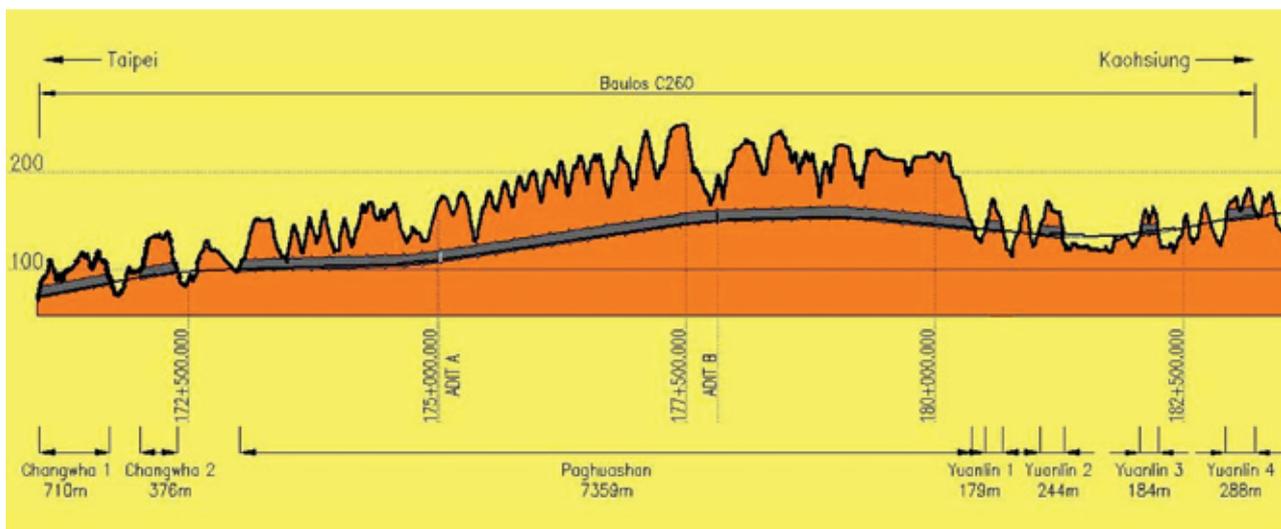


Abb. 1. Die 7 Tunnel des Bauloses C260 durch den Paghuashan
Fig. 1. The 7 tunnels of Lot C260 through the Paghuashan hills

2. Geologische Verhältnisse

Im Baulos C260 unterfährt die Hochleistungsstrecke den etwa 25 km langen und 5 km breiten Höhenrücken des Paghuashan, der sich gut 100 m über das dicht besiedelte Umland erhebt. Die Hügel bestehen aus extrem überkonsolidierten marinen und fluvialen Kiesen, Sanden, Schluffen und Tonen ohne jegliche mineralische Kornbindung. Die Überkonsolidierung hat ihren Ursprung in einer Verdichtung des Untergrundes durch die zahlreichen starken Erdbeben und in der ehemals hohen Überlagerung. Obwohl die Tunnel deutlich über dem eigentlichen Hauptgrundwasserspiegel liegen wurden die Vortriebe immer wieder durch starke Wasserzutritte behindert. Durch regelmäßige, extreme Niederschlagsereignisse (Taifune) bilden sich auf den Ton- und Schlufflagen unterschiedlich mächtige schwebende Grundwasserstockwerke aus. Da Taiwan in einem tektonisch sehr aktiven Gebiet liegt, werden auch in sehr jungen Sedimenten immer wieder Störungen mit deutlichen Versatzbeträgen angetroffen. In einigen Abschnitten führen diese Störungen durch ihre abdichtende Wirkung in Verbindung mit den genannten

2. Geology

In Lot C260, the high-capacity track is located beneath the Paghuashan ridge, which is about 25 km long and 5 km wide and rises more than 100 m above the densely populated surrounding region. The hills are composed of extremely over-consolidated marine and fluvial gravels, sands, silts and clays without any mineral particle bonding whatsoever. The extremely high consolidation results from a great number of powerful earthquakes as well as from a substantial overburden thickness in the geological past. Although the main water table lies well below the tunnel location, the tunnelling activities were repeatedly delayed by substantial water inflows. Regular extreme rain storms – typhoons – lead to the formation of floating ground-water storeys of varying thickness on clay and silt layers. Since Taiwan is situated in a region of great tectonic activity, even young sediments tend to be cut up by faults with major displacement. In places, the sealing effect of such faults in combination with the above-mentioned cohesive layers has led to the formation of chamber-like systems with several storeys of non-communicating vessels. Since



Abb. 2. Typische geologische Verhältnisse an der Ortsbrust im Paghuashan-Tunnel
Fig. 2. Typical geological conditions at the working face of the Paghuashan Tunnel

bindigen Schichten zur Ausbildung eines kammerartigen Systems mit mehreren, nicht kommunizierenden Grundwasserstockwerken. Da der Paghuashan von zahlreichen, rechtwinkelig zum Hauptkamm verlaufenden, tiefen Erosionsrinnen durchzogen ist, waren neben einer maximalen Überlagerung von rund 100 m auch Bereiche mit wenigen Metern Firstüberdeckung zu durchfahren.

Die Umsetzung der beschriebenen geologischen Verhältnisse in bodenmechanische Kennwerte erwies sich im Vorfeld der Ausführung als schwierig, da sich in jeder Kernkiste lediglich Sand oder Kies befand. In-situ Versuche in den aufgefahrenen Tunneln ergaben dann in den überkonsolidierten Sedimenten Verformungsmodul bis über 500 MPa.

3. Ausbruch und Sicherung

Das ursprüngliche Vortriebskonzept sah für den Regel-Ausbruchquerschnitt von ca. 130 m² einen in Kalotte, Strosse und Sohle unterteilten Baggervortrieb vor. Lediglich die beiden ca. 40 m² großen Zugangstollen waren im Vollquerschnitt aufzufahren. Für die unmittelbare Sicherung waren in der Grundplanung bis zu 45 cm dicker Spritzbeton, Baustahlgitter und entsprechende Gitterbögen sowie eine erhebliche Auswahl von Spießern, Rohrschirmen und SN-Ankern sowie eine Sicherung der Ortsbrust durch Ankerung vorgesehen. Schon bald nach Beginn der Vortriebsarbeiten am 9. Februar 2001 stellte sich jedoch heraus, dass die zwar dichte, aber nicht verkittete Lagerungsstruktur des anstehenden Gebirges durch diese vorauseilenden Sicherungsmaßnahmen stark geschädigt wurde, sodass dadurch erst recht ein zeitaufwändiger und unwirtschaftlicher Stützmittelaufwand notwendig wurde. Als wirkungsvolle Gegenmaßnahme bot sich daher die Variation der Abschlagslänge an, die es optimal und rasch an die örtlich anstehenden geologischen Verhältnisse anzupassen galt. Anstelle der Ortsbrustankerung wurde – wo erforderlich – ein Stützkeil stehen gelassen. Da sich die geologischen Verhältnisse vor Ort allerdings häufig änderten, erforderte dieses Konzept den Einsatz eines erfahrenen Führungspersonals auf allen Ebenen, beginnend bei den Vortriebspolieren über die Schichtingenieure bis hinauf zum „Tunnel Construction Engineer“ (TCE), der die oberste Entscheidungsinstanz darstellte und darüber hinaus Weisungsrecht besaß.

the Paghuashan hills are crossed by many deep erosion gullies at right angles to the main ridge, the tunnel had to be driven under a cover varying between a maximum 100 m and only a few metres in thickness above the tunnel roof.

Translating the geological conditions described above into soil mechanics parameters prior to the implementation of the work proved difficult as each drill core box contained nothing but sand or gravel. In-situ testing in the excavated tunnels then yielded deformation moduli of up to over 500 MPa in the over-consolidated sediments.

3. Excavation and stabilisation

The original tunnelling plan provided for excavator driving in top, bench and invert headings for the typical cross section of about 130 m². Full-face tunnelling was to be employed only for the two access tunnels of about 40 m² in cross section. According to this basic plan, immediate support was to be provided by means of a sprayed concrete layer of 0.45 m thickness, steel wire mesh and appropriate lattice arch girders, furthermore by a substantial quantity of spiles, pipe roofing and SN anchors as well as face stabilisation with anchors. Soon after the beginning of excavation work on 9th February, 2001, however, it was seen that such stabilisation measures taken ahead of the advancing face were in fact severely damaging the dense but non-cemented bedding structure of the in-situ rock, which called for exactly the time-consuming and uneconomic support measures the original plan had intended to avoid. A more efficient strategy thus needed to be found. This consisted in varying round lengths speedily so as to suit the respective geological conditions encountered. Instead of the face anchors, a supporting wedge of ground was left standing wherever required. Since the geological conditions changed frequently as tunnelling proceeded, this strategy was feasible only on the condition that an experienced staff was available at all levels, from tunnelling foremen and shift engineers through to the Tunnel Construction Engineer (TCE) at the top decision level, who in addition was endowed with managerial authority.

NATM was thus practised in the best sense of the word. On the basis of what geology was encountered as well as of deformation measurements and experi-

Im besten Sinne der NATM wurde also in täglicher, oft auch kürzerer Abfolge anhand der anstehenden Geologie, der gemessenen Deformationen und der Erfahrung mit dem Kurzzeit-Standverhalten der verschiedenen Gebirgskomponenten (Kiese, Sande, Schluffe, Tone) im Zusammenwirken von Polier, Schichtingenieur, Geologen, geotechnischem Berater und dem Bauleiter / Außendienstleiter (TCE) eine Entscheidung über sämtliche Ausbaumaßnahmen, Abschlagslängen, eventuelle Zusatzmaßnahmen wie Sondier- und Entwässerungsbohrungen, vorgezogener Ringschluss und dgl. vor Ort getroffen.

Die Rückbesinnung auf die Grundregeln der NATM und deren konsequente Anwendung wurden zur Grundlage des schlussendlichen Erfolges des Bauwerkes C260. Als Primärsicherung wurde vorwiegend eine 20 cm starke, einlagig bewehrte Spritzbetonschale eingebaut. Auf vorauseilende Sicherungsmittel wurde zugunsten des Erhalts der im ungestörten Zustand ausreichenden Standfestigkeit des Gebirges weitestgehend verzichtet. Lediglich in den Portalbereichen und bei mehreren tiefliegenden Talquerungen wurden Rohr- und Spießschirme angeordnet.

Nach der Erkenntnis, dass sich vorauseilende Sicherungsmaßnahmen im anstehenden Gebirge negativ auf das Standverhalten auswirkten, folgte in konsequenter Weise die Optimierung von Ausbaustärke und Ankerung. War es bereits im Vorfeld zu den Vortriebsarbeiten klar geworden, dass unter den gegebenen Voraussetzungen eine systematische Ankerung nicht angebracht schien, hielt man zunächst noch an Kalottenfußankern fest. Mit wachsender Kenntnis des tunnelbautechnischen Verhaltens des Gebirges und der Erfahrung der Vortriebsmannschaften wuchs die Erkenntnis, dass auch diesen Fußankern nur eine geringe Wirkung zuzuschreiben war. Nach ausführlichen Tests wurde schließlich auf jegliche Ankerung verzichtet.

Ein intensives Messprogramm begleitete das gesamte Vortriebsgeschehen. Die Auswertung der Messergebnisse erfolgte auf der Baustelle und fand unmittelbar in die weitere Planung Eingang. Vor allem in Bereichen mit mächtigen Ton- und Schlufflagen, die zum Kriechen neigten, wurde eine temporäre Kalottensohle eingebaut und auf einen zeitgerechten Ringschluss großes Augenmerk gelegt.

ence gathered regarding the short-term stability behaviour of the various ground components (gravels, sands, silts, clays), decisions were taken at the working face jointly by foreman, shift engineer, geologist, geotechnical consultant and the TCE on a day-to-day basis, sometimes even at shorter intervals. Decisions were needed on all kinds of support, round lengths as well as potential additional measures to be taken, such as exploratory and drainage drilling, early ring closure etc.

Meticulous observance of the basic rules of NATM and their faithful translation into practice finally proved to be basis for the eventual success of Lot C260. The primary support installed over the greater part of the tunnel was a 0.2 m-thick shotcrete shell with a single reinforcement layer. Use of stabilisation measures ahead of the advancing face was practically ruled out for the benefit of preserving the natural stability of the ground, which was satisfactory when left in its undisturbed condition. Pipe and pile roofing was thus provided only at several crossings with deeply incised valleys.

The fact that preliminary stabilisation of in-situ ground adversely affected its stability behaviour logically resulted in the need to rely on optimised lining thickness and anchoring. As it had become clear during the preliminary project stages that systematic anchoring did not seem to be the appropriate solution under the prevailing conditions, the idea of installing crown foot anchors was maintained for another while. But along with the increasing knowledge about the response of the ground to tunnelling and with the experience gained by the tunnelling crews, it was gradually realised that even these foot anchors would not have any appreciable effect. Following thorough testing, anchors were precluded from consideration altogether.

An intensive measuring programme accompanied the entire tunnelling phase. Interpretation of the results was performed on site and directly allowed for in further planning. Temporary crown inverts were installed and timely ring closure was given particular attention mainly in zones of thick clay and silt layers susceptible to creep.

A 140 m³ roof fall occurred in the Paghuashan Tunnel when a fault with accumulated ground water behind

Beim Anfahren einer Verwerfung, hinter der sich unerwartet Gebirgswasser aufgestaut hatte, kam es im Paghuashan-Tunnel zu einem Nachbruch aus der Firste von 140 m³. Das Wiederauffahren des verstürzten Gebirges erfolgte unter schwierigsten Bedingungen. In der Folge wurden mehrere Kammern mit aufgestautem Bergwasser angefahren, die den Vortrieb dieses Abschnittes wegen der notwendig gewordenen umfangreichen vorausseilenden Entwässerungsmaßnahmen deutlich verlangsamt.



Abb. 3. Wassereinbruch im Paghuashan-Tunnel
 Fig. 3. Water inrush in the Paghuashan Tunnel

Im nördlichsten Tunnel (Changwha 1), dem zweitlängsten Tunnel des gesamten Bauloses, kam es bei Station TM 37 zu einem Absacken der Kalotte und einem eng begrenzten aber folgenschweren Totalverbruch an der Ortsbrust, was ein zeit- und arbeitsaufwändiges Wiederauffahren der Portalstrecke notwendig machte. Bis dahin nicht erkennbare Kriecherscheinungen der portalnahen Hangschichten und Auflockerungen unterhalb des Tunnelniveaus in Verbindung mit sintflutartigen Regenfällen während des Taifuns „Nari“, der kurz zuvor das Projektgebiet heimsuchte, wurden letztlich als Ursachen des Ereignisses identifiziert. Der Verbuch erzwang eine 2-monatige Verzögerung der Arbeiten an diesem Tunnel.

Zu den geologischen Herausforderungen gesellten sich zusätzlich eine Reihe von topografischen Hindernissen. So waren eine Vielzahl von Tälern mit nur wenigen Metern Überlagerung bergmännisch zu unterqueren (die geringste Überdeckung betrug lediglich 1,40 m).

Das geologische Umfeld blieb also während der gesamten Vortriebsarbeiten äußerst anspruchsvoll und schwierig. Trockene Sand- und Kieslagen beim Changwha 1 verfügten über nur mäßige scheinbare Kohäsion und ein ausgeprägtes Trennflächengefüge. Der Vortrieb erlaubte oft nur Abschlagslängen von

was hit unexpectedly. The fallen material was extremely difficult to tunnel through. As moreover several more ground-water filled chambers were encountered as tunnelling proceeded, the work was perceptibly delayed in this section due to the necessity to provide for extensive drainage ahead of the advancing face.

In the northernmost tunnel, Changwha 1, the longest of this lot, crown settlement occurred at Station TM 37, followed by the total failure of the face, and the whole portal section had to be re-tunnelled with a substantial input of time and labour. Creep phenomena within the slope layers in the vicinity of the portal, which had evaded detection until then, and ground breaking up below the tunnel level in combination with torrential rainfall during the typhoon Nari, which had just hit the project area, were eventually identified as being the reasons for the accident. The face failure caused a 2-month work delay in this tunnel.

The geological challenges were aggravated by a number of topographical difficulties. A great number of valleys had to be crossed by mining methods under covers of only a few metres down to a minimum 1.40 m.

In fact, the geological environment remained exceedingly challenging and difficult throughout the work.

50 cm und erforderte alles Geschick der Mannschaften, um Nachbrüche zu minimieren. Im Gegensatz dazu bewirkten teilweise mehrere Meter mächtige Tonlagen in weiten Abschnitten des Paghuashan-Tunnels anhaltende Konvergenzen und machten den vorgezogenen Einbau des Sohlgewölbes unabdingbar. Trotz der genannten Schwierigkeiten – oder vielleicht gerade wegen der durch sie notwendig gewordenen Verbesserungen sicherheitstechnischer und organisatorischer Art – erhöhten sich Leistung und Sicherheit im Umgang mit dem wechselhaften Gebirge zusehends. Die ausschließlich aus thailändischen Arbeitskräften bestehenden Vortriebsmannschaften waren zu geschickten und zuverlässigen Mineuren geworden, die sicher und zielbewusst ihrer täglichen Routine nachkamen. Mehr als ein Jahr lang liefen bis zu sechs Vortriebe auf Hochleistung, mit Spitzenwerten von über 14 m Vortrieb pro Arbeitstag im Durchlaufbetrieb.

Am 29. August 2002 konnte der Paghuashan-Tunnel nach 18 Monaten Vortrieb durchgeschlagen werden. Das gesamte Baulos inklusive aller Betonarbeiten (Innenschale, 16 Tunnelportale, 20 km Kabeltröge, Kontaktinjektionen und Betonkosmetik) wurde im Januar 2004 nach nur 45 Monaten Bauzeit an den Auftraggeber übergeben. Als maßgeblicher Faktor für den Erfolg der gesamten Baumaßnahme ist sicherlich die gelebte NATM zu nennen.

The dry sand and gravel layers along the route of Changwha 1 show poor apparent cohesion and distinct structuring through discontinuities. In many instances, round lengths of not more than 0.5 m were feasible and the tunnelling crews had to summon all their skill to minimise roof falls. By contrast, some clay layers several metres in thickness in major sections of the Paghuashan Tunnel led to sustained convergence, calling for early installation of the invert arch.

Despite the above difficulties – or possibly for this very reason since improvements in terms of safety and work organisation became a constant necessity – the performance and safety of the work in dealing with the variable ground conditions appreciably improved as tunnelling proceeded. The tunnelling crews, consisting entirely of Thai labour, had become skilled and reliable miners who attended to their daily routine with confidence and zeal. High-performance tunnelling was being carried on in up to six drives at a time, reaching peak advance rates of over 14 m per round-the-clock workday.

Following 18 months' tunnelling, hole-through for the Paghuashan Tunnel was celebrated on August 29, 2002. The complete lot including all concrete work (secondary lining, 16 tunnel portals, 20 km of cable troughs, contact grouting and concrete cosmetics)

was handed over to the client in January 2004, following a construction period of only 45 months. NATM translated into living practice must certainly be commended for being an essential factor for the success of the entire project.



Abb. 4. Fertiges Tunnelportal (Paghuashan-Tunnel)
 Fig. 4. Completed tunnel portal (Paghuashan Tunnel)

NATM Untertagebauwerke des KW Dagachhu

NATM Underground Structures of the Dagachhu HPP

Wolfgang Holzleitner, BERNARD Ingenieure, Austria, wolfgang.holzleitner@bernard-ing.com,
www.bernard-ing.com

Martin Fish, BERNARD Ingenieure, Austria, martin.fish@bernard-ing.com, www.bernard-ing.com

1. Einleitung

Das 126 MW Hochdruck-Wasserkraftwerk Daga Chhu liegt in der entlegenen Gegend der Provinz Dagana im südlichen Bergland Bhutans drei Tagesmärsche von der indischen Grenze entfernt.

Der Stromexport ist neben den Einnahmen aus dem Tourismus die primäre Einnahmequelle für das Königreich Bhutan. Das vom König von Bhutan 1972 als Leitvision für die nachhaltige Entwicklung seines Landes definierte Bruttonationalglück (GNH – Gross National Happiness) beinhaltet auch den Ausbau der Wasserkraft.

Mit dem groß angelegten Ausbau der Wasserkraft für den Stromexport in das wirtschaftlich aufstrebende Indien plant Bhutan auf Basis zentraler religiöser und kultureller Werte zu einem Land universaler Zufriedenheit aller Menschen zu werden und durch die Grundversorgung die Freisetzung vom materiellen Denken zu erlangen.

BERNARD Ingenieure sind seit 1992 in Bhutan am Bau von Wasserkraftanlagen mit einer installierten Gesamtleistung von annähernd 200 MW tätig. Das KW Daga Chhu befindet sich im dritten Baujahr und BERNARD Ingenieure sind seit Konzeptionierung im Jahr 2005 involviert.

2. Projektübersicht

2.1 Anlagenverhältnisse

Abb. 1 zeigt die Hauptkomponenten der Wasserkraftanlage.

Das Wasser des Daga Chhu Flusses wird durch ein 20 m hohes Wehrbauwerk aufgestaut und in Richtung Entsander umgeleitet. Ein obertägiger, geschlossener Hangkanal bildet die Verbindung zum Portal des Druckstollens. Der Kraftabstieg besteht aus einem vertikalen 270 m tiefen gepanzertem

1. Introduction

The 126 MW high-head, run-of-the-river Dagachhu Hydropower Project is a large-scale project in the previously untouched environment of the Dagana Dzongkhag, one of the remote and unvisited districts in the Kingdom of Bhutan.

The export of hydroelectric power is one of the primary sources of revenue for the Royal Government of Bhutan. At present it accounts for 45 % of the total revenues. Sustainable energy development is one of the four pillars of Gross National Happiness, GNH (proposed by the King of Bhutan in 1972 as a holistic and psychological method of defining quality of life) and is a means of increasing national revenue. Vision 2020 foresees hydropower becoming the backbone of Bhutan's economy.

The hydroelectric power generated by the DHPP will contribute significantly to the socio-economic development of the region in particular, to the country in general through export of energy to India and will also improve the standard of living for the people of Dagana.

BERNARD has been active in the Bhutanese hydropower market since 1992, working on projects with a total installed capacity of almost 200 MW. The DHPP is currently in its third year of construction. BERNARD has been involved since conception in 2005.

2. Project overview

2.1 Scheme design

The scheme design in Fig. 1 shows the key components of the project.

Water of the Dagachhu is diverted from the river towards the desilter by a 20 m high weir. A covered channel forms the connection to the upper portal of the 8 km long headrace tunnel. The drop to the pow-

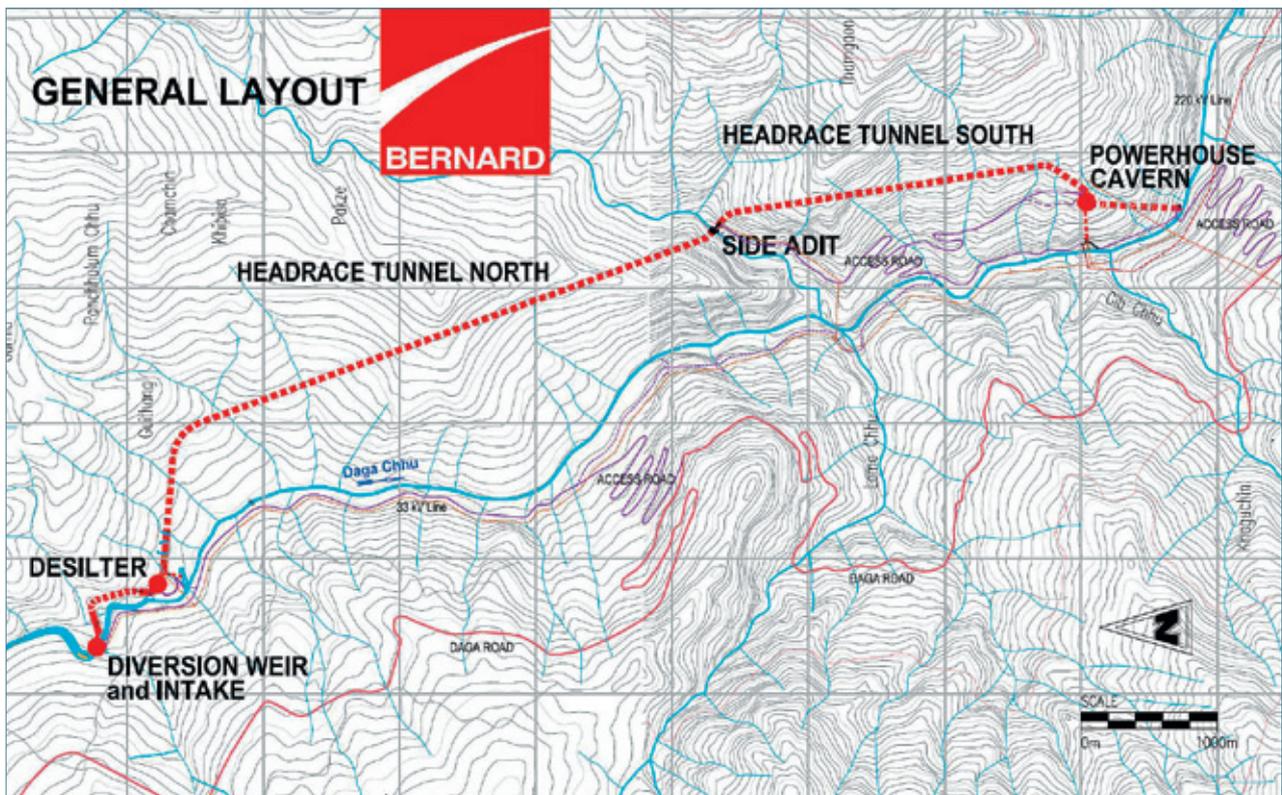


Abb. 1. Projektübersicht | Fig. 1. Project scheme design

Druckschacht welcher mittels Raise-Boring Verfahren mit 4 m Durchmesser aufgebrochen wurde. Der nahe des Druckschacht liegenden Kavernenkomplex besteht aus Zufahrtstunnel, Fluchttunnel, einer Krafthaus- und einer Transformatorenkaverne. Die Gesamtlänge des Wasserweges vom Einlauf bis zur Triebwasserrückgabe beträgt 9129 m, der Höhenunterschied 306 m.

erhouse level is achieved by a 270 m high vertical shaft, excavated by a 4 m diameter raise borer. The underground powerhouse complex comprises two caverns, two access tunnels and three construction phase adits.

The underground powerhouse complex comprises two caverns, two access tunnels and three construction phase adits.

Bauwerk / Structure	Länge [m] / Length [m]	Sonstige Details / Other details
Umleitungstunnel / Diversion tunnel	205 m	4.90 m / 5.20 m
Verbindungstunnel / Connection tunnel	476 m	4.05 m / 4.65 m
Oberwasserstollen / Headrace tunnel	7795 m	dia. 4.4 – 4.8 m (4 Vortriebe / 4 excavation faces)
Wasserschloss / Surge shaft	–	dia. 21 m, Tiefe / depth 45 m
Druckschacht / Pressure shaft	272 m	dia. 3.4 m
Druckstollen / Pressure tunnel	41 m	dia. 3.4 m
Krafthauskaverne / Powerhouse cavern	–	61.9 m x 23.9 m x 37.3 m
Trafokaverne / Transformer cavern	–	52.0 m x 14.5 m x 16.0 m
Zufahrtstunnel / Access tunnel	250 m	5.70 m / 6.20 m
Fluchttunnel / Escape tunnel	290 m	3.70 m / 4.30 m
Hilfsstollen / Adits	451 m	–
Unterwasserstollen / Tailrace tunnel	679 m	4.25 m / 5.00 m
Total	10459 m	

Tabelle 1. Zusammenfassung des Untertagebaus | Table 1. Summary of underground works

Der Triebwasserweg liegt hauptsächlich Gneis mit Quarzit und Glimmerschiefer Einschaltungen, die Kavernen liegen im Glimmer Schiefer mittlerer Festigkeit.

2.2 Bauvertragliches Umfeld

Im Jahr 2009 wurden FIDIC EPC (Turnkey) Verträge an Hindustan Construction Company (HCC) für den Bau und an das Austrian-Hydro-Consortium-Dagachhu (AHCD bestehend aus Alstom Austria GmbH and Andritz Hydro GmbH) für die Ausrüstung vergeben.

Die Positionen des Leistungsverzeichnisses sind in derartigen Verträgen meist als Pauschalen ausgeschrieben. Abweichend davon wurden die Untertagearbeiten gebirgsabhängig über Stützmittelklassen ausgeschrieben um das Baugrundrisiko vom Turn-Key-Vertrag zu isolieren.

3. Stützmittelklassen

Für die Ausschreibung der Untertagearbeiten wurden in Anlehnung an die ON 2203-1 für jedes Bauwerk meist fünf unterschiedliche Stützmittelklassen entworfen, deren Anwendung durch kostenbeeinflussende Unterscheidungsmerkmale definiert wurden:

- Die **Abschlagslänge** zur Erreichung hoher Sicherheit für Arbeiter und Bauwerk sowie akzeptabler Profilgenauigkeit
- Die **Stützmittelmenge** zur Erreichung eines sekundären Gleichgewichtszustandes gekennzeichnet durch die Abnahme bzw. dem Aufhören der Gebirgsverschiebungen
- Die **Abfolge der Arbeiten** bei Ausbruch und Stützung des Hohlraumes

Für die Kavernen wurde der Ausbruch und die Hohlraumstützung auf Basis von Berechnungsergebnissen unveränderlich vorgegeben. Die Stabilisierungstendenz der Kaver-

The total horizontal length of the artificial waterway from intake to outlet below powerhouse is approx. 9129 m. The elevation difference between the maximum water level at the intake and the turbine runner amounts to a gross head of 306 m. The underground works pass primarily through gneiss, with quartzite and mica schist intercalations; the caverns in mica schist of medium strength.

2.2 Contractual background

In 2009, FIDIC EPC (Turnkey) contracts were awarded for the Civil Works to Hindustan Construction Company (HCC) and the Electrical and Mechanical Works and the Austrian Hydro Consortium Dagachhu (AHCD: Alstom Austria GmbH and Andritz Hydro GmbH).

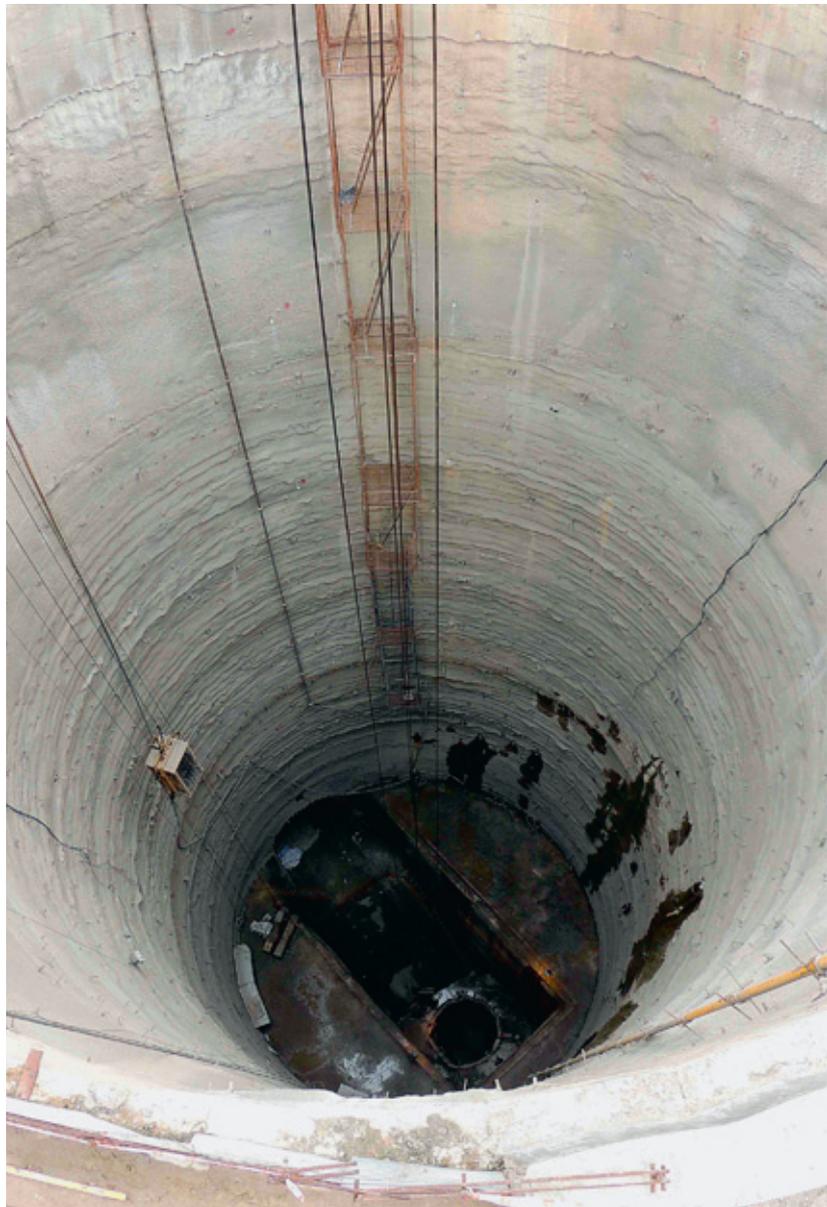


Abb. 2. Wasserschloss | Fig. 2. Surge shaft

nenhohlräume wurde mit geodätischen Vermessungen nachgewiesen. Auf die Einhaltung der Vorgaben zur Handwerklichkeit und der Ausführungsqualität wurde durch BERNARD Ingenieure aufmerksam geachtet.

4. Bauerfahrungen

Das Vorhandensein von Stützmittelklassen ermöglichte die erfolgreiche Anwendung der NATM in Bhutan. Die Festlegung der Stützmittelklasse erfolgt im Einvernehmen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer unter geringfügiger Anpassung an die örtlichen Verhältnisse.

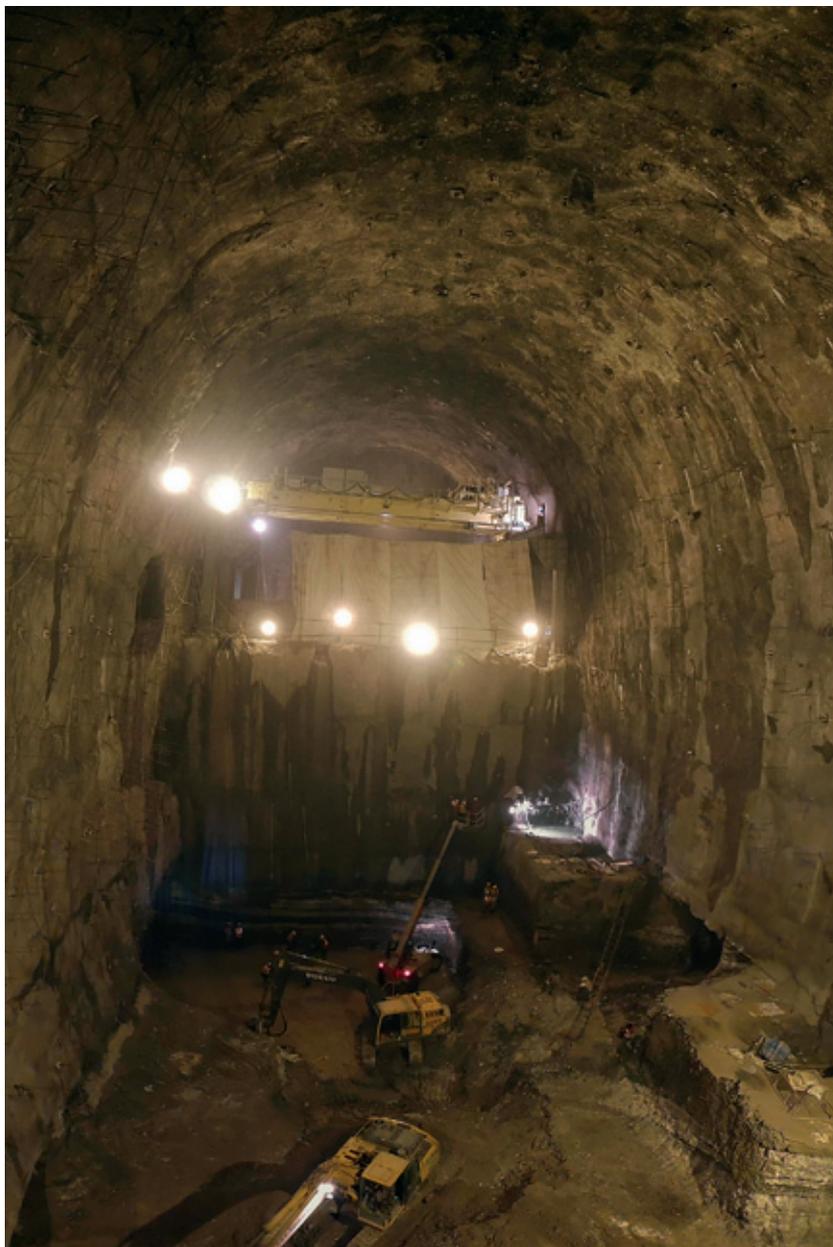


Abb. 3. Kraftkaverne | Fig. 3. Powerhouse cavern

Items in the bills of quantities were therefore generally expressed as lump sums, with the exception of underground works in the Civil Works contract, which were typically expressed as support classes to negate the ground risk for underground works which is transferred to the Contractor under an EPC contract.

3. Tendering of Support Classes

For the tendering of underground works a number of "Support Classes" (mostly five) were defined for each structure, simplified but in the style of the Austrian standard ÖN 2203-1. In order to facilitate the determination of the appropriate Support Class, the following distinguishing factors were defined:

the length of round with which the excavation can be done in a safe manner and at an acceptable accuracy of profile shape;

- the **length of round** with which the excavation can be done in a safe manner and at an acceptable accuracy of profile shape;*
- the **quantity of tunnel support** required for reaching a new state of equilibrium, derived from the cessation of deformations within a defined period of time; and*
- the **excavation and support sequence***

For the caverns, the excavation sequence and the support quantities were defined without the possibility of variation on the grounds of analysis results. The tendency to stabilisation was monitored by means of geodetic survey. Workmanship and quality were closely scrutinised by BERNARD.

4. Construction experiences

The implementation of Support Classes has enabled the successful use of NATM tunnelling in Bhutan. The Support Classes are agreed upon by the Employer and the



Abb. 3. Wehrbaugrube | Fig. 3. Weir construction site

Durch die konsequente Kontrolle und das Vorzeigen der richtigen Handwerklichkeit konnte die erforderliche Ausführungsqualität erreicht werden und führte zu einer vertrauensvollen Zusammenarbeit der Vertragsparteien.

Dies hatte überaus große Bedeutung für die besondere Herausforderung bei Ausbruch und die Stützung der Krafthauskaverne im Quartz-Glimmerschiefer moderater Gebirgsfestigkeit. Dieses Werk kann als eine Art Premiere am indischen Subkontinent betrachtet werden. Die eindrücklichen Dimensionen der Kaverne sind im Tabelle 1 angeführt. Der Kalottenausbruch wurde im Vollquerschnitt mit Abschlagslängen bis zu 1,5 m durchgeführt. Die Beachtung der richtigen Herstellungsabfolge, der erforderlichen Handwerklichkeit und der Einbauqualität der Stützmittel in den einzelnen Lagen bis zur endgültigen Stärke des Ausbaus waren eine Kernaktivität der Beratung. Nach Fertigstellung der Kalotte wurden 15 m lange Permanentstabanker eingebaut; während dieser Zeit waren Ausbruch- und Sprengarbeiten welche die Ankerqualität negativ beeinflussen könnten, nicht erlaubt. In weiterer Folge wurde die Strosse abgebaut und gestützt, das Hauptaugenmerk war auf die Fugenübergänge zwischen den Bauabschnitten gerichtet. Ausbruch und Stützung nahmen 10 Monate in Anspruch.

Wie bei allen Projekten nimmt man auch hier Erfahrungen für zukünftige Projekte im vergleichbaren Umfeld mit; dies betrifft etwa die verpflichtende Vorgabe geeigneter Tunnelbaugeräte, organisatorische Vorkehrungen zur Minimierung von Ausfallszeiten

Contractor and slightly adjusted as required by the situation at the excavation faces.

The consistent control and demonstration of the appropriate workmanship yielded the required quality and resulted in a trustful cooperation between the parties.

This was of particular importance for the challenging excavation and support of the powerhouse cavern in a quartz – mica schist formation, presumably the first of its kind in on the Indian Subcontinent. Its impressive dimensions are given in Table 1. The excavation was done with a full-face top heading with lengths of rounds not exceeding 1.5 m. Observation of the work sequence, the workmanship and quality of the support elements in various layers up to the final thickness was a key issue of our consultancy. Upon completion of the top heading, 15 m-long permanent bar anchors were installed without disturbance of any excavation and blasting works under strict quality control. Subsequently the benches were excavated and supported and the focus was on the soundness of the joints between the construction stages. Excavation and support works were completed within less than 10 months.

As with all large projects, there are lessons to be learnt for the sake of future projects. These include a mandatory deployment of appropriate tunnelling equipment, binding provisions to reduce downtimes (e.g., change of shift at the faces) and to improve progress (e.g., roadway concreting, lay byes for manoeuvring, ventilation at the excavation faces). A further lesson learned is to redefine support class in case of

(z. B. Schichtwechsel an der Ortsbrust) und zur Erreichung höherer Vortriebsleistungen (Fahrbahnbau, baubetriebliche Nischen, ausreichende Bewetterung der Arbeitsbereiche). Ein weitere Überlegung betrifft die Neu-Definition der Stützmittelklasse im Fall von verzögert oder unvollständig eingebauten Stützmitteln.

Die Inbetriebnahme des Kraftwerks wird für Ende 2013, also nur 9 Jahre nach den ersten Überlegungen zum Projekt, erwartet. Dies ist ein Realisierungszeitraum der sich im internationalen Vergleich sehen lassen kann.

delayed or incomplete installation of support elements.

The start of operation of the Dagachhu HPP is expected for the end of 2013, 9 years after the first considerations on the project. This period of implementation may be one of the shortest worldwide for a project of this kind and magnitude.

Risikobasiertes Tunneldesign für große Querschnitte in bindigen Böden

Risk-based Design for Large Tunnel Cross Sections in Soft Ground

Olav Döllmann, D2 Consult International GmbH, Austria, olav.doellmann@d2consult.eu, www.d2consult.eu

Ulrich Horny, D2 Consult International GmbH, Austria, ulrich.horny@d2consult.eu, www.d2consult.eu

Alfred Schulter, D2 Consult International GmbH, Austria, alfred.schulter@d2consult.eu, www.d2consult.eu

1. Einleitung

Im modernen Tunnelbau sind numerische Berechnungsmodelle unverzichtbare Designelemente, reichen aber alleine nicht aus, um einhergehende Risiken aufgrund von Unsicherheiten bzgl. Baugrund und Konstruktionsmethode abzudecken. Ein kontinuierliches Überprüfen und ggf. Abändern der Projekt- und Eingangsbedingungen hinsichtlich geotechnischem Modell und Ausbruchfestsetzungen im Zuge einer begleitenden Risikoanalyse sind für ein gesamtseitliches Erfassen der Projektunsicherheiten und für eine Risikominimierung unumgänglich.

2. Projekt

2.1 Beschreibung

Kernteile des komplexen Projekts sind zwei 3-spurige Tunnel ergänzt mit Zufahrtsrampen und einem separaten Autobahnabzweig, inklusive Pannestreifen mit einer gesamten Tunnellänge von ca. 10 km. Die Regelquerschnitte für die 3-spurigen Tunnel mit Pannestreifen haben einen Querschnitt von 169,0 m². Das Zusammenführungsbauwerk beider sich verschneidender Tunnel (Bifurcation Nr. 4, Abb. 1) hat einen Gesamtquerschnitt von maximal 470 m², welches in weichen Schichten mit seichter Überlagerung von 10,5–11,7 m zu liegen kommt. Der Tunnelausbruch erfolgt auf der gesamten Strecke nach den Grundsätzen der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (NÖT), wobei in den Portalbereichen Standardlösungen mit Deckelbauweise zur Anwendung kommen.

2.2 Bodenverhältnisse

Im Bereich der Bifurcation Nr. 4 fallen mittel bis dicht verfestigte Sande, Mittel- bis Feinkies mit schluffigen

1. Introduction

In modern tunnelling risks associated with the underground construction cannot be mitigated only by advanced numerical modelling due to many interrelated uncertainties pertaining the geological, geotechnical, hydrogeological and construction aspects. In many cases the pertaining ground mass conditions cannot be precisely defined prior to construction; this frequent aspect calls for a risk analysis with continuous updating of the geotechnical model and an adjustment of excavation and support to the actual ground conditions during construction to mitigate uncertainties/risks.

2. The Case History

2.1 Description

Core parts of the presented case-history are two unidirectional three-lane tunnel tubes completed by access ramps and a separate highway junction, inclusive of emergency lanes with a total tunnel length of around 10 km. Regular cross section for the three lane tunnel (incl. emergency lane) is 169,0 m². The intersection cavern of the two joining tunnels results in Bifurcation No. 4 (Fig. 1) with a maximum cross section of up to 470 m² including shallow overburden (10,5–11,7 m) and soft ground conditions. The excavation of the tunnel was mainly carried out with NATM (New Austrian Tunnelling Method) with standard solutions using Cut-and-Cover technique being applied in the portal areas.

2.2 Subsurface Conditions

The ground for urban tunnel excavation at the area of the Bifurcation No. 4 consists of medium to dense cemented sands and with medium to fine gravels and

Einlagerungen an. Weiters sind während des Vortriebs engstufige Rollkieslagen angetroffen worden. Gelegentliche Grundwasservorkommen traten in Bereichen eines wiederholt durchfahrenen, alten Flussbettes auf, die geringeren Wassereinträge führten aber keine Abminderung der Stabilität mit sich.



Abb. 1. Querschnitte Bifurcation Nr. 4 (470.3 m²)

a slight amount of silt. Layers of round gravel are encountered resulting in variable cementations during excavation. Occasional groundwater inflow was encountered across the sections of the Bifurcation No. 4 due to the presence of an old river bed but did not jeopardize the stability of the Bifurcations.

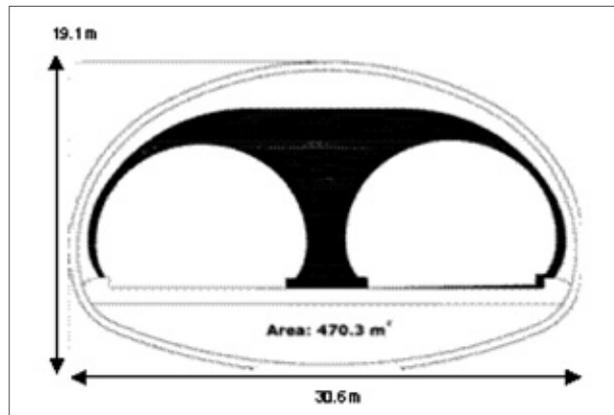


Fig. 1. Cross Sections of Bifurcation No. 4 (470.3 m²)

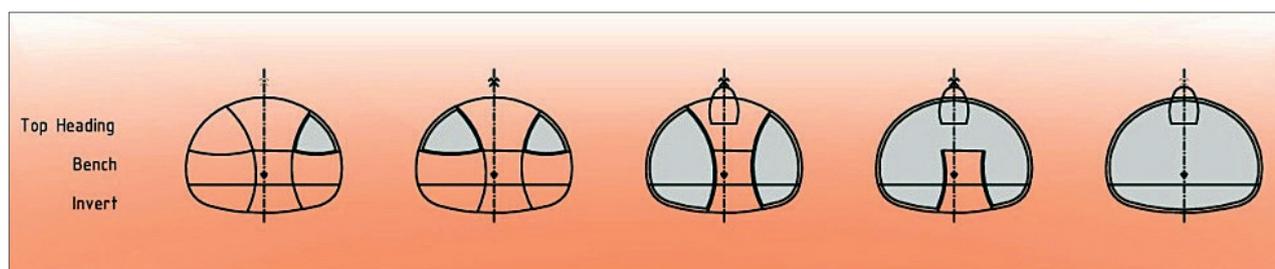


Abb. 2. Teilausbruch Sequenzen Bifurcation Nr. 4 | Fig. 2. Construction Sequences of Bifurcation No. 4

2.3 Vortrieb & Ausbruchsequenz

Für den konventionellen Tunnelvortrieb nach der NÖT in weichen Böden mit geringen Überlagerungen sind die temporären Sicherungsmaßnahmen für eine Oberflächensetzungsminimierung zu planen, und auf ein projektspezifisches Minimum zu reduzieren. Für diesen Zweck wurde der Gesamtquerschnitt der Bifurcation Nr. 4 in einzelne Teilausbruchsbereiche (geteilter Ulmenstollen & Mittelstollen) nach Abb. 2 getrennt.

Die generellen Abschlagslängen für den Kalottenvortrieb wurden mit 0,8–1,0 m festgelegt, die Strosse wurde nachlaufend mit 1,6–2,0 m langen Abschlägen ausgebrochen. In einer maximalen Entfernung von 6 m hinter der Ortsbrust wurde die Sohle in 2 m langen Abschnitten nachgezogen. Unmittelbar nach jedem Abschlag wurde der Verbau installiert und der Ringschluss zum Abschluss der Ausbauarbeiten ermöglichte die Lastabtragung mit minimalen Deformationen. Für die Außenschale des Tunnels wurden geschweißte Gittermatten, Spritzbeton, Felsanker,

2.3 Excavation & Sequential Construction

According to the NATM for conventional tunnelling in soft ground in urban environment situated at shallow depth, it is essential to plan temporary safeguards to restrict settlements of the ground surface above the tunnel and to reduce the same to a project specific minimum. Therefore the excavation was planned to be divided into side drifts, top heading, bench and invert (see Fig. 2).

The length of the excavation of the top heading was performed in 0,8–1,0 m long rounds, benching was carried out with a round length of 1,6–2,0 m tailed the top heading excavation. Reaching the maximum allowed distance of 6 m behind the face, the excavation of the invert with a length of 2 m was carried out. After each excavation round, the required support system was instantly installed. Finishing the excavation, the lining ring was closed and capable for carrying the loads with controlled minimal deformations. The initial support of the ground included wel-

Ortsbrustanker, Gitterbögen und Spieße verwendet. Der Teilausbruch und die Sicherung der Ortsbrust mit Spritzbeton war streckenweise notwendig, um sichere Arbeitsverhältnisse garantieren zu können. Um die Deformationen durch den frischen Spritzbeton zu beschränken, wurde die Vortriebsgeschwindigkeit auf 3–4 m innerhalb 24 Stunden limitiert.

2.4 Überwachung während der Bauausführung

Die Bauausführung wurde mittels eines geotechnischen, klassischen Verfahren überwacht, sodass spontane Bodenbewegungen (Setzungen) mittels zusätzlicher Stützelemente oder eines angepassten Aushubkonzeptes unmittelbar vermieden bzw. vermindert werden konnten. Die Setzungen, dargestellt in einem Zeit-Setzungsdiagramm wurden laufend mit den auf der statischen Modellierung basierenden und festgelegten Alarmwerten und festgelegten Grenzwerten (Basisgrenzwert, Alarmwert, Wert bei dem Maßnahmen erforderlich werden) abgeglichen. Der Alarmplan als Teil eines Risikomanagement Systems wurde mit den Verantwortlichkeiten innerhalb der Baustellenorganisation abgestimmt.

3. Numerische Berechnung

Grundlage für die Festlegung der beschriebenen Ausbaumvorgaben sind 2D und 3D Finite Elemente Berechnungen. Die gewonnenen Erkenntnisse während des Vortriebs bzgl. Geologie und Systemverhalten des Bauwerks wurden stetig am Berechnungsmodell evaluiert und ggf. Änderungen des Vortriebsschemas veranlasst.

4. Risikomanagement und -minimierung

Aufgrund der Voraussetzungen bzgl. Geologie, geringe Überlagerung und der enormen, unvergleichlichen Querschnittsausmaße von 470 m² kann das Verzweigungsbauwerk Bifurcation Nr. 4 als Kernstück des Projektes bezeichnet werden.

Für die Risikobetrachtung war es schon zu Projektbeginn notwendig, alle projektspezifischen Aspekte der Planung und der Ausführung einzeln und im Ganzen zu analysieren. Als infrage kommende Aspekte sind dabei: Statik, Auffahrungskonzept in Teilausbrüchen, Kenntnis der Qualifikation von der örtlichen Bauunternehmung und deren Mitarbeiter für die gewählte Ausführungsmethode, zur Verfügung stehender Maschi-

ded wire mesh, shotcrete, rock bolts, face bolts, lattice girders and anchors. Partial opening and support of the excavation face with shotcrete was partially required to provide safe tunnelling conditions. The advance rate was restricted to 3–4 m in 24 hours to limit deformations caused by the young shotcrete lining.

2.4 Monitoring during Construction

Construction was supervised by a classical, geotechnical monitoring program. It was implemented to counter unexpected behaviour of the ground (displacements) by considering additional support elements or a modified construction concept. Deformations were represented in a time/deformation diagram and for decisions on site, trigger values and warning levels (normal behaviour, reaction stage and critical situation) were defined by the results of the structural analyses. An alarm plan was established, following precisely a chain of responsibility as part of the risk management system and concept.

3. Numerical Modelling

Extensive 2D and 3D numerical analyses have confirmed the proposed multi-stage construction steps and furthermore have been conducted as an important design tool for back analysis and evaluation of excavation data provided from onsite.

4. Risk Management and Mitigation

Due to the project parameters such as geology, low overburden and the exceptionally large dimension of the cross section (470 m²) Bifurcation No. 4 can be considered as the most challenging component of the project.

At the beginning it was important for the risk evaluation to consider all aspects of the design and the construction phase and to assess these in total. The aspects of the design to be considered are the following: structural calculations, excavation concept, system questions, introducing new technology that are unknown to the local contractors, consideration on quality capabilities in regard to management, skills of the workers, available equipment and materials. Based on this evaluation possible risks and hazards have been defined in a very early stage of the design.

nenpark bzw. zur Verfügung stehendes Baumaterial. Aufgrund dieser Evaluierung wurden mögliche Risiken und Versagensformen/-wahrscheinlichkeiten in einer sehr frühen Phase der Tunnelplanung bestimmt.

Die Ergebnisse der Risikoanalyse wurden allen Projektbeteiligten gleichermaßen zur Kenntnis gebracht. Die Risikoanalyse wurde während der Bauausführung mit den laufend gewonnenen Erkenntnissen fort-schreibend überprüft und aktualisiert. Dieser notwendige Prozess sicherte die Aktualität des planungs- und ausführungsbegleitenden Risikomanagements für das Verzweigungsbauwerk Bifurcation Nr. 4 und letztendlich auch den Erfolg dieser außergewöhnlichen Bau-maßnahme.

5. Zusammenfassung

Eine einzigartige Tunnelverzweigung mit großem Querschnitt (470 m² Ausbruchsquerschnitt) im innerstädtischen Bereich mit geringer Überlagerung (10,5–11,7 m) birgt zwangsläufig hohe Risiken, die mittels numerischer 2D und 3D Analyse für den Aushub und den Innenschalenverbau untersucht wurden. Die geotechnischen Untersuchungen aus Sicht des Risikomanagements wurden als nicht ausreichend angesehen. Die Methoden zur Risikovermeidung und -verminderung beinhalteten in-situ Messungen, Lining Design/Planung und Umsetzung und gezielte Schulungen des Bauunternehmers, der erstmalig ein Projekt von solchen Dimensionen in weichen Böden, und innerstädtisch durchführte. Das angewandte Konzept setzte eine schrittweise, sich wiederholende Abgleichung des Designs mit der Risikoanalyse/-bewertung voraus, bei der alle während der Bauausführung möglichen Risiken, berücksichtigt wurden. Alle diese Voraussetzungen berücksichtigend wurde das Verzweigungsbauwerk Bifurcation Nr. 4 schließlich ohne größere Probleme fertig gestellt. Der Erfolg bestätigt, dass ein risikoanalysen-basiertes Design ein vielversprechendes und erfolgreiches Werkzeug für alle Beteiligten (Planer, Auftragnehmer und Auftraggeber) eines Tunnelbauprojektes ist und Sicherheit im Hinblick auf Stabilität und der bauausführenden Prozesse sowie Kosten und Zeit gewährleistet.

6. Referenzen

[1] Institution of Civil Engineers (ICE). (1996), "Sprayed Concrete linings (NATM) for Tunnels in Soft

The results of the risk analysis were published to and for all parties involved in the project.

The results of the risk analysis were reviewed and reflected during the whole project. The knowledge and experience gained from completed work were reassessed and integrated in the updated risk analysis. This process guaranteed the timelines of the design and construction accompanying risk managements for the Bifurcation No. 4 and finally also the success of this exceptional and remarkable construction project.

5. Conclusion

A unique motorway tunnel bifurcation within a big section (extraordinary cross section of 470 m²) in an urban area in soft ground under small cover (10,5–11,7 m) necessarily holds high risk potential that have been analysed with the help of 2D and 3D numerical analyses for the staging of the bifurcation excavation and lining installation. Geotechnical conditions were not considered sufficiently investigated from the risk management point of view. Risk mitigation measures included evaluating the design methodology with the in-situ measurements, lining envisaging and adaptations, and increasing the awareness of the contractor who was dealing for the first time with a project of such dimensions in soft ground and inner urban areas. The adopted concept required a stepwise repeating loop between design and risk evaluation for scenarios considering all possible hazards during the construction. Following all that requirements finally the bifurcation was built without any major problem such as unexpected deformations, failures or breakdowns. Success proves that a risk analyses based design is a successful tool for all parties involved (Designer, Contractor and Client) in a tunnelling project and can provide safety with regard to stability and construction processes as well as regarding cost and time.

6. References

[1] Institution of Civil Engineers (ICE). (1996), "Sprayed Concrete linings (NATM) for Tunnels in Soft Ground". ICE design and practice guide, Thomas Telford Publishers, London, UK.

[2] Rabcewicz, L.v. (1964). "The new Austrian tunnelling method" Water Power, part 1, pp. 511–515.

Ground". ICE design and practice guide, Thomas Telford Publishers, London, UK.

[2] Rabcewicz, L.v. (1964). "The new Austrian tunneling method" *Water Power*, part 1, pp. 511–515.

[3] Rabcewicz, L.v. (1965). "The new Austrian tunneling method" *Water Power*, Part 2, pp. 19–24

[4] Rabcewicz, L.v. & Golser, J. (1973) "Principles dimensioning the support system for the new Austrian tunneling method" *Water Power*, pp. 88–93.

[5] Wagner, H. (2006). "Risk Management at the Limits of Conventional Tunneling – Analysis of the State of the Art", *International Conference and Exhibition on Tunneling and Underground Space Use, World Tunnel Congress April 2006, Seoul/Korea.*

[6] Wagner, H. (2009). "The Importance of the Design and Related Risks", *Workshop „Underground Structures in Hot Climate Conditions“, December 8–9, 2009, Ministry of Transportation, Riyadh/Saudi Arabia.*

[3] Rabcewicz, L.v. (1965). "The new Austrian tunneling method" *Water Power*, Part 2, pp. 19–24

[4] Rabcewicz, L.v. & Golser, J. (1973) "Principles dimensioning the support system for the new Austrian tunneling method" *Water Power*, pp. 88–93.

[5] Wagner, H. (2006). "Risk Management at the Limits of Conventional Tunneling – Analysis of the State of the Art", *International Conference and Exhibition on Tunneling and Underground Space Use, World Tunnel Congress April 2006, Seoul/Korea.*

[6] Wagner, H. (2009). "The Importance of the Design and Related Risks", *Workshop „Underground Structures in Hot Climate Conditions“, December 8–9, 2009, Ministry of Transportation, Riyadh/Saudi Arabia.*

Dorkada Tunnel, Nordgriechenland

Dorkada Tunnel, Northern Greece

Andreas Goricki, 3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH, Österreich, office@3-g.at, www.3-g.at

1. Projektbeschreibung

Der Dorkada Tunnel ist Teil der Nord-Süd Verbindung „Thessaloniki – Serres – Promachonas“, einer der sogenannten „Vertikalen Achsen“ der Autobahn Egnatia Odos in Nordgriechenland. Der zweiröhriger Autobahntunnel hat eine Länge von rund 500 m und wurde zum Großteil bergmännisch (NÖT) bei Überlagerungen von maximal 30 m aufgefahen. Im Bereich des Südportals wurden etwa 100 m in offener Bauweise mit einer Überschüttung von bis zu 7 m hergestellt.

Beide Tunnelröhren haben zwei Fahrstreifen und beidseitige Gehwege bei einem Tunnelinnendurchmesser von 11.0 m. Neben den Wartungs-, Notfall- und Elektronischen gibt es einen Querschlag in der Tunnelmitte, der die Tunnelröhren verbindet.

2. Baugrund

Der bergmännische Tunnel wurde in geklüftetem, zum Teil stark verwittertem Gneis vorgetrieben. Das Verhalten des Gebirges wird im Wesentlichen von der Zerlegung dominiert. In Bereichen mit starker Verwitterung ist der Fels zum Teil vollständig grusig zersetzt. Das Festgestein ist von einer schluffig-sandigen Überlagerungsschicht überdeckt. Die Grenze zwischen dem Locker- und dem Festgestein ist etwa horizontal, woraus sich aufgrund der leichten Lehnenlage des Tunnels eine variierende Mächtigkeit der Überlagerungsschicht von Dezimetern bis Zehnermetern über dem Tunnel ergibt.

3. Problemlösung Südportal

3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH wurde nach einem Verbruch eines Teils des Tunnels und des gesamten Südportals für die Planung und baubegleitende Beratung der Wiederherstellungsarbeiten vom Auftraggeber dem Projekt zugezogen.

1. Project Description

The Dorkada tunnel is part of the north-south connection “Thessaloniki – Serres – Promachonas”, one of the so-called vertical axes of Egnatia Odos highway project in Central Macedonia – Northern Greece. The twin tube freeway tunnel has a length of approximately 500 m and was constructed as a conventionally mined tunnel (NATM) with a maximum overburden of up to 30 m. At the South portal Cut & Cover tunnels with a length of approximately 100 m for each tube were constructed with a back fill height of up to 7 m.

Each tunnel has two traffic lanes, walkways at both sides and an inner diameter of 11.0 m. Besides maintenance, emergency and E&M niches one cross passage situated in the centre of the tunnel connects the two tubes.

2. Ground Condition

The mined tunnel was excavated in fractured and partially heavily weathered Gneiss. The behaviour of the rock mass was mainly dominated by the degree of fracturing. In sections with heavy weathering the rock mass is entirely disintegrated. The Gneiss is covered by a clayey-sandy soil surface layer. The border between the soil layer and the bed rock is approximately horizontal. With the tunnel alignment parallel to the hill slope this leads to a varying thickness of the cover layer from decimetres up to tens of meters.

3. Solutions for Problems at the South Portal

3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH was asked to develop the rehabilitation design after a collapse of parts of the tunnel including the failure of the entire South portal.



Abb. 1. Dorkada Tunnel, Südportal, Situation unmittelbar nach dem Verbruch
 Fig. 1. Dorkada tunnel, South portal, situation right after the collapse

Nach der Fertigstellung des Vortriebs und der Außenschale des linken Tunnels und im Zuge der finalen Vortriebsarbeiten an der Strosse/Sohle im rechten Tunnel ereignete sich ein Verbruch im Bereich des Südportals. Bei einer Überlagerung von etwa einem Tunneldurchmesser verbrachen beide Tunnelröhren auf eine Länge von etwa 30 m vollständig. Zudem kam es zum Versagen großer Teile der Böschungen des Portaleinschnitts.

Auslöser für den Verbruch war ein lokales Versagen der Tunnelaußenschale bei den Vortriebsarbeiten für die Strosse im Bereich von stark verwitterten Gneisen. Da die Überlagerungsschicht aus Lockergestein in diesem Bereich unmittelbar in der Tunnelfirste anstand, kam es zu einem raschen progressiven Versagen, das sich auch auf die benachbarte, bereits aufgefahrene Tunnelröhre und den Portaleinschnitt ausweitete. Abbildung 1 zeigt die Situation unmittelbar nach dem Verbruch.

Nach der Ursachenfindung wurden unterschiedliche Konzepte zur Wiederherstellung der Tunnel in Abstimmung mit den vor Ort zur Verfügung stehenden Möglichkeiten entwickelt. In Abstimmung mit

After the finalization of the excavation and primary support of the left tunnel and during the excavation works for the bench and invert of the right tunnel a collapse occurred at the south portal area. With an overburden of only approximately one tunnel diameter both tunnels collapsed for a length of approximately 30 m. Additionally major parts of the slopes of the South portal cut failed.

Triggering factor for the collapse was the local failure of the primary shotcrete lining during the bench excavation in a section with highly weathered Gneiss. Due to the fact, that the soil cover layer reached down to the tunnel roof a progressive shear failure developed rapidly up to the surface. With the loss of confinement pressure the collapse extended also to the already finalized parallel tunnel and to the portal cut. Figure 1 shows the situation right after the collapse.

After the investigation of the causes for the failure different rehabilitation concepts were developed based on local boundary conditions. In coordination with the Client and the Contractor a detailed rehabilitation design was developed focusing on the stabilisation of the tunnels and the excavation of the failed area.

dem Auftraggeber und der bauausführender Firma wurde ein Konzept, das den Abtrag des Verbrauchsbereiches bei vorheriger Stabilisierung der Tunnel vorsah, im Detail ausgearbeitet.

In einem ersten Schritt wurden dazu die Tunnel im Nahbereich des Verbruchs rückgefüllt und auf eine Länge von rund 20 m Tunnel im Schutze von Rohrschirmen neu aufgefahren. Die Außenschale wurde dabei so dimensioniert, dass sie die Standsicherheit für die anschließenden Abtragsarbeiten über Tage gewährleistete. Schließlich wurde der Portaleinschnitt vergrößert und der gesamte Bereich des Verbruchs abgetragen. Die vorab wiederaufgefahrenen Tunnel stellten dabei den Übergang zwischen neuer Portalböschung und den bergmännischen Vortrieben dar. Durch den völlig neu gestalteten und den deutlich vergrößerten Portaleinschnitt wurde die offene Bauweise verlängert, die aufgrund der geänderten Einschütthöhen neu dimensioniert werden musste.

In a first step both tunnels were back filled in the area close to the collapsed zone. Then a 20 m long tunnel section adjacent to the collapse area was re-mined in each tunnel using pipe umbrella support. The primary lining of these re-mining sections was strengthened to carry the additional loads resulting from later slope cut excavation. Finally the portal cut was extended and the entire area of the collapse was excavated. The previously already re-mined tunnel sections created the transition from the new portal slope to the mined tunnel. The new designed and enlarged portal cut required longer Cut & Cover tunnel sections, which had to be re-designed due to the increase of the back fill height.

4. Execution of the Rehabilitation Works

The rehabilitation works for the tunnel and the portal cut were executed mainly within the existing



Abb. 2. Ausführung der Wiederherstellungsarbeiten, Verstärkung Außenschale und neuer Portaleinschnitt
Fig. 2. Execution of rehabilitation works, re-mining of tunnel and new enlarged portal cut

4. Ausführung der Wiederherstellungsarbeiten

Die Arbeiten zur Wiederherstellung der Tunnel und des Portaleinschnitts wurden so weit wie möglich im Rahmen des bestehenden Bauvertrags umgesetzt. Die Planung der Wiederherstellungsarbeiten wurde deshalb so konzipiert, dass möglichst Bauverfahren und -geräte zum Einsatz kamen, die bereits auf der Baustelle verfügbar waren. Dadurch konnten die Arbeiten rasch begonnen und auch relativ kostengünstig umgesetzt werden.

Eine wesentliche Rolle bei der Bauausführung spielte die Qualitätskontrolle sowie die laufende Anpassung der Planung an die tatsächlich angetroffenen Verhältnisse im Verbrauchsbereich, wofür ein „Planer vor Ort“ während der wichtigen Arbeitsphasen anwesend war. Die Arbeiten wurden ohne weitere Zwischenfälle erfolgreich umgesetzt.

Abbildung 2 zeigt die Arbeiten zur Herstellung einer verstärkten Tunnelaußenschale im Nahbereich des Verbrauchs durch Wiederauffahren des rückgefüllten Tunnels im Schutz eines Rohrschirms (Bild links oben). Das Bild rechts oben zeigt die Situation während des Aushubs des vergrößerten neuen Portalbereichs im Übergang zu den bereits wiederaufgefahrenen Tunnelröhren. Die Gesamtansicht des Portaleinschnitts im unteren Teil der Abbildung zeigt die Situation nach dem Aushub des Verbrauchsbereiches und somit der Herstellung standsicherer Verhältnisse des Südportals.

construction contract. Due to this the design was focusing on the application of construction methods and machinery covered by the contract and available on site. With this approach the works could be started immediately with only limited additional costs.

An important aspect during the execution of the construction works was the quality control and the adjustment of the design onto the actual conditions especially in the area of the collapsed ground volume. Therefore a "design engineer on site" was installed during the critical construction phases. The rehabilitation works were executed successfully without any further incidents.

Figure 2 shows the works for the re-mining of the primary tunnel lining in the vicinity of the collapse. The tunnel was back filled and a pipe umbrella was installed for additional roof support (upper left). The upper right photo shows the situation during excavation of the collapsed material at the level of the existing already re-mined tunnels. The overview of the portal cut in the lower part of the figure shows the situation after the excavation of the collapsed area and the establishing of stable conditions at the South portal.

Das Bolu Tunnelprojekt – Türkei

The Bolu Tunnel Project – Turkey

Johann Brandl, GEOCONSULT, Austria, johann.brandl@geoconsult.eu, www.geoconsult.eu

1. Einleitung

Die Querung des Bolu-Passes stellt den zentralen Teil des Gümüşova-Gerede-Abschnittes der Anatolischen Autobahn zwischen Istanbul und Ankara dar. Die Querung besteht aus mehreren langen Viadukten, Dämmen, Voreinschnitten sowie den beiden ca. 3 km langen parallelen Röhren des Bolu Tunnels.

Der Auftraggeber wird durch die Türkische Autobahnadministration (KGM) repräsentiert. Das Projekt wurde als design-and-build Vertrag an die italienische Baufirma Astaldi S.p.A. übergeben, die 1990 Geoconsult ZT GmbH mit der Planung der Tunnels entsprechend der Prinzipien der NATM beauftragten. Das Projekt erlitt im Zuge der Ausführung starke Rückschläge durch unerwartet schwierige Gebirgsverhältnisse sowie durch das schwere Düzce-Erdbeben im November 1999, welches zu schweren Schäden und Verbrüchen in beiden Tunnelröhren führte.

2. Tunnel

Der Bolu Tunnel besteht aus zwei parallelen ca. 3,2 km langen Röhren mit einem Längsgefälle von 2 %. Obwohl ursprünglich als zweispurige Autobahntunnel ausgelegt, erfolgte in einer frühen Projektphase die Änderung auf zwei jeweils dreispurige Röhren, was zu sehr großen Ausbruchsquerschnitten zwischen 140 m² und 170 m², abhängig von der Stützmittelklasse, führte. Die zwei Röhren sind durch einen 40 m mächtigen Felspfeiler voneinander getrennt und in Abständen von rund 400 m mit begehbaren und befahrbaren Querschlägen miteinander verbunden. Grundlage für die Planung stellte die ÖN B2203 mit Modifikationen entsprechend den Vorgaben des Auftraggebers KGM dar.

3. Geologie

Das Projekt befindet sich ca. 10 km nördlich der Nord-anatolischen Fault-Zone (NAFZ), welche die platten-

1. Introduction

The Bolu Tunnel Mountain Crossing forms the central part of the Gümüşova-Gerede Stretch of the Anatolian Motorway between Istanbul and Ankara. The crossing consists of several large viaducts, dams, open cuts and the two parallel approximately 3 km long Bolu Tunnels.

The Employer is represented by the Turkish Highway Administration (KGM). The project was awarded as design and build contract to the Italian Contractor Astaldi S.p.A, who contracted Geoconsult in 1990 with the design for the tunnels in accordance to the NATM. The project suffered several severe setbacks during its execution, such as unexpected adverse ground conditions and the heavy Düzce – earthquake in November 1999, which caused extensive damages and collapses in both tunnel tubes.

2. Tunnel

The Bolu Tunnel has two parallel tubes each 3.2 km long with a longitudinal gradient of 2 %.

Although initially envisaged as two parallel double – lane tunnels, the project was modified at an early stage to two three-lane tunnels, which led to rather large cross sections between 140 m² and 170 m², depending on the support class. The two tubes are separated by a rock pillar of 40 m width and are connected with pedestrian and vehicular cross adits at distances of some 400 m.

The design was based on the principles of the NATM according to Austrian Standard ÖN B2203 with some modifications to account for local conditions and requirements of the Employer.

3. Geology

The project lies approximately 10 km north of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), which is the

tektonische Grenze zwischen der Eurasischen Platte und dem Anatolischen Block darstellt. Die Störung ist durch steilstehende, West-Ost streichende Seitenverschiebungen charakterisiert und quert die Tunneltrasse. Die jährliche Bewegungsrate der Störung beträgt im Raum Bolu etwa 15 mm. Erst 1993 zeigten wissenschaftliche Studien, dass in früheren Aktivitätsphasen an derselben Stelle eine Überschiebungstektonik vorherrschte, die zu bis über 100 m mächtigen, flachliegenden Zonen komplett zerlegten Störungsgesteins führte.

Die Gebirgsarten entlang der Tunneltrasse sind meist mäßig bis extrem schlechtes Material (Störungsgestein). Kleinere Linsen kompakten Gesteins schwimmen in der tektonischen Melange, so eine 150 m mächtige Marmorzone, die als Aquifer mit 18 bar Wasserdruck fungiert. Als Gesteine liegen Konglomerate, Kalke und Dolomite vor. Die tektonischen Bewegungen haben die unterschiedlichen Gesteinsarten so zerlegt und bewegt, dass eine Strecke in ein und derselben Gesteinsart kaum eine Länge von mehr als wenige hundert Meter übersteigt.

plate-tectonic boundary between the Eurasian Plate and the Anatolian Block. This fault is characterised by steep, W-E striking strike-slip faults intersecting the tunnel alignment. The fault is active with movements of approximately 15 mm per year in the Bolu region. Only in 1993 scientific studies revealed that in previous phases of activity – the pre-NAFZ phase – the tectonic environment was characterised by thrust faulting, which led to the formation of low-angle fault gouge zones, some of them up to 100 m wide.

The rock mass conditions along the alignment are mostly poor with several sections extremely poor. Smaller lenses of competent rock mass exist within the tectonic melange, such as a 150 m wide marble zone with an initial water head of 180 m above the tunnel. In lithological terms, the rock mass along the Bolu Tunnel alignment consists of conglomerates, limestone and dolomitic limestone. Tectonic movements have sheared and displaced the various rock types, so that one unit can rarely be found continuously over a stretch exceeding a few hundred meters in length.

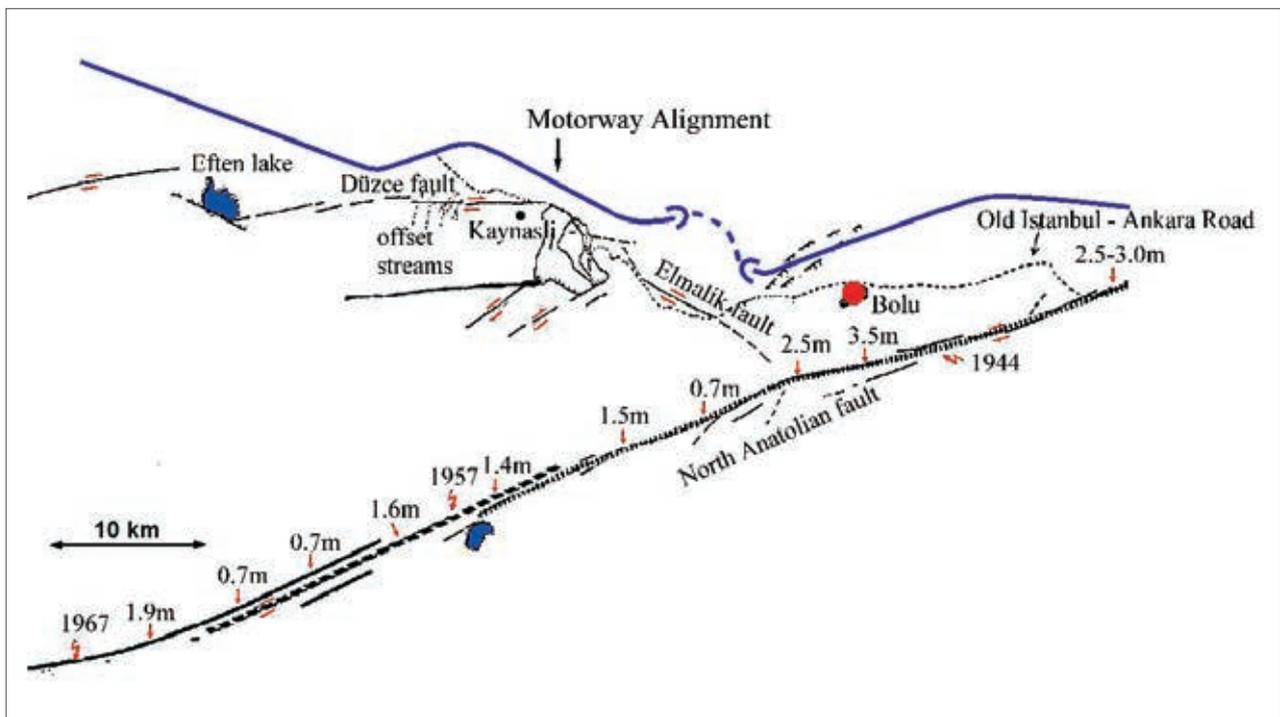


Abb. 1. Tektonische Darstellung der Region Bolu | Fig. 1. Tectonical Map of the Bolu Tunnel Region

4. Projektgeschichte

Die Vortriebsarbeiten begannen 1993 auf der Istanbul zugewandten Seite (Asarsuyu) und 1994 auf der Ankara zugewandten Seite (Elmalik).

4. Project History

Tunnel excavation works started in 1993 at the Istanbul Portal side (Asarsuyu portal) and in 1994 at the Ankara Portal side (Elmalik portal).



Abb. 2. Verbrauchsbereich Elmalik | Fig. 2. Collapsed Section at Elmalik

Die ersten 700 m Vortriebsarbeiten gestalteten sich als problemlos ohne außerordentliche Schwierigkeiten mit nur marginalen Adaptierungen der geplanten Vortriebsklassen. Der weitere Vortrieb war jedoch durch große, konstante Verschiebungen charakterisiert welche nur durch Herstellung des Ringschlusses mit einer Spritzbetonsohle gestoppt bzw. zumindest reduziert werden konnten. Verschiebungen von mehr als 1 m resultierten zu erheblichem Nachprofilierungsbedarf, starke Sohlhebungen resultierten in der Notwendigkeit, dass die ursprünglich eingebaute Spritzbetonsohle durch eine 4.5 m tiefe monolithische Betonsohle ersetzt werden musste. In 1996 wurde in Elmalik nach ca. 300 m Vortrieb die erste massive Störungszone angetroffen, welche aufgrund massiver Verschiebungen zur Notwendigkeit eines Verfüllens der Kalotte über eine Länge von 40 m führte, um einen kompletten Verbruch dieser Strecke zu vermeiden.

Als Konsequenz wurden mehrere innovative Lösungen entwickelt, um diese stark druckhaften Bereiche

The first 700 m of tunnel excavation presented reasonable difficulties within the expected range of the designed support classes with only minor adjustments. Further excavation was characterized by large, constant movements up to 1 m which could only be stopped or at least reduced after ring closure. Deformations of more than 1 m led to extensive reprofiling requirements. Excessive invert heave required the replacement of the originally installed shotcrete invert by a massive 4.5 m deep monolithic concrete invert. In 1996, the first major fault gouge zone was encountered at the Elmalik portal excavation, after approximately 300 m of advance. Excavation through this zone led to large deformations and the top heading had to be backfilled for a length of 40 m to avoid a complete collapse of this stretch.

Several innovative design solutions were developed to cope with the highly squeezing nature of this rock mass, one of these called "Option 4", with the philosophy to pre-create stiff abutments for the top heading prior to excavation. For this solution, two 5 m

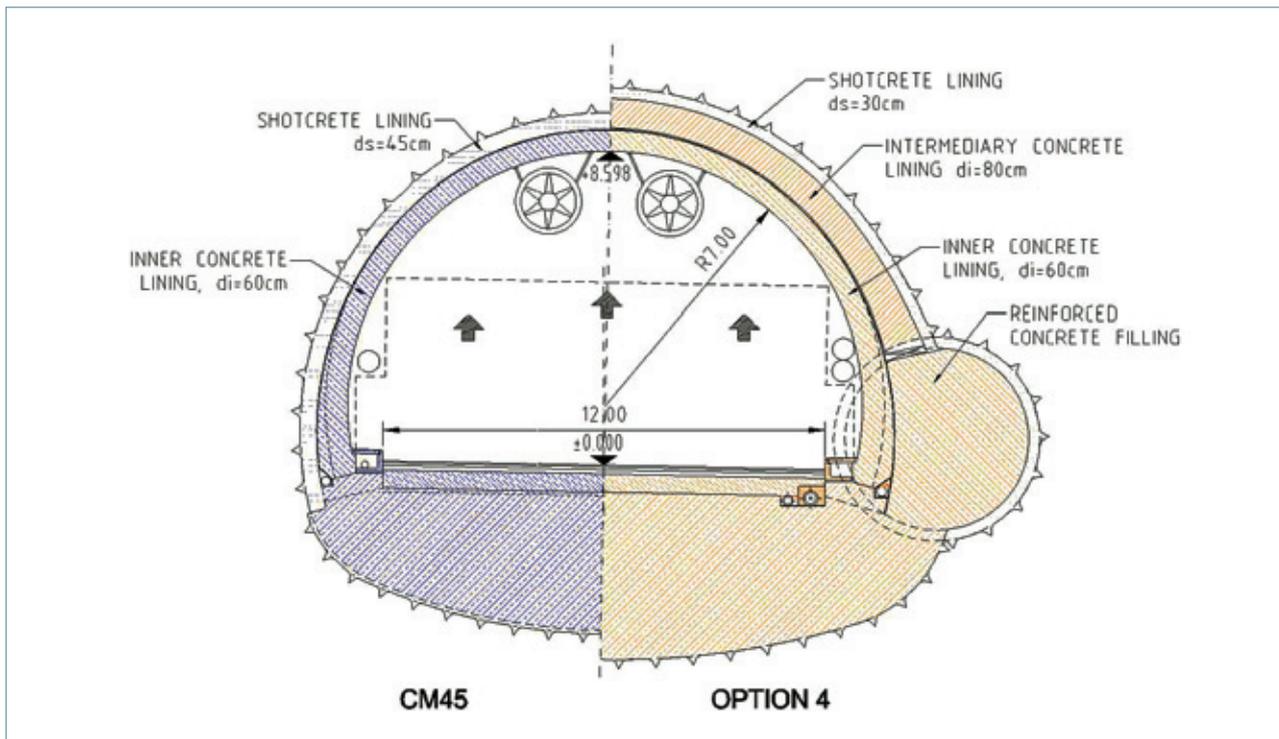


Abb. 3. Gegenüberstellung Standardquerschnitt – Option 4
 Fig. 3. Comparison Standard Cross Section – Option 4

durchhörtern zu können. Eine dieser Lösungen, genannt „Option 4“, sah die Herstellung von Auflagern für die Kalotte vor. Auffahren dieser vor. Zu diesem Zweck wurden auf Strossenniveau zwei 5 m durchmessende Pilotstollen vorgetrieben und mit Beton verfüllt. Mit dieser Lösung konnten sämtliche massive Störungszonen erfolgreich durchquert werden.

1999 wurde die Türkei von zwei verheerenden Erdbeben heimgesucht. Das zweite, sogenannte Düzce-Beben geschah am 12.11.1999 in einer Stärke von 7.1 und dem Epizentrum nur ca. 20 km westlich der Baustelle. Die gemessenen Horizontalbeschleunigungen betrugen 0.6 bis 0.8 g und lagen damit weit über der Planungsvorgabe von 0.4 g. Als Konsequenz dieses Bebens kam es zu einem massiven Verbruch beider Tunnelröhren in Elmalik über eine Länge von ca. 250 m ausgehend von der zuvor erfolgreich durchquerten Störungzone. Die anderen Bereiche des Tunnels inklusive der Bereiche wo bereits die Innenschale eingebaut war, erlitten nur geringfügige bis vernachlässigbare Schäden.

Als Konsequenz auf dieses Erdbeben erfolgte eine neuerliche Betrachtung der Seismizität der Bolu-Region, mit dem Ergebnis, dass das „Design-Beben“ erhöht wurde sowie mit der Notwendigkeit von

diameter pilot tunnel at bench level were excavated and filled with concrete to serve as abutments for the following main tunnel excavation. With this solution all zones of highly squeezing ground could be crossed successfully.

In 1999 two disastrous earthquakes struck Turkey. The second, so-called Düzce quake occurred on 12.11.1999 with a magnitude of 7.1 and its epicenter only some 20 km west of the project site. Horizontal accelerations of 0.6 to 0.8 g were measured at stations in the vicinity close to the site, far in excess of the design earthquake with 0.4 g. At the Elmalik side both tunnel tubes collapsed over a stretch of some 250 m in an area where previously a massive fault gouge zone had been crossed and where no inner concrete lining was yet been installed. Other sections of the tunnels, including all section where inner lining had already been installed, suffered only minor to negligible damage.

As a consequence to the earthquake, a reassessment of the seismicity of the Bolu region was undertaken, resulting in an increase of the design earthquake load and in the requirement of special design solutions for the so-called Bakacak-fault, which was found to be seismic active. To provide the required flexibility of

speziellen Lösungen für die sogenannte „Bakacak-Fault“, die im Zuge dieser Betrachtung als seismisch aktiv erkannt wurde und die den Tunnel kreuzte. Um der Innenschale die erforderlichen Bewegungsmöglichkeiten im Falle eines Erdbebens zu ermöglichen, wurde die Blocklänge auf 4.4 m reduziert und zwischen den Blöcken und in der Sohle wurden „seismische Fugen“ mit einer Weite von 0.5 m eingeführt. Mit dieser Maßnahme konnte der Scherwiderstand reduziert und eine Bewegungsmöglichkeit der Blöcke in Längs- und Querrichtung geschaffen werden. In den seismischen Fugen des Gewölbes ist das anstehende Gebirge nur durch die Außenschale gestützt, in der Sohle wurden die seismischen Fugen mit Schaumbetonblöcken gefüllt.

the inner lining in case of another earthquake, the inner lining and the concrete invert block length within the seismic active fault were reduced to 4.4 m by introduction of so-called seismic joints with a width of 0.5 m. With this measure, the shear resis-



Abb. 4 und 5. Sesimische Fugen in Sohle und Innenschale | *Fig. 4 and 5. Seismic Joints at Invert and Lining*

Für den in Elmalik verbrochenen Tunnelbereich wurden mehrere Alternativen, so unter anderem auch das Wiederauffahren nach einer Verfestigungskampagne, ausführlich studiert. Nach Diskussionen mit dem Auftraggeber wurde schlussendlich entschieden, die verbrochenen Bereiche mit einer Alter-

tance was reduced, thus allowing differential movements of the inner lining and invert segments in longitudinal and transversal direction. Within the seismic joints, the ground is only supported by the primary shotcrete lining. In the invert, the seismic joints are filled with foam concrete blocks.

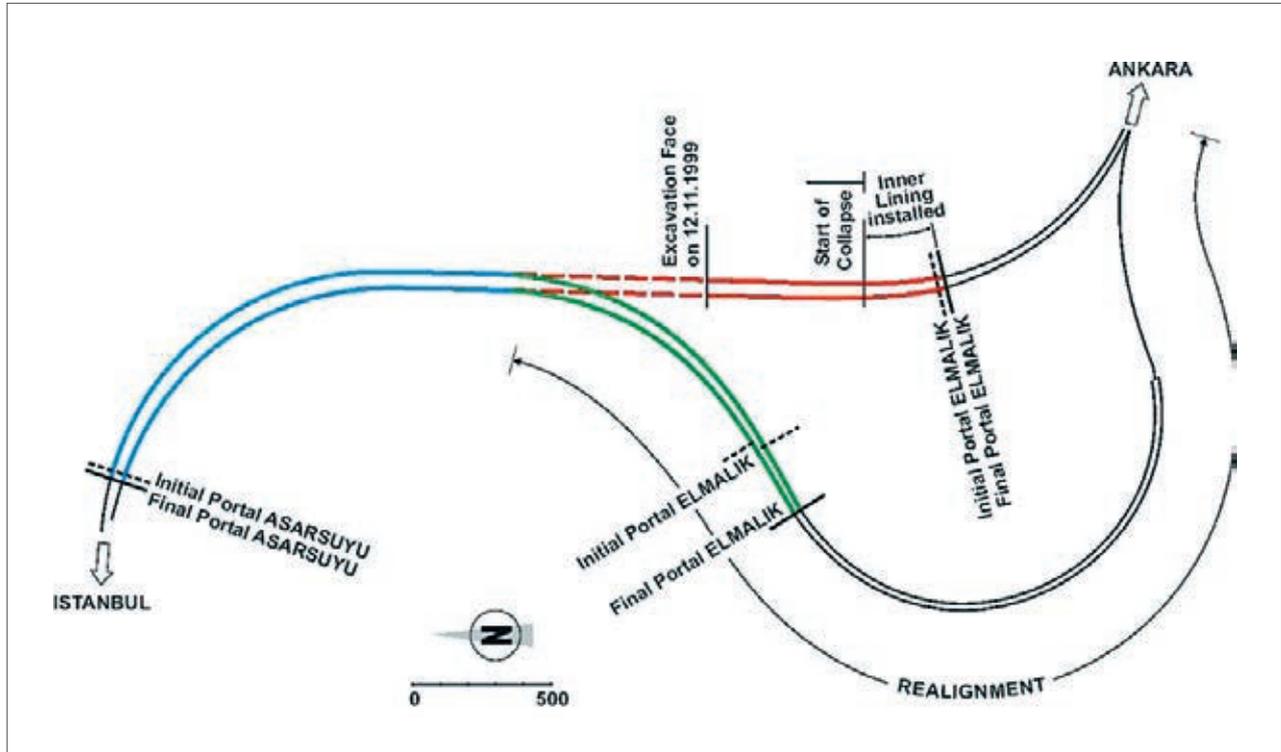


Abb. 6. Trassenänderung des Bolu Tunnels | Fig. 6. Realignment of Bolu

nativtrasse zu umfahren und mit dieser Trasse wieder in den bereits von Asarsuyu aufgefahrenen Bereich der Tunnel einzumünden.

Schlussendlich konnte der Bolu Tunnel nach einer Bauzeit von 13 Jahren im Dezember 2006 dem Verkehr übergeben werden.

For the collapsed area at the Elmalik side of the Bolu tunnel, several design proposals for remedial measures such as extensive grouting followed by reexcavation were studied. However, due to uncertainties regarding the extent of the collapse, after extensive discussions with the Client it was finally decided to bypass the collapsed tunnel stretches by a realignment and to enter with this realignment into the remaining sections from the Asarsuyu drives, which suffered only insignificant damage. After a construction period of more than 13 years the Bolu Tunnels were finally opened for traffic in December 2006.

Tunnel Šentvid – NÖT in herausfordernden Verhältnissen

Tunnel Šentvid – NATM under challenging conditions

Josef Daller, iC consulenten, Austria, j.daller@ic-group.org, www.ic-group.org
Michael Proprenter, iC consulenten, Austria, m.proprenter@ic-group.org, www.ic-group.org
Peter Schubert, iC consulenten, Austria, p.schubert@ic-group.org, www.ic-group.org

1. Einleitung

Der Tunnel Šentvid, nahe der slowenischen Hauptstadt Ljubljana, verbindet als Teil der Autobahn A2 den Abschnitt Karawanken und die Ringautobahn, welche das Zentrum von Ljubljana umfährt. Der Tunnel ist seit 2008 im Vollbetrieb. Das etwa 1,5 km lange Tunnelsystem besteht aus zwei- und dreispurigen Abschnitten, Querschlägen, Verzweigungskavernen und Rampentunnel.

2. Projektsinformation

2.1 Bauteile

Der zweiröhrige Tunnel besteht aus einem 420 m langen Abschnitt in offener Bauweise gefolgt von einem 1060 m langen bergmännischen Abschnitt.

Die zwei Rampentunnel, Längen 350 m und 230 m, verbinden die Hauptröhren mit einer wichtigen, unterfahrenen Regionalstrasse. An den Einmündungen der Rampen befinden sich zwei Kavernen, welche die zwei- und dreispurigen Abschnitte trennen. Weitere Bauteile sind ein befahrbarer, als auch fünf begehbare Querschläge zwischen den beiden parallelen Tunnelröhren.

2.2 Geologische Bedingungen

Das Projektgebiet befindet sich in einer stark tektonisierten Zone an der Südalpinen Überschiebungsfrent, wo eine Abfolge von Metasedimenten im Laufe mehreren Deformationsphasen stark zerschert wurden. Das angetroffene Material variiert zwischen leicht bis mittel zerscherten Einschaltungen von Metasandsteine und -tonstein und Klüften mit toniger Füllung.

Zur Optimierung der Lage der Verzweigungskavernen wurde ein ca. 650 m langer Erkundungsstollen im Bereich der Tunneltrasse vor Beginn der Hauptarbeiten ausgeführt.

1. Introduction

Tunnel Šentvid, located near the Slovenian capital Ljubljana, connects along the Motorway A2 the section Karawanken and the ring road bypassing the city centre of Ljubljana. The tunnel is under full operation since 2008. The approximately 1.5 km long tunnel scheme consists of double and triple lane tunnel sections, cross passages and bifurcation caverns as well as ramp tunnels.

2. Project information

2.1 Structures

The twin tube tunnel system includes a 420 m long cut and cover section followed by mined tunnel sections of 1060 m length.

The two ramp tunnels, length 350 m and 230 m, connect a major regional road with both main tunnel tubes. At the intersections of the ramp tunnels two bifurcation caverns are situated, which separate the double and triple lane sections of the main tunnels. Further structures are one cross passage for the use of emergency vehicles and six cross passages for pedestrians between the two parallel tunnel tubes.

2.2 Geological conditions

The project is located in a highly tectonized area at the South-Alpine Thrust Front, where a sequence of meta-sediments was intensely sheared and faulted in the course of several deformation phases. The encountered material varied between slightly to moderately sheared intercalations of meta sandstone to meta siltstone and joints, filled with disintegrated fault gauge.

For evaluation of an optimized location for the bifurcation caverns an exploration gallery of app. 650 m length along the future tunnel alignment was carried out prior to the start of the main tunnel excavation.

Die Ergebnisse der Ortsbrustaufnahmen und der täglichen Verformungsmessungen sowohl im Erkundungsstollen als auch im vorauseilenden Haupttunnel ermöglichten ein detailliertes geologisch-geotechnisches Modell, um speziell für die großen Kavernenquerschnitte den adäquaten Auffahrvorgang und Ausbau zu definieren.

2.3 Querschnitte

Die verschiedenen Querschnitte bestehen aus einer Außen- und Innenschale, welche durch ein Abdichtungssystem bestehend aus einer Abdichtungsfolie

The results of the face mapping and the daily deformation monitoring in the gallery as well as in the main tunnel sections excavated ahead led to a more detailed geological-geotechnical model. Based on this model adequate excavation sequences and support measures could be defined, especially for the large caverns.

2.3 Cross sections

The various tunnel sections comprise a primary and secondary lining separated by a waterproofing system consisting of a waterproofing membrane and geotextile layer.

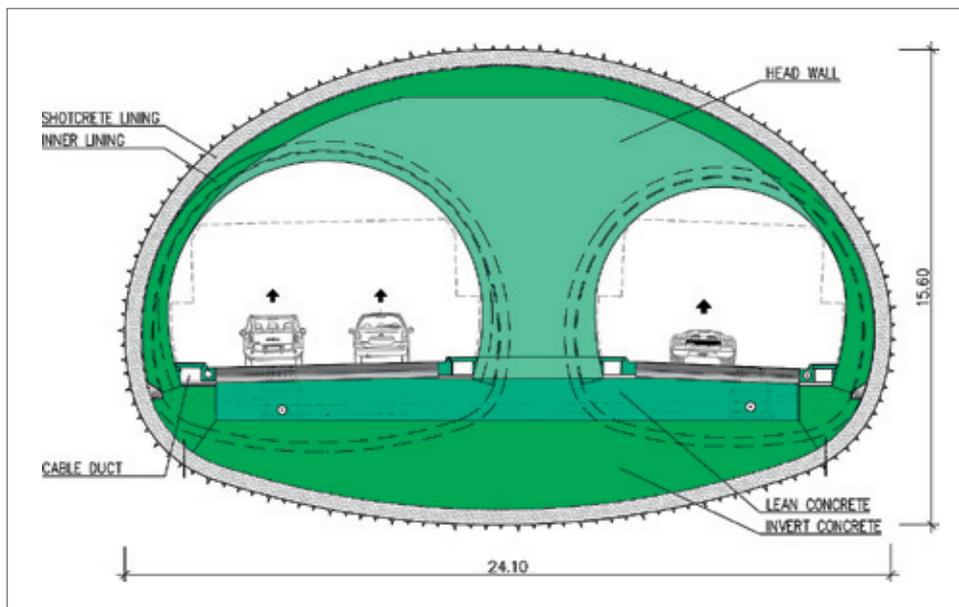


Abb. 1. Regelprofil Verzweigungskaverne
Fig. 1. Regular Cross Section Bifurcation Cavern

The thickness of the inner lining ranges between 30 cm and 65 cm based on the size of the respective cross section, with or without an invert arch depending on rock conditions. The excavation area for the various cross sections varies between about 70 m² for the ramps and 365 m² for the caverns (Fig. 1 and 2).

2.4 Excavation method and support

The tunnels were excavated by application of



Abb. 2. Verzweigungskaverne | Fig. 2. Bifurcation Cavern

und einem Schutzvlies besteht. Die Innenschalenstärke liegt basierend auf der jeweiligen Querschnittsgröße zwischen 30 cm und 65 cm, je nach Gebirgsverhältnissen mit oder ohne Sohlgewölbe. Die Ausbruchfläche für die unterschiedlichen Querschnitte variierte zwischen 70 m² für die Rampen und 365 m² für die Kavernen (Abb. 1 und 2).

2.4 Vortriebsmethode und Stützmittel

Die verschiedenen Querschnitte wurden mittels der NÖT (Neue Österreichische Tunnelbauweise) vorgetrieben. Die Stützmittel umfassten dabei mit Baustahlgittermatten bewehrten Spritzbeton, Stahlbögen und Gebirgsanker. Zusätzlich wurden bei Bedarf Spieße, Rohrschirme oder temporäre Kalottensohlen zur Anwendung gebracht. Die Brustsicherung erfolgte mittels bewehrtem Spritzbeton und Brustankern mit Lastverteilerelementen. Die maximale Spritzbetonstärke betrug in den Kavernen 30 cm (temp. Innenulme) bis 50 cm, wobei die permanente Laibung in zwei Lagen aufgebracht wurde (35 cm während Ulmenstollenvortrieb und 15 cm während Restausbruch). Die eingesetzten Gebirgsanker waren Injektionsselbstbohranker mit einer maximalen Länge von bis zu 15 m.

Zur Kompensation der erwarteten Verformungen wurden bis zu fünf Deformationsschlitze in der Spritzbetonschale der Kavernen versetzt.

2.5 Auffahrabfolge

Der Auffahrvorgang war unterteilt in Kalotte, Strosse und Sohle mit einer weiteren Unterteilung für größere Querschnitte. Ein Auffahren der Ortsbrust in Teilausbrüchen wurde bei Antreffen ungünstiger Untergrundverhältnisse angewendet.

Die Sohlschlussbedingungen wurden auf Basis des Ausbautyps, sowie des täglichen Verformungsverhaltens definiert. Der Ausbruch der sich teleskopartig aufweitenden Kavernen erfolgte mittels eines einhüftigen Ulmenstollens, der ca. 40 % des Gesamtquerschnittes ausmachte, gefolgt vom Restquerschnitt. Die Abschlagslänge in den Kavernen wurde für die Kalotte mit 1 m und für die Strosse und Sohle mit 2 m beschränkt (Abb. 3).

the NATM (New Austrian Tunneling Method). The support measures included mesh reinforced shotcrete, steel arches and rock bolts. In addition, forepoling pipes, pipe umbrellas or the installation of a temporary top heading invert were applied in case of requirement. The face support consisted of reinforced shotcrete and rock bolts including load distribution elements.

The maximum shotcrete thickness in the caverns was 30 cm (temporary sidewall) to 50 cm, whereat the permanent lining was applied in two steps (35 cm during the sidewall excavation and additional 15 cm during the final excavation). The applied rock bolts were self drilling injection bolts of up to 15 m length.

For compensation of the expected deformations up to five deformation slots were implemented in the shotcrete lining.

2.5 Excavation Sequence

The heading sequence was divided into top heading, bench and invert excavation with further subdivision for the larger sections. Sequential face excavation was applied in case of unfavourable underground conditions. Ring closure requirements in longitudinal direction were defined based on the type of support as well as on the results of the daily deformation monitoring.

The excavation of the telescopic widening cavern was carried out by application of a sidewall gallery, covering about 40 % of the final cavern section and the residual section. The maximum round length in the caverns was limited to 1 m in the top heading and 2 m in the bench and invert (Fig. 3).



Abb. 3. Vortrieb Sohle Verzweigungskaverne
Fig. 3. Invert Excavation Bifurcation Cavern

3. Zusammenfassung

Der Erfolg des Projektes, insbesondere der Errichtung der beiden Kavernen, basierte auf einer umfassenden Kenntnis der geotechnischen Gegebenheiten, welche mittels intensiver Erkundung durch einen Pilotstollen erreicht wurde.

Eine kontinuierliche Interpretation und Auswertung von Ortsbrustaufnahmen und Deformationsmessungen, sowohl im Erkundungsstollen als auch in den vorauslaufenden Tunnelvortrieben ermöglichte eine optimale Positionierung der Kavernen.

Die strikten Planungsvorgaben wurden durch eine laufende Adaptierung und Anpassung auf Basis des tatsächlich angetroffenen Verhaltens weiter optimiert. Dies betraf zum Beispiel die strengen Ringschlussbedingungen, die im Zuge des Vortriebes gelockert werden konnten, oder eine systematische Nachverpressung der Injektionsbohranker zur Verbesserung des Gebirges und der Ankerwirkung.

Das in der Planung vorsichtig angesetzte Übermaß wurde nicht zur Gänze ausgenutzt, was den Erwartungen entsprach, da man ein Nachprofilieren in den großen Kavernenquerschnitten auf jeden Fall vermeiden wollte. Die maximale Vertikalverformung in der Firste betrug ca. 55 cm und führte zu keinerlei Behinderungen.

Die konstruktive und kollegiale Zusammenarbeit aller Beteiligten, wie Baufirma, Bauherr, Planer und Prüfer, zur Ermöglichung einer optimalen Ausführung und zeitgerechten Umsetzung ohne Verzögerung wird als weiterer Schlüsselfaktor zum Erfolg angesehen und muss insbesondere bei Projekten hoher Komplexität und speziell bei Anwendung der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise unbedingt umgesetzt werden.

4. Referenzen

- [1] Pöschl I., Genser W., Kleberger J., Development of a high-value geological model for cavern design in faulted rock mass, Felsbau 24/2006 Nr. 5
- [2] Schubert P., Žigon A., Vergeiner R., Entscheidungskriterien für die Planung zweier 360 m² Kavernen in Slowenien, Felsbau 24/2006 Nr. 5
- [3] Schubert P., Žigon A., Žibert M., Graf F. (2007). Šentvid Kavernen: Erfahrungen beim Bau, Felsbau 25/2007 Nr. 5

3. Conclusion

The success of the project, in particular the construction of the caverns, was based on a thorough knowledge of the given rock mass conditions, which was achieved by intensive exploration works.

A continuous interpretation and evaluation of the face mapping and deformation monitoring results of the exploratory gallery as well as the advancing main tunnel excavation enabled an optimum positioning of the caverns.

The strict design requirements were continuously adapted and optimised as to meet the actual conditions encountered during construction.

Examples are the tight invert ring closure restrictions, which were loosened during the excavation process or a systematic secondary injection of the self drilling injection bolts to improve the rock mass encountered and bolt performance.

The deformation tolerances were foreseen conservatively in the detailed design and exceeding the actual deformation values encountered. This result was expected as any re-shaping work in the immense cavern cross sections was to be avoided by all means.

The maximum vertical deformation of the crown resulted in about 55 cm and did not trigger any complications.

The constructive and cooperative collaboration of all parties involved, namely contractor, client, designer and checking engineer, to enable an optimized execution of measures and timely realization without any delay was an important tool for success and is a mandatory procedure for projects of high complexity, especially for the application of the New Austrian Tunnelling Method.

4. References

- [1] Pöschl I., Genser W., Kleberger J., Development of a high-value geological model for cavern design in faulted rock mass, Felsbau 24/2006 Nr. 5
- [2] Schubert P., Žigon A., Vergeiner R., Decision Criteria for the Design of Two 360 m² Caverns in Slovenia, Felsbau 24/2006 Nr. 5
- [3] Schubert P., Žigon A., Žibert M., Graf F. (2007). Šentvid Kavernen: Lessons learned, Felsbau 25/2007 Nr. 5

U-Bahn Istanbul Kadıköy, eine U-Bahn Station mit außergewöhnlichen Herausforderungen

Metro Istanbul Kadıköy, a very challenging Underground Station

Zafer Ekici, IGT Geotechnik und Tunnelbau, Austria, z.ekici@igt-engineering.com, www.igt.co.at

1. Projekt

Istanbul, die größte Stadt der Türkei, investiert derzeit große Summen in den Ausbau der Infrastruktur. Zu den bereits bestehenden zwei U-Bahn Linien sind vier neue Linien mit einer Gesamtlänge von 75 km geplant. Die 21.7 km lange erste U-Bahn Linie auf der asiatischen Seite Istanbul soll den Hafen Kadıköy mit dem Außenbezirk Kartal verbinden und in weiterer Folge bis zum Flughafen Sabiha Gökçen um 3 km erweitert werden. Auf der Strecke liegen mehrere Umsteigestationen. Die erste Station Kadıköy liegt direkt am Hafen, wodurch ein rasches Umsteigen auf eine der zahlreichen Fähren ermöglicht wird. Die zweite Station Ibrahimaga bietet eine Verbindung zum derzeit ebenfalls noch im Bau befindlichen Marmaray Projekt (Bosphorusuntertunnelung), und dadurch in weiterer Folge eine direkte Anbindung zur Altstadt und zum internationalen Flughafen. Die weiter nördlich geplante U-Bahnlinie Üsküdar-Ümraniye-Cekmeköy (~18 km) soll durch eine weitere Linie Bostanci - Dudullu (~10 km) verbunden werden (Bild 1).

Nach deren Fertigstellung, die für Anfang 2013 geplant ist, wird die neue U-Bahn Linie 720.000 Fahrgäste täglich befördern.

Jede Station besteht aus zwei bis drei ca. 240 m langen Stationsröhren mit einer Ausbruchfläche von rund 70 m². Die Stationsröhren werden durch 7 Querschläge untereinander verbunden. Die Querschläge werden für Fahrgäste, Lüftung und Betriebsräume benötigt. In der Regel führen zwei Fahrtreppentunnel, auf die nächst höhere Ebene und in weiterer Folge zu den Stationsein-

1. Project

As a rapidly growing city, Istanbul has to extend the public transportation system. In addition to the 2 existing metro lines 4 new lines with a total length of 75 km are planned in the next decade. On the Asian side of Istanbul with a population of 5 million a 21.7 km long new metro system will run from the Bosphorus shipping pier Kadıköy to the suburb district Kartal in the southeast. This line will be extended to the Sabiha Gökçen airport (3 km). The Marmaray project (Bosphorus tunnel) is interconnected allowing transfer to the old city. The northern Metro line Üsküdar-Ümraniye-Cekmeköy (~18 km) will be linked by the track Bostanci - Dudullu (~10 km) Figure 1.

After opening 2013 the new metro will carry 720.000 passengers daily.

Each station consists of 2 or 3 platform tunnels with a length of approximately 240 m. These are connected



Abb. 1. Übersicht Kadıköy Station | Fig. 1. Overview Kadıköy station

gängen. Für den Betrieb auf der gesamten Strecke werden insgesamt 9 Weichenanlagen mit entsprechend größeren Tunnelquerschnitten von bis zu 170 m² benötigt. Die Linie unterquert den dicht bebauten Bezirk Kadiköy und mehrfach eine stark befahrene Stadt-Autobahn mit ihren kreuzungsfreien Anschlussknoten. Sämtliche Stationsröhren, Tunnel für Weichenanlagen und teilweise auch die Streckenröhren wurden nach der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode (NATM) hergestellt. Um die knapp angesetzte Bauzeit einhalten zu können, wurde bei allen Stationen vorab mindestens ein Bauschacht abgeteuft. Die Innenschalengeometrie wurde derart modifiziert, dass ein Durchschieben der TVM durch die Stationsröhren ohne aufwendige Konstruktionen möglich war. Die Streckenröhren wurden maschinell mit zwei Einachschild-Tunnelvortriebsmaschinen Durchmesser von 6,3 m aufgeföhren. Zum Einsatz kam ein Mixschild um flexibel auf die abschnittsweise stark unterschiedlichen Gebirgsverhältnisse reagieren zu können. Die endgültige Auskleidung erfolgte mit 30 cm dicken Stahlbetontübbingen. Nach dem Universal Ring System mit einer EPDM Dichtung.

2. Geologie

Die geologisch-geotechnischen Bedingungen auf der Strecke sind sehr unterschiedlich. Die Gesteine des Paläozoikums bilden die Grundeinheit und werden durch ordovizische, silurische, devonische und karbonische sedimentäre Sequenzen überlagert. Größtenteils kommen Arkose, Quarzsandsteine, Konglomera-

by up to 7 cross passages with varying cross sections depending on their function (passenger, ventilation, M&E rooms etc.). 2 escalator tunnels provide links from the level of the platform tunnels to the mezzanine floor and consequently to the station entrances. Extra tunnels are needed for 9 bifurcations with cross sections up to 170 m². The metro line underpasses a dense built up area, motorways and bridges. All platform tunnels and connecting galleries are constructed using NATM. In order to minimize construction time, access to the tunnels was provided by at least one access shaft per station. The running tunnels are single track tunnels constructed with 2 single shield TBMs (outer diameter 6300 mm). A universal ring system has been chosen for the segments with a thickness of 30 cm and sealed with EPDM gaskets. Before the TBMs reached any of the stations the excavations of the platform tunnels had to be completed for pulling through the TBM and start excavating for the next section.

2. Geology

Rocks belonging to the Paleozoic System cover wide areas around Istanbul. Ordovician, Silurian, Devonian and Carboniferous systems have formed a concordant thick sedimentary sequence. Paleozoic rocks consisting of arcotic sandstone, conglomerate, quartzite, interbedded sandstone, siltstone, claystone and various limestone layers or lenses are separated into a number of formations and types. Numerous andesite and diabase dikes intrude into the formations. Tectonic effects intensely fractured the main rock formations in Istanbul area. An active fault system, located in the Marmara Sea region, is considered as the main seismic-tectonic source that could also affect this metro line. A main portion of the excavation at the level of the running tunnels cut through the Trakya Formation. It consists mainly of alternating layers of brown-grey sandstone, claystone and siltstone. Driving at a depth of 25-35 m the rock is weathered and intensely fractured by tectonic processes. Rapid alternation of compact, only slightly unstable rock series to highly mylonitic zones within

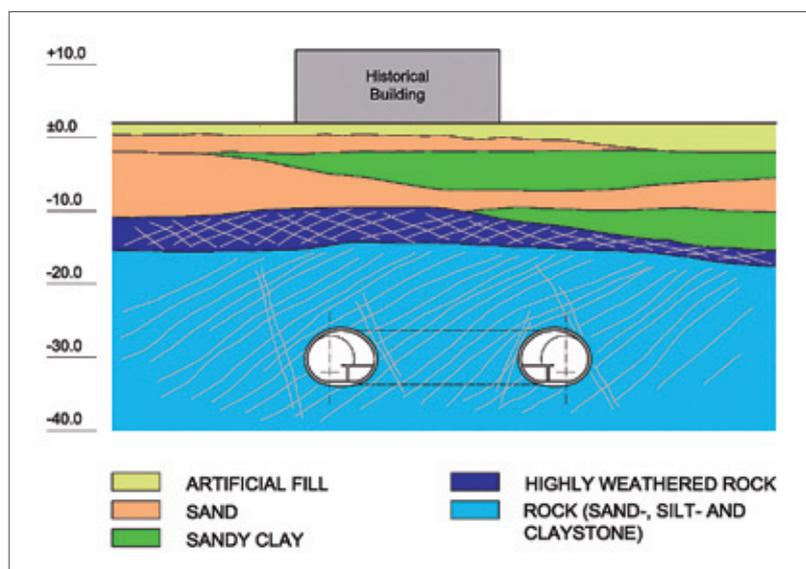


Abb. 2. Geologischer Schnitt in Gebäudenähe
Fig. 2. Geological section near historical building

te und Abfolgen von Sand-, Schluff-, Tonsteinen, sowie unterschiedliche Kalksteinlagen vor. Des Weiteren gibt es einige Andesit und Diabas Dyke Intrusionen. Tektonische Ereignisse haben das Gebirge stark zerklüftet und zerlegt. Bild 2 zeigt einen geologischen Schnitt nahe dem historischen Gebäude.

Größtenteils liegt die Station in der Trakya Formation (Sand-, Schluff- und Tonstein). Der Tunnel liegt in 25 m bis 35 m Tiefe. Das Gestein ist, wie bereits erwähnt, verwittert und durch Tektonik stark zerklüftet. Innerhalb weniger Meter wechselten die Gebirgseigenschaften von standfest zu stark mylonitisiert. Der Bereich der Kadiköy Station war zur osmanischen Zeit noch ein seichtes Hafenbecken, welches später künstlich aufgefüllt wurde (Bild 1). Die Auffüllung von ca. 3 m wird unterlagert von marinen Ablagerungen mit einer Mächtigkeit von 5 m bis 15 m. Die Felslinie befindet sich in 10 m bis 17 m Tiefe. Somit beträgt die Felsüberlagerung in den Stationsröhren 10 m–15 m. Das Grundwasser liegt oft nur wenige dm unter dem Meeresniveau. Die Trakya Formation kann als wenig durchlässig angenommen werden. Wegen der Nähe zum Meer wurde trotzdem ein Wasserandrang von bis zu 50l/s erwartet. Die 10 cm bis 1 m dicken Sand-, Schluff- und Tonsteinlagen fallen mit 15° bis 25° zum Meer ab. Die Orientierung der Klüfte, Faltachsen, Störungen haben eine große Varianz. Die RQD Werte variieren innerhalb eines Bohrkernes zwischen 0 bis 60 und die GSI von 15 bis 30 in Abhängigkeit der Gesteinssequenz. Die an den Hafen angrenzende U-Bahn Station liegt direkt am Meeresufer und unterquert ein historisches Gebäude. Das Gebäude aus dem Jahre 1911 bis 1914 im osmanischen Stil beherbergt das lokale Rathaus des Stadtteils Kadiköy. Das historische Bauwerk ist auf den marinen Ablagerungen durch Streifenfundamente gegründet, welche nach dem letzten Erdbeben verstärkt worden sind.

3. Bauausführung

Die geologisch-geotechnischen Rahmenbedingungen machten eine Gliederung in zwei Abschnitte mit verschiedenen Stützmaßnahmen sinnvoll (Bild 3).

Der Ausbruch der Stationsröhren erfolgte parallel in Längsrichtung versetzt von Schächten aus. Im Vortriebsabschnitt vom Anfahrtschacht bis zum historischen Gebäude lag der Ausbruch unterhalb eines Busterminals, daher waren Auswirkungen von Oberflächensetzungen

the space of only few meters are common. The orientation of layers and fracture surfaces are hardly predictable and several bending-folds within the top heading of single track tunnels are nothing unusual. This variability is of course reflected in the characteristic values of geotechnical rock parameters. Figure 2 shows a geological cross section at Kadiköy Station close to the historical building.

The area of "Kadiköy" station was a shallow harbour in Ottoman times and has been filled in at the beginning of 20th century. The coastline was some 40-80 m east of the present coast, see Figure 1. The artificial fill of 3-6 m covers marine deposits (gravelly sand, slightly sandy clay and sands with shell) with a thickness of 5–15 m. The surface of the rock formation (Trakya) is encountered at a depth of 10–17 m. For the designed platform tunnels a rock cover of 10–15 was expected. The Trakya Formation has a low permeability, if the rock is only slightly weathered and faulted. Due to the nearby sea (distance to the tunnel app. 50 m) a water inflow of app. 30-50 l/sec during the tunnelling works was expected. The 10 cm to 1 m thick layers of sand-, silt- and claystones are generally dipping towards seaside (NW-SW) with 15–25°. The direction of joints, bending folds and faults are irregular and chaotic. Within 1 borehole, RQD values from 0 to 60 and GSI values from 15 to 30 were determined within 15 m of the length of the borehole, depending on rock types such as sandstone or claystone. The historical building for the local municipality, built between 1911–1914, is founded in marine deposits on strip foundation. After a major earthquake in 1999 the foundation was strengthened.

3. Construction

The Station Kadiköy is located close to the sea and underpasses a historical building of the late Ottoman era (Figure 3).

3 access shafts were necessary to speed up the excavation works. The excavation of the first platform tunnel started in parallel with an offset from the 2 shafts at the south end of the station. In the area between shafts and the historical building a bus terminal was situated, therefore settlements had not much impact on the surface. This stretch with a length of about 120 m was seen as trial for the chosen excavation and



Abb. 3. Ortsbrustbild mit Trennflächen
 Fig. 3. Picture of face with joints

nicht maßgebend. Dieser Abschnitt von 120 m war eine Art Probestrecke für den Vortrieb unterhalb des historischen Gebäudes, dadurch konnten wertvolle Erfahrungen für die spätere Unterfahrung erreicht werden. Letztendlich wurde für die Probestrecke eine Abschlagslänge von 80 cm bis 100 cm und eine Spritzbetondicke von 25 cm bis 35 cm gewählt. Zusätzlich kamen Gitterbögen, Rammspieße und 8 bis 11 Anker mit jeweils 4 m Länge zum Einsatz. Der Ausbruch erfolgte mit Tunnelbagger und teilweise mit einer Teilschnittmaschine. Bild 4 zeigt die im vorigen Kapitel angesprochene große Varianz des Gebirges innerhalb der Ortsbrust der Kalotte.

support measures. Depending on geological conditions and the construction circumstances (7 connecting tunnels, 2 escalator tunnels) round lengths from 80 cm to 100 cm and shotcrete thicknesses between 25 cm and 35 cm were foreseen. Lattice girders, spiles and 8–11 rock bolts, each 4 m long, provided additional support. The excavation was executed mostly by use of jack hammers and partly road header.

The first 30-40 m of excavation showed that the rock quality varies highly within few meters. Figure 4 shows an example of considerable variability even within the top heading face.

Highly weathered and thin layered silt-and claystones covering blocky and massif sandstones were found causing some small rock falls from face and roof. The risk of touching into the softground in connection with uncontrolled water inflow causing serious deformation on the surface due to the relatively thin rock cover convinced the client to implement additional measures for the stretch underpassing the historical building. Installing of a pipe umbrella was envisaged to be the most effective one. Steel pipes with a length of 12 m a diameter of 114 mm and a spacing of 50 cm over the circumference were installed every 12th round of 80cm length. The pipes were equipped with grouting holes every 50 cm and cement mortar was use for grouting. Overlap was 2.3 m. In order to avoid rock fall from the face, face support was strengthened by means of 4 to 5 face dowels with lengths of up to 9 m. The chosen method proved to be successful as building settlements could be limited to permitted values.



Abb. 4. Lageplan der Station | Fig. 4. Plan view of station

4. Measurements

Figures 5 and 6 show isolines of surface settlements generated from surveying data. Figure 5 indicates the settlements short time after excavation of track 2 has commenced. The settlements above the cross passage and the latest excava-

Stark verwitterte und dünnbankige Schluff- und Tonsteinlagen überlagert von blockigen und massigen Sandsteinlagen, verursachten einige kleine Nachbrüche an der Ortsbrust und im Firstbereich. Das Risiko eines unkontrollierten Zutrittes von Wasser bzw. alluvialem Material mit großer Oberflächensetzung als Folge, überzeugte den Bauherrn vom notwendigen Einsatz zusätzlicher Maßnahmen für die Unterquerung des historischen Gebäudes. Zu diesem Zweck wurde ein Rohrschirm als die effektivste Methode gewählt. Stahlrohre mit 114 mm Durchmesser, 50 cm Achsabstand und einer Länge von 12 m wurden bei jedem 12-ten Abschlag (80 cm) eingebaut. Für die Zementinjektion wurden in den Stahlrohren im Abstand von 50 cm Bohrungen gemacht. Um die Ortsbruststabilität zu gewährleisten wurden 4–5 Stück 9 m lange Anker eingebaut. Die gewählte Methode war erfolgreich und das Gebäude erlitt keine Schäden durch die Unterfahrung.

4. Messungen

Der Vortrieb wurde von einem intensiven Messprogramm an der Oberfläche und im Tunnelquerschnitt begleitet. Bild 5 und 6 zeigen Isolinien der gemessenen Oberflächensetzungen.

Bild 5 zeigt die Setzungen gleich nach Beginn der Vortriebsarbeiten der Stationsröhre 2. Die Setzungen oberhalb des Verbindungstunnels und der neu aufgefahrenen Strecke des 2. Gleises liegen unter 10 mm. Die Setzungen beim Vortrieb der zweiten Röhre lagen mit 23 mm etwas höher. Bild 6 zeigt eine große Bandbreite an Setzungsbeträgen: Im überwiegenden Teil der Station lagen die Setzungen nach dem Vortrieb beider Röhren unter 10 mm. Im mittleren Bereich der Station erreichten die Oberflächensetzungen jedoch Werte bis zu 52 mm und im Abschnitt der historischen Bebauung 25–40 mm. Die Tangentennei-

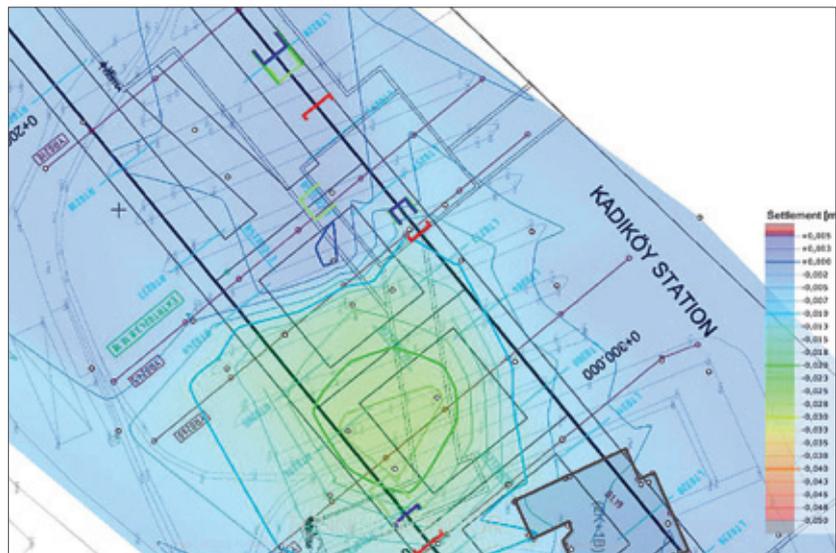


Abb. 5. Oberflächensetzungen vor Durchörterung
Fig. 5. Surface settlements before tunnelling

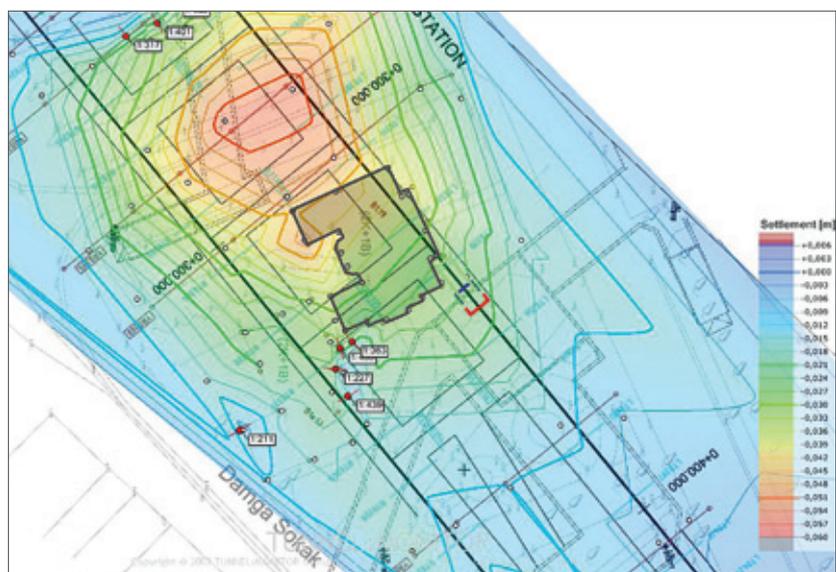


Abb. 6. Oberflächensetzungen nach Durchörterung
Fig. 6. Surface settlements after tunnelling

ted stretches of track 2 are below 10 mm. Excavation of track 1 has passed an area of increased settlements, up to a value of 23 mm. In Figure 6 a large variety of settlement data can be observed: Most parts of the station shows settlements below 10 mm, both in areas where only 1 platform tunnel has been excavated as well as in areas where the 2 platform tunnel has been excavated as well. However, near the centre of the station a relatively deep settlement trough can be observed with maximum displacements of around 52 mm and still about 25 to 40 mm below the historical building. The tolerated inclination of 1:500 between the strip foundation has not been exceeded at any points of the historical buil-

gung von 1:500 konnte im Bereich des historischen Gebäudes eingehalten werden und wurde nur außerhalb örtlich überschritten. Es muss davon ausgegangen werden, dass diese Setzung ihre Ursache in einem geringer verdichteten Bereich der künstlichen Anschüttung hatte und durch Bohrungen kaum zu erkunden war. Zudem ist damit zu rechnen, dass derartige Schichten (Anschüttungen) auch wesentlich setzungsempfindlicher auf Vibrationen aus dem Lösen des Gebirges mittels Schrämens reagieren.

5. Zusammenfassung

Auch bei diesem Bauvorhaben unter schwierigen Randbedingungen, wie die Lage direkt neben dem Meer, den nicht genau bekannten künstlichen Anschüttungen, den Erfordernissen einer setzungsarmen Unterquerung eines historisch wertvollen Gebäudes und den wechselnden Tunnelquerschnitten zeigte die NATM ihre Vorteile hinsichtlich Flexibilität und Wirtschaftlichkeit.

Quellenangaben

[1] Geomechanik und Tunnelbau Volume 1 Issue 3, 2008, Nejad Ayaydin, Zafer Ekici, Herbert Walter, Metro Istanbul – Kadiköy, an Underground Station Close to the Sea and Below a Historical Building.

ding. It can be assumed that this settlement trough has been caused by low quality of the artificial fill not being detectable from bore logs. It is also anticipated, that these poor ground is more sensitive to vibrations caused by rock excavation using heavy hydraulic hammers.

5. Concluding remarks

Despite the mentioned unforeseen geologic difficulties the chosen flexible design concept on a NATM basis guaranteed a safe and economic construction even under these challenging conditions and prevented the historical building from any damage.

References

[1] Geomechanik und Tunnelbau Volume 1 Issue 3, 2008, Nejad Ayaydin, Zafer Ekici, Herbert Walter, Metro Istanbul – Kadiköy, an Underground Station Close to the Sea and Below a Historical Building.

Jubilee Line Extension – Nöt für die U-Bahn London

Jubilee Line Extension – Natm for London Underground

Manfred Eder, IL – Laabmayr & Partner ZT GesmbH, Austria, manfred.eder@laabmayr.at, www.laabmayr.at
Johannes Lackner, IL – Laabmayr & Partner ZT GesmbH, Austria, hannes.lackner@laabmayr.at, www.laabmayr.at

1. Einleitung

Es waren die 1990er Jahre als London wieder im weltweiten Blickpunkt des innerstädtischen Tunnelbaus stand. Mit der Jubilee Line Extension (JLE) stand nach jahrzehntelanger Vorausplanung ein Tunnelbauprojekt der Superlative zur Realisierung an. In einigen technisch besonders anspruchsvollen Bereichen der Innenstadt von London kam die NÖT zum Einsatz. Eine Reihe von österreichischen Tunnelplanern, Bau-firmen sowie Fachfirmen z. B. im Bereich der Tunnelmesstechnik brachen in diesem Jahrzehnt nach London auf, um bei diesem großen Projekt des öffentlichen Personennahverkehrs dabei zu sein. Die JLE wurde eine Erfolgsgeschichte der NÖT. Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit dem Bau-los 102 – Waterloo Station, wo Streckentunnel, Sta-tionstunnel und Verteilertunnelbauwerke nach den Grundsätzen der NÖT realisiert wurden.

1. Introduction

It was in the 1990s that London was again at the focus of worldwide attention for inner city tunnelling. After decades of advance planning for the Jubilee Line Extension (JLE), a tunnelling project of the superlative was nearing realization. In several technically demanding parts of London the New Austrian Tunnelling Method (NATM) was used. During those years numerous Austrian tunnel engineers, construction companies and specialist companies for various aspects of tunnel construction, such as, for example, tunnel surveying, set off for London in order to participate in realizing this major mass passenger transport project. The JLE became a success story for the NATM. This article deals with Contract 102 – Waterloo Station, where the running tunnel, station tunnel and concourse tunnel structures were realized according to the NATM.



Abb. 1. Jubilee Line Extension | Fig. 1. Jubilee Line Extension

2. JLE – Das Gesamtprojekt

Nachfolgend einige Daten zum Gesamtprojekt JLE:

- Investitionsvolumen: ca. 3,5 Milliarden £.
 - Gesamtlänge: 16 km.
 - Baubeginn: Dezember 1993.
 - Verkehrsfreigabe: Dezember 1999.
 - 11 neue Stationen.
 - 6 Stationen Neubau.
 - 5 Stationen Umbau und/oder Ausbau.
 - Rollendes Material: 59 neue U-Bahn Züge.
- Kapazität: 50.000 Passagiere pro Stunde.

3. Baulos 102 – Waterloo Station

3.1 Beteiligte

Folgende wesentliche Organisationen und Firmen waren mit der Umsetzung des Bauloses 102 betraut:

- Bauherr: Jubilee Line Extension Project Team (JLEP) for London Underground Limited (LUL)
- Auftragnehmer Bau: Balfour Beatty AMEC JV (BBA)
- Planer des Bauherren: G.Maunsell & Partners
- Planer NÖT Alternative für BBA: Geoconsult ZT GmbH
- Bauaufsicht und NÖT Beratung des Bauherren: ILF / IL Laabmayr & Partner – JV
- NÖT Planprüfung für BBA: IL Laabmayr & Partner

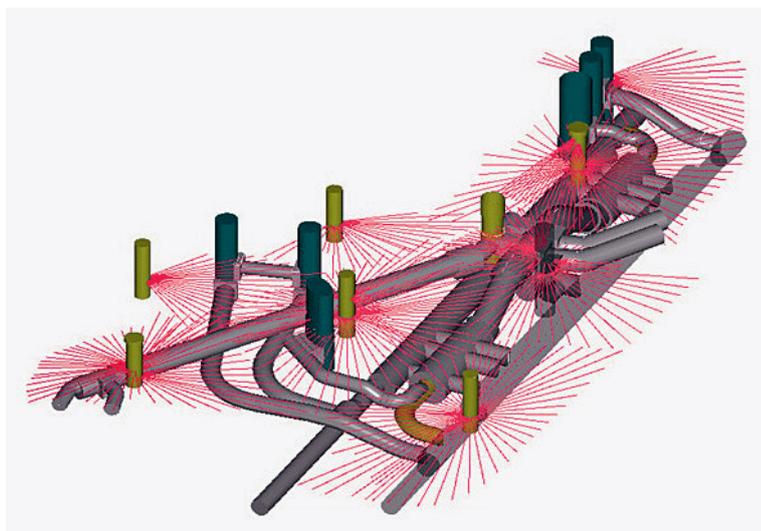


Abb. 2. 3D Darstellung der Waterloo Station mit Bereichen für Hebungsinjektionen (rot) von temporären (gelb) und permanenten (dunkelgrün) Schächten aus *Fig. 2. Isometric of Waterloo Station illustrating extent of compensation grouting arrays (red) from temporary shafts (yellow), and permanent shafts (dark green)*

2. JLE – The project

The following are some of the facts and figures underlying the overall JLE project:

- *Investment volume: approx. £ 3,5 billion*
 - *Total length: 16 km.*
 - *Construction started: December 1993.*
 - *Opened for traffic: December 1999.*
 - *11 new stations.*
 - *6 stations, new construction.*
 - *5 stations, rebuilt and/or extended.*
 - *Rolling stock: 59 new metro trains.*
- Capacity: 50.000 passengers per hour.*

3. Contract 102 – Waterloo Station

3.1 Involved Companies

Following main organisations and companies were involved in Contract 102 realisation:

- *Client: Jubilee Line Extension Project Team (JLEP) for London Underground Limited (LUL)*
- *Main Contractor: Balfour Beatty AMEC JV (BBA)*
- *Client's Technical Contractor: G.Maunsell & Partners*
- *Designer NATM Alternative Design for BBA: Geoconsult Consulting Engineers*
- *Construction Supervision for JLEP: ILF / IL Laabmayr & Partner – JV*

Independent Category 3 Design Check for BBA: IL Laabmayr & Partner

3.2 Construction Scheme

Contract 102 comprises 4,35 m inside diameter (ID) running tunnels from Greenpark to Waterloo and two underground station complexes at Westminster and Waterloo. All tunnels on the contract were founded in the London Clay.

This paper relates to the work carried out from the lower level tunnels of the Waterloo underground station.

3.3 Original NATM Alternative Design

The original BBA alternative NATM design was based on a project specific NATM specification prepared by the JLEP team during the tender period. Therein design parameters, excavation methods, construction sequences, materials and

3.2 Bauvorhaben

Das Baulos 102 umfasste im Wesentlichen eingleisige Streckenröhren (Innendurchmesser 4,35 m) von Greenpark nach Waterloo und die zwei U-Bahn Stationen Westminster und Waterloo. Alle Tunnelanlagen waren im London Clay aufzufahren.

Die folgenden Ausführungen befassen sich mit den tiefliegenden Stations- und Verbindungstunnelröhren der Waterloo Underground Station.

3.3 Ursprüngliche NÖT Alternative

Das ursprünglich von BBA vorgelegte NÖT Alternative basierte auf einem von JLEP ausgearbeiteten, projektspezifischen NÖT Regelwerk. In diesem Regelwerk waren Planungsparameter, Ausbruchsmethoden, Arbeitsabläufe, Materialien, Messtechnik und Monitoring spezifiziert. Auf Basis dieses Regelwerkes waren das Auffahren aller großen Tunnelregelquerschnitte mit einem oder zwei Ulmenstollen und anschließender Aufweitung auf den Gesamtquerschnitt vorgesehen.

Im Oktober 1994, noch bevor mit dem Bau der großen Tunnelquerschnitte im Bereich der Waterloo Station begonnen wurde, kam es zu einem großen Verbruchereignis beim Heathrow Express Project (HEX). Obwohl zu diesem Zeitpunkt Zugangs-, Streckentunnel und eine große TVM-Kaverne über einen Zeitraum von sechs Monaten bereits erfolgreich aufgefahren wurde, entschied JLEP alle NÖT Arbeiten sofort zu stoppen.

Aufgrund der Einstellung der NÖT Arbeiten und aufgrund der Tatsache, dass diese erst nach Freigabe durch die HSE wieder aufgenommen werden durften, kam es zu Bauzeitverzögerungen.

5 Monate nach der Baueinstellung im März 1995 wurden die Streckentunnelröhren Richtung Waterloo seitens HSE für den Vortrieb wieder freigegeben. Von der IL – Laabmayr & Partner ZT GesmbH wurde für das Auffahren der Stations- und Verteilertunnelröhren das NÖT Pilotstollenkonzept erarbeitet.

3.4 NÖT – Pilotstollen mit Aufweitung

Zwei wesentliche Überlegungen führten zur Entwicklung dieses – im Londoner U-Bahnbau erstmals angewandten – Konzeptes. Zum einen waren es die großen Vorteile im zeitlichen Ablauf, zum anderen die Gesichtspunkte der Hebungsinjektionen, welche bei diesem Baulos im großen Umfang (siehe Abb. 2) durchgeführt wurden. Aufgrund der intensiven Bebauung an der Oberfläche waren Gesamtsetzungen

monitoring were specified. According to this specification all large diameter tunnels were to be designed based on either the single or double side drift excavation method.

In October 1994, before the construction of the large diameter tunnels at Waterloo Station had started, the tunnel collapse at the Heathrow Express project (HEX) occurred. JLEP made the decision to immediately stop all NATM works at Waterloo although running tunnels and large diameter shield erection chambers had already been built safely for over a six month period.

As JLEP decided to stop the NATM works until the HSE would give their statements of „no objections“, the tunnelling programme started to slip back.

Five months later in March 1995 the HSE made their statements of „no objections“ for the running tunnels to Waterloo. Laabmayr & Partner in JLEP's NATM advisory joint venture developed the novel application of the NATM pilot tunnel concept.

3.4 NATM Pilot Enlargement Method

Two main considerations led to the development of this unique method. One was the important time saving, and the second was the compensation grouting (see Fig. 2) needed for settlement control of the structures above the tunnels, as the contract allowed a maximum of 25 mm total settlement and a maximum gradient of 1:1000.



Abb. 3. Stationstunnel, Einbau der Spritzbetonsicherung in der Sohle des Aufweitungsquerschnittes
Fig. 3. Platform Tunnel, invert construction in progress

von 25 mm und maximale Neigungen der Setzungsmulde von 1:1000 vertraglich zugelassen.

Bau der Stationstunnel

Der kreisrunde Pilotstollen mit einem Außendurchmesser von 5,6 m (ca. 25 m²) wurde zentral über die gesamte Länge des Stationstunnels mit ca. 65 m² Ausbruchsfläche vorgetrieben. Danach wurde über die gesamte Länge aufgeweitet. Der Pilotstollen wurde mit zwei Kalottenabschlägen á 1 m Angriffstiefe und nachfolgendem Ausbruch einer Doppel Strosse/Sohle mit einer Angriffstiefe von 2 m aufgeföhren. Die Aufweitungsquerschnitte wurden mit derselben Arbeitsfolge wie der Pilotstollen aufgeföhren.

Bau der Verteilertunnel

Um in den Vortriebsbereich der Verteilertunnel zu gelangen, mussten von den Streckentunneln aus tem-

Construction of Platform Tunnels

The circular pilot tunnels with 5,6 m outside diameter (OD), approx. 25 m², in the centre of the 65 m² platform tunnels were driven through the whole station area before the enlargements were started. The excavation sequence allowed two top headings with an advance length of 1 m followed by a 2 m advance of bench/invert leaving a 2 m staggered face. The enlargements were excavated using the same sequence.

Construction of the Lower Concourse Tunnels

To get access to the lower concourse tunnels temporary adits had to be driven from the running tunnels. In the original NATM scheme the access route to each of the double side drifts would have been via cross passages from the platform tunnels where complicated intersection junctions would have to be designed.

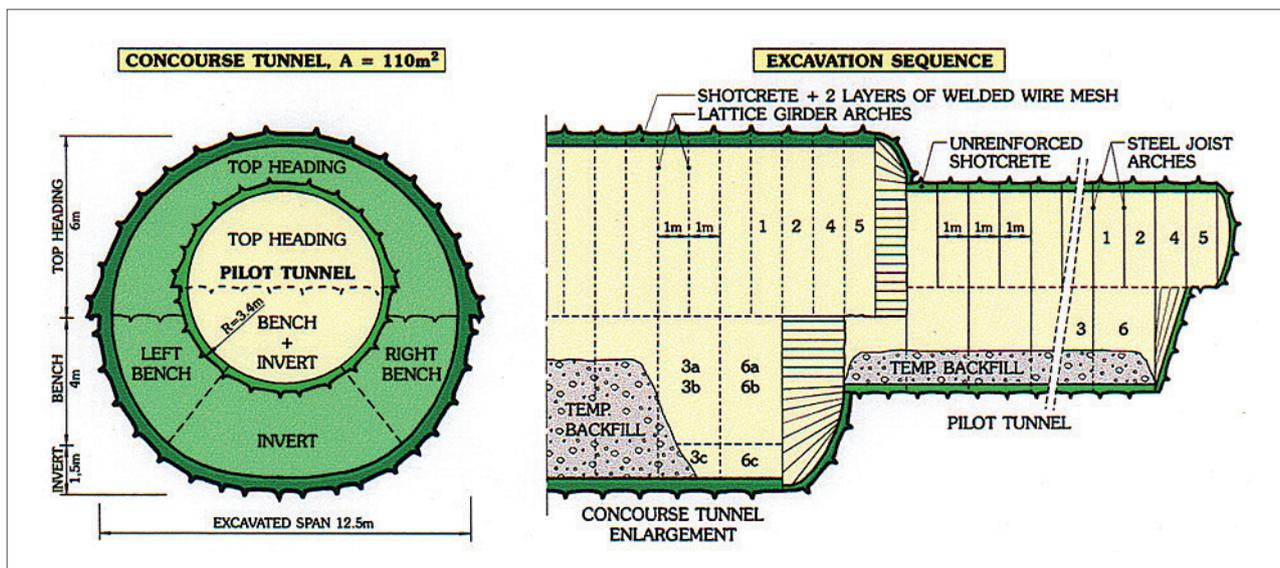


Abb. 4. Verteilertunnel, Methode und Ausbruchsabfolge
 Fig. 4. Lower Concourse Tunnel, excavation method and sequencing.

poräre Zugangstollen aufgeföhren werden. In der ursprünglichen NATM Alternative war der Zugang zu den beiden Ulmenstollenvortrieben der Verbindungstunnel über Querschläge der Stationstunnel vorgesehen wobei an den Verzweigungen tunnelbautechnisch schwierig herzustellende Verschneidungen erforderlich gewesen wären.

Der Pilotstollen wurde im Bereich der Verteilertunnel auf einen Außendurchmesser von 6,8 m (ca. 36 m²) vergrößert. Die Ausbruchs- und Stützmaßnahmen waren grundsätzlich dieselben als beim Pilotstollen

The running tunnel size access adits were enlarged to 6,8 m outside diameter (OD) (approx. 36 m²) in the concourse section. The excavation sequence and support measures were the same as for the platform pilots apart from an increase of 50 mm shotcrete lining thickness.

For the enlargement, the construction of the bench and invert had to be sub-divided into three parts as illustrated in Fig. 4. This enabled a safe construction sequence by minimising the time of unsupported ground and size of face. Fig. 5 illustrates how a

der Stationstunnel. Lediglich die Stärke der Spritzbetonschale wurde um 50 mm erhöht.

Der Aufweitungsquerschnitt wurde im Bereich der Strosse/Sohle in drei Teilausbruchsflächen unterteilt (siehe Abb. 4). Diese Unterteilung ermöglichte eine sichere Arbeitsabfolge unter Minimierung von ungestützten Ausbruchsflächen im Bereich der Ortsbrust und der Tunnelleitung. Abb. 5 zeigt die Positionierung eines Tunnelbaggers im Pilotstollen zum Ausbruch der Sohle des Aufweitungsquerschnittes.

backactor was positioned in the invert of the pilot to excavate the enlargement invert.



Abb. 5. Verteilertunnel Ost, Sohlausbruch des Aufweitungsquerschnittes vom Pilotstollen aus

Fig. 5. Lower Concourse East, invert construction in progress

Maliakos-Kleidi Tunnel – Anwendung der NÖT in Griechenland

Maliakos-Kleidi Tunnels – NATM application in Greece

Gottfried Braun, ILF Consulting Engineers, Austria, gottfried.braun@ilf.com, www.ilf.com

1. Einleitung

Das Maliakos-Kleidi-Projekt umfasst den teilweisen Neu- und Umbau sowie den Betrieb (als Konzession) von 200 km Autobahn einschließlich aller zugehörigen Ingenieurbauwerke an der Ostküste Griechenlands zwischen dem Golf von Maliakos und dem Autobahnknoten Kleidi. Der Autobahnabschnitt ist ein Teilstück der Nord-Süd-Autobahnverbindung zwischen Athen und Thessaloniki. Kernstück des Projektes sind die 3 Tunnel:

- Tunnel Tembi 1 (T1), Länge ca. 1.900 m,
- Tunnel Tembi 2 (T2), Länge ca. 6.000 m,
- Tunnel Platamonas (T3), Länge ca. 3.000 m.

Sie liegen zwischen den Orten Tembi und Platamonas. Im Jahr 2008 erhielt das Konsortium Hochtief, VINCI, Aktor, AEGEK, J&P-AVACS und Athena den Auftrag zum Bau Finanzierung und Betrieb des Autobahn-teilstücks. Die Planungsgemeinschaft ILF Consulting Engineers, Hochtief Consult Infrastructure und Omikron Kappa SA wurde mit der Technischen Planung der Tunnel beauftragt.

2. Projektinformation

Die Tunnel bestehen jeweils aus 2 Tunnelröhren mit einem Lichtraumquerschnitt für 2 Fahrspuren und eine durchgehende Standspur. Der Ausbruchsquerschnitt hat eine Fläche von ca. 140 m². Alle 150 m sind Querschläge als Flucht- und Rettungswege angeordnet. Die Querschläge sind teilweise für Einsatzfahrzeuge befahrbar.

Der Ausbau der Tunnel ist zweischalig mit einer Folienabdichtung im Gewölbe zwischen Innen- und Außenschale. An den unteren Ulmen ist zur permanenten Wasserableitung beidseitig eine Tunneldrainage angeordnet.

Die Innenschale ist in standfesten Gebirgsbereichen unbewehrt.

1. Introduction

The Maliakos-Kleidi-Project comprises the new construction, modification and operation of 200 km of highway, including all corresponding engineering structures along the east coast of Greece. Lying between the Gulf of Maliakos and the Kleidi interchange, the highway section is a part of the South North Highway Connection between Athens and Thessaloniki. The centerpiece of the project are the 3 tunnels:

- *Tunnel Tembi 1 (T1), length approx. 1.900 m,*
- *Tunnel Tembi 2 (T2), length approx. 6.000 m,*
- *Tunnel Platamonas (T3), length approx. 3.300 m.*

The tunnels are situated in the regions at Tempi – Rapsani and Platamonas-Skotina.

In 2008 the Joint Venture of Hochtief, VINCI, Aktor, AEGEK, J&P-AVACS and Athena was awarded for Construction, Financing and Operation of this Highway Section. The Engineering Consortium of ILF Consulting Engineers, Hochtief Consult Infrastructure and the Omikron Kappa SA was awarded for the design works for the tunnels.

2. Project information

The tunnels consist of 2 tunnel tubes with a clear cross section for 2 lanes and a continuous emergency lane. The excavation cross section has an area of approximately 140 m². Connecting galleries are located between tunnel tubes every 150 m for escape and emergency purposes. The connecting galleries are partly accessible for certain rescue service vehicles.

The tunnels are supported with a double lining, also containing a waterproofing membrane between initial lining and final lining.

Under stable rock mass conditions, the final lining is constructed without reinforcement.

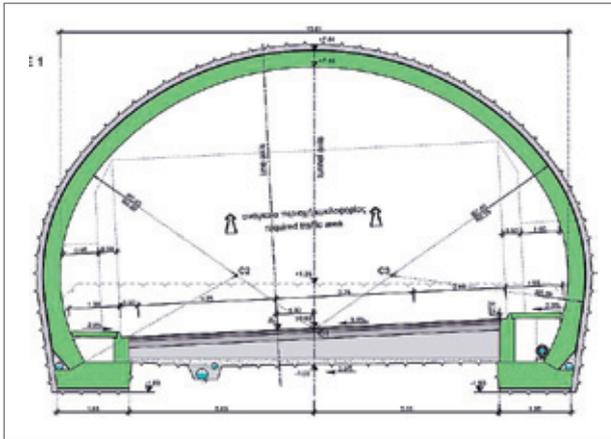


Abb. 1. Regelprofil Tunnelröhre



Fig. 1. Typical Cross Section Tunnel Tube

3. Geologie

Gesteine der Ampelakia Formation (Schiefer, Amphibolite und Marmor) und der Ossa Formation (Phyllite und kristalline Kalksteine) treten im Projektgebiet zu Tage. Im Tunnel T1 wurde eine Abfolge von Amphiboliten, Amphibolit-Schiefen und Marmor der Ampelakia Formation und teilweise tektonisierte Phyllite (mit Lockergesteinscharakter) mit Zwischenlagen von Marmor der Ossa Formation durchfahren.

Der Tunnel T2 wurde hauptsächlich in kristallinen Kalksteinen vorgetrieben. Phyllit-Zwischenlagen (tektonisierte und zerscherte Phyllite mit Lockergesteinscharakter) waren in den Tunneleingangsbereichen anzutreffen. In Verbindung mit „großen Überlagerungen“ (>125 m) trat im Vortrieb druckhaftes Gebirgsverhalten auf. Die kristallinen Kalksteine zeigten teilweise Verkarstungserscheinungen.

Im Tunnel T3 sind verkarstete und stark gestörte Kalksteine von einer ophiolitischen Abfolge von Serpentiniten / Peridotiten, Amphiboliten und tektonisierten, komplett verwitterten Schiefen mit Lockergesteinscharakter überschoben. Die Festigkeit der Peridotite war bereichsweise so gering, dass in Verbindung mit einer Überlagerung von ca. 60 m Druckscheinungen im Tunnel T3 auftraten.

4. Vortriebskonzept

Die Tunnelröhren wurden nach den Prinzipien der NÖT mit Bohren und Sprengen und teilweise mechanisch (mit Bagger) vorgetrieben. Der Ausbruchquerschnitt war unterteilt in Kalotte, Strosse und Sohle, nach Erfordernis. Die Ausführung der Ausbruch- und

3. Geological Condition

Rocks of the Ampelakia Unit (schists, amphibolites, and marbles) and the Ossa Unit (phyllites and crystalline limestone) crop out at the project site. In Tunnel T1 a sequence of amphibolites, amphibolite schists and marbles of the Ampelakia Unit and partly tectonized phyllites (with soil-like behaviour) with intercalations of marbles of the Ossa Unit has been driven through.

Tunnel T2 was excavated mainly in crystalline limestone. Phyllite intercalations (tectonized and sheared phyllites with soil-like behaviour) were met at tunnel entrance areas. In combination with "high overburden" (> 125 m) squeezing phenomena arised during excavation. The crystalline limestone has partly shown karstic attributes.

At tunnel T3 karstic and highly fractured crystalline limestones are thrust over an ophiolitic sequence containing serpentinites / peridotites, amphibolites and tectonized, completely weathered schists with soil like behaviour. The strength of the peridotides was so low, that in combination with an overburden of 60 m squeezing phenomena were also encountered in tunnel T3.

4. Excavation and Support Concept

The tunnels are excavated by drilling and blasting and partly with mechanical excavation (backhoe) according to the "New Austrian Tunnelling Method" (NATM). The excavation cross section is divided into heading, bench and invert arch, where required. The temporary support consists of a reinforced shotcrete

Sicherungstypen ist mit Anwendungskriterien geregelt, die eine Korrelation herstellen zu den definierten Gebirgstypen, bestehend aus der Gebirgsbeschreibung nach Hoek / Marinos (anhand von GSI-Werten) und der Gebirgsüberdeckung. Die vorläufige Sicherung besteht aus einer bewehrten Spritzbetonschale, Gitterbögen / Stahlbögen und Anker. Um die Bandbreite des Untergrundverhaltens abzudecken wurden 11 Ausbruch- und Sicherungstypen entwickelt.

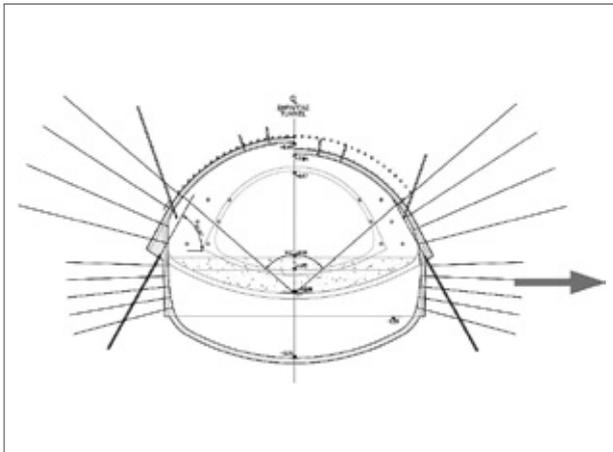


Abb. 2. Anwendungskriterien (Beispiel)

5. Vortrieb in schwierigen Gebirgsverhältnissen

Für die „schwierigen“ Gebirgsverhältnisse, die eine Bandbreite von gebrächem bis druckhaftem Gebirge abdecken wurden Ausbruch- und Sicherungstypen mit einem starren Ausbau in Verbindung mit einer vorausseilenden Sicherung aus Rohrschirmen (Vortriebsklassen 7A, 7B, 7C) entwickelt. Die Kalotte wurde mit einer bis zu 35 cm dicken Außenschale aus Spritzbeton und zusätzlich mit Ausbaubögen (bis HEB 200) gesichert. Mikropfähle im Kalottenfußbereich sollten bei Erfordernis die Setzungen im Fußbereich bis zum Einbau der temporären Kalottensohle begrenzen. Der Ringschluss in der Kalotte / Einbau der Kalottensohle wurde ungefähr im Wochenrhythmus für den bis dahin aufgefahrenen Abschnitt nachgezogen. Anker dienten im Wesentlichen der Fixierung der Ausbaubögen. In Vortriebsklasse 7C war zusätzlich ein kurzer Vortollen zum vorausseilenden Spannungsabbau in druckhaften Gebirgsverhältnissen vorgesehen. Das Übermaß (Toleranzraum für Gebirgsverformungen) wurde in den Vortriebsklassen 7 in der Ausfüh-

lining, lattice girders / steel-arches and rock bolts. In order to cover the whole range of the underground behaviour of all three tunnels 11 excavation and support types have been developed.

The application of the excavation and support types is controlled by so-called application criteria, which form a correlation to the defined rock mass types, consisting of a rock mass description according to the Hoek / Marinos criteria (GSI-Values) and the overburden height.

ROCK MASS TYPE - 13 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ - 13		GSI CHART (18-25)	
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ		ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ	
1. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ		ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ	ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ
2. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ		ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ	ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ
3. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ		ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ	ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ
4. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ		ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ	ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ
5. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ		ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ	ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ
6. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ		ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ	ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ
7. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ		ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ	ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ
8. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ		ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ	ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ
9. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ		ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ	ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ
10. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ		ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ	ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ
11. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ		ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ	ΕΠΙΧΡΑΤΗΣΗ

Fig. 2. Application Criteria (Example)

5. Excavation and Support in difficult Rock Mass Conditions

For the difficult rock mass conditions, including both, brittle and squeezing conditions excavation and support types comprised of stiff support in conjunction with an advanced support of canopy pipe umbrellas has been developed (excavation and support type 7A, 7B, 7C). The top heading was supported with shotcrete lining, up to 35 cm thick and additional steel-arches (up to HEB 200). Micropiles, located in the bottom part of top heading, should, if required, limit the settlements until the temporary top heading invert has been constructed. The ring closure / construction of top heading invert was completed in weekly intervals for the newly excavated section. Rock bolts were mainly installed to fix the steel-arches. The excavation and support type 7C also contains a short pre-gallery for the advanced stress reduction in squeezing rock mass conditions. The over excavation (excavation tolerances), allowed for the deformations of the surrounding rock mass were chosen so large, that in case the shotcrete-

rung so groß gewählt, dass bei Versagen der Spritzbetonschale eine zusätzliche ca. 20 cm dicke, bewehrte Spritzbetonschale eingebaut werden konnte.

te lining was insufficient, a second approximately 20 cm thick reinforced shotcrete lining could be installed.

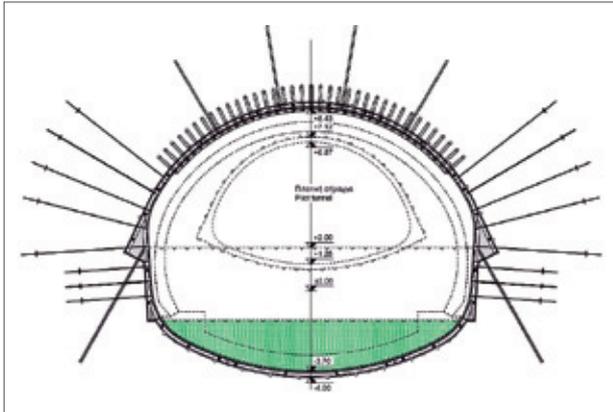


Abb. 3. Vortriebsklasse 7C



Fig. 3. Excavation and Support Type 7C

6. Zusammenfassung, Fazit

Die NÖT wurde bei diesem Projekt auf die spezifisch griechischen Projektanforderungen angepasst. Das Vortriebskonzept war eher auf die Philosophie eines starren Ausbaus, als auf die Mittragwirkung des umgebenden Gebirges ausgerichtet. So wurde, auch in

6. Conclusion

For this project, the NATM has been adapted to the specific Greek project requirements.

The excavation and support concept was mainly interpreted on the philosophy of stiff support, rather than the co-supporting effect of the rock mass, sur-



Abb. 4. Verformungen, Sanierung | Fig. 4. Deformations, refurbishing

druckhaften Gebirgsverhältnissen grundsätzlich der starre Ausbau mit dicker Spritzbetonschale und schweren Ausbaubögen favorisiert. Dies hat in der Ausführung oft zu Überbeanspruchungen und teilweise Versagen der Spritzbetonschale geführt, die eine nachträgliche und zusätzliche Ertüchtigung erforderlich machten. Durch ein ausreichend großes Übermaß in den „schwierigen“ (teilweise druckhaften) Gebirgsbereichen konnten bis zu 2 zusätzliche Spritzbetonschalen eingebaut werden. Die Tunnelbereiche in denen im Kalottenbereich ein Unterprofil auftrat wurden anschließend, vor dem Ausbruch der Strosse saniert.

rounding the tunnel. Therefore even in squeezing rock mass conditions the stiff support with a thick shotcrete lining and heavy steel-arches was favored in general. This has led to overstressing and partial failure of the shotcrete lining during construction, which required a subsequent improvement. With sufficient overexcavation at the difficult (partly squeezing) rock mass sections, the installation of up to 2 additional shotcrete linings was possible. The tunnel sections, where a low profile had occurred in the top heading section, were refurbished before the bench was excavated.

Anwendung der NATM am Kanal Tunnel

Application of the NATM at the Channel Tunnel

Max John, JTC John Tunnel Consult, Austria, max.john@gmx.at
dazumal: Abteilungsleiter Tunnelbau bei ILF Consulting Engineers

1. Einleitung

Den ILF Consulting Engineers gelang es, die NATM am Kanal Tunnel das erste Mal in Großbritannien in großem Stil einzusetzen. Die gestellten Herausforderungen wurden mit bis ins Detail ausgearbeiteten Planungen einschließlich Risikobetrachtungen gelöst und durch Beistellen des NÖT Verantwortlichen und mehrerer Berater der Bauleitung unterstützt.

2. Überblick über die Arbeiten

Die NATM wurde in folgenden Bereichen des englischen Abschnittes des Kanal Tunnels angewendet:

- Shakespeare Cliff: Zugangstunnel A2 und Untertagebereich mit 2 700 m Tunnel, 65 Kreuzungen, 3 Schächte
- Überleitstelle Untertag: 252 m² Kaverne mit Zugangstunnel
- Castle Hill Tunnel: 3 parallele Tunnels je 500 m lang mit Querschlägen
- Nebenbauwerke: Temporäre Querstollen, Pump Stationen, Tunnelaufweitungen.

3. Shakespeare Cliff Untertagebereich

3.1 Zugangsstollen A2

Der mit 15 % geneigte Zugangsstollen musste anfänglich durch lose gelagerten Kalkschutt vorgetrieben werden. Dazu wurden voraus-eilende Selbstbohrspieße hier das erste Mal neben Gitterträger und Selbstbohranker eingesetzt. Die Ortsbrust wurde durch einen Brustkeil stabilisiert. Die geotechnischen Messungen stellten sich rasch als unumgänglich heraus, da auf Grund

1. Introduction

ILF Consulting Engineers introduced the NATM at the Channel Tunnel for the first time in Great Britain extensively. The challenging tasks have been solved with detailed designs regarding construction sequences and including risk assessments. Works were supervised on site by providing the NATM Engineer and supported by site advisors to the construction manager.

2. Summary of Works

The NATM was on the British side of the Channel Tunnel used in following areas :

- Shakespeare Cliff: Adit A2 and Marshalling Area with 2 700 m of tunnels, 65 junctions, 3 shafts
- Undersea Crossover: 252 m² cavern including access tunnels
- Castle Hill Tunnel: 3 parallel tunnels each 500 m plus cross passages
- Additional Structures: Temporary crossovers, Pumping stations, Tunnel enlargements.

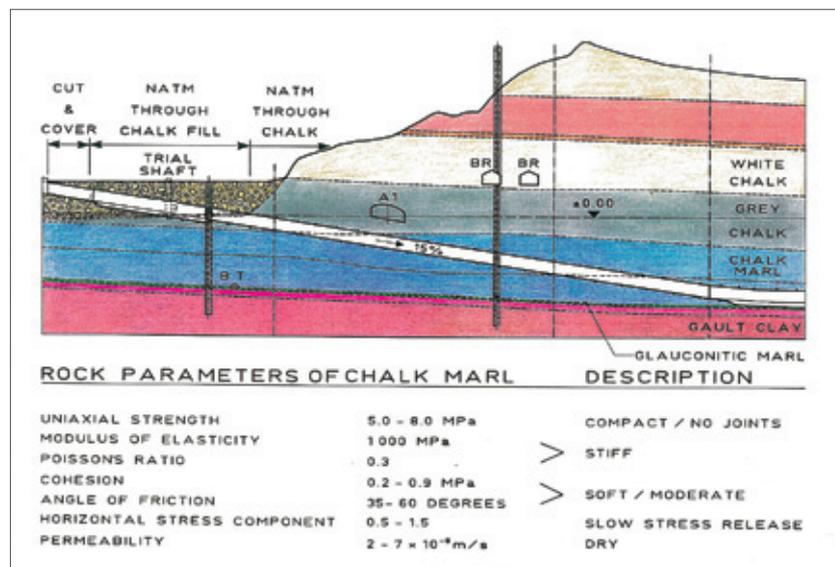


Abb. 1. Zugangsstollen A2, Geologie | Fig. 1. Adit A2, Geology

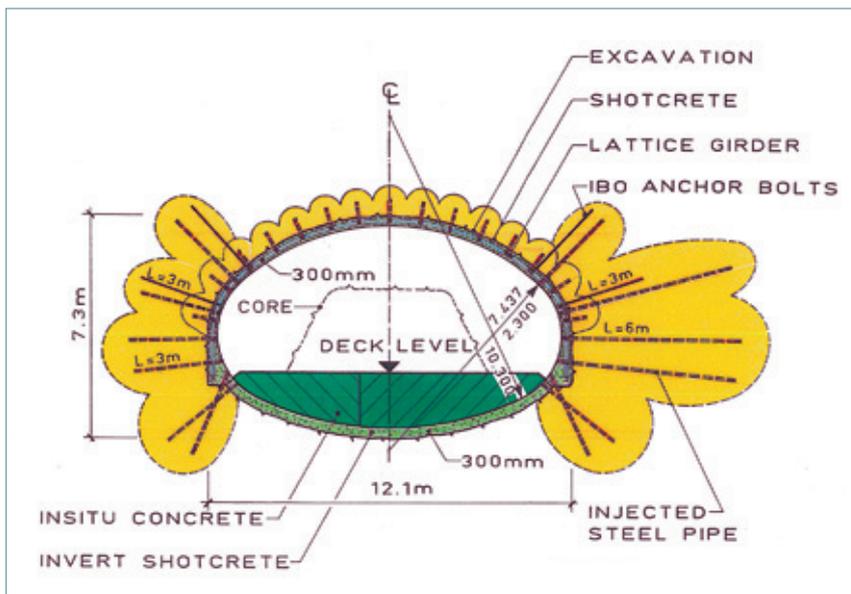


Abb. 2. Zugangsstollen A2, Stützmaßnahmen
Fig. 2. Adit A2, Support measures

einer zusätzlichen Auflast unerwartete Deformationen initiiert wurden. Diese erforderte eine zusätzliche Bettung mittels Injektionen in den Ulmen und zur Stabilisierung der Widerlager im Sand.

3.2 Shakespeare Untertagebereich

Im Untertagebereich mussten komplexe Übergänge zwischen den 3 Tunnelröhren mit vielen Kreuzungen und Abzweigungen hergestellt werden, bevor der Vortrieb der 6 TBM's in Angriff genommen werden konnte. Mit der Anwendung der NÖT für diese zeitkritischen Arbeiten konnte je Kreuzung die Bauzeit von ursprünglich 3 Monaten mit Einsatz von Stahlbögen, Verzug und Beton auf 2 bis 3 Wochen reduziert werden. Dies wurde mit der Anwendung der NÖT Prinzipien ermöglicht.

4. Kaverne der Überleitstelle

4.1 Entwurf

Die Anwendung der NÖT wurde bereits bei der Auswahl des Schemas als getrennte Überleitung von einer zur anderen Röhre oder als Kaverne mit Kreuzungsweiche in Betracht gezogen. Zur Ausführung kam die Kavernenlösung, weil die große Kaverne in einem geologisch günstigen Bereich situiert werden konnte. Es konnte auch gezeigt werden, dass mit der NÖT die Kaverne mit einem Zugang aus dem Dienststollen so rasch hergestellt werden kann, dass diese vor Ankunft der beiden TBM's in den Fahrrohren fertiggestellt ist.

3. Shakespeare Underground Development

3.1 Adit A2

The 15 % downward Adit A2 had at the start to be driven through Chalk Fill without compaction requiring spiling. For the first time selfdrilling spiles have been used in Britain besides lattice girders, fast setting shotcrete and self drilling dowels. Face support was provided by a large core. Soon after start of works it turned out that geotechnical measurements are crucial because unexpected settlements caused by additional surface loads occurred.

They necessitated grout injection outside the sidewall to enhance ground reaction and underneath the footings to stabilise sandy seams.

3.2 Shakespeare Marshalling Area

At the marshalling area complex interchanges of the 3 tunnel tubes including several junctions and bifurcations had to be excavated to enable the start of 6 TBM's in this area. These works have been decisive in respect to the time schedule. By adopting the NATM it was possible to reduce the construction time from 3 months required for originally using steel arches, lagging and concreting to only 2 to 3 weeks. This was achieved by designing those junctions in line with NATM design principles.

4. U.K. Undersea Crossover

4.1 Design

The application of the NATM was considered already during the design development study to decide between the single leg turnout scheme and the scissors scheme. The later was preferred due to the fact that the large cavern could be situated at a geologic favourable location. By using the NATM it was possible to demonstrate that the large cavern can be constructed out of the service tunnel in time before arrival of the running tunnels driven by TBM's.

At the location of the crossover cavern the depth of sea is 31 m and the cover to the seabed amounts to

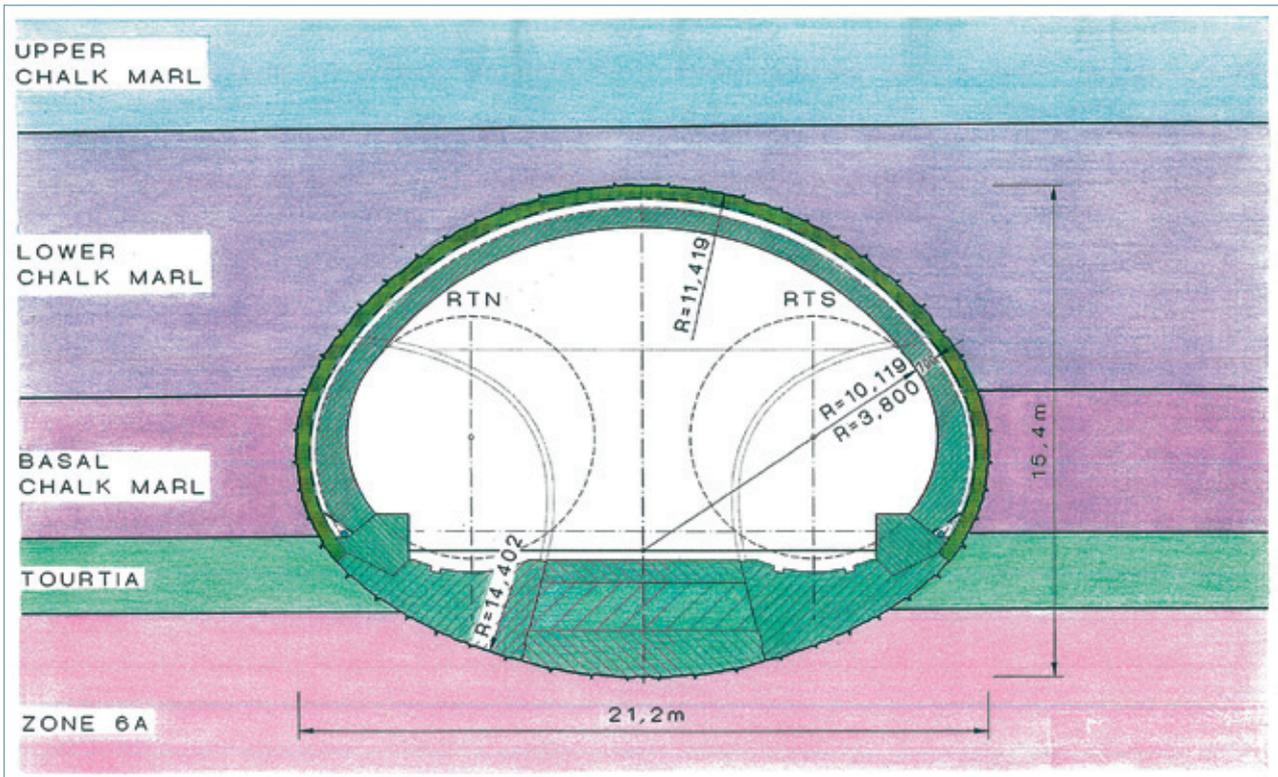


Abb. 3. U.K. Kaverne der Überleitstelle, Regelquerschnitt | Fig. 3. U.K. Crossover cavern, Typical cross-section

Im Bereich der Kaverne ist das Meer 31 m tief und die Überlagerung zum Meeresboden beträgt 36 m. Der Kalkmergel ist zwar nicht einheitlich, aber zumindest wurde eine niedrige Durchlässigkeit von mindestens 10–7 m/s prognostiziert.

Die Spannweite wurde vom Achsabstand der Fahrrohre von 10,5 m bestimmt, welche aus der Breite des Felspfeilers am Eingang zur Kaverne mit 1,5 m

36 m. The chalk marl in this area is varied, however the permeability was determined as low as 10–7 m/s.

The span of the cavern of 21,2 m was dictated by the distance of 10,5 m of the axis of the running tunnels at the entrance to the cavern regarding a pillar width of 1,5 m. The height of 15,4 m was solely determined by design loads and the aim to avoid reinforcement of the secondary concrete lining.

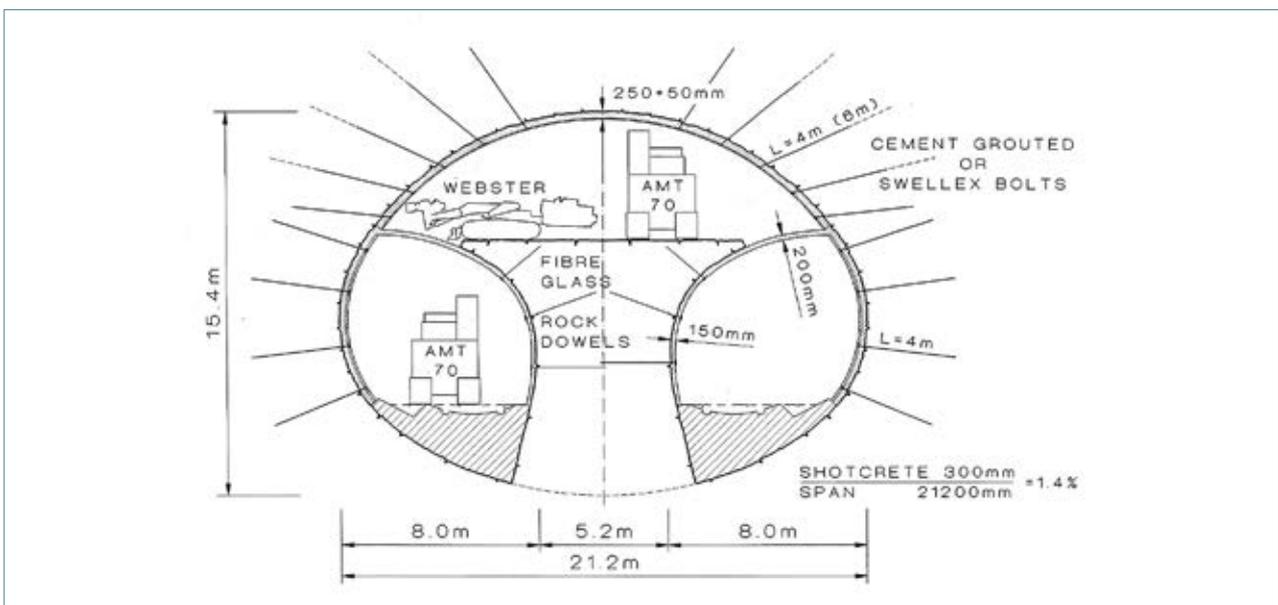


Abb. 4. U.K. Kaverne der Überleitstelle, Stützmaßnahmen | Fig. 4. U.K. Crossover cavern, Support measures

resultiert. Die Höhe wurde ausschließlich vom Bestreben bestimmt, das Innengewölbe unbewehrt ausführen zu können.

Die Ulmenstollen wurden vorwiegend aus Gründen des Einschränkens des Risiko's bezüglich Geologie und Wasserzutritt gewählt. Die Größe der Ulmenstollen wurde auf leistungsfähige Teilschnittmaschinen abgestimmt. 30 cm Spritzbeton und 4 m lange Anker reichten aus, die Kaverne zu stabilisieren.

4.2 Unvorhergesehenes Ereignis

80 m nach Beginn des Vortriebes der Kalotte traten plötzlich Scherrisse im Spritzbeton 1,5 m bis 3,0 m oberhalb des Kalottenaufagers über eine Länge von 16 m 7 m hinter der Ortsbrust auf. Mit Bohrlöcher wurde festgestellt, dass sich 4 m bis 6 m oberhalb der Firste eine undurchlässige Schicht befand, oberhalb welcher sich ein Wasserdruck ausbildete und damit den Scherwiderstand reduzierte. Die Gewölbewirkung wurde dadurch beeinträchtigt. Auslöser der Risse war eine quer verlaufende durchgehende Kluft im ansonsten kompetenten Kalkmergel. Sofort nach Feststellen des markanten Anstieges der Firstsetzungen wurden Gegenmaßnahmen eingelei-

Sidewall drifts were implemented for safety reasons in case unexpected ground and/or water ingress may occur. Sizes of sidewall drifts, top heading and bench were adjusted to the road headers to be used to achieve efficient production.

Shotcrete 300 mm thick supported by 4 m long rock bolts were sufficient to stabilise the cavern.

4.2 Unpredicted Event

During heading excavation after 80 m of advance cracks in the shotcrete 1,5 m to 3,0 m above the footings of the heading occurred over a length of 16 m 7 m behind the face. Via drillholes it was found that an impermeable layer 4 m to 6 m above the roof caused a built up of water pressure releasing the shear capacity and thereby reducing the height of the load bearing arch. The cracks were initiated by a transverse joint within the otherwise competent chalk marl.

Immediately after observing a sharp increase in roof settlements remedial works have been introduced thus avoiding a tunnel collapse. Measures taken con-

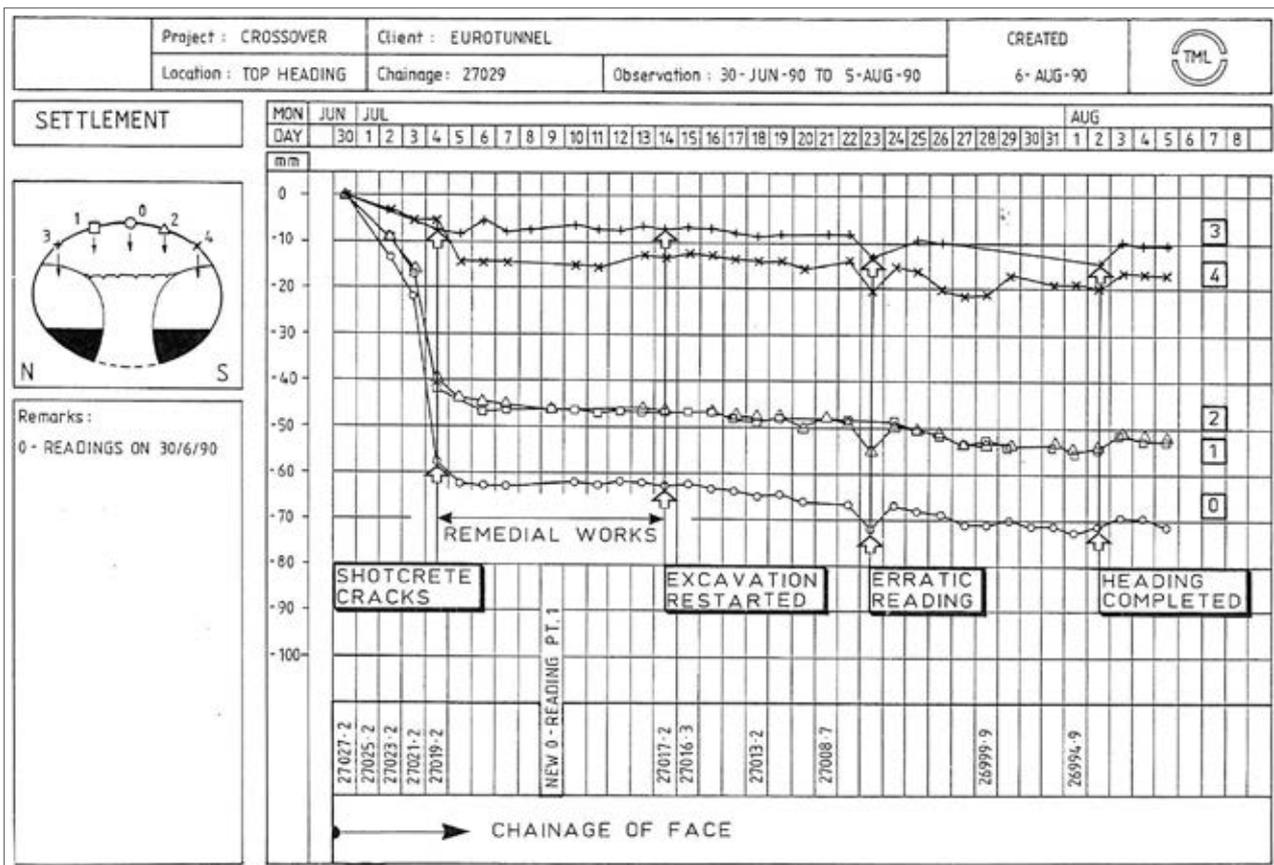


Abb. 5. Unvorhergesehenes Ereignis, Ergebnisse der Setzungsmessungen
 Fig. 5. Unpredicted event, Results of settlement measurements

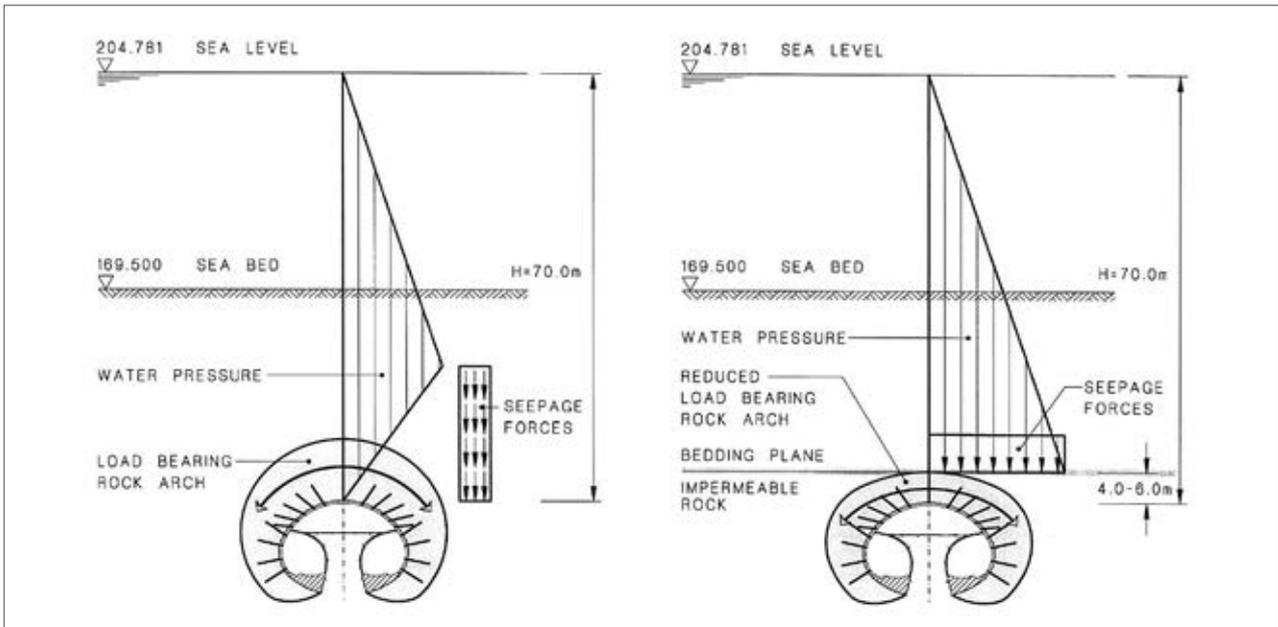


Abb. 6. Unvorhergesehenes Ereignis, Bruchmechanismus | Fig. 6. Unpredicted event, Failure mechanism

tet, die einen Verbruch verhinderten. Diese Maßnahmen bestanden aus Entlastungsbohrungen und Nachankerungen.

sisted of implementing drainage holes and additional rock bolting.

5. Castle Hill Tunnel

Der Castle Hill besteht aus überkonsolidiertem Ton. Beim Vortrieb des Dienststollens öffneten sich ursprünglich geschlossene Trennflächen auf Grund der

5. Castle Hill Tunnels

At the Castle Hill Tunnels overconsolidated Gault Clay had to be driven through. Closed joints opened in the service tunnel at the face due to the stress release and became wet and slippery. Thus outbreaks of large

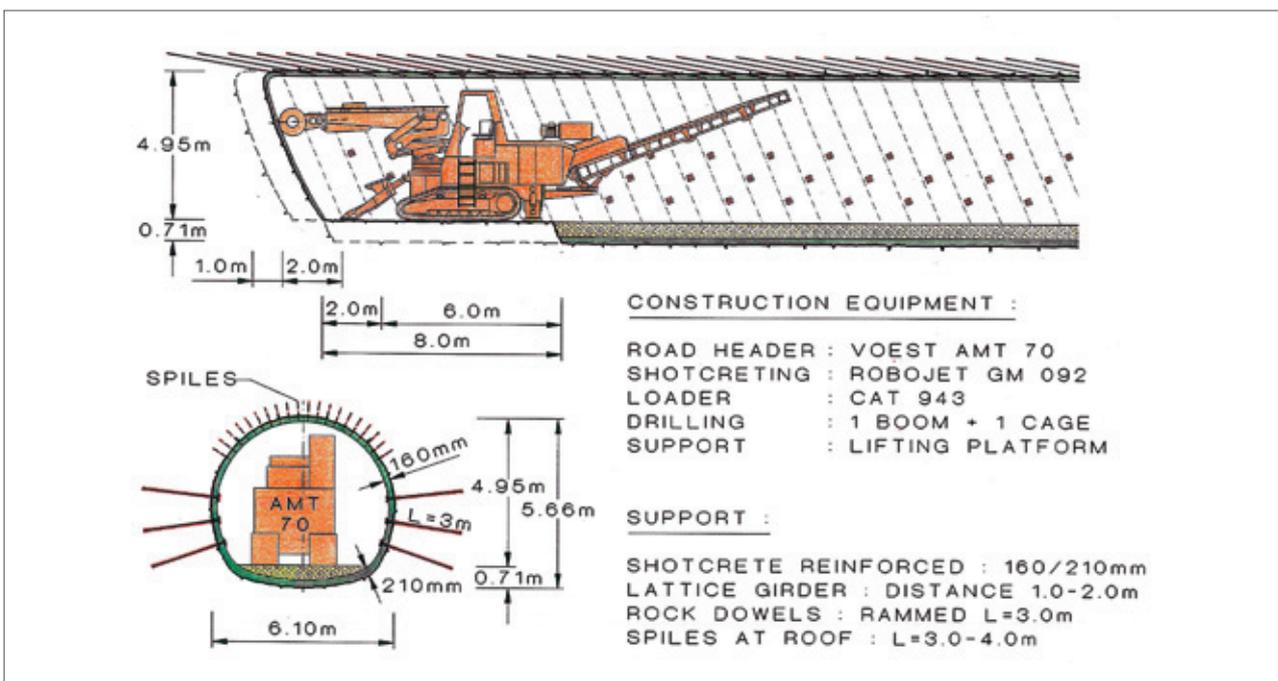


Abb. 7. Castle Hill Tunnel, Vortriebsschema des Dienststollens
Fig. 7. Castle Hill Tunnels, Driving scheme of service tunnel

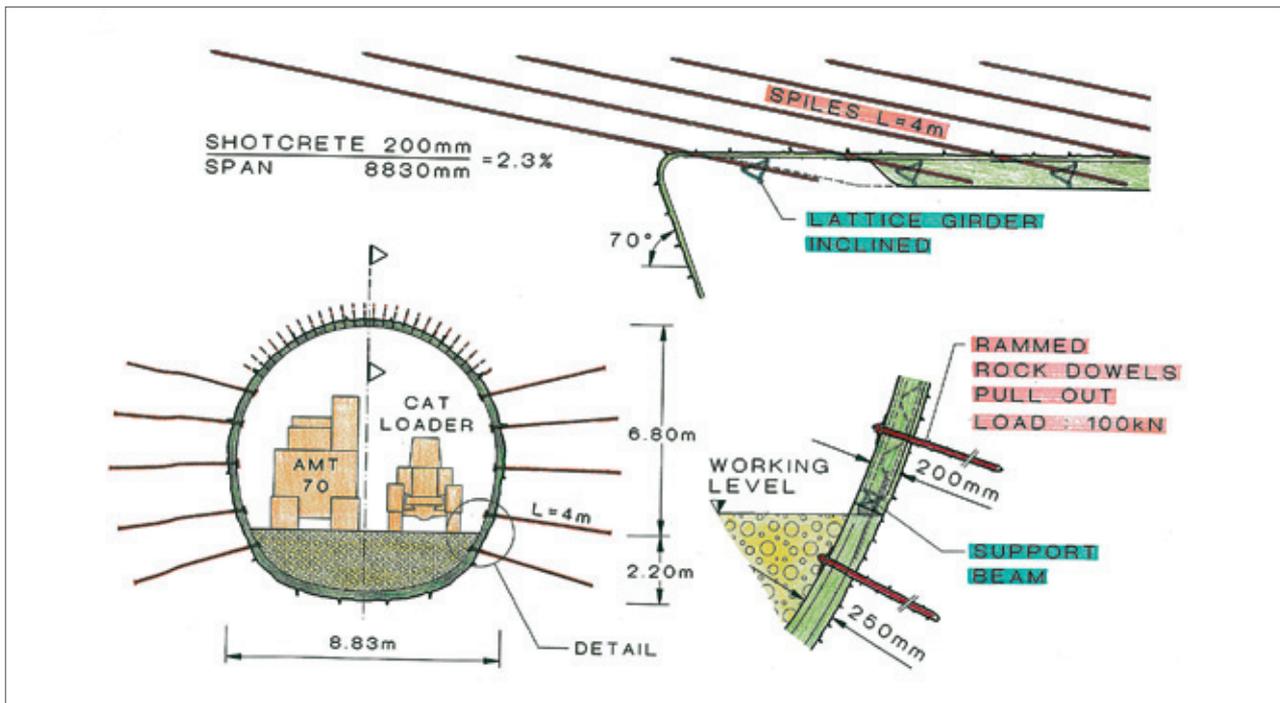


Abb. 8. Castle Hill Tunnel, Stützmaßnahmen der Fahrrohre
 Fig. 8. Castle Hill Tunnels, Support measures of running tunnels

Spannungsentlastung und wurden feucht sowie schlüpfrig. Dadurch lösten sich große Blöcke aus der Ortsbrust, obwohl Spieße eingesetzt wurden. Daher wurde eine geneigte Ortsbrust mit entsprechenden Gitterträgern erfolgreich auch bei den nachfolgenden Fahrrohren eingesetzt.

6. Zusammenfassung

Beim Kanal Tunnel wurde die NÖT auf der englischen Seite anfänglich für die Untertagbauwerke von Shakespeare eingesetzt. Auf Grund der erfolgreichen Erfahrungen wurde deren Einsatz auf fast alle Bereiche, die nicht mit TBM's aufgefahen wurden, ausgeweitet. Die Anerkennung der Erfolge wurden durch die Verleihung des „British Construction Award“ 1990 für die U.K. Überleitstelle und 1994 für alle Tunnel des Kanal Tunnels unterstrichen.

blocks occurred despite application of spiles. Therefore the face was inclined using specially formed lattice girders. This method proved to be successful for the service as well as the two larger running tunnels.

6. Summary

Originally the application of the NATM was planned for the structures at Shakespeare Cliff. Due to its successful usage the areas of application have been extended to almost all structures which were not executed by TBM's. The appreciation of the NATM is best documented by the fact that the "British Construction Award" was won by the U.K. Crossover in 1990 and by the overall Tunnel Construction in 1994.

Numerische Modellierung und Ausbruch der Kavernen des PSKW Limberg II

Numerical simulation and excavation of caverns for PSP Limberg II

Miroslav Marence, Pöyry Energy GmbH, Austria, miroslav.marence@poyry.com, www.poyry.at

1. Einleitung

Das neue Pumpspeicherkraftwerk Limberg II nahm den Betrieb im Jahr 2011 auf und nützt den Höhenunterschied der beiden Jahresspeicher Mooserboden und Wasserfallboden. Topografie und Umweltaspekte bedingten, dass fast die gesamte neue Anlage und die Zufahrtstrasse unterirdisch errichtet wurden. Der oberwasserseitige Triebwasserweg, der Triebwasserstollen und der Druckschacht wurden mit Tunnelbohrmaschinen aufgeföhren. Alle anderen unterirdischen Strukturen wurden nach der NÖT Methode aufgeföhren. Die NÖT-Methode wurde auch für den Aushub der Kraft- und Transformatorkaverne angewandt.

Zwei Francis Pump turbinen (2*240 MW) mit Synchrongeneratoren sind in der Kraftkaverne installiert und die Haupttransformatoren in einer eigenen Kaverne. Im Zuge der Planung wurden die Größe der Kaverne, der Abstand zwischen den Kavernen und die horizontale Anordnung unter Berücksichtigung von betrieblichen Erfordernissen und fels-mechanischen Eigenschaften optimiert.

2. Planung

Nach eingehender Prüfung der geologischen, statischen, baulichen, betrieblichen und Sicherheitsaspekte wurde die 2-Kavernenlösung gewählt. Diese Lösung resultierte einerseits in einem höheren Aushubvolumen, andererseits in geringeren Dimensionen der Kavernen und mehr Sicherheit unter Betriebsbedingungen.

2.1 Eigenschaften des Gebirges

In den 90-er Jahren wurde ein Erkundungsschacht zum Kavernenstandort vorgetrieben. Durch das umfassende felsmechanische Erkundungsprogramm wurden Festigkeit und Steifigkeit aber auch Primär-

1. Introduction

The new pump storage plant Limberg II started operation in 2011 by using the level difference between the annual storage reservoirs Mooserboden and Wasserfallboden. Topography and environmental aspects required nearly all structures of the new power plant and the access way to be situated underground. Apart the upstream power waterway, the headrace tunnel and the penstock shaft that were excavated by Tunnel Boring Machines (TBM). All other underground structures were excavated with the New Austrian Tunnelling Method. NATM was also used for the excavation of the power and the transformer cavern.

*Two Francis pump-turbines (2*240 MW) with synchronous generators are installed in the power cavern and the main transformers in a separate cavern. In the course of the design the size of both caverns, the distance between the caverns and the horizontal layout were optimised taking in consideration the operational needs as well as rock mechanics characteristics.*

2. Design

After thorough review of geological, structural, constructional, operational and safety aspects the two-cavern solution was selected. This solution resulted in an increased excavation volume on the one hand, on the other hand in smaller dimensions of the caverns and safer operation conditions.

2.1 Rock mass characteristics

During the 90s, an exploratory shaft was excavated to the cavern site. By the extensive rock mechanic exploration program, the strength and stiffness of the rock mass, the initial stress level and the direction and strength characteristics of the discontinuities

spannungszustand, Richtungs- und Festigkeitseigenschaften der Kluftsysteme untersucht. Die Kavernen liegen in kalkhaltigem Glimmerschiefer, einem massiven und starken Felsmassiv.

Den bei der Erkundung festgestellten Diskontinuitäten und ihren Merkmalen wurde besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

2.2 Geometrie und Aushubmethodik

Die Maschinenkaverne ist ein Längsbauwerk mit einer max. Länge von 61,90 m, einer Breite von 24,40 m und einer max. Höhe von 42,60 m. Die Transformatorkaverne ist kleiner dimensioniert $L*B*H = 57,00*14,60*17,10$ m und liegt mit einem Achsabstand von 51 m parallel zur Maschinenkaverne. Die bauliche Form der Kavernen wurde durch den für die Ausrüstung benötigten Platzbedarf unter Berücksichtigung der statischen und felsmechanischen Richtlinien bestimmt. Die Kavernen sind hufeisenförmig mit gekrümmten Wänden und gekrümmter Stirnwand konstruiert. Das auf Grundlage von [1] erwartete Verhalten des Gebirgsmassivs rund um die Kavernen war gekennzeichnet von den Diskontinuitäten kontrollierter Blockausfall (BT2) und oberflächennahe Störungen (BT3).

Aushubmethodik, Phasen und ausgewählte Sicherungsmaßnahmen wurden nach der 3D Keilstabilität- und der FE-Methode geplant.

Die dreidimensionale Keilstabilitätsmethode definiert Fels als diskontinuierliches Medium und kinematisch instabile Felskeile, die über wesentliche Diskontinuitäten und ihre geologischen Eigenschaften (Neigung, Neigungsrichtung, Stärke und Durchtrennung) bestimmt werden, wurden berücksichtigt. Die Methode gibt Auskunft über die Blockstabilität den Kavernen und definiert die erforderlichen Sicherungsmaßnahmen.

Die FE-Modellierung (Abb. 1) geht davon aus, dass Felsmassiv ein Kontinuum mit Eigenschaften aus intaktem Fels und Diskontinuitäten ist. Die Methode ermöglicht es, die Aushubphasen und den Einfluss der beiden nebeneinanderliegenden Kavernen beim Aushub aufeinander zu simulieren. Eine Sicherung mit max. 35 cm Spritzbeton, bewehrt mit 2–3 Lagen Bewehrungsmatten, Stahlgitterbögen, voll vermörtelten Ankern (6 m) und teilweise vorgespannten Stabankern von 15 m Länge wird modelliert. Der Kranbalken wird während der Bauausführung als Baukran verwendet und mit vorgespannten Ankern befestigt. Die FE-Simulation gibt Auf-

were investigated. The caverns are situated in calcareous mica schist, a massive and strong rock mass. Special attention was given on the discontinuities and their characteristics encountered during exploration.

2.2 Geometry and excavation method

The machine cavern is a longitudinal structure with a maximal length of 61,9 m, a width of 24,40 m and a maximal height of 42,6 m. The transformer cavern with dimensions of $L*B*H = 57,0*14,6*17,1$ m is smaller and situated parallel to the machine cavern on an axial distance of 51 m. The structural form of the caverns is defined by the space needed for the equipment and taking into consideration structural and rock mechanics principles. The cavern has a horseshoe shape with curved walls and also curved cavern end walls. The expected rock mass behaviour around the caverns, based on [1], was characterized by the discontinuities of controlled block fall (BT2) and shallow failure (BT3).

The excavation method, phases and selected support system were designed according to the 3D wedge stability method and the finite element method.

The three-dimensional wedge stability method defines rock as discontinuous media and considers kinematic instable rock wedges, defined by main discontinuities with their geological characteristics (dip, dip direction, strength and persistence). The method gives answer to block stability of the caverns excavation and defines the required primary support.

Finite element modelling (Fig. 2) assumes the rock mass as a continuum with characteristics smeared over the intact rock and discontinuities. The method enables simulation of excavation phases and influence of the two neighbouring caverns on each other. The support with a maximum of 35 cm shotcrete reinforced by two to three layers of welded wire meshes, lattice girders, grouted rock bolts (6 m) and partly pre-stressed bar anchors with 15 m length are modelled. The crane beam serves during construction as a construction crane and is fixed by the pre-stressed anchors. The pre-stressed anchors are also included in the simulation. The finite element simulation gives answer to the stress redistribution in the surrounding rock mass, shape and extent of the plastic zone, stresses and load utilization of the rock mass and the support system as well as deformation distribution in the

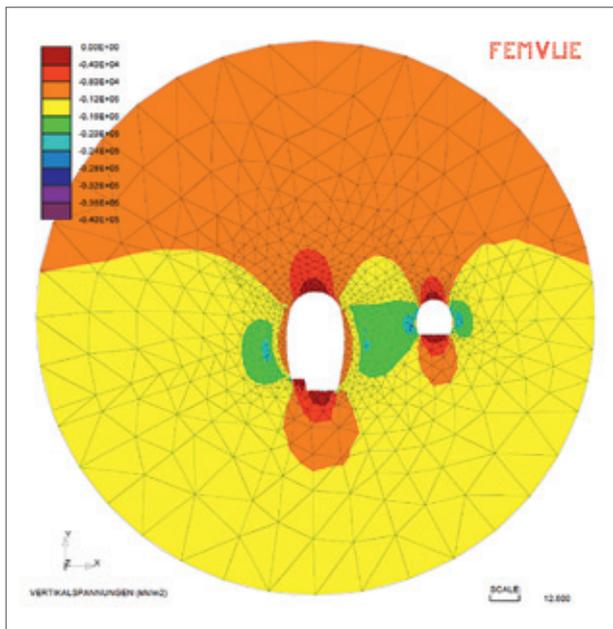


Abb. 1. Vertikale Spannungen (a) und vertikale Verformungen (b) am Ende der Bauphasen

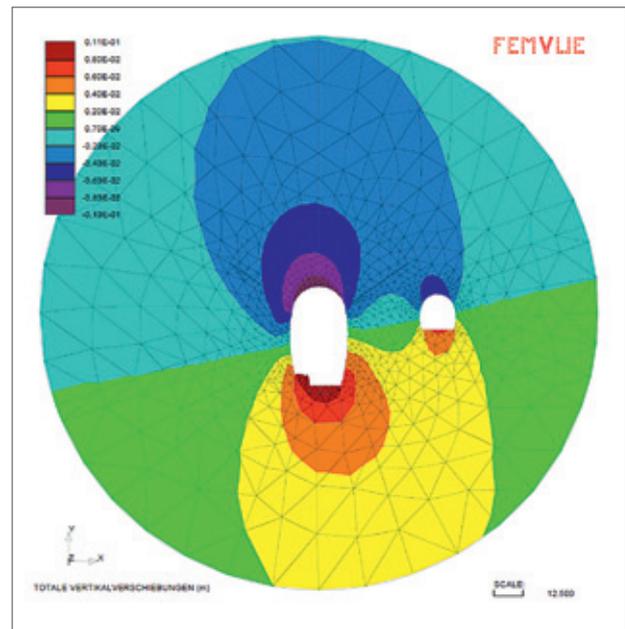


Fig. 1. Vertical stresses (a) and vertical deformations (b) at the end of construction

schluss über die Umverteilung im umliegenden Felsmassiv, Form und Ausmaß der plastischen Zone, Spannungen und Auslastung des Felsmassivs und der Sicherungsmaßnahmen und Verformungen im Felsmassiv und an der Aushuboberfläche (Konvergenzen). Konvergenzen, besonders auf Höhe des Kranbalkens, waren ein wesentliches Kriterium für die Kranauslegung.

3. Bauausführung und Messung

Der Aushub beider Kavernen wurde nach der NÖT Methode mit Sprengungen im Mittelteil der Kavernen und einer schonenden Sprengung nahe den Kavernenwänden ausgeführt. Die Auskleidung wurde gemäß Planung ausgeführt und der Vortriebsvorgang wurde in drei Messquerschnitten mit eingebautem Extensometer und Konvergenzmesspunktesystem überwacht. Gemessene Verformungen wurden mit dem FE-Modell verglichen, wobei eine gute Übereinstimmung festgestellt wurde.

4. Zusammenfassung

Die Planung solch großer Untertagebauwerke verlangt eine gute Vorbereitung und durch gut aufbereitete geologische Vorgaben können die Bauausführung und das Trägersystem maßgeblich optimiert

rock mass and on the excavation surface (convergences). Convergences, especially at the level of the crane beam were important criteria for the crane design.

3. Construction and Measurements

The excavation of both caverns was performed with the New Austrian Tunneling Method with massive blasting of the middle parts of the cavern and with presplitting near the cavern walls. The support beams were executed based on the design and the whole excavation process was controlled by three control sections with installed extensometer and a system of convergence measurement points. Measured deformations were compared with the finite element model and a very similar distribution was found.

4. Conclusion

The design of such huge underground structures requires a sound preparation and in case of a well prepared geological input the construction and support system can be decisively optimised. From the design and construction of the caverns the following can be concluded:

- The Finite Element Simulation and wedge stability calculation are a suitable tool for the design of underground structures;

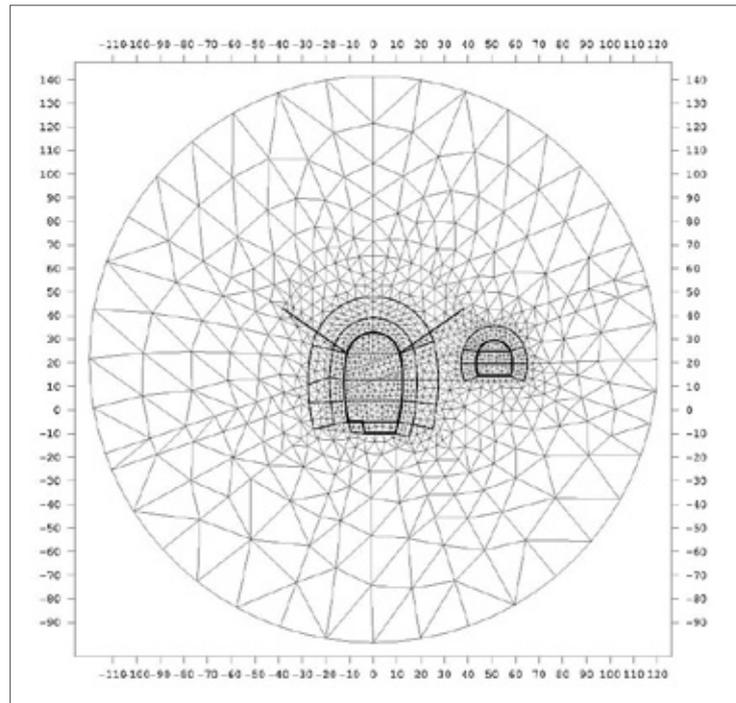
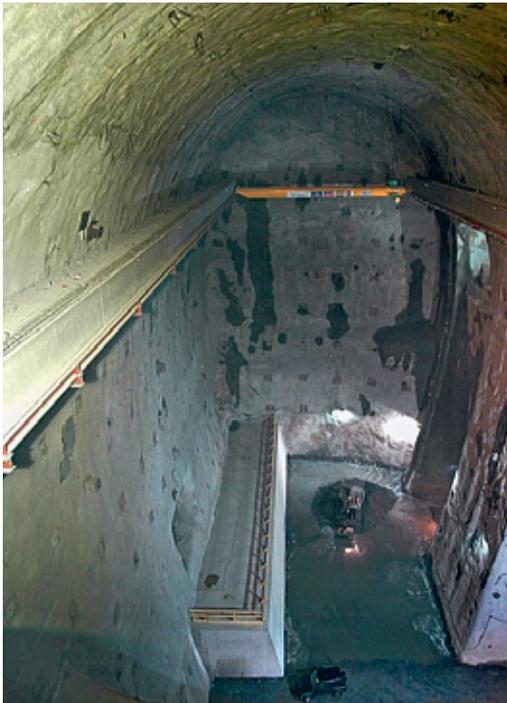


Abb. 2. Ausbruch Maschinenkaverne (a) und Finite Elemente Model (b)

Fig. 2. Excavated cavern (a) and finite element model (b)

werden. Aus Planung und Bauausführung der Kaverne kann wie folgt zusammengefasst werden:

- FE-Simulation und Keilstabilitätsberechnung sind geeignete Instrumente für die Planung von Untertagebauwerken;
- die Planungsmethoden ermöglichen es, das Verhalten und die Größenordnung der Verformungen vorherzusagen;
- die Genauigkeit des Modells hängt stark von den geologischen Informationen ab und die Erkundungsarbeiten sollten in Relation mit der Bedeutung des Bauwerks sein;
- die Investition in die geologische Erkundung und die sachgerechte Planung können in der Bauausführung um ein Vielfaches eingespart werden.

Literatur

- [1] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik: Richtlinie für die geomechanische Planung von Untertagebauwerken mit konventionellem Vortrieb. 2010
- [2] Swoboda, G.: FINAL – FE-Analyse – Programm – Ver. 7.1. - Universität Innsbruck, 2010.
- [3] VERBUND AG: Das Kraftwerk im Berg – Die Baugeschichte des Pumpspeicherkraftwerks Limberg II, Residenz Verlag, 2011.

- *The design methods allow to predict the behaviour and the magnitude of deformations around the excavation;*
- *The accuracy of the model is very dependent on the geological information and the exploration works should be in relation with the importance of the structure;*
- *The investment in geological exploration and proper design can be multiply saved during the construction.*

References

- [1] Austrian Society for Geomechanics: Guideline for the Geotechnical Design of Underground Structures with Conventional Excavation. 2010
- [2] Swoboda, G: FINAL – Finite element analysis program – Ver. 7.1. University Innsbruck, 2010.
- [3] VERBUND AG: Das Kraftwerk im Berg – Die Baugeschichte des Pumpspeicherkraftwerks Limberg II, Residenz Verlag, 2011.

Risiko Minderung im Tunnelbau für Wasserkraft

Risk Mitigation in Hydropower Tunnelling

Harald Wagner, Consulting Engineer, Austria/Thailand, drhrwagner@yahoo.com, www.drharaldwagner.com

1. Einleitung

Der ständig steigende Bedarf an Energie in allen Erdteilen hat der Erzeugung von Wasserkraft in jüngster Zeit erheblichen Auftrieb gegeben. Die großen Gebirgszüge wie der Himalaya, aber auch Mittelgebirge im Mittleren Osten, sind vorzügliche und umweltfreundliche Wasser Speicher die darauf warten, energetisch genützt zu werden.

Die zur Verfügung stehenden Tunnelbau Technologien werden von einer Vielzahl von Faktoren bestimmt. Die häufig schwer zugängliche Topographie kann dabei zum bestimmenden Faktor für die Wahl der Vortriebsmethode werden (1).

Geotechnik und Risiko sind bestimmend für den Erfolg der gewählten Vortriebstechnologie. Beide sind gleichermaßen erfolgsbestimmend und beide gehen Hand in Hand. Bei beiden Technologien gibt es eine Vielzahl von neueren Entwicklungen.

Immer häufiger kommen Hybrid Lösungen als technisch und ökonomisch optimierte Lösungen zum Zug. Die Philosophie der geotechnischen Planung auf Grundlage der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise hat sich über Technologie Grenzen hinweg in Durchführung mit Erfolg von Tunnels bewährt.

Der Autor hatte erstmals im Jahre 1960 Gelegenheit, im Auftrag der Tauern Kraftwerke AG Erfahrungen beim Bau des Limberg Stollen Schrägschachtes für das Kraftwerk Kaprun zu sammeln (2). In den folgenden 5 Jahrzehnten hatte der Autor als verantwortlicher Planer und Konsulent die Realisierung von großen Wasserkraft Projekten auf vielen Erdteilen maßgeblich beeinflusst.

Der vorliegende Beitrag behandelt Erfahrungen beim Risiko Management von mehreren Tunnel Projekten sowohl im drückenden Gebirge (3) als auch unter starkem Wasserandrang (4) in der Planung und beim Bau von Wasser Kraftwerken.

1. Introduction

There is steadily increasing demand on energy on all continents giving recently strong impulses for production of Hydro Power. The big mountain ridges, e.g. the Himalaya Mountains as well as the reasonable high Mountains of the Middle East, are to be considered as excellent water reservoirs being environmentally friendly, waiting for their energetic exploitation.

The available tunnelling technologies are defined by a number of factors. In many cases it is the topography with its difficult access to the construction site, which becomes the ultimate factor for the choice of the Tunnel Driving Method (1).

Geotechnique and Risks are finally determining the success of the chosen Tunnelling Technology. They both go hand in hand in determining success in construction. With both Technologies, there are a big number of new technology developments.

With increasing frequency, Hybrid solutions are matching with efforts for technical and economical optimized concept solutions. The philosophy of Geotechnical Planning on grounds of the New Austrian Tunnelling Method has proven feasibility and convincing success across all Technology Borders in tunnel construction.

The authors first time opportunity to gain experiences on behalf of Tauern Kraftwerke Corp. during construction of the Limberg Gallery Inclined Shaft during construction of the Kaprun Hydropower Station (2). During the following 5 Decades it has been the privilege of the author as a planning engineer, designer and consultant, to essentially influence realization of large Hydropower Projects on almost any continent.

The actual paper is dealing with experiences in Risk Management with several Hydropower Projects and its tunnels under real rock pressure (3), and under heavy water ingress (4) in design, planning and construction.



Abb. 1. Verbruch Risiko von drückender Geologie im Himalaya Gebirge, Indien (NATM Tunnel)

Fig. 1. Collapse Risk form Squeezing Geology in Himalaya Mountains, India (NATM Tunnel)

2. Risikomanagement beim Bau von Kraftwerk Tunnels

2.1 Vorwort

Es gibt 5 gute Gründe die für Risiko Management im Tunnelbau sprechen. In zahlreichen Fällen kam es in der Vergangenheit zu Kosten Überschreitungen, häufig kombiniert mit Bauzeit Verzögerungen und Defiziten bei der Sicherheit, jedoch auch zu Verletzungen von Umweltgesetzen.

Derartige Gründe gaben Anlass zu weiteren Analysen im Hinblick auf die gängige Praxis bei Verträgen, generelle Bedenken, Risiko Teilungs Mechanismen, insbesondere Risiko Management für Wasserkraft Tunnels, erläutert an Hand von Beispielen.

Der Risikoträger muß sich vertraut machen mit den wesentlichen Bedenken in der Baudurchführung einschließlich möglicher Nachträge, möglicher Varianten, aber auch mit den Prinzipien des Risiko Managements und dem Risiko Management Prozedere. Bedenken beziehen sich primär auf das Verhältnis von Verlustumfang zu Prämienvolumen, und auf den Vertragswert.

2.2 Risiko Sachverhalte

Bei der Evaluierung von Risiken müssen Kosten für die Wiederinstandsetzung von Schäden gegen echte

2. Risk Management for Hydropower Tunnels

2.1 Preface

There are 5 good reasons for Risk Management in Tunnel Construction. What happened in the past in numerous cases that there were cost overruns, mostly combined with delays in construction and safety deficits, as well as environmental laws.

Such reasons gave rise for further analysis, in regard to current contracting practices, issues of concern, risk sharing mechanisms, in particular risk management for

Hydro Projects, illustrated with risk examples.

The one who carries the risk has to look into major construction concerns including potential claims, possible options, as well as applicable risk management principles and the risk management process. Concerns are related primarily towards the size of loss against premium volume, and towards its contract value.

2.2 Risk Issues

It is obvious in risk evaluating, that the Cost for re-conditioning of damages have to be evaluated against Real Cost, as well as the insured claim against the potential loss. The potential loss is governing the extent of the provided insurance coverage. The insurer is requesting higher quality control as the tunneling industry's risk management has been inconsistent in the past.

Present contract trends indicate more risk type construction methods, many times with a tendency towards Design & Build Contracts. Such contracts are featured with tight construction schedules, tight budgets, and awarded under harsh competitive conditions.

To tackle with issues like stop offering policies, increase terms, excesses, cover restrictions, ITA Guidelines

Baukosten ebenso evaluiert werden wie der versicherte Nachtrag gegen den möglichen Verlust. Der potentielle Verlust bestimmt das Ausmaß der zur Verfügung gestellten Deckung. In der Vergangenheit war Risiko Management im Tunnelbau inkonsistent. Daher wird höhere Qualitätskontrolle verlangt.

Gegenwärtige Vertrags Trends zeigen zunehmend typische Risiko Bautechniken an mit der Tendenz zu Verträgen über Planung & Bau. Solche Verträge sind gekennzeichnet durch knappe Bauzeiten, knappe Budgets, und durch rauhe Konkurrenzbedingungen.

Um Auflagen zu begegnen über den Stop von Polizzen, die Erweiterung von Bedingungen, Überschreitungen und Beschränkung von Deckungen, bieten die von der ITA heraus gegebenen Richtlinien für das Risikomanagement von Tunnelbauten die Zusammenarbeit mit der Tunnelbauindustrie an. Dabei soll Einigung über geeignete Risiko Bestimmungen und über den laufenden Risikomanagement Prozess erzielt werden (5).

2.3 Risiko Management Grundlagen

In jedem Kraftwerkstunnel sind bestimmte Risiko Management Grundsätze zu befolgen. Erstens ist die Wahrscheinlichkeit von Verlusten gegen Nachträge zu reduzieren. Zweitens sind Risiken exakt zu beschreiben. Risiko Bilder sind zu verbessern. Drittens ist die Bestimmtheit der finanziellen Verantwortung zu erhöhen. Viertens sind Prüfwege zu schaffen um den Richtlinien zu entsprechen. Fünftens ist durch Verbreitung von ‚Best Practice‘ Vertrauen zu erhöhen.

Ziel ist es ‚Best Practice‘ zu fördern und sicher zu stellen für die Minimierung und für das Management von Risiken in Verbindung mit der Planung und dem Bau von Tunnels und zugehörigen Strukturen im Kraftwerksbau.



Abb. 2. Risiko Minderung bei starkem Wasser Andrang im Zagros Gebirge, Iran (Einsatz von Hybrid Tunnel Ausbruchsmethoden NATM/TBM)
Fig. 2. Risk Mitigation at heavy Water Ingress in Zagros Mountains, Iran (Use of Hybrid Tunnel Tunnelling with NATM/TBM)

for Risk Management of tunnel projects are offering cooperation with the tunnelling industry to agree on appropriate risk assessment and ongoing risk management procedures. These guidelines are requesting from the tunnelling industry to agree on appropriate risk assessment and risk management procedures (5).

2.3 Risk Management Basics

In every Hydropower Tunnel Project there are certain Risk Management Principles to be followed. First the probability of losses has to be reduced against claim size. Secondly risks have to be properly described and Risk Pictures have to be improved. Thirdly the certainty on financial exposure shall be increased. Fourthly, audible trails shall be created to ensure compliance with the guidelines. Fifthly, confidence shall be increased through distribution of best practice.

The objective is to promote and secure ‘Best Practice’ for the minimization and management of risks associated with the Design and Construction of Hydropower Tunnels, and associated underground structures.

2.4 References

[1] H.Wagner. Principles for Choice of Tunnelling Methods. ITA CET Seminar on Tunnelling in Design and Construction. Phnom Phen, Cambodia, December 2011.

2.4 Quellenangaben

- [1] H.Wagner. Grundsätze bei der Wahl der Tunnelbau Methode. ITA CET Seminar über Tunnelbau in Planung und Bau Durchführung. Phnom Phen, Cambodia, dezember 2011.
- [2] Tauernkraftwerke A.G.. Der Bau des Wasserkraftwerkes Kaprun. Baustellen Dokumentation, Salzburg/Austria, 1960.
- [3] H.Wagner/P.Marinos. Rampur HEP, India. PoE Bericht über Tunnelbautechnische Beratung, bearbeitet für SJVNL. Bangkok /Athens, May 2012.
- [4] H.Wagner, Tunnelbautechnischer Bericht für Tablieh Construction Corp. Tehran, über Khourang III Water Conveyance Tunnel, Esfahan, I. R. Iran, 2010.
- [5] H.Wagner/M.Knights. Risiko Management in der Baudurchführung von Tunnels. ITA CET Seminar on Tunnelling. Riyadh, KSA. November 2006.
- [2] Tauernkraftwerke A.G., *Construction of Hydropower Station, Shafts and Tunnels Kaprun. Construction Site Documentation, Salzburg/Austria, 1960.*
- [3] H.Wagner/P.Marinos, *Rampur HEP, India. PoE Report on Tunnel Consultancy, prepared for SJVNL Bangkok/Athens, May 2012.*
- [4] H.Wagner. *Tunnel Consultancy Report for Tablieh Construction Corp. on Khourang III Water Conveyance Tunnel, Esfahan, I.R.Iran, 2010.*
- [5] H.Wagner/M.Knights. *Risk Management in Tunneling Works. ITA CET Seminar on Tunnelling. Riyadh, KSA, November 2006.*

Gedanken zur weiteren Entwicklung der NATM

Thoughts on the further development of the NATM

Wolfgang Stipek, Porr Bau GmbH, Austria, wolfgang.stipek@porr.at, www.porr-group.com
Robert Galler, Lehrstuhl für Subsurface Engineering, Montanuniversität, Austria, robert.galler@unileoben.ac.at,
www.subsurface.at

In der Vergangenheit wurden nach den Grundsätzen der NATM weltweit viele hundert Kilometer an Untertagebauwerken erfolgreich aufgeföhren. Über einige wichtige Entwicklungsschritte haben wir Sie in diesem Buch informiert. Durch die laufende Weiterentwicklung von Stützmitteln, Voraussicherungsmaßnahmen, Berechnungsmodellen, geotechnischen Messungen, deren Auswertung und Interpretation ist der Tunnelbau heute in nahezu allen geotechnischen Verhältnissen möglich. Auch innerstädtische Tunnel im Locker- und Festgestein, bei Bedarf mit Unterstützung von Bauhilfs-, Sonder- und Wasserhaltungsmaßnahmen, wurden erfolgreich aufgeföhren.

Als wesentliche Elemente einer erfolgreichen Umsetzung der NATM sind zusammenfassend hervorzuheben:

- die Einhaltung von Regelwerken wie beispielsweise den ÖNORMen; den RVS-Richtlinien, den ÖGG-Richtlinien und den ÖBV-Richtlinien,
- eine tiefgehende geologisch-hydrologisch-geotechnische Exploration,
- ausgereifte Planungen, die auf entsprechend fundierten Explorationen aufbauen,
- mit obigem Punkt in Zusammenhang stehend die Vergabe der Planung nach Qualität und nicht nach dem (billigsten) Preis,
- eine konstruktive Zusammenarbeit zwischen dem Auftraggeber, dem Planer, den Geologen und den Geotechnikern beginnend von der Entwurfs- bis zur Detailplanung,
- eine Ausschreibung basierend auf den gültigen Regelwerken wie beispielsweise den ÖNORMen und FSV-Richtlinien,
- ein normgerechter Bauvertrag und somit eine ausgewogene Risikoverteilung zwischen den Beteiligten. Als Grundsatz gilt, dass das Baugrundrisiko in dessen Sphäre liegt, der das Bauwerk errichten möchte, somit in der Sphäre des Auftraggebers. Auf Basis einer vorliegenden Ausschreibung liegt

Worldwide several hundred kilometres of underground structures were successfully built following the basics of NATM in the past. In this book we informed you about some of the important development steps. Today, tunnelling is possible in almost any geotechnical environment due to the further development of support elements, support measures ahead of the tunnel face, calculation models and geotechnical measurements including their evaluation and interpretation. Tunnels in urban areas with loose and solid rock conditions were also successfully constructed, if required with aid of auxiliary construction methods, special measures and water controlling systems.

Following points summarise the main aspects of a successful NATM application:

- *Compliance with sets of rules, for example the ÖRNORMs; the RVS-guidelines, the ÖGG-guidelines and the ÖBV-guidelines,*
- *a profound geological-hydrogeological-geotechnical exploration,*
- *well-engineered designs, which are based on the profound explorations,*
- *according to the point mentioned above, a design decision regarding quality and not (lowest) cost,*
- *a constructive cooperation between client, designer, geologists and geotechnical engineers starting from the preliminary design to the detailed design,*
- *a tender based on the valid sets of rules such as the ÖNORMs and FSV-guidelines,*
- *a standardised construction contract and thus a well-balanced risk allocation between the participants. The basic principle is, that the ground risk lies in the domain of that party who plans to build the structure, thus in the clients domain. On the basis of a present tender the calculation and performance risk lies in the domain of the contractor,*
- *a standardised building contract and thus a unit price contract,*

- das Kalkulations- und Leistungsrisiko in der Sphäre des Auftragnehmers,
- ein normgerechter Bauvertrag und somit ein Einheitspreisvertrag,
- ein normgerechter Bauvertrag und somit ein Bauvertrag dessen zeitgebundene Kosten auf Basis der ausgeschriebenen Vortriebsklassenverteilung ermittelt und entsprechend der tatsächlich angebotenen Vortriebsklassen vergütet werden,
- die Vergabe der Bauleistung ausschließlich an erfahrene Bauunternehmungen mit qualifizierten Mitarbeitern auf allen Ebenen und somit keine Vergabe nach dem fragwürdigen Billigstbieterprinzip,
- eine kooperative – partnerschaftliche Projekt- und Vertragsabwicklung,
- eine Baustellenorganisation, in welcher sowohl der Auftraggeber als auch der Auftragnehmer jeweils ihren kompetenten und entscheidungsbefugten Bauleiter bestellen. Diese werden vom Planer, Geologen und Geotechniker unterstützt. Die tatsächlichen auf der Baustelle zum Einsatz kommenden Maßnahmen werden von den beiden Bauleitern des Auftraggebers und des Auftragnehmers gemeinsam vor Ort festgelegt.

Zur weiteren Entwicklung

Auf Basis des oben angeführten Situationsberichtes sehen wir für die NATM Perspektiven, an deren Umsetzung in mehreren (Forschungs-) Projekten zum Teil bereits gearbeitet wird. Beginnend bei den Perspektiven aus technischer Sicht, sind in diesem Zusammenhang folgende zu nennen:

- eine vehemente Steigerung des ressourcenschonenden Tunnelbaus, was gleichzeitig zu einer entsprechenden CO₂ – Reduzierung und einer Reduzierung des Landflächenverbrauchs für Deponien führen wird,
- Verbesserungen der Energieeffizienz in der Bauphase,
- Verbesserungen der Energieeffizienz in der Betriebsphase,
- Verwendung des Tunnelausbruchmaterials sowohl auf der aktuellen Baustelle selbst als auch in der nahegelegenen rohstoffproduzierenden und rohstoffverarbeitenden Industrie,
- Überprüfung des Langzeitverhaltens der Außen- und Innenschale als Basis für Weiterentwicklungen und Optimierungen in der Materialtechnologie und Designphilosophie von Untertagebauwerken,

- *a standardised building contract and thus a contract, the time-dependent costs which are determined on basis of the advance class distribution from the tender documents and remunerated according to the advance classes encountered in reality,*
- *awarding contract works exclusively to experienced construction companies with qualified employees at all levels and thus no awarding following the questionable low-cost-principle,*
- *a cooperative project- and contract handling on a partnership basis,*
- *a construction site organisation, in which the client as well as the contractor appoint a competent site manager who is authorised to make decisions. They are supported by the designer, geologist and geotechnical engineer. The measures actually used during construction are determined on site by the site managers of both the client and the contractor.*

On further development

Based on the situation report described above we see prospects for the NATM, a realisation of which is partially already being worked on by several (research-) projects. Beginning with the prospects from a technical point of view, following points are to be mentioned respectively:

- *a vast increase of resource containing tunnelling, which will lead to a corresponding CO₂ reduction and a decrease of land areas for waste disposal at the same time,*
- *improvements of the energy efficiency during the construction phase,*
- *improvements of the energy efficiency during the operating phase,*
- *usage of tunnel excavation material on the current construction site as well as in nearby raw material production and processing industries,*
- *verification of the long-term behaviour of the outer and inner shell as basis for further developments and optimisations of the materials technology as well as the design philosophy of underground constructions,*
- *verification of the efficiency of currently valid safety concepts such as the required minimum distance of cross-sections and the requirement of niches,*

- Überprüfung der Effizienz aktuell gültiger Sicherheitskonzepte wie beispielsweise dem erforderlichen Abstand der Querschläge und dem Erfordernis nach Nischen,
- die Weiterentwicklung der Stützmittel und Bauhilfsmaßnahmen zur sicheren Durchörterung schwierigster Baugrundverhältnisse,
- die Weiterentwicklung der Lösemethoden sowohl in Richtung eines erschütterungsarmen Ausbruchs für innerstädtische Vortriebe als auch in Richtung verschleißarmer Vortriebe in härtesten Formationen,
- die Weiterentwicklung von geo-technischen Messungen, deren Auswerteverfahren und Interpretationsmethoden,
- sowie die Weiterentwicklung der Berechnungsmethoden in Richtung 4D-Simulationen, die langfristig auch für Überprüfungen direkt auf der Baustelle zur Verfügung stehen sollen. In dieses Bearbeitungsfeld fallen unter anderem auch Entwicklungsarbeiten von Materialgesetzen, die es ermöglichen, die Bruchvorgänge abbilden zu können,
- die Weiterentwicklung von Maßnahmen die einer Verbesserung der Arbeitssicherheit dienen,
- die Weiterentwicklung von Regelwerken auf Basis der Erfahrungen auf den Baustellen und den Entwicklungsarbeiten an den Universitäten.

In Fragen des Bauvertrages stehen Überlegungen an, die eine Änderung der Vergabe vom Billigstbieter hin zum Bestbieter ermöglichen sollen. Dazu wird aktuell an der Entwicklung und Umsetzung eines Innovativen Vergabemodelles (IVM) gearbeitet.

Dringend geboten scheint auch die Einführung einer Projektoptimierungsphase zwischen Auftragsvergabe und Baubeginn sowie das ernsthafte Umsetzen der einst eingeführten Möglichkeit eines Value Engineerings. Wie die Erfahrung zeigt, wäre das Zulassen von Alternativen in vielen Fällen von großem Vorteil für die Projekte, in Ausnahmefällen sollte es dabei zukünftig auch möglich gemacht werden, eine Anpassung der Ergebnisse der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchzuführen.

In Fragen einer partnerschaftlichen Projektabwicklung muss an einer weiteren Verbesserung der Baustellenorganisation gearbeitet werden. Wenngleich es bereits seit langem gelebte Praxis ist, dass Tunnelbaustellen mit kompetenten und entscheidungsbefugten Bauleitern sowohl auf der Auftraggeber- als auch der Auftragnehmerseite besetzt werden, besteht Aufholbedarf im partnerschaftlichen Umgang

- *further development of support elements and auxiliary construction methods in order to safely advance through most difficult building ground conditions,*
- *further development of excavation methods regarding less vibrations for urban tunnelling as well as low-cutter-wear excavations in hardest rock formations,*
- *further development of geotechnical measurements including their evaluation and interpretation methods,*
- *further development of calculation methods towards 4D-simulations, which should be available directly on site for verification purposes in the long term. Amongst other things, development works of material laws, with which fracture processes can be simulated, are part of the same field,*
- *further development of measures to increase the safety at work,*
- *further development of regulations based on experiences from the construction sites and development works from the universities.*

Concerning the building contract several considerations are pending, which should enable a change in contract awarding from the low-cost bidder towards the best bidder. For this purpose an innovative awarding model (IAM) is currently being developed.

Another important innovation seems to be the establishment of a project optimisation phase between the contract award and start of construction works as well as the realisation of the once introduced possibility of Value Engineering. As experience shows, allowing alternatives would have great advantages for projects in many cases. In the future, it should be made possible to adapt the results from the environmental impact assessment (EIA) for exceptional cases.

Concerning the project handling on a partnership basis, efforts must be put into the improvement of the construction site organisation. Even though it has been common practice to assign competent site managers from both the client and the contractor, who have the authority to make decisions to tunnel construction sites for a long time, cooperation on a partnership basis and the culture of dialogue need much improvement. For the future the development of an according company structure on the client side as well as the contractor side would be desirable, so

sowie dem Pflegen der Dialogkultur. Für die Zukunft wäre die Entwicklung einer entsprechenden Unternehmenskultur sowohl auf Auftraggeber- wie auch auf Auftragnehmerseite wünschenswert, sodass Prozessoptimierungen von allen Beteiligten gleichermaßen unterstützt werden.

Zur NATM Ausbildung

Im Jahr 2009 wurde von der Montanuniversität Leoben gemeinsam mit der Technischen Universität Graz eine postgraduale Universitätsausbildung für zukünftige NATM-Ingenieure gestartet, die aktuell in berufsbegleitenden dreiwöchigen Modulen von Teilnehmern aus aller Welt absolviert wird (www.natm.at). Dabei wurde der Ausbildungsplan so angelegt, dass sich HTL-Ingenieure mit Berufspraxis aber auch BSc Absolventen und selbstverständlich MSc Absolventen berufsbegleitend im Fachgebiet des NATM-Engineerings fit machen können.

Neben einer grundsätzlichen Ausbildung zum komplexen Denken und entsprechenden Persönlichkeitsschulungen werden die theoretischen Grundkenntnisse der NATM im Vollstudium an der Technischen Universität Graz bei Wahl der Masterstudienrichtung Geotechnik und Wasserbau und im Vollstudium an der Montanuniversität Leoben bei Wahl der Masterstudienrichtung Mining and Tunnelling vermittelt.

Resümee

Hervorragende Ingenieure auf Auftraggeberseite, in den Baufirmen, den Planungsbüros, den Büros der Geologie, ausgezeichnete Geotechniker, Messtechniker, System- und Geräteelieferanten haben in den letzten 50 Jahren in partnerschaftlicher Zusammenarbeit großartige Bauwerke in einem ausgezeichneten Preis-Leistungsverhältnis in sehr guter Qualität realisiert. Das weitere Engagement der jetzigen und künftigen Generation der Untertagebauer und der notwendige Ausbau der Schienen- und Straßen- Infrastruktur sowie der Wasserkraftanlagen wird den künftigen erfolgreichen Einsatz und die Weiterentwicklung der NATM sicherstellen und dafür sorgen, dass die NATM auch zukünftig neu bleibt.

AD MULTOS ANNOS!

that the process optimisation can be equally supported by all participants.

On NATM training

In 2009 the Montanuniversitaet Leoben together with the Graz Technical University started a post-graduate university programme for future NATM-engineers, which is divided into several three-week modules and is currently attended by participants from all over the world (www.natm.at). The training schedule is designed in such a way that engineers from secondary technical schools with work experience as well as BSc graduates and of course MSc graduates can gain a deep insight into the field of NATM-engineering apart from their job.

Next to a basic education regarding complex thinking and according personality training the theoretical basic knowledge of NATM can be obtained through fulltime study at the Graz Technical University with the master programme Geotechnics and Hydraulics and through fulltime study at the Montanuniversitaet Leoben with the master programme Mining and Tunnelling.

Summary

In the past 50 years, extraordinary engineers on the client side, in construction companies, design offices, geology offices, extraordinary geotechnical engineers, measurement engineers as well as system- and equipment suppliers have realised great high quality buildings with an excellent price-performance ratio in cooperation on a partnership basis.

The further commitment of the present and future generations of subsurface engineers and the necessary expansion of the railway- and road infrastructure as well as hydropower systems ensures the successful application and further development of NATM and that the NATM remains new in the future.

AD MULTOS ANNOS!

Weiterführende Literatur – ein Auszug

Further literature – an excerpt

Robert Galler, Lehrstuhl für Subsurface Engineering, MontanUniversitaet, Austria, robert.galler@unileoben.ac.at, www.subsurface.at, www.ita-aites.at

Eingangs sei angemerkt, dass viele Publikationen zum Thema Tunnelbau in der (ehemaligen) Zeitschrift „Felsbau“ sowie in der aktuellen Fachzeitschrift „Geomechanik und Tunnelbau“ zu finden sind, die hier aufgrund des außerordentlich großen Umfangs nicht alle genannt werden können. Ein Blick auf die Homepage <http://www.ernst-und-sohn.de/en/geomechanics-and-tunnelling> wird dem Interessierten in diesem Zusammenhang dringend empfohlen. Mit der nachfolgenden Referenzliste wurde versucht, dem Leser dieses Buches einen Auszug zu weiterführenden Literaturstellen zusammenzustellen, die auch außerhalb der oben genannten Fachzeitschriften zu finden sind. Ferner wurden Literaturstellen, die bereits in den Aufsätzen dieses Buches zitiert sind, hier nicht wiederholt.

Die nachfolgende Referenzliste erhebt in keiner Weise den Anspruch auf Vollständigkeit.

Initially it has to be mentioned that a lot of publications regarding the topic tunnelling can be found in the (former) journal “Felsbau” as well as in the journal “Geomechanics and Tunnelling”, which cannot all be mentioned in the following reference list. It is highly recommended to screen the homepage <http://www.ernst-und-sohn.de/en/geomechanics-and-tunnelling> to search for further articles.

The following reference list is an excerpt of citations which can be found in further journals than those mentioned above. References which were already mentioned in the articles of this book are not repeated here.

The following reference list does not claim to be complete.

[1] Andraea, C.: Der Einfluß der Überlagerungshöhe auf die Bemessung des Mauerwerks tiefliegender Tunnel, Schweiz. Bauzeitung 85, (1925), Nr. 6

[2] Andraea, C.: Der Bau langer tiefliegender Tunnel. Verlag Julius Springer, Berlin (1926)

[3] Andraea, C.: Die Bedeutung des Bausystems bei der Ausführung von Eisenbahntunnel, Schweizerische Bauzeitung 75, (1920), Nr. 3, Nr. 4

[4] Andraea, C.: Gebirgsdruck und Tunnelbau, (1956)

[5] Ayaydin, N.: Entwicklung und neuester Stand der Gebirgsklassifizierung in Österreich, Felsbau 12, (1994), Nr.6, XLIII Geom.Colloquium

[6] Ayaydin, N., Lauffer, H., Schneider, E.: Austrian Standards ONORM B 2203-1 for underground works, Felsbau 4, Verlag Glückauf, Essen (2003)

[7] Barlow, J.P., Kaiser, P.K.: Interpretation of tunnel convergence measurements. Proc. 6th Int. Congress on Rock Mechanics, ISRM, Montreal, Canada 1987, pp. 787–792, Rotterdam, Balkema

[8] Baudendistel, M., Bauer, M., Galler, R.: NBS Köln – Rhein/Main – Vertrag mit funktionaler Leistungsbeschreibung – Planung, Genehmigung, Ausführung – Erfahrungen des Zusammenspiels am Beispiel des Tunnels Dernbach, Vortrag im Rahmen des Geomechanik Kolloquiums, 7.–8. Oktober 1999, Salzburg, Veröffentlicht in: Felsbau 17 (1999) Nr. 5, S. 432–442

[9] Bauer, M., Galler, R.: The New Cologne – Rhein/Main Line, Tunnel Dernbach – Solutions for a Difficult Technical Task; Progress in Tunnelling After 2000 – Major Projects in Progress, Volume III, S. 49–56; AITES – ITA 2001, World Tunnel Congress, 10.–13.6.2001, Mailand, Italien

[10] Bierbaumer, A.: Die Dimensionierung des Tunnelmauerwerkes, Verlag Wilhelm Engelmann, Leipzig (1913)

[11] Bierbaumer: Dissertation. TH Wien, (1926)

[12] Brandau, K.: Das Problem des Baues langer, tiefliegender Alpentunnels und die Erfahrungen beim Bau des Simplontunnels. Schweizerische Bauzeitung (1909)

- [13] Brandau, K., Imhof, K., Mackensen, E.: Handbuch der Ingenieurwissenschaften, Tunnelbau. Verlag Wilhelm Engelmann, Leipzig (1920)
- [14] Brandtner, M., Moritz, B., Schubert, P.: On the Challenge of Evaluating Stresses in a Shotcrete Lining, *Felsbau* 25, (2007), Nr. 5, pp. 93–98, VGE
- [15] Brunner, A.: Patentschrift 1955
- [16] Budil, A.: Längsverformungen im Tunnelbau, PhD thesis, Graz University of Technology, Austria (1996)
- [17] Daller J., Schubert W.: Zur Problematik der Gebirgsklassifizierung im Tunnelbau, (1994)
- [18] Dommann, G.: Untersuchung über die Wirkung von Druckformen und Hohlformen in allseitig gespanntem Gestein zur Klärung von Gebirgsdruckfragen, *Glückauf*, (1936), Nr. 47
- [19] Duddeck H.: Zu den Berechnungsmodellen für die NATM, (1979)
- [20] Egger, P.: Einfluß des Post-Failure-Verhaltens von Fels auf den Tunnelausbau (unter besonderer Berücksichtigung des Ankerbaus). Veröff. Institut für Boden- und Felsmechanik, Universität Karlsruhe, H. 57, (1973)
- [21] Engesser, F.: Über den Erddruck gegen innere Stützwände (Tunnelwände), *Deutsche Bauzeitung*, (1982), Nr. 16, S. 91–93.
- [22] Ettl, E.: Vorauseilende Spannungsumlagerung – eine Weiterentwicklung der Spritzbetonbauweise im Lockergestein, Projekt und Erfahrung zur Setzungsminderung. Stuva-Tagung, (1991)
- [23] Fecker, L.: Grundgedanken und Grundsätze der NATM, (1978)
- [24] Feder, G., Olsacher, A.: Bergbau und Tunnelbau, Anregungen und Ergänzungen. *Rock Mechanics*, (1978), Suppl. 7
- [25] Feder, G.: Firstniederbrüche im Tunnelbau, maßgebende Einflüsse, mögliche Bruchmechanismen, gebirgsmechanische Erfassung. *Forschung und Praxis*, (1982), Nr. 27
- [26] Feder, G.: 10 Jahre Gebirgsmechanik auf dem Institut für Konstruktiven Tiefbau der Montanuniversität Leoben. *Berg- und Hüttenm. M.* 131, (1986), S. 27–41
- [27] Feder, G.: Firstniederbrüche im Tunnelbau, (1978)
- [28] Feder, G.: Zum Stabilisierungsnachweis für Hohlräume in festem Gebirge bei richtungsbetontem Primärdruck, *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, Jg. 122, (1977), H4
- [29] Feder, G.: Versuchsergebnisse und analytische Ansätze zum Scherbruchmechanismus im Bereich tiefliegender Tunnel, *Rock Mechanics* (6), (1978), S. 71–102
- [30] Fenner, R.: Untersuchungen zur Erkenntnis des Gebirgsdruckes. *Glückauf* 74, (1938), Nr. 32
- [31] Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, H. 94: Neue Österreichische Tunnelbaumethode. Definition und Grundsätze
- [32] Gaertner, A.: Bestimmung der Spannungen im Gebirge, *Glückauf*, (1933), Nr. 23
- [33] Gaich, A., Fasching, A., Schubert, W.: Geotechnical data collection supported by computer vision. In P. Särkkä, *Rock Mechanics – A Challenge for Society*, (2001), Balkema, p. 65–70
- [34] Galler, R., Krenn, F.: Geomechanical Design of Long Tunnels using Databases, *BHM* 152, 2007, 2&4, S. 87–91
- [35] Galler, R., Kainrath-Reumayer, S., Gschwandtner, G.: The convergence confinement method as an aid in the design of deep tunnels. *Geomechanics and Tunneling* 2, 2009, No. 5, S. 553–560
- [36] Galler, R., Schneider, E., Bonapace, P., Moritz, B., Eder, M.: The New Guideline NATM – The Austrian Practice of Conventional Tunneling. *BHM*, Heft 10, 2009, S. 441–449
- [37] Galler, R., Kainrath-Reumayer, S., Gschwandtner, G., Schuller, E.: Beitrag zur Anwendung des Kennlinienverfahrens. *BHM*, Heft 2, 2010, S. 83–89
- [38] Galler R., Gschwandtner, G., Doucet, D.: Roofex bolt and its application in tunnelling by dealing with high stress ground conditions. *World Tunnel Congress 2011, Helsinki*, 20. – 26.5.2011, Tagungsband
- [39] Gillitzer, G.: Das Wesen des Gebirgsdruckes und dessen Ausnützung bei Abbaubetrieb des Mansfelder Bergbau, *Glückauf* 64 (1928), Nr. 29
- [40] Golser, J.: Praktische Beispiele empirischer Dimensionierung von Tunnels. *Rock Mechanics*, (1973), Suppl. 2
- [41] Golser, J.: Und es gibt sie doch – die NÖT, (1994)
- [42] Golser, J., Galler, R., Schubert P., Rabensteiner K.: Shotcrete in Tunnel Design; Proceedings – Shotcrete for underground support; *American Society of Civil Engineers*; (1995), New York; S. 180–188
- [43] Golser, J.: Another view of the NATM. *Tunnels and Tunneling*, March 1979
- [44] Golser, J.: Richtigstellungen zu Prof. Kovaris Ansichten über die Neue Österreichische Tunnelbaumethode NÖT, *Felsbau* 5, (1994)
- [45] Golser, H., Steindorfer, A.: Displacement Vector Orientation in Tunneling – What do they tell?, *Felsbau* 18, (2000), No. 2, 16–21, Essen: VGE
- [46] Goricki, A.: Classification of Rock Mass Behavior based on a hierarchical Rock Mass Characterization for the Design of Underground Structures. Doctoral thesis, TU-Graz, (2003)

- [47] Grob, H.: Systematik der Tunnelbauweisen. SIA Vortrag (1975), SIA-Doc. 12, S. 8
- [48] Grossauer, K.: Expert System Development for the Evaluation and Interpretation of Displacement Monitoring Data in Tunnelling, (2009), Dissertation an der Technischen Universität Graz
- [49] Grossauer, K., Lenz, G.: Is it Possible to automate the Interpretation of Displacement Monitoring Data?, Felsbau 25, (2007), No. 5, 99–106, Essen: VGE
- [50] Grossauer, K., Schubert, W.: Analysis of Tunnel Displacements for the Geotechnical Short Term Prediction, Geomechanik und Tunnelbau 1, (2008), No. 5, 477–485, Berlin: Ernst & Sohn
- [51] Gschwandtner, G., Galler, R.: Input to the application of the convergence confinement method with time-dependent material behaviour of the support. TUST – Tunnelling and Underground Space Technology, Heft 1/2012, p. 13–22
- [52] Guenot, A., Panet, M., Sulem, J.: A new aspect in tunnel closure interpretation, In E. Ashworth, Research and engineering applications in rock masses, Proc. 26th U.S. Symp. Rock Mech., South Dakota School of Mines & Technology, Rapid City, 26–28 June 1985, Vol. 1, 455–460, Rotterdam, Balkema
- [53] Heim, A.: Zur Frage der Gebirgs- und Gesteinsfestigkeit, Schweizerische Bauzeitung, (1912)
- [54] Hellmich, C.: Shotcrete as part of the New Austrian Tunnelling Method: from thermo-chemo-mechanical material modelling to structural analysis and safety assessment of tunnels, Doctoral thesis at the institute for mechanics of material, Vienna University of Technology, Austria (1999)
- [55] Hellmich, C., Macht, J., Mang, H.A.: Ein hybrides Verfahren zur Bestimmung der Auslastung von Spritzbetonschalen auf der Basis von In-situ-Verschiebungsmessungen und thermo-chemo-mechanischer Materialmodellierung, Felsbau 17, (1999), No. 5, 422–425, Essen, VGE
- [56] Jeon, J.S., Martin, C.D., Chan, D.H., Kim, J.S.: Predicting ground conditions ahead of the tunnel face by vector orientation analysis, Tunnelling and Underground Space Technology 20, (2005), 344–355, Elsevier
- [57] John, M.: Kritische Bemerkungen zur Entwicklung der Vertragsgestaltung im Tunnelbau, Aktuelle Fragen der Vertragsgestaltung im Tief- und Tunnelbau – ICC 5 Tagungsband, (2005), Nr. 7, i3b – Institut für Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement, TU Innsbruck, 1–11
- [58] John, M.: Organisationsstrukturen und Risikoverteilung bei Tunnelprojekten in Österreich, Felsbau 21, (2003), Nr. 5, 72–78
- [59] Kahn, P.: 1931 „Betrachtungen über die Gebirgsdruckfrage“ Glückauf, (1931), H. 48
- [60] Kainrath-Reumayer, S., Galler, R.: Geologie, Geotechnik versus Ankersysteme im Tunnelbau, Journal of Alpine Geology, 2008, Heft 49
- [61] Kainrath-Reumayer, S., Galler, R.: Untersuchungen zur Bemessung von Ankern, 37. Geomechanik-Kolloquium, Freiberg, 14.11.2008, Veröffentlichungen des Institutes für Geotechnik der TU Bergakademie Freiberg, Heft 2008-3, S. 59–71
- [62] Klodie, M., Franz, R.: Der Bau des Karawankentunnels, Allgemeine Bauzeitung, (1912)
- [63] Kommerell: Statische Berechnung von Tunnelmauerwerk, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin (1912)
- [64] Kovari, K.: Der Gebirgsdruck im Tunnelbau, Neue Züricher Zeitung, 3. Juni 1981, Fernausgabe Nr. 125
- [65] Kovari, K.: Gibt es eine NÖT? Fehlkonzepte der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise, Tunnel, (1994), Nr. 1
- [66] Kovari K.: Ein Beitrag zum Bemessungsproblem von Untertagebauten, (1969)
- [67] Kovari, K.: Gibt es eine NÖT? Vortrag von Kovari anlässlich des 42. Geomechanik Kolloquiums 1993 in Salzburg, Vorabdruck
- [68] Kovari, K.: Methoden der Dimensionierung von Untertagebauten. Internationales Symposium für Untertagebau, Luzern (1972)
- [69] Krenn, F., Galler, R., Junker, A., Stacherl, B.: Shallow Tunnelling in Soft Ground – Influence of the Chosen Support System on the System Behaviour, Geomechanik und Tunnelbau, 2008, Heft 3, S. 207–213
- [70] Kühn, P.: Spannungszustand und Bruchgefahr im ungestörten Gebirge, Glückauf 67, (1931), Nr. 32
- [71] Kühn, P.: Die Festigkeit des Gesteins im Gebirge, Glückauf 68, (1932), Nr. 19
- [72] Kühn, P.: Elastizität und Plastizität des Gesteins und ihre Bedeutung für Gebirgsdruckfragen, Glückauf, (1932), Nr. 8
- [73] Kühn, P.: Spannungs- und Strukturzustand des Gesteins im ungestörten Gebirge, Glückauf, (1933), Nr. 25
- [74] Kühn, P.: Betrachtungen über die Gebirgsdruckfrage, Glückauf 67, (1931), Nr. 48
- [75] Lauffer, H.: Rock Classification Methods based on the Excavation Response, Felsbau 15, (1997), Nr. 3

- [76] Lauffer, H.: Die Praxis der Vertragsabwicklung im Tunnelbau – Einführung in die Problematik, Felsbau 5, (2000), Verlag Glückauf, Essen
- [77] Lenk, K.: Der Ausgleich des Gebirgsdruckes in großen Teufen beim Berg- und Tunnelbau. Verlag Julius Springer, Berlin (1930)
- [78] Lenz, G.: Displacement Monitoring in Tunnelling – Development of a semiautomatic evaluation system, Diploma Thesis, Institute for Rock Mechanics and Tunnelling, Graz University of Technology, Austria (2007)
- [79] Leon, A., Willheim, F.: Über die Zerstörungen in tunnelartig gelockerten Gesteinen, Österr. Wochenschr. öffentl. Baudienst, (1912), Nr. 16
- [80] Leon, A., Willheim, F.: Über die Zerstörungen in tunnelartig gelockerten Gesteinen, Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst XVI (1910), Nr. 4
- [81] Liebsch, H.: Injektionen beim Wiener U-Bahn-Bau – Erfahrungen und Zukunftsaussichten, Zement und Beton, (1988), Nr. 4
- [82] Liebsch, H.: Weiterentwicklung der Neuen Österr. Tunnelbaumethode im Wiener U-Bahn-Bau, Öster. Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift 137, (1992), Nr. 5
- [83] Lufft, E.: Druckverhältnisse in Silozellen. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin (1910)
- [84] Maak, H.: Österreichs Autobahnen. Bundesministerium für Bauten und Technik. Wien: Forum Verlag.
- [85] Macht, J.: Hybrid analyses of Shotcrete tunnel linings: Assessment and online monitoring of the level of loading, Doctoral Thesis, Vienna University of Technology, Austria (2002)
- [86] Maillart, R.; „Über Gebirgsdruck“, Schweizerische Bauzeitung, Bd. 81, (1923), Nr. 14
- [87] Mang, H., Eberhardsteiner, J., Kropik, Ch., Meschke, G, Martak, L., Liebsch, H.: Tunnelabzweigungen bei kriechaktiven Bodenverhältnissen. Abschlußbericht Straßenforschung – Projekt 3069, (1993)
- [88] Martak, L.: Die Neue Österreichische Tunnelbaumethode (NATM), Tunnelvortrieb im Lockergestein. NATM-Seminar an der Technischen Universität Graz, Institut für Bodenmechanik, Felsmechanik und Grundbau. Seminarunterlage, (1989)
- [89] Martak, L.: Die grundbautechnische Bedeutung der Zeitfestigkeitsentwicklung von Spritzbeton, Felsbau 10, (1992), Nr. 4
- [90] Martak, L., Liebsch, H.: Aufsprenginjektionen im Schluff – Neue Anwendungen im Wiener U-Bahn-Bau. Proceedings of the international Conference on Grouting in Rock and Concrete / Salzburg / Austria (1993)
- [91] Martak, L.: New Austrian Tunnelling Method in Hard Soils and Soft Rocks. Intern. Symposium on Hard Soils-Soft Rocks, Athen (1993), General Report, unveröffentlicht
- [92] Müller, L., Fecker, E.: Grundgedanken und Grundsätze der „Neuen Österreichischen Tunnelbauweise“. Felsmechanik-Kolloquium Karlsruhe, Trans Tech Publ., Claustal (1978)
- [93] Müller, L., Sauer, G., Vardar, M.: Dreidimensionale Spannungsumlagerungsprozesse im Bereich der Ortsbrust, Rock Mechanics Suppl., (1978), S. 67–85
- [94] Müller, L.: Untersuchungen an Karbongesteinen zur Klärung von Gebirgsdruckfragen, Glückauf 66, (1930), Nr. 47
- [95] Müller, L.: Der Felsbau, 3. Band; Ferdinand Enke Verlag Stuttgart (1978)
- [96] Müller, L.: Removing misconceptions on the New Austrian Tunnelling Method, Tunnels and Tunnelling, October 1978
- [97] Müller, L.: Der Felsbau, Erster Band; Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 1963
- [98] Mohr, F.: Kraft und Verformung in der Gebirgsmechanik unter Tage, Deutsche Baugrundtagung, Köln: Ernst, (1957)
- [99] Moritz, B.: Ductile Support System for Tunnels in Squeezing Rock, (1999), Dissertation an der Technischen Universität Graz
- [100] Moritz, B., Grossauer, K.: Short Term Prediction of System Behaviour of Shallow Tunnels in Heterogeneous Ground, Felsbau 22, (2004), No. 5, 44–52, Essen, VGE
- [101] Mussger, K., Jahn, R., Schubert, W.: NATM-Verständnis in Übersee, Felsbau Jg. 6, (1988), Nr. 1
- [102] ÖGG.: Richtlinie Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung der Projektrisiken, Eigenverlag der Österr. Ges. f. Geomechanik, Salzburg (2005)
- [103] ÖGG – Österreichische Gesellschaft für Geomechanik: Richtlinie für die Geotechnische Planung von Untertagebauarbeiten mit zyklischem Vortrieb, Salzburg (2008)
- [104] ÖGG – Österreichische Gesellschaft für Geomechanik: 100 Jahre Prof. Leopold Müller. 2008, 140 Seiten und eine CD mit sämtlichen Veröffentlichungen von Prof. L. Müller, Salzburg (2008)
- [105] ÖGG – Österreichische Gesellschaft für Geomechanik: NATM – The Austrian Practice of Conventional Tunnelling, Salzburg (2010)
- [106] ÖGG – Österreichische Gesellschaft für Geomechanik: The Austrian Practice of NATM Tunnelling Contracts, Salzburg (2011)

- [107] Pacher, F.: Deformationsmessungen im Versuchsstollen als Mittel zur Erforschung des Gebirgsverhaltens und zur Bemessung des Ausbaues, Felsmechanik und Ingenieurgeologie, (1964), Suppl. 1
- [108] Panet, M., Guenot, A.: Analysis of convergence behind the face of a tunnel. The Institution of Mining and Metallurgy, London (ed.), (1982), pp. 197–204
- [109] Panet, M.: Time-dependent Deformations in Underground works. Proc. 4th Int. Congress on Rock Mechanics, ISRM, Montreux, Switzerland. Vol. 3, (1979), 279–290, Rotterdam, Balkema
- [110] Peck, R. B.: Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics. Geotechnique 19, (1969), No. 2, pp. 171–187
- [111] Pilgerstorfer, T., Prediction of displacement development using closed form solutions, Diplomarbeit an der Technischen Universität Graz, 2008
- [112] Purrer, W.: Ausgewogene Verteilung des Baugrundrisikos im Hohlraumbau – Der österreichische Weg, Felsbau 5, (1998), Verlag Glückauf, Essen
- [113] Purrer, W., Leserbrief. Felsbau 5, (1994)
- [114] Rabcewicz L.v.: Gebirgsdruck und Tunnelbau, Springer Verlag, Wien (1944)
- [115] Rabcewicz, L.v.: Die Neue Österreichische Tunnelbauweise – Entstehung, Ausführung und Erfahrung, Der Bauingenieur 40, (1965), Nr. 8
- [116] Rabcewicz, L.v.: Verfahren zum Ausbau von unterirdischen Hohlräumen, insbesondere von Tunneln. Österr. Patentamt, Patentschrift Nr. 1655 73, 1950, angemeldet am 14.2.1948
- [117] Rabcewicz, L.v.: Bemessung von Hohlraumbauten, die „Neue Österreichische Bauweise“ und ihr Einfluss auf Gebirgsdruckwirkungen und Dimensionierung. Felsmechanik und Ingenieurgeologie, Vol 1/3–4, (1963), Springer Verlag, Wien
- [118] Rabcewicz, L.v., Golser, J. and Hackl, E.: Deformationsmessungen im Versuchsstollen als Mittel zur Erforschung des Gebirgsverhaltens und zur Bemessung des Ausbaues. Felsmechanik und Ing. Geologie, (1964), Suppl. I,
- [119] Rabcewicz, L.v., Pacher, F.: Die Elemente der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise und ihre geschichtliche Entwicklung, Österreichische Ingenieurzeitschrift, 18 Jg., (1975), Nr. 9
- [120] Rabcewicz, L.v. & Golser, J.: Principles of dimensioning the supporting system for the „New Austrian tunnelling method, Water Power, (1973), S. 88–93
- [121] Rabcewicz, L.v.: Wiederherstellung einer Verbruchstrecke im Tunnel der Elburs Nordrampe, Die Bautechnik 15, (1937), Nr. 50
- [122] Rabcewicz, L.v.: Der Bau des Scheiteltunnels der Elburs Nordrampe der transiranischen Eisenbahn, Die Bautechnik 17, (1939), Nr. 47/48
- [123] Rabcewicz, L.v.: Verfahren zum Ausbau von unterirdischen Hohlräumen, insbesondere von Tunneln, (1950)
- [124] Rabcewicz, L.v.: Bolted Support for Tunnels, (1955)
- [125] Rabcewicz, L.v.: Effect to Modern Constructional methods on Tunnel Design, (1955)
- [126] Rabcewicz, L.v.: Modellversuche mit Ankerung in kohäsionslosem Material, (1957)
- [127] Rabcewicz, L.v.: Spritzbeton und Ankerung als Hilfsmittel zum Vortrieb und als endgültiger Tunnelausbau, (1960)
- [128] Rabcewicz, L.v.: Bemessung von Hohlraumbauten, (1963)
- [129] Rabcewicz, L.v.: Bedeutung der Messung im Hohlraumbau, (1972)
- [130] Rabcewicz, L.v.: Die Elemente der NATM und ihre geschichtliche Entwicklung, (1975)
- [131] Rabcewicz, L.v.: Principles of dimensioning the support system for the NATM, (1973)
- [132] Rabcewicz, L.v.: Die Bedeutung der Messung im Hohlraumbau, (1975)
- [133] Rabcewicz, L.v.: Die NATM 1. Entstehung, Ausführungen und Erfahrungen: 2. Statische Wirkungsweise und Bemessung, (1965)
- [134] Rabcewicz, L.v.: Forderungen an neuzeitliche Tunnelbauweisen mit besonderer Berücksichtigung der Alpentunnel der Reichsautobahnen, (1940)
- [135] Rabcewicz, L.v.: Das Bohrproblem im modernen Tunnelbau, (1952)
- [136] Rabcewicz, L.v.: Die Hilfsgewölbebauweise, (1950)
- [137] Rabcewicz, L.v.: Tunnelling through Unstable Rock, (1955)
- [138] Rabcewicz, L.v.: Aus der Praxis des Tunnelbaues; Einige Erfahrungen über echten Gebirgsdruck, (1962)
- [139] Rabcewicz, L.v.: The New Austrian Tunnelling Method, (1964)
- [140] Rabcewicz, L.v., Pacher F.: Gedanken zu Modelluntersuchungen an Tunnelauskleidungen in Form einer dünnen, halbsteifen Schale, (1968)
- [141] Rabcewicz, L.v.: Die halbsteife Schale als Mittel zur empirisch-wissenschaftlichen Bemessung von Hohlraumbauten, (1970)
- [142] Rabcewicz, L.v.: Stability of tunnels under rock load, (1969)

- [143] Rabcewicz, L.v.: Die Entwicklung der Messtechnik im Rahmen der NATM, (1973)
- [144] Rabcewicz, L.v.: Theorie und Praxis bei den Untertagearbeiten eines großen Dammbauvorhabens, (1973)
- [145] Rabcewicz, L.v., Golser J.: Application of the NATM to the underground works at Tarbela, (1974)
- [146] Rabcewicz, L.: Bolted Support for Tunnels, Mine & Quarry Engineering, March, April 1955
- [147] Rabcewicz, L.: Bemessung von Hohlraumbauten. Die „Neue Österreichische Bauweise“, Felsmechanik und Ingenieurgeologie, H 3–4, (1963)
- [148] Rabcewicz, L.: The New Austrian Tunnelling Method, Water Power, Nov, Dec. 1965
- [149] Rabcewicz, L. v., Golser, J., Hackl, E.: Die Bedeutung der Messung im Hohlraumbau, Teil I. Der Bauingenieur 47, (1972), Heft 7, pp. 225–234
- [150] Rabcewicz, L. v., Golser, J., Hackl, E.: Die Bedeutung der Messung im Hohlraumbau, Teil II. Der Bauingenieur 47, (1972), Heft 8, pp. 278–287
- [151] Rabcewicz L.v.: Die Ankerung im Tunnelbau ersetzt bisher gebräuchliche Einbaumethoden, (1957)
- [152] Rabensteiner, K.: Advanced tunnel surveying and monitoring, Felsbau 14, (1996), No. 2, 98–102, Essen: VGE
- [153] Radončić, N., Tunnel design and prediction of system behaviour in weak ground, Doctoral Thesis 2011
- [154] Redlich, K., Terzaghi, K., Kampe, R.: Ingenieurgeologie. Verlag Julius Springer, Wien (1929)
- [155] Riedmüller, G., Schubert W.: Project and Rock Mass Specific Investigation for Tunnels, Särkkä & Eloranta (eds.) Rock Mechanics – A Challenge for Society, Proc. Eurock ,(2001), 369–375, Espoo
- [156] Riedmüller, G., Schubert, W.: Critical comments on quantitative rock mass classifications, Felsbau 17(3), (1999), 164-167
- [157] Ritter, W.: Statik der Tunnelgewölbe, Verlag Julius Springer, Berlin (1879)
- [158] Röck, R., Baumgärtner, J., Galler, R., Volderauer, C., Pittino, G.: Spritzbeton für druckhaftes Gebirge. Spritzbetontagung 2012, Alpbach, Tirol, 12.01.2012
- [159] Rotter E.: Spritzbeton und seine praktische Anwendung im Untertagebau, (1960)
- [160] Rotter, E.: Spritzbeton und seine praktische Anwendung im Untertagebau, BHM, (1961), H 5/6
- [161] Rokahr, R., Zachow, R.: Ein neues Verfahren zur täglichen Kontrolle der Auslastung einer Spritzbetonschale, Felsbau 15, (1997), No. 6, 430–434, Essen: VGE
- [162] Rupnig, M.: Einfluss der Gefügeorientierung auf das räumliche Verschiebungsverhalten im Tunnelbau, Diploma Thesis, Institute for Rock Mechanics and Tunnelling, Graz University of Technology, Austria, (2008)
- [163] Rziha, F.: Lehrbuch der gesamten Tunnelbaukunst, Verlag von Ernst & Korn, Berlin (1872), Verlag Glückauf
- [164] Sattler, K.: Die NATM: Statische Wirkungsweise und Bemessung, (1965)
- [165] Sander, P., Spiegl, M., Schneider, E.: Riskmanagement for large infrastructure projects using probabilistic methods, Proc. of ITA Word Tunnel Congress 2009 in Budapest, (2009), 20-22, Hungarian Tunnelling Association, Budapest
- [166] Schmid, H.: Statische Probleme des Tunnel- und Druckstollenbaues und ihre gegenseitigen Beziehungen. Verlag Julius Springer, Berlin (1926)
- [167] Schneider, E.: The Austrian tunnelling contract, Tunnels & Tunnelling International Dec. 2005, 37–39, Wilmington Media Ltd., UK
- [168] Schneider, E., Bartsch, R., Spiegel, M.: Vertragsgestaltung im Tunnelbau, Felsbau 2, (1999), Verlag Glückauf, Essen
- [169] Schubert, P., Kopčič, J., Štimulak, A., Ajdič, I., Janko, L.: Analysis of Characteristic Deformation Patterns at the Trojane Tunnel in Slovenia, Felsbau 23, (2005), No. 5, 25–30, Essen, VGE
- [170] Schubert, W.: Displacement Monitoring in Tunnels – an Overview, Felsbau 20, (2002), No. 2: 7–15, Essen: VGE
- [171] Schubert, W., Budil, A.: (1996) The importance of longitudinal deformations in tunnel excavation, In Fujii, T. (ed.), Proc. 8th int. Congress on Rock Mechanics, Vol. 3, Tokyo, Japan, 1995, pp. 1411–1414, Rotterdam, Balkema
- [172] Schubert, W.: Antrittsvorlesung als Ordinarius für Felsmechanik und Tunnelbau an der TU-Graz (1994), (unveröffentlicht)
- [173] Schubert, W.: Gebirgsdruck und Tunnelbau – aus der Sicht von Rabcewicz 1944, Felsbau 5/94
- [174] Schmidt: Der Bau des Hochstraßtunnels der Eisenbahnlinie Friedberg-Pinkafeld. In: Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens, LXIV (1927), Nr. 22/23
- [175] Sellner, P.: Prediction of displacements in tunnelling, In Riedmüller, Schubert, Semprich, Schriftenreihe Gruppe Geotechnik Graz, Heft 9,(2000)
- [176] Sellner, P., Grossauer, K.: Prediction of Displacements for Tunnels, Felsbau 20, (2002), No. 2, S. 22–28, Essen, VGE

- [177] Seeber, G.: Bemessungsverfahren für die Sicherungsmaßnahmen und die Auskleidung von Straßentunnels bei Anwendung der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise, *Straßenforschung* (1980), Nr. 133
- [178] Sonderegger, A.: Spritzbeton im Stollenbau, *Schweizerische Bauzeitung* 74, (1956), Nr. 14
- [179] Steindorfer, A.F., Schubert, W., Rabensteiner, K.: Problemorientierte Auswertung geotechnischer Messungen – Neue Hilfsmittel und Anwendungsbeispiele, *Felsbau* 13, (1995), No. 6, S. 386–390. Essen: VGE
- [180] Steindorfer, A.: Short term prediction of Rock Mass Behaviour in Tunnelling by advanced Analysis of Displacement Monitoring Data. Schriftenreihe Gruppe Geotechnik Graz, (1998), Vol 1. Graz
- [181] Steindorfer, A.F.: Short Term Prediction of Rock Mass Behaviour in Tunnelling by Advanced Analysis of Displacement Monitoring Data, In Riedmüller, Schubert & Semprich, Schriftenreihe der Gruppe Geotechnik Graz, Heft 1, Graz (1996)
- [182] Stipek, W., Galler, R. (Hrsg.): *The Austrian Art of Tunnelling in Construction, Consulting and Research*, issued by the Austrian National Committee of ITA – ITA-Austria, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2008
- [183] Sulem, J., Panet, M., Guenot, A.: Closure Analysis in Deep Tunnels, *Int J Rock Mech Min Sci*. Vol. 24, (1987), No. 3, 145–154
- [184] Terzaghi, K., Peck, R. B.: *Soil mechanics in engineering practice*. New York: Wiley (1948)
- [185] Terzaghi, K.: *Erdbaumechanik*. Deuticke Verlag, Wien (1925)
- [186] Tschernig, E.: *Bergschläge in Bleiberg und ihre Beziehung zur jugendlichen Tektonik*, Glückauf, (1937), Nr. 3/4
- [187] Tschernig, E.: *Die Nutzbarmachung des Gebirgsdruckes im Erzbergbau*, Glückauf, (1933), Nr. 25
- [188] Tschernig, E.: *Über Gebirgsschläge in den Kärntner Bleizinkerzlagerstätten*, Glückauf, (1932), Nr. 3
- [189] Vavrovsky, G. M.: *Entspannung, Belastungsentwicklung und Versagensmechanismen bei Tunnelvortrieben mit geringer Überlagerung*, Dissertation an der Montanuniversität Leoben, (1987)
- [190] Vavrovsky, G.M.: *Die räumliche Setzungskontrolle – ein neuer Weg in der Einschätzung der Standicherheit oberflächennaher Tunnelvortriebe*, *Mayreder Zeitschrift* 33, (1988)
- [191] Vavrovsky, G.M.: *Gebirgsdruckentwicklung, Hohlraumverformung und Ausbaudimensionierung*, *Felsbau* 5, (1994)
- [192] Vavrovsky, G.M.: *Bedeutung der vortriebsorientierten Auswertung geotechnischer Messungen im oberflächennahen Tunnelbau*, (1988)
- [193] Vavrovsky, G.M.: *Wo liegen die Grenzen der NÖT?* In: *Tunnel*, (1987), Nr.3
- [194] Vavrovsky, G.M., Ayaydin, N.: *Bedeutung der vortriebsorientierten Auswertung geotechnischer Messungen im oberflächennahen Tunnelbau*, *STUVA-Tagung*, (1987), Essen
- [195] Vavrovsky, G.M., Ayaydin, N.: *Bedeutung der vortriebsorientierten Auswertung geotechnischer Messungen im oberflächennahen Tunnelbau*, *Forschung und Praxis*, Band 32, (1988), Düsseldorf, Alba Fachverlag
- [196] Vavrovsky, G.M., Ayaydin, N., Schubert, P.: *Geotechnisches Sicherheitsmanagement im oberflächennahen Tunnelbau*, *Felsbau* 19, (2001), Nr. 5, S. 133–139
- [197] Vavrovsky, G.M., Schubert, P.: *Advanced analysis of monitored displacements opens a new field to continuously understand and control the geotechnical behaviour of tunnels*. 8th Int. Congress on Rock Mechanics, Tokyo, (1995)
- [198] Voegelé, M., Fairhurst, C., Cundall, P. A.: *Analysis of tunnel support loads using a large displacement, distinct block model*. In: *Proc. 1st Int. Symposium*, Vol. 2, (1977), pp. 247–252, Stockholm
- [199] Wiesmann, E.: *Über Gebirgsdruck*, *Schweiz. Bauzeitung* 60, (1912), Nr. 7
- [200] Wiesmann, E.: *Über Gebirgsdruck*, *Schweizerische Bauzeitung* 60, (1912), Nr. 8
- [201] Wiesmann, E.: *Der Bau des Hauenstein-Basistunnels*, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, (1917)
- [202] Wiesmann, E.: *Ein Beitrag zur Frage der Gebirgs- und Gesteinsfestigkeit*, *Schweizerische Bauzeitung*, Bd LII/, (1909), Nr.13
- [203] Poisel, R., Engelke, H.: *Zu den Konzepten der NÖT*, *Felsbau* 12, (1994), Nr. 5
- [204] Zischinsky, U.: *Streit um die NÖT: Antworten an Kovari und an die Österreicher*, (1994)

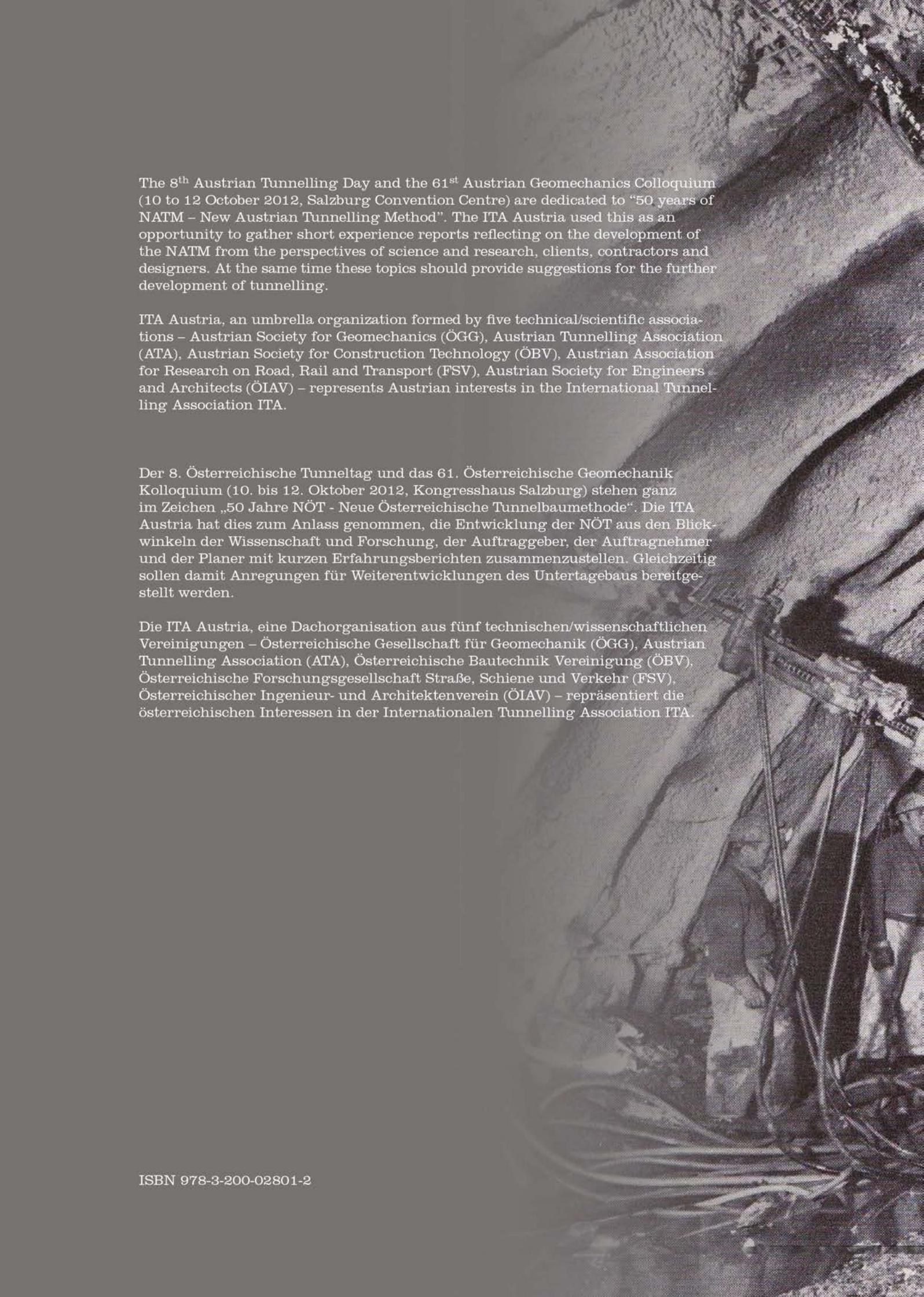
Wir bedanken uns bei den Sponsoren

Thanks to the sponsors



DYWIDAG-SYSTEMS
INTERNATIONAL





The 8th Austrian Tunnelling Day and the 61st Austrian Geomechanics Colloquium (10 to 12 October 2012, Salzburg Convention Centre) are dedicated to “50 years of NATM – New Austrian Tunnelling Method”. The ITA Austria used this as an opportunity to gather short experience reports reflecting on the development of the NATM from the perspectives of science and research, clients, contractors and designers. At the same time these topics should provide suggestions for the further development of tunnelling.

ITA Austria, an umbrella organization formed by five technical/scientific associations – Austrian Society for Geomechanics (ÖGG), Austrian Tunnelling Association (ATA), Austrian Society for Construction Technology (ÖBV), Austrian Association for Research on Road, Rail and Transport (FSV), Austrian Society for Engineers and Architects (ÖIAV) – represents Austrian interests in the International Tunneling Association ITA.

Der 8. Österreichische Tunneltag und das 61. Österreichische Geomechanik Kolloquium (10. bis 12. Oktober 2012, Kongresshaus Salzburg) stehen ganz im Zeichen „50 Jahre NÖT - Neue Österreichische Tunnelbaumethode“. Die ITA Austria hat dies zum Anlass genommen, die Entwicklung der NÖT aus den Blickwinkeln der Wissenschaft und Forschung, der Auftraggeber, der Auftragnehmer und der Planer mit kurzen Erfahrungsberichten zusammenzustellen. Gleichzeitig sollen damit Anregungen für Weiterentwicklungen des Untertagebaus bereitgestellt werden.

Die ITA Austria, eine Dachorganisation aus fünf technischen/wissenschaftlichen Vereinigungen – Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG), Austrian Tunnelling Association (ATA), Österreichische Bautechnik Vereinigung (ÖBV), Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV), Österreichischer Ingenieur- und Architektenverein (ÖIAV) – repräsentiert die österreichischen Interessen in der Internationalen Tunneling Association ITA.