

TU

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN



UNIVERSITÄT FÜR ARCHITEKTUR, BAUWESEN UND GEODÄSIE - SOFIA

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

ENTWICKLUNG DES HOHLRAUMBAUS IN BULGARIEN

DEVELOPMENT OF UNDERGROUND ENGINEERING IN BULGARIA

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Hans Georg Jodl

und als verantwortlich mitwirkenden Assistenten

WMA Dipl.-Ing. Gernot Altinger

am

Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Liliya Traykova
0227376

Mladost 2, Bl.224/6/93
BG – 1799 Sofia

Sofia, Oktober 2007

.....
(Liliya Traykova)



Inhaltsverzeichnis

Vorwort – Danksagung	I
Kurzfassung	II
Abstract	IV
1 Einleitung	1
2 Erste Schritte der Menschheit im Tunnelbauwesen	6
2.1 Allgemeines – Tunnelbau in der Welt	6
2.2 Werkzeuge	9
2.3 Erste Schritte im Hohlraumbau in Bulgarien	13
2.3.1 Perperikon.....	13
2.3.2 Römische Burgen	14
2.3.3 Mittelalter.....	14
2.3.4 Nach der Befreiung vom Osmanischen Joch.....	14
2.3.4.1 Eisenbahntunnel	14
2.3.4.2 Hydrotechnische Tunnel.....	17
2.3.4.3 Wasserleitungsnetz zur Wasserversorgung der Stadt Sofia	18

2.3.4.4	Verkehrstunnel	19
2.3.5	Geschichtliche Entwicklung der U-Bahn	19
2.3.5.1	Allgemeines	19
2.3.5.2	In Bulgarien.....	19
3	Tunnelbau unter der sozialistischen Regierung /1944 – 1989/	20
3.1	Eisenbahntunnel.....	20
3.2	Hydrotechnische Tunnel.....	22
3.2.1	„Iskar“ (Stalin)	24
3.2.2	„Beli Iskar“	29
3.2.3	Kaskade „Rila“	29
3.2.4	Bewässerungssystem „Rositza“	30
3.2.5	Talsperrensystem „Batak“	31
3.2.5.1	Bauweise der Tunnel am Talsperrensystem „Batak“	34
3.2.5.2	Bauorganisation an den Tunneln am Talsperrensystem „Batak“	40
3.2.6	Mehrzweckiges System „Georgi Dimitrov“	42
3.2.7	Daten der bulgarischen hydrotechnischen Tunnel	43
3.3	Verkehrstunnel.....	45
3.3.1	Tunnel in offener Bauweise.....	45
3.3.2	Autobahntunnel in Bulgarien	46
3.3.2.1	Troyanovi Vrata	48
3.3.2.2	Witinya	48
3.4	U-Bahn.....	49
3.4.1	Geschichte	50
3.4.2	Geologische Bedingungen	51
3.4.3	I. Durchquerung:	52
3.4.4	II. Durchquerung:	53
3.4.5	III. Durchquerung:	54
3.4.6	Konstruktion und Bauen der U-Bahn.....	54
3.5	Schächte	54
3.6	Kaverne	55
3.6.1	Kaverne des Wasserkraftwerks „Batak“	59
3.6.2	Kaverne des Wasserkraftwerks „Pestera“	59
3.7	Rohrvortrieb.....	61

3.8 Stollen für Bergbau	61
3.9 Tunnelbauweise	65
3.10 Struktur und Organisation des Bauwesens in Bulgarien	66
3.10.1 Auftraggeber – WER BEZAHLT?	66
3.10.2 Planungsbüro – WER PLANT?	67
3.10.3 Auftragnehmer – WER BAUT?	67
3.10.4 Zuständige Behörde – WER GENEHMIGT?	67
3.10.5 Organisation der Baustelle	67
4 Tunnelbauwesen in der Gegenwart /1990 - 2006/	69
4.1 Eisenbahntunnel	69
4.1.1 Allgemeines	69
4.1.2 Eisenbahntunnel „Deve Bair“ (L=2.383 m; Querschnitt 5,2 x 6,0 m)	71
4.2 Hydrotechnische Tunnel	74
4.2.1 Allgemeines	74
4.2.2 Yadenitza	75
4.3 Verkehrstunnel	76
4.3.1 Praveshki Hanove	77
4.3.2 Tunnel im Bezirk „Lyulin“	77
4.3.3 Tunnel Gotze Delchev – Drama (Tunnel der Bären)	78
4.4 Kaverne - Pumpwasserkraftwerk „Chaira“	80
4.5 U-Bahn	82
4.6 Struktur und Organisation des Bauwesens nach 1990	95
4.7 Baufirmen und Projektionsbüros in Bulgarien	98
4.7.1 Bulgarische Baufirmen und Projektionsbüros	98
4.7.2 Ausländische Baufirmen und Projektionsbüros	101
5 Ausblick in die Zukunft	102
5.1 Projekte	102
5.2 U-Bahn Sofia	102
5.3 Tunnel unter „Stara Planina“	103
5.4 Paneuropäische Verkehrskorridore durch Bulgarien	106
5.5 Autobahn „Ljulin“	107
5.6 Weitere Unterirdische Projekte	109

6	Zusammenfassung (mit Schlussfolgerungen)	110
7	Literaturquellen	111
8	Abbildungsverzeichnis	113
9	Tabellenverzeichnis	115
10	Anhang	116

Vorwort – Danksagung

Dem Dozenten Tashev möchte ich meinen herzlichen Dank für seine Hilfsbereitschaft bei meiner Forschungsarbeit aussprechen. Sowie allen Professoren der TU Wien und der Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie – Sofia, die meinen Kollegen und mir die Gelegenheit an einer internationalen Zusammenarbeit teilzunehmen gegeben haben. Vielen Dank dem Professor Jodl und seinem Assistenten Dipl.-Ing. Altinger, dass sie mir das Schreiben meiner Diplomarbeit am Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement an der TU Wien erlaubt haben.

Bei dem Herrn Nikolai Grigorov („Hydrostroy“ GmbH) möchte ich mich besonders für seine Hilfe bei der Informationsbeschaffung bedanken.

Für die Unterstützung bei der Recherche eines großen Teils der verwendeten Literatur möchte ich speziellen Dank meinem Kollegen Martin Andonov aussprechen.

Mein besonderer Dank und Lob gebührt meinen Eltern, die durch die Erziehung, welche Sie mir angedeihen ließen und dank Ihrer moralischen Unterstützung, diesen Hochschulabschluss ermöglicht haben. Euch Beiden widme ich von ganzen Herzen und mit all meiner Liebe diese Arbeit.

Kurzfassung

„Der Tunnelbau ist ein Kampf zwischen dem Menschen und der Erde“

Discovery channel

In meiner Diplomarbeit wird die Entwicklung fast aller Typen von unterirdischen Anlagen in Bulgarien verfolgt. Zum Hohlraumbau zählt man alle Tunnelarten, sowie Schächte, Kavernen, Rohrvortrieb etc. Natürlich besteht der größte Teil aus dem Tunnelbau.

Bei der Entwicklung des Hohlraumbaus in Bulgarien kann man grundsätzlich drei Perioden unterscheiden:

- vor der sozialistischen Regierung – vor 1944
- unter der sozialistischen Regierung – 1944 - 1989
- nach dem Sozialismus – nach 1989

Periode	Tunnelanzahl	Tunnellänge [km]
Vor 1944	über 130 Tunnel	
Von 1944 bis 1989	<ul style="list-style-type: none"> • 177 Eisenbahntunnel¹ – bis 1987 • Hydrotechnische Tunnel für Energieerzeugung, Wasserversorgung und Bewässerung 	46,5 km 380,0 km
Nach 1989	Die Anzahl der Eisenbahntunnel beträgt 181.	ca. 47,0 km

In der ersten Etappe kann man erkennen, wie das Bedürfnis nach Tunnelbauwerken im Altertum ständig gestiegen ist. Die ursprünglichen Tunnel dienten vorwiegend der Wasserleitung. Zu den charakteristischen Besonderheiten des alten Tunnelbaus zählt man die besonders schwierigen Arbeitsbedingungen.

Die **ersten Eisenbahntunnel** wurden in Bulgarien in der Zeitspanne 1893 – 1897 gebaut. Sie befinden sich in der „Iskar Schlucht“ und liegen an der Eisenbahnlinie Sofia – Roman.

Die **ersten drei Verkehrstunnel** wurden an der Strecke Provadiya – Aytos in Zeitspanne 1898 – 1900 gebaut.

Der **erste hydrotechnische Tunnel** wurde 1898 – 1899 am Wasserkraftwerk beim Dorf „Pancharevo“ (Sofia) gebaut und wies freien Wasserspiegel auf.

Bis 9. September 1944 wurden über 130 Tunnel in Bulgarien gebaut.

¹ ENZYKLOPÄDIE BULGARIEN; S:104

Die zweite Etappe kann als Blütezeit des Tunnelbaus in Bulgarien bezeichnet werden. In dieser Zeit wurden die ersten Bücher über die Tunnel aufgelegt. Die erste Literatur über die hydrotechnischen Tunnel in Bulgarien wurde von Dipl. – Ing. St. Stelyanov und Dipl. – Ing. L.Georgiev 1955 erstellt.

Mit der Anzahl der gebauten Tunnel stieg auch die Vielfalt der angewandeten Baumethoden. Der Fortschritt der Technik bedeutet eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen in einem Tunnel.

Unter der sozialistischen Regierung wurde das Bauen der einzigen U - Bahn in Bulgarien, die sich in der Hauptstadt Sofia befindet, angefangen.

In der dritten Etappe kann man einen Rückgang bei dem unterirdischen Wasserbau beobachten im Vergleich mit dem unterirdischen Verkehrsbau. Das bulgarische Eisenbahnnetz hat zurzeit 181 Tunnel, die eine Gesamtlänge von 46.600 m haben. Heutzutage brauchen viele ausgeführte unterirdische Anlagen eine Renovierung.

In den Jahren nach dem Sozialismus wurden die Finanzen für die Wartung der gebauten Anlagen vielfach reduziert. Sehr wenige neue Anlagen wurden gebaut und ihr Bau hat sehr lange gedauert. Bei jeder neuen Regierung wurden neue Projekte angefangen, die sehr selten zu Ende geführt wurden. Mit dem EU – Beitritt wurden große Projekte erwartet. Viele Projekte wurden durch europäische Programme wie ISPA vor dem Beitritt teilweise finanziert, aber wegen verschiedener bürokratischer Umstände sind die meisten davon noch im Bau. Die größte unterirdische Anlage, die schon über 30 Jahre in Bulgarien im Bau ist, ist die U-Bahn in Sofia. Sie wird trotz dem Regierungswechsel langsam weitergebaut.

Abstract

„Tunnelling is a battle between the man and the earth“

Discovery channel

In my master's thesis is tracked the development of almost all kinds of underground structures in Bulgaria. To the underground structures could be taken into account all kinds of tunnels, as also shafts, caverns, pipe-jacking and so on. Of course, the tunnels present the bigger part of underground structures.

If we look back in the years of the development of the tunnel engineering in Bulgaria, we could distinguish three periods:

- before the Socialism government - before 1944
- during the Socialism government - between 1944 –1989
- after the Socialism - since 1989

Period	Number of the Tunnels	Tunnel length [km]
Before 1944	Over 130 Tunnels	
from 1944 to 1989	<ul style="list-style-type: none"> • 177 railway tunnels – till 1987 • Hydrotechnic tunnels for power production, water supply and irrigation 	46,5 kms 380,0 kms
After 1989	Till now – 181 Railway tunnels	46,6 kms

During the first period it can be noticed how the need of underground structures has developed in the antiquity. The first tunnels should satisfy the need of water supply structures. As a characteristic of the antiquated tunnels should be mentioned the especially difficult working conditions during the construction.

The **first railway tunnels** in Bulgaria were built in the time period 1893 - 1897. They are situated in the "Gulch of Iskar river" and are part of the railway Sofia – Roman.

The **first three traffic tunnels** were built on the distance Provadiya - Aytos in time span 1898 - 1900.

The **first hydro technical tunnel** was built 1898 – 1899, conducting to the water power plant near the village "Pancharevo" (Sofia) and it is operating with free water level.

Until 9th September, 1944 more than 130 tunnels were built in Bulgaria.

The second stage of development of the underground works could be marked as a prime-age of the tunnel engineering in Bulgaria. The first books concerning the underground structures were published during that period. The first literature about the hydro technical tunnels in Bulgaria was prepared by Eng. St. Stelyanov and Eng. L.Georgiev in year 1955.

As the number of the built underground structures raised, the variety of the implementation methods increased. The progress of the technology signifies an improvement of the working conditions in a tunnel.

The underground in Sofia is the only one in Bulgaria and its planning and construction was started during the Socialism.

During the third stage of development it could be observed declining of the underground hydraulic engineering in comparison to the underground traffic constructions. The Bulgarian railway network has currently 181 tunnels with total length approximately 46.600 m.

Today many of the constructed underground structures are under reconstruction.

The finances for the structure's maintenance were many times reduced during the years after the socialism. Only a few new structures were constructed and their construction period has lasted very long. At the time of every new government new projects were started, which were led until the end very rarely. By the Bulgarian joining to European Union big projects were expected. Many projects were financed partially by European programs as ISPA Measure before the adhesion, but because of different bureaucratic circumstances the most of them are not finished yet. The biggest underground structure in Bulgaria, which is already more than 30 years under construction, is the subway in Sofia. It is moving slowly forward regardless changes of government.

1 Einleitung

Die Entwicklung des Hohlraumbaus ist in Abhängigkeit von der staatlichen Entwicklung, von reichen und armen Perioden gekennzeichnet.

Grunddaten über die Bulgarische Geschichte:

Periode	Zeitspanne	Bemerkung
Vorgeschichte	Bis XII. Jh. v. Chr.	Viele Metalle, Kupfer, Gold
Thraken kommen auf die Balkanhalbinsel	XII. – I. Jh. v. Chr.	-
Römische Regierung	I. Jh. v. Chr. – V. Jh. n. Chr.	Das heutige Bulgarien hatte den Name Misien.
Entstehung des bulgarischen Landes	V. – VII. Jh. n. Chr.	Das große Bulgarien befand sich auf dem Territorium vom heutigen Russland. Von Norden sind auch Slawen im VII. Jh. gekommen.
I. Bulgarischer Staat	632 – 1018	Im Jahr 681 haben sich die Bulgaren und Slawen auf heutigem bulgarischen Territorium niedergelassen.
Byzantische Regierung	1018 – 1185	-
II. Bulgarischer Staat	1185 – 1396	-
Osmanische Oberherrschaft	1396 – 1878	-
III. Bulgarischer Staat	Nach 3. März 1878	Das bulgarische Territorium ist von Schwarzem Meer bis Ohrid See und von der Donau bis zum Ägäischen Meer.
- bis I. Weltkrieg	1878 – 1918	Am 22. September 1908 hat BG seine Unabhängigkeit angekündigt. 1912-1913 hat Bulgarien am Balkankrieg teilgenommen, d.h. neues Territorium.
- bis II. Weltkrieg	1918 – 1945	Nach dem II. Weltkrieg ist Bulgarien unter sowjetischer Einflusszone.
- Kommunistische Regierung	1944 - 1989	Nach jeder fünfjährigen Periode hat die Regierung die Leistungen im Land abgerechnet.
Nach dem Kommunismus	Nach 1989	Erster bulgarischer Präsident ist Petar Mladenov.

Tab. 1 Bulgarische Geschichte

Das Wort „Tunnel“ kommt aus dem Englischen und bedeutet „Rohr“. Im Bauwesen bedeutet der Begriff „Tunnel“ einen künstlich ausgebildeten unterirdischen Durchgang, der notwendig für die Durchführung einer Eisenbahnlinie, einer Straße ist oder als Wasserleitung dient. Die Stollen unterscheiden sich von den Tunneln durch die kleineren Abmessungen.

Die Tunnelbauwerke sind sehr wichtige Anlagen, die möglichst in der richtigen und wirtschaftlichsten Bauweise gebaut werden sollen. Im Wasserbau ist die Ausführung der Tunnel besonders verantwortungsvoll, weil sie ein wichtiger und sehr teurer Teil der Wasserkraftsysteme sind.

Nach der Anwendung unterscheidet man:

- hydrotechnische Tunnel – für Wasserversorgung, Bewässerung, Energieerzeugung, Drainage, Abwassertunnel. Die hydrotechnischen Tunnel teilen sich noch in Tunnel
 - mit freiem Wasserspiegel - z.B. Tunnel an „**Pancharevo**“
 - bei denen das Wasser unter Druck fließt – Druckstollen – z.B. Tunnel des Talsperrensystems zum Wasserkraftwerk „**Wucha**“

Die gegenwärtige Nutzung des Gewässers ist undenkbar ohne die wasserleitenden Tunnel. Obwohl die Kosten pro Laufmeter Tunnel viel höher als die Kosten pro Laufmeter Kanal bei den gleichen Wassermengen sind, gibt es eine große Menge von Systemen, die unter der Erde gebaut sind. Die Ursachen dafür liegen vor allem in den wirtschaftlichen Vorteilen, die die Tunnel mit der Verkürzung des Weges der Wasserleitungen ergeben. D.h. die Betriebskosten können verringert werden, die Betriebssicherheit erhöht sich usw.

Der erste hydrotechnische Tunnel wurde 1898 – 1899 am Wasserkraftwerk in der Umgebung vom Dorf „**Pancharevo**“ (Sofia) gebaut. 1925 – 1928 wurde der erste Drucktunnel am Wasserkraftwerk „**Wucha**“ gebaut.

- Verkehrstunnel
 - für die Durchführung von Eisenbahnlinien
 - für Straßen, Autobahnen
 - Schifffahrtstunnel
 - Fußgängertunnel
 - U – Bahn
- Stollen für Bergbau

Nach der Bauweise unterscheidet man ausgeführte Tunnel:

- in offener Bauweise
- in geschlossener Bauweise und

- unter Wasser

Nach dem Querschnitt unterscheidet man:

- Hufeisenquerschnitt
- Elliptischer Querschnitt
- Kreis-, Halbkreisquerschnitt
- Vieleckiger Querschnitt
- Querschnitte mit besonderer Form

Nach dem Innenausbau:

- mit vollem Ausbau
- nur teilweise verkleidet

Name und Lage des Tunnels	Länge, m	Eröffnungsjahr
Eisenbahntunnel		
Gotthard- Basistunnel (im Bau)	57.000	2015
Seikan, Japan (unter Wasser)	53.900	1988
Eurotunnel, England - Frankreich (unter Wasser)	49.940	1994
Lötschberg – Basistunnel (im Bau)	35.000	2007
Iwate – Ichinohe, Japan	25.800	2000
Dai - Shimizu, Japan	22.170	1982
Simplon II, Italien - Schweiz	19.824	1922
Simplon I, Italien - Schweiz	19.803	1906
Vereina - Schmalspurbahntunnel, Schweiz	19.058	1999
Schinkanmon, Japan (unter Wasser)	18.713	1975
Apennin Basistunnel, Italien	18.507	1934
Kinlin I u. II, China	18.457	2001
Rokkō, Japan	16.220	1972
Furka-Basistunnel, Schweiz	15.442	1982
Seweromuisker Tunnel, Russland	15.300	2001
Gorigamain, Japan	15.175	1997
Monte San Marko, Italien	15.040	1987
Koznitsa, Bulgarien	5.812	1957²
Straßentunnel		
Laerdaltunnel, Norwegen	24.500	2000
St.-Gotthard Tunnel, Schweiz	16.918	1980
Arlbergstraßentunnel, Österreich	13.972	1978
Frajus, Frankreich	12.895	1980
Mont – Blanc - Tunnel, Frankreich – Italien	11.660	1965
Gudvangatunnel, Norwegen	11.428	1991
Folgefön, Norwegen	11.130	2001
Kan'etsu - Tunnel, Japan (Südröhre)	11.055	1991
Kan'etsu, Japan (Nordröhre)	10.926	1985
Gran Sasso, Italien	10.176	1984
Witinya, Bulgarien	1.155	1984
Schiffbare Tunnel		
Rov, Frankreich (1963 geschlossen)	7.120	1925
Lu Gran, Frankreich	5.677	1810
De Movaj, Frankreich	4.970	1853

Tab. 2 Bedeutsame Tunnel in der Welt³

² **GEORGIEV**, Lyubomir: Tunnel, 3. Auflage, Sofia, Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie - Sofia, 2004, S.59

³<http://www.znam.bg/com/action/showArticle/> & http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Alpentunnel

Tunnel	Länge [m]	Staat	Lage	Bemerkung
Eisenbahntunnel				
Gotthard-Basistunnel	57.091	CH	Alpen	künftig längster Eisenbahntunnel der Erde, geplante Fertigstellung 2015
Lötschberg-Basistunnel	34.600	CH	Alpen	Durchbruch am 28. April 2005, geplante Fertigstellung Dezember 2007
Koralm-Tunnel	32.800	A	Alpen	geplante Fertigstellung 2016
Guadarrama-Tunnel	28.300	E	Sierra de Guadarrama	geplante Fertigstellung 2007
Hakkoda-Tunnel	26.500	J	Aomori	Durchbruch 27. Februar 2005, geplante Fertigstellung 2010
Iyama-Tunnel	22.225	J		geplante Fertigstellung 2013
Ceneri-Basistunnel	15.400	CH	Alpen	Baubeginn: 2. Juni 2006 geplante Fertigstellung 2019
Katzenbergtunnel	9.385	D	Schwarzwald	geplante Fertigstellung 2008
Hallandsåstunnel	8.500	S	Schonen/ Halland	begonnen 1992, geplante Fertigst. 2012
Brennerbasistunnel	55.000	A / I	Alpen	evtl. Baubeginn 2006
Mont-Cenis-Basistunnel	52.000	F / I	Alpen	
Fildertunnel	9.468	D	Stuttgart	evtl. Baubeginn 2006 geplante Fertigstellung 2015
Straßentunnel				
Zongnanshan-Tunnel	18.000	VRC		geplante Fertigstellung 2009
Ping-Lin	12.900	RC	Hsuehshan-Kette	
Eiksundstunnel	7.765	N	Møre og Romsdal	Unter Wasser, 287 m. u. Meer, geplante Fertigst. 2007
Boknafjordtunnel(Unters ee)	24.000	N	Stavanger	Baubeginn: 2015 ?
Solbakkunnel (Untersee)	14.000	N	Stavanger	Baubeginn: 2010 ?
Sandoytunnel	12.000	FO	Streymoy-Sandoy	in Planung seit 2005

Tab. 3 Die größten Tunnel der Welt (teilweise in Planung, teilweise im Bau)⁴

⁴ http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Alpentunnel - 22.11.2006

2 Erste Schritte der Menschheit im Tunnelbauwesen

2.1 Allgemeines – Tunnelbau in der Welt

Der Zweck der ersten unterirdischen Arbeiten war das Bauen von geeigneten Räumen zum Wohnen, die ähnlich den natürlichen Grotten ausgebildet wurden. Mit der Ausbildung der unterirdischen Räume in späteren Zeiten wurden die Bedürfnisse der Religion befriedigt. Gleichzeitig mit der Entwicklung der Menschheit ist der Bedarf an Metallgewinnung aufgekommen. So wurden die Grundlagen des Erzbergbaus gelegt.

Die ersten unterirdischen Bauarbeiten wurden in **Altägypten** ca. 3500 Jahre v. Chr. durchgeführt. Solche sind der **Brunnen von Joseph in Kairo**, der als geneigte Galerie gebaut wurde, die Grabstätten von Memphis und Abydos in Tiwa, der Abu Simbel Tempel, der in den Felsen am Nil Ufer eingebaut wurde, u. a.

Erste richtige Tunnel wurden zur Wasserversorgung der Städte entworfen. Die ältesten Ruinen von solchen Tunnelbauwerken kann man in **Jerusalem und Bethlehem** finden. Vermutlich wurden sie im VIII. Jh. v. Chr. gebaut. Die beiden Städte befanden sich an einer Wasserscheide, die ein Gebiet arm an Wasser ist. Deswegen sollten sie ein ca. 30 km langes Talsperrensystem bauen. Das Wasser wurde von einigen weiteren Quellen durch geschlossene Wasserleitungen und Tunnel mit freiem Wasserspiegel zu einigen stufenweise gelagerten Wasserspeichern „Salomonische Seen“ geleitet. Die Tunnel wurden eng und hoch (ca. 0,6 m x 2,0 m) errichtet. Die Bodenbestandteile waren hauptsächlich felsig und die gebauten Anlagen brauchten keinen Ausbau.

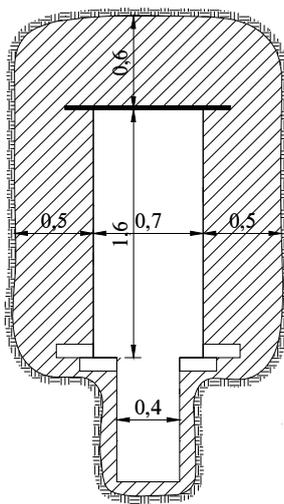
Das unterirdische Bauwesen wurde auch **in Assyrien und Babylon** bekannt. Von diesen Zivilisationen gibt es immer noch Ruinen, wie z. B. von einem Abwasserkanal mit einer unterirdischen Galerie am Nymrud und der erste Tunnel, der unter dem Fluss Euphrat im VI. Jh. v. Chr.⁵ gebaut wurde. Dieser Tunnel wurde als Verbindung zwischen dem Palast und dem Tempel des Gottes der Sonne, die sich an den beiden Ufern des Flusses befunden haben, errichtet. Der Tunnel war ca. 1,0 km lang, 4,9 m breit und 3,9 m hoch. In diesem Fall waren die geologischen Bedingungen komplizierter, weil das Gebiet aus weichen tonsandigen Böden bestand, deswegen war ein Ausbau der Tunnelwände erforderlich. Der Ausbau des Tunnels wurde aus mit Asphalt geklebten Ziegeln hergestellt und der Tunnel wurde in offener Bauweise gebaut.

Später, in den Jahren 728 – 699 v. Chr., wurde ein Tunnel mit einer Länge von 537 m gebaut, der Wasser in den Wasserspeicher „Siloam“ neben Jerusalem leitete. Dieser Tunnel wurde gleichzeitig von den beiden Portalen vorgetrieben und seine Trasse war stark gezackt.

⁵ Im VI. Jh v.Chr. hat Nabuhodonosor regiert.

Die Kunst des Errichtens von unterirdischen Bauwerken haben auch die **Griechen** gelernt. Es gibt Auskünfte über einen im VI. Jh. v. Chr. gebauten Tunnel für die Wasserversorgung der Stadt **Samos**. Der Tunnel wurde mit einer Länge von ca. 1.297 m, einem Querschnitt von 2,53 m x 2,53 m und bei einer maximalen Überdeckung von 284,0 m ausgeführt. Zusätzlich wurden 30 Schächte mit einer Tiefe bis zum 14,0 m errichtet, die den Zugang zum Tunnel erleichtert haben.

Die Entwicklung des Wasserversorgungssystems der **Stadt Athen** hat auch zur gleichen Zeit angefangen und wurde komplett in Römischen Zeiten gebaut. Besonders interessant ist die Wasserleitung, die während der Verwaltung des Imperators Adrian (117 – 138 Jahre n. Chr.) gebaut wurde und in großen Teilen aus einem Tunnel bestanden hat. Der Tunnel wurde in felsigen Böden gebaut und hatte eine veränderliche Höhe von 1,1 bis 1,6 m und eine Breite von 0,4 bis 0,7 m. Die Tunnelstrecken in den weicheren Bodenbedingungen wurden mit keramischen Platten auf Mörtel verkleidet (siehe Abb. 1).



Entlang der Trasse des Tunnels wurden viele vertikale Schächte mit einer Tiefe von 10,0 bis 40,0 m errichtet, die zum Herausbringen des gelösten Materials während seiner Bauzeit gedient haben. Später dienten sie für die Belüftung des Tunnels. Diese Wasserleitung wurde Jahrhunderte benutzt, aber während der türkischen Besetzung wurde sie verstopft. Im Jahr 1840 wurde sie teilweise renoviert und später auch in das neue Wasserversorgungssystem der Stadt eingeschlossen.

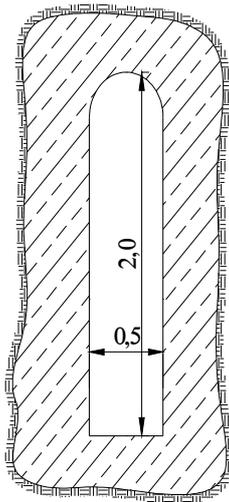
Abb. 1 Querschnitt der Tunnel des Talsperrensystems der Stadt Athen⁶

Die Römer⁷ waren ein Volk, das besonders auf die Hygiene geachtet hat und das fließende Wasser hatte für sie eine sehr große Bedeutung. Deswegen haben die Römer die Leistungen der Altgriechen im Tunnelbau weiterentwickelt und haben noch größere Anlagen in ganz Europa errichtet. Ein sehr großes Denkmal der römischen Zeit war das Wasserversorgungssystem des Alten Roms. Neun Hauptstränge des Wasserversorgungsnetzes wurden bis ca. 74 -104 J. n. Chr. fertig gestellt. In drei⁸ Strängen davon wurden Tunnel mit einer Gesamtlänge von 2.405 m ausgegraben.

⁶ Vgl. **STILYANOV, St.; GEORGIEV, L.**: Hydrotechnische Tunnel, Sofia, 1956, Abb.6

⁷ Vgl. **STILYANOV, St.; GEORGIEV, L.**: Hydrotechnische Tunnel, Sofia, 1956, S.17

⁸ Die drei Stränge sind Virgo, Klavdiy und Anio Nowus.



Wasserleitung	Jahr des Ausbaus	Gesamtlänge [km]
Virgo	21 J.v.Chr.	23 (800 m Tunnel)
Klavdiy	50 J.n.Chr.	69
Anio Nowus	50 J.n.Chr.	87

Tab. 4 Drei von den Hauptsträngen des Wasserversorgungsnetzes im Altrom

Die Tunnelstrecken dieser Stränge wurden in festen felsigen Böden hergestellt und in den meisten Fällen war kein Ausbau notwendig. In den Strecken, wo die geologischen Bedingungen nicht so gut waren, wurden die Tunnel mit kalksandigem Mörtel verkleidet.

Abb. 2 Querschnitt des wasserleitenden Tunnels Virgo im Rom

Von der römischen Zeit ist noch ein sehr interessanter Tunnel unter dem Selviano Gebirge geblieben, der zum Senken des Wasserspiegels im Fuchino See diente.

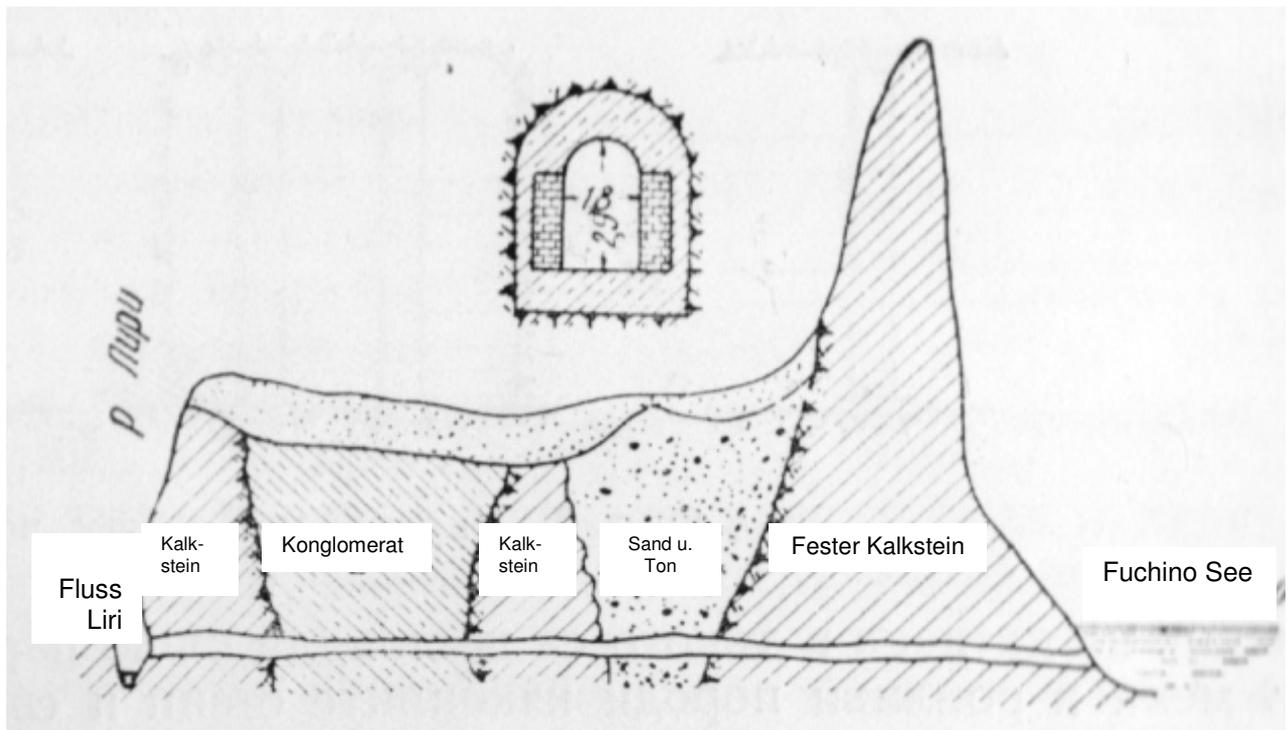


Abb. 3 Senken des Wasserspiegels des Fuchino Sees mittels Tunnels

Der See war geschlossen, d.h. es existierte keine Möglichkeit das Wasser vom See in wasserreichen Perioden abzufließen zu lassen, was Überflutungen in der Umgebung verursacht hat. Die einzige Lösung war die Verbindung des Sees und des Liri Flusses mittels Tunnel. Die Durchführung dieses Tunnels dauerte ca. 11 Jahre. Seine Länge beträgt 5.595 m und wurde durch Konglomerate und tonsandige Böden durchgeführt. Die maximale Überdeckung war 300 m und am Tunnel haben ca. 30.000 Mitarbeiter gearbeitet. Der

Querschnitt des Tunnels hatte eine Höhe von 2,90 m und eine Breite von 1,80 m und war mit Steinmauerwerk verkleidet. Seine Errichtung war mit großen Schwierigkeiten verbunden und die schwierigen Grundwasserbedingungen müssen unbedingt erwähnt werden, weil das Grundwasser eine Strecke des Tunnels zerstört hat. Deswegen wurde ein Umgehungsstollen ausgeführt. Ein Format ähnlicher Tunnel wurde zum Senken des Wasserspiegels des **Albano Sees** gebaut. Ruinen von Wasserversorgungstunnel aus römischen Zeiten kann man auch in Köln, Trier, Neapel finden.

2.2 Werkzeuge

Es ist sehr interessant, welche Werkzeuge unsere Urahnen für die Herstellung eines Tunnels benutzt haben. (Siehe Tab. 5.)

Die Historiker und Archäologen haben Materialien gefunden, die die Existenz einer sehr gut entwickelten Betriebsorganisation der Tunnelarbeiten in Alten Zeiten beweisen. So, z. B. haben unsere Urahnen Hämmer, Keile und Meißel aus Stein, Bronze und Eisen benutzt. Diese Werkzeuge dienten zum Lösen der weichen Böden. Für das Laden und Transportieren der gelösten Bodenmasse haben sie holzige Schaufeln und Tröge verwendet. Bei felsigen Böden, für welche in Tab. 5 gezeigte Werkzeuge nicht geeignet waren, haben die ehemaligen Bauarbeiter die s. g. „**Feuermethode**“ verwendet. Bei dieser Methode wurde das Gestein mittels Feuers erhitzt und danach wurde es mit kaltem Wasser gekühlt. Bei diesem plötzlichen Temperaturwechsel sind Klüfte im Fels entstanden. Der Fels wurde mittels Keil und Hammer völlig gelöst, aber wegen des Rauchs und des Wasserdampfs bevorzugten die Bauarbeiter öfter die langsamere Methode mit Meißel, Hammer und Keil.⁹

Die charakteristischen Besonderheiten des alten Tunnelbaus waren die sehr schwierigen Arbeitsbedingungen. Aus diesem Grund haben nur Kriegsgefangene, Sklaven und Verbrecher an den Tunneln gearbeitet. Bei größeren Bauobjekten musste die ganze männliche Bevölkerung aus der Umgebung teilnehmen. Die Arbeiter verbrachten viele Jahre unter der Erde und nach dem Historiker Plinius konnten sie nur vom Ölaufwand der Lampen erkennen, wie lange sie da verbracht haben. In der Literatur werden die Streike der Tunnelarbeiter und die schlechten Lebensbedingungen sehr oft erwähnt.

Viele wasserleitende Tunnel wurden in den Alten Zeiten errichtet, aber im Mittelalter wurden sie nur während einer Belagerung der Burgen als geheime Ausgänge verwendet. Die alten Tunnel wurden nicht mehr benutzt und erst am Anfang des XVI. Jh. wurden einige Tunnel für die Wasserversorgung in Italien renoviert. Die Werkzeuge für die Durchführung von

⁹ Vgl. **STILYANOV, St.;** **GEORGIEV, L.;** Hydrotechnische Tunnel, Sofia, 1956, S.19

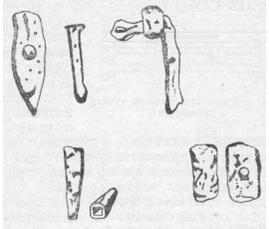
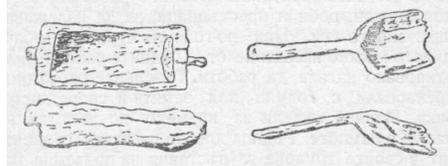
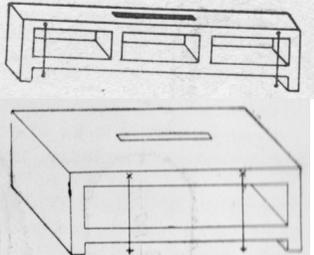
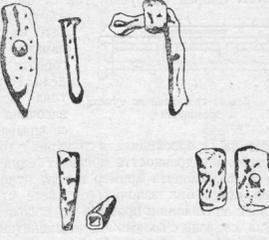
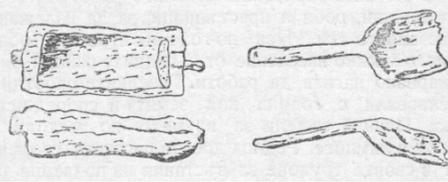
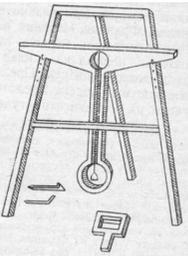
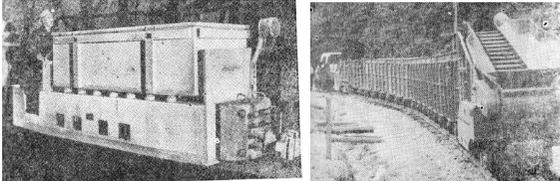
Bohrungen wurden kaum weiter entwickelt. Die Trassierungsgeräte wurden am meisten entwickelt. (Siehe Tab. 5.)

Die ersten Fortschritte in Tunnelbau im Mittelalter waren am Ende des XVII. Jh., als die Bauarbeiten am **schiffbaren Tunnel „Malpas“**¹⁰ angefangen haben. Er wurde von Pierre Paul Rike entworfen und seine Länge betrug 157 m mit einem Querschnitt von 6,9 m x 8,4 m. Der Tunnel wurde in Böden aus vulkanischem Tuff aufgeföhren und wurde mit Steinmauerwerk verkleidet.

Mit der **Erfindung des Sprengstoffs** und seiner Einführung in Tunnelbau hat der Aufstieg der unterirdischen Arbeiten angefangen. Das größte Ereignis dieser Zeit sind die beiden Tunnel am schiffbaren Kanal San Kanten in Frankreich, die bedeutsame Längen¹¹ hatten. Sie wurden während der Regierung von Napoleon I. im Jahr 1810 fertig gestellt. Diese Tunnel wurden in weichen Böden errichtet, wurden mit Holz ausgerüstet und mit Steinmauerwerk gleich nach dem Ausbruch der entsprechenden Strecke verkleidet.

¹⁰ Der Tunnel Malpas wurde ab 1679 bis 1681 gebaut.

¹¹ Die beiden Tunnellängen betragen entsprechend 1098 m und 5670 m.

	Werkzeuge zum Lösen des Bodens	Geräte zum Laden und Transportieren	Trassieren	Methode/ Werkzeuge bei felsigen Böden
v. Chr. Bis Mittelalter				„Feuermethode“
Mittelalter bis Ende XIX. Jh.	 XIXJh. - Dampfmaschinen			-
Anfang des XX. Jh. bis heutzutage	Sprengmethode Elektrische Maschinen	Ladegeräte: Gleislader, Raupenlader, Radlader ¹² :  Transportgeräte: Bunkerzüge, elektrische Lokomotiven etc: 	Theodolit, Lote	

¹² GEORGIEV, Lyubomir: Unterirdischer Wasserbau, 2. Auflage, Sofia, Staatlicher Verlag „Technik“, 1974

	Werkzeuge zum Lösen des Bodens	Geräte zum Laden und Transportieren	Trassieren	Methode/ Werkzeuge bei felsigen Böden
<p>heutzutage</p>	<p>Sprengmethode</p>  <p>TVM</p>	<p>Ladegeräte: Reifenlader, Raupenlader, Tunnelladebagger und viele ähnliche</p>  <p>http://de.wikipedia.org/wiki/Radlader</p>  <p>http://www.dozerland.de/web/dozerland.nsf/</p>  <p>http://www.tunneltrade.de/</p> <p>Transportgeräte: Förderwagen, Mulden, Fahrlader etc.</p>  <p>www.braeutigam-gruppe.de/DE/Produkte/Forderwagen</p>  <p>http://tr.bau-portal.com/</p>  <p>http://www.ghh-fahrzeuge.de/de/prod_fahr.htm</p>	<p>Analytisches und Geometrisches Verfahren: Theodolit (auch Laser-), Nivellierinstrument, Lote, elektronischer Entfernungsmesser, Lasengeräte</p>	<p>Tunnelbohrmaschinen, Teilschnittmaschinen</p>

Tab. 5 Entwicklung der Werkzeuge

2.3 Erste Schritte im Hohlraumbau in Bulgarien

2.3.1 *Perperikon*

Perperikon ist eine antike Stadt mit unterirdischen Anlagen, die von den Thraken in den letzten Jahrhunderten vor Christi Geburt gebaut wurde. Man weiß immer noch zu wenig über Perperikon. Sie befindet sich im Ostrodopi Gebirge, in der Nähe von Kurdjali. Ihre Architektur ist verbunden mit den thrakischen Glauben und Bräuchen. Der Archäologe, der hauptsächlich mit den Ruinen der alten Stadt und des Bergbaus beschäftigt ist, ist der wissenschaftliche Oberforscher Nikolay Ovcharov. Er behauptet, dass Perperikon von Thraken gebaut wurde, weil sich die alten Römer nie mit dem Bergbau beschäftigt haben. In einem Abstand von 2,5 km von der Burg der Perperikon befindet sich ein Goldbergbau, der das einzige altertümliche und mittelalterliche Goldbergwerk in Europa war. Das Bergwerk hatte viele Kilometer unterirdischen Stollen und nur 530 m davon sind noch zugänglich heute.



Abb. 4 Stolleneingang des Goldenbergwerks

Die Höhe der Stollen erreicht 2,5 m und dort, wo sich die Stollen querten, wurden Räume mit Ausmaßen 5,0 m x 10,0 m gebildet. In die waagerechten Stollen kann man durch sieben Eingänge eingehen. Als Entlüftungsschächte wurden „Schornsteine“ benutzt und manche von denen hatten eine Höhe von 15,0 m¹³.

¹³ **ATANASOV**, Doz. V; Universität für Bergbau und Geologie – Sofia, Artikel: Azbuki, 6.03.2002

2.3.2 Römische Burgen

Man bezeichnet die Periode ca. 50 Jahre n. d. Chr. als Römische Epoche. Seit dieser Epoche wurden Überreste von Wasserleitungen in Varna, Pomorie, Sozopol, Vidin und Dorf „Gigen“ gefunden. Aber an diesen Ruinen gibt es keine Teilstrecken, die man als Tunnel bezeichnen kann. Man kann nicht beweisen, dass sie in einer von den bekannten Bauweisen gebaut wurden, hauptsächlich wegen ihrer kleinen Querschnittsabmessungen.

In dieser Periode hat sich der Erzbergbau entwickelt. Viele Stollen wurden in Rodopigebirge, Burgas (am heutigen Kupferbergwerk), an beiden Ufern vom Fluss „Erma“ am „Znepole“ errichtet.

2.3.3 Mittelalter

Diese Zeit ist mit dem Neubau von Burgen im Rodopi Gebirge gekennzeichnet. Perperikon wurde als Hyperperperikon wegen der großen Goldgewinnung vom naheren Fluss „Perpereschka“ umbenannt.

In Bulgarien wurden viele Burgen gebaut, die während des Jochs teilweise zerstört wurden. Die Burgen wurden an das Gelände angepasst und hatten üblicherweise Wände, die eine Stärke von 2,0 bis 2,5 m haben und aus Flusssteinen mit Mörtel gebaut wurden. In den Burgen gab es sehr oft unterirdische Anlagen, die zum Fluss oder Brunnen führten oder als Abwasserleitungen dienten.¹⁴

Vor der Befreiung vom Osmanischen Joch gibt es keine Daten für Tunnelbau im heutigen Sinn in Bulgarien.

2.3.4 Nach der Befreiung vom Osmanischen Joch

Bis 9. September 1944 wurden über 130 Tunnel in Bulgarien gebaut.

2.3.4.1 Eisenbahntunnel

a) Allgemeines

Die ersten Tunnel in Bulgarien wurden in der Zeitspanne 1893 – 1897 gebaut. Sie haben sich in der „Iskar Schlucht“ befunden und waren Teilstrecken der Eisenbahnlinie Sofia – Roman, die die erste Etappe der Eisenbahnverbindung Sofia – Kaspichan – Varna war. An dieser Linie wurden insgesamt 22 Tunnel vorgesehen. Alle davon waren relativ kurz und wurden nur teilweise mit Mauerwerk verkleidet. Die Gesamtlänge aller Tunnel an der Strecke betrug ca. 3,4 km¹⁵ und der längste war 600 m lang. Er wurde in sandigen Böden ausgeführt und wurde als Steinmauer verkleidet.

Im Jahr 1921 wurde die Eisenbahnlinie Sarabey – Ludjene fertig gestellt. Sie hat eine Gesamtlänge von 40,0 km und die maximale Neigung der Trasse beträgt 30 ‰. An der Linie

¹⁴ ALADJOV, D.: Burgen, Artikel: Schipka, 7.04.1995

¹⁵ ENZYKLOPÄDIE BULGARIEN, Tunnelbau, 1996, S.104

befinden sich zehn kleine Tunnel, deren Gesamtlänge 380,0 m beträgt. Sie sind im Festgestein errichtet und ihre Verkleidung wurde aus Steinmauerwerk an den Wänden und Betonblöcke am Gewölbe und an den Portalen hergestellt.¹⁶

Im Jahr 1928 wurde die Eisenbahnlinie Chepino Banya – Yakoruda in Rodopi Gebirge errichtet. An der Linie wurden 25 Tunnel gebaut und der längste von denen hat eine Länge von 314,26 m und befindet sich an der Wasserscheide bei „Avramovi kolibi“. Die Gesamtlänge aller Tunnel beträgt 2,0 km. Die Tunnel wurden in Belgischer und Österreichischer Bauweise durchgeführt.¹⁷

b) EISENBAHNTUNNEL „Deve Bair“¹⁸ (L=2.383 m; Querschnitt 5,2 x 6,0 m)

Die Eisenbahnverbindung zwischen Bulgarien und Mazedonien beginnt am Bahnhof Gjueshevo und endet am Bahnhof Kumanovo. Die Hauptanlage an der Trasse dieser Verbindung ist der grenzquerende Tunnel „Deve Bair“. Seine Gesamtlänge beträgt 2.383 m und davon befinden sich 1.193,70 m (von Km 137^{+131,70} bis Km 138^{+325,40}) in bulgarischem Territorium. Das Bauen des Tunnels hat während des II Weltkrieges in der Periode 1941 – 1943 angefangen. Damals wurden 550 m¹⁹ vom Tunnel ausgebrochen und verkleidet, sowie 476 m von dem unteren Richtstollen. Zusätzlich wurde ein oberer Richtstollen mit einer Länge von 85 m errichtet. Im Jahr 1943 wurde der Bau des Tunnels aufgehört und die verkleidete Strecke wurde von den Stollen mittels einer Trennwand aus Ziegelmauer getrennt. Diese Strecke wurde als Lager benutzt. Die ersten 550 m des Tunnels haben einen Querschnitt mit den Ausmaßen B/H=5,2/6,0 m. In dieser Strecke wurde der Ausbau aus Betonblöcken auf die Firste und aus Ortbeton auf den Ulmen ausgeführt. Die Sohlplatte ist aus Beton gemacht, aber ihre Stärke ist veränderlich.

Der Ausbau des Tunnels ist heutzutage immer noch in relativ gutem Zustand. Es wurden keine Deformationen des Querschnittes, sowie keine sichtbare Betonzerstörungen festgestellt.

Der Tunnel befindet sich in einem Gebiet, das nach der Skala MSK 1964 (Medvedev, Sponheuer, Karnik) Seismizität bis zur achten Stufe aufweist und dessen seismischer Beiwert $k_s=0,15$ ist.

¹⁶ www.jptactis.com/jpt1005/angelov.htm, Angelov, Kr., „Eisenbahnturismus und Eisenbahnlinie Septemvri - Dobriniste“, 27.07.2007

¹⁷ www.jptactis.com/jpt1005/angelov.htm, Angelov, Kr., „Eisenbahnturismus und Eisenbahnlinie Septemvri - Dobriniste“, 27.07.2007

¹⁸ GEORGIEV, Lyubomir, **TRANSPROEKT EOOD (GmbH) Projekt**, Eisenbahntunnel „Deve Bair“ als Teil des Projekts“ Eisenbahnverbindung zwischen Bulgarien und Mazedonien“, Sofia, 1997

¹⁹ von Km 137+132 bis Km 137+682

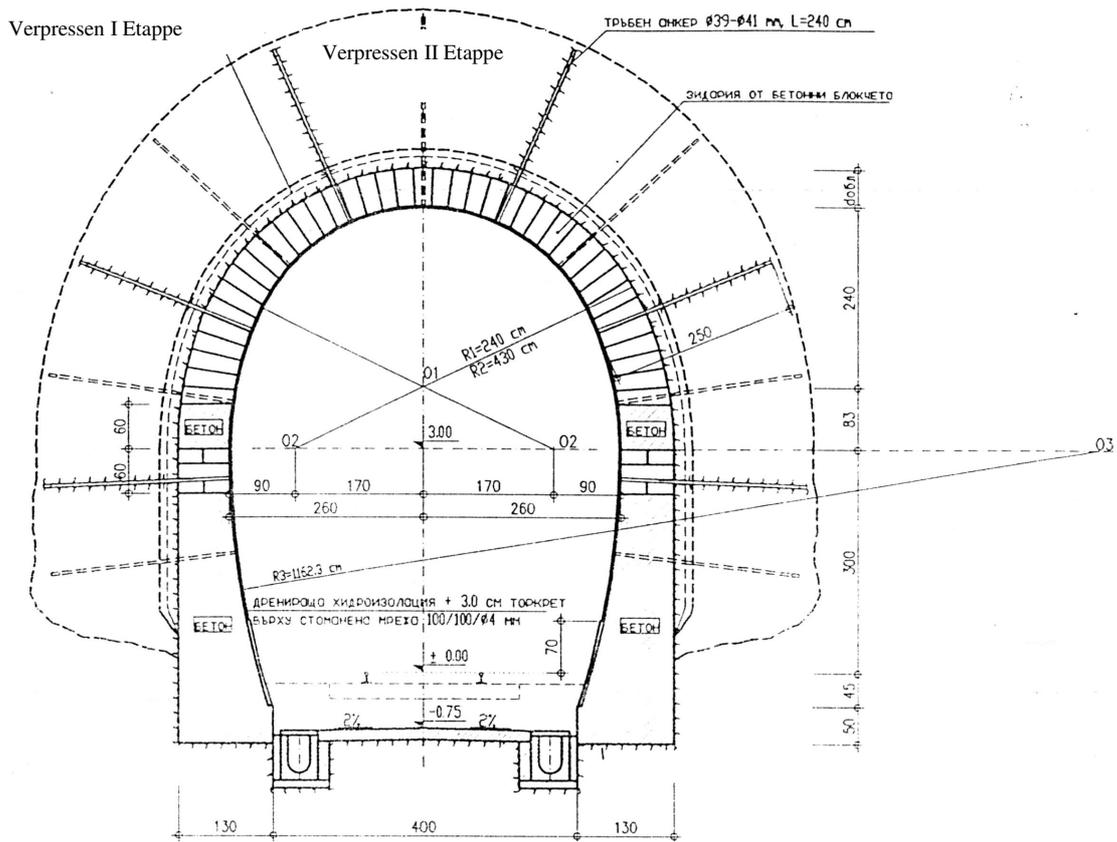


Abb. 5 Typenquerschnitt mit einer Hydroisolation, Sicherung des existierenden Tunnelausbaus

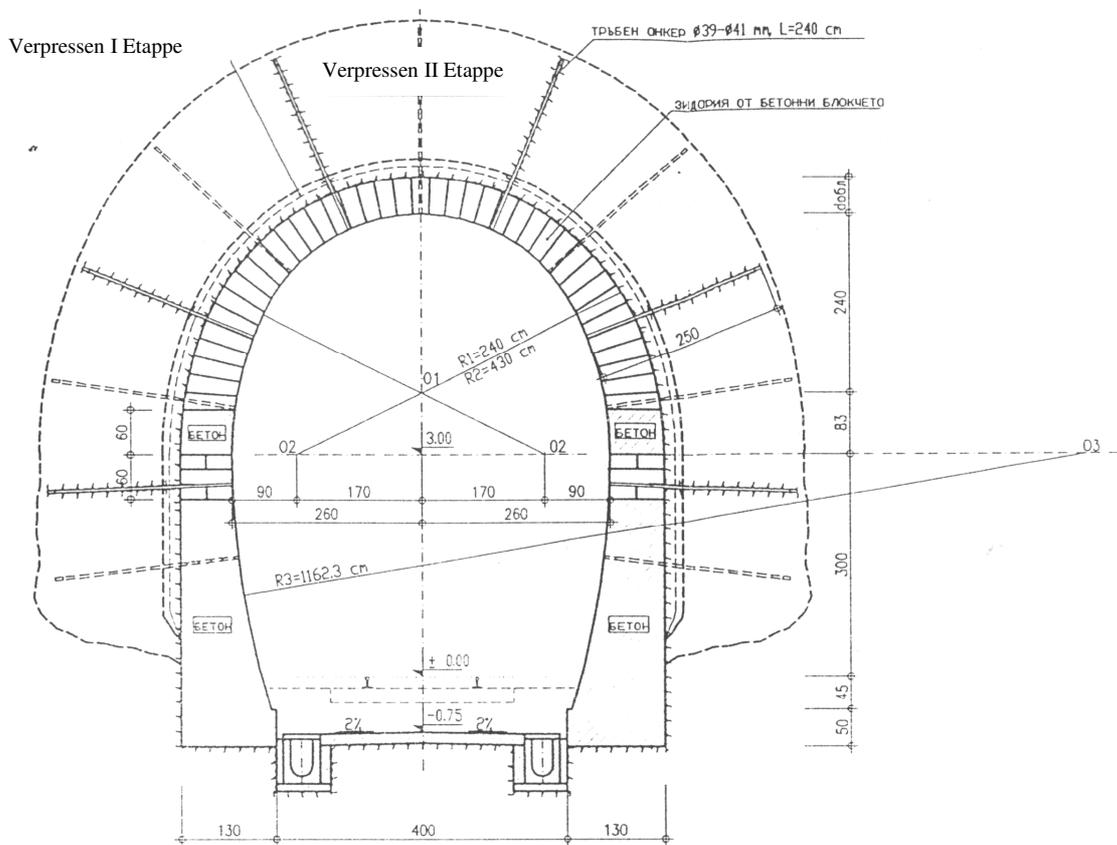


Abb. 6 Typenquerschnitt ohne Hydroisolation, Sicherung des existierenden Tunnelausbaus

2.3.4.2 Hydrotechnische Tunnel

Die Entwicklung des Tunnelbaus für hydrotechnische Zwecke war relativ schnell. Die Nutzung des Gewässers für Energieerzeugung, für Bewässerung und Wasserversorgung der Städte stieg ununterbrochen. Der erste hydrotechnische Tunnel wurde 1898 – 1899 am Wasserkraftwerk beim Dorf „**Pancherevo**“ (Sofia) gebaut. Er weist freien Wasserspiegel auf und hat eine Länge von 1.150 m und die Querschnittsabmessungen sind in Abb. 7 ²⁰ dargestellt. Bei einer Wasserspiegellage von 2,6 m ⁽²¹⁾ ist die durchgeführte Wassermenge 8,7 m³/s mit einer Geschwindigkeit von 1,72 m/sec.

Im Jahr 1933 gab es insgesamt 25 hydrotechnische Tunnel in Bulgarien, die eine Gesamtlänge von 24,0 km hatten. 21 davon befinden sich an der Wasserleitung Rila –Sofia und ihre Länge beträgt 16,4 km. Damals wurden die Tunnel mittels Holzrahmen gesichert. Die dauerhaften Verkleidungen wurden aus Stein- oder Betonblöcken hergestellt.

Von 1925 bis 1928 wurde der erste Drucktunnel am Wasserkraftwerk „**Wucha**“ gebaut. Seine Länge beträgt 4.680 m und wurde in Einzelstrecken durch sechs Seiteneingänge geteilt. Der innere Durchmesser des Tunnels beträgt 3,05 m und die durchgeströmte Wassermenge ist 15,0 m³/sec. Der Ausbau wurde aus Beton und Stahlringen gemacht. Einzelne Strecken des Tunnels, die eine Gesamtlänge von 637 m betragen, wurden ohne Ausbau gelassen, weil da die geologischen Untersuchungen genug festen und dichten Felsen bewiesen haben.

In gleicher Zeit (1927) wurde das Wasserkraftwerk „**Karlovo**“ in Betrieb gesetzt, in dessen Talsperrensystem vier Tunnel mit einer Gesamtlänge von 501,0 m eingebaut wurden.

In der Zeitspanne bis 9. September 1944 wurden noch einige Wasserkraftwerke im Tal vom Fluss „Rilska“ und in anderen Gebieten gebaut. In dieser Periode wurde die **Wasserleitung „Rila – Sofia“** errichtet. Ihre Gesamtlänge beträgt 67,5 km und 16,4 km davon wurden als Tunnel gebaut. Die Bauzeit wurde in zwei Etappen geteilt. In der ersten Etappe (1925 – 1926) wurde die Strecke „Sofia – Bistritza“ errichtet, die einen Tunnel mit einer Länge von 182 m hat. Während der zweiten Etappe (1928 – 1933) wurde die obere Strecke „**Bistritza - Rila**“ der Wasserleitung gebaut. An den Strecken befinden sich 20 Tunnel mit einer Gesamtlänge von 16.220 m. Einer von diesen war der längste Tunnel in dieser Periode und seine Länge beträgt 3.558 m. Sein Zweck ist die Täler der Flüsse Beli Iskar und Levi Iskar zu verbinden.

²⁰ Vgl. **TRUNKA**, 1964, S.29, Abb. 6

²¹ In der Höhe von 2.6 m befindet sich auch der Überfall.

Tunnel	Länge, [m]
Am WKW ²² Pancharevo	1.150
Am WKW Wucha	4.680
Am WKW Karlovo	501
Sofia - Bistritza	182
Bistritza – Rila	16.220

Tab. 6 Hydrotechnische Tunnel, die unter der sozialistischen Regierung gebaut wurden

2.3.4.3 Wasserleitungsnetz zur Wasserversorgung der Stadt Sofia²³

Ein Wasserleitungsnetz wurde mit einer Länge von 69,0 km errichtet. Die Gesamtlänge des Tunnels im Netz beträgt 16,3 km. Bis 1932 wurde die bulgarische Hauptstadt mit Wasser aus Vitosha Gebirge mittels der Boyanschen Wasserleitung versorgt. Das schnelle Wachstum der Stadt erforderte das Suchen von neuen Wasserquellen und deswegen wurde die **Wasserleitung „Rila – Sofia“** 1925 – 1932 gebaut. Die Wasserleitung versorgt die Hauptstadt mit einer Wassermenge von 2,0 m³/s.

Der erste große Stausee des Wasserleitungssystems ist „**Beli Iskar**“. Die unteren Stufen der Kaskade sind „**Iskar**“ Talsperre und „**Pancharevo**“ Stausee. Der Teil „**Bistritza – Rila**“ hat 24,5 km Kanäle, 16,1 km Tunnel, 14,4 km Düker und Druckwasserleitungen. Die Tunnelanzahl ist 20 und ihre Querschnitte sind nach Abb. 7 ausgeführt.

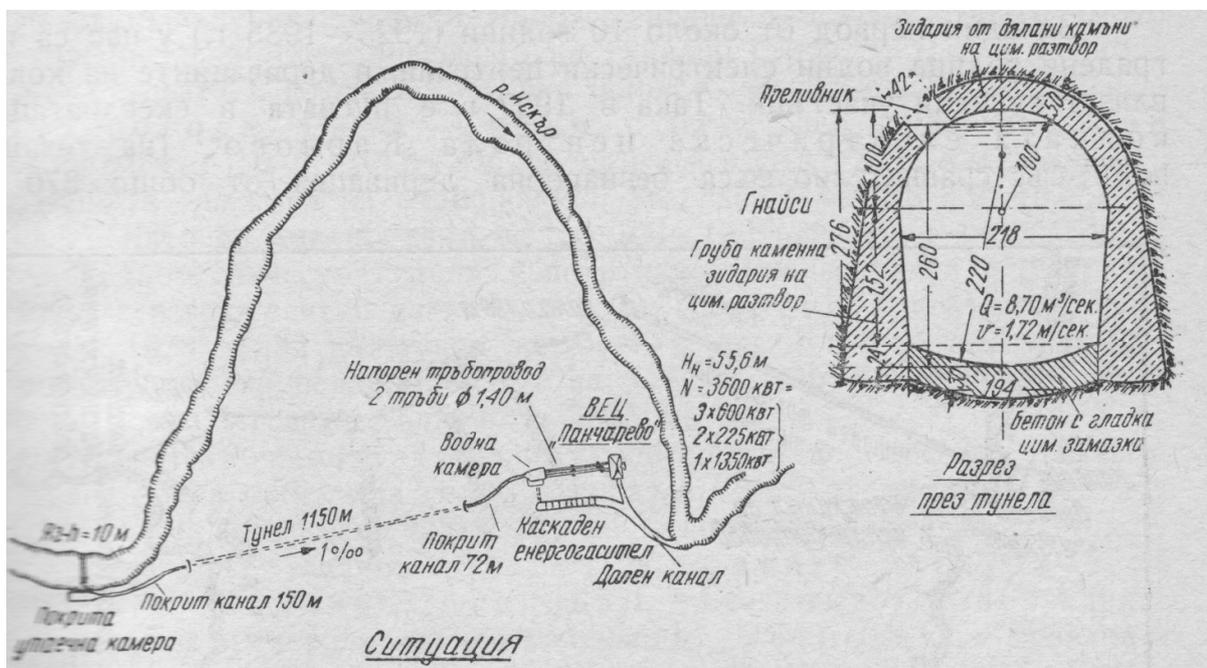


Abb. 7 Wasserkraftwerk „Pancharevo“ – Lage und Querschnitt

²² WKW - Wasserkraftwerk

²³ Vgl. STILYANOV, St.; GEORGIEV, L.: Hydrotechnische Tunnel, Sofia, 1956, S.59

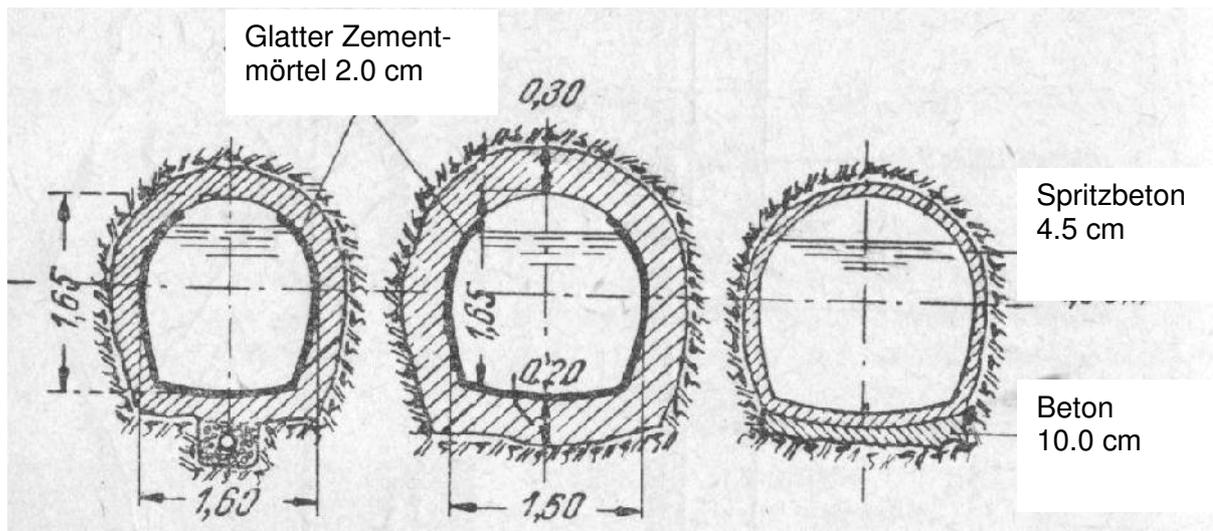


Abb. 8 Typen von Tunnelquerschnitte, die an der Wasserleitung Rila – Sofia verwendet wurden

2.3.4.4 Verkehrstunnel

Die ersten drei Verkehrstunnel wurden an der Strecke Provadiya – Aytos in der Zeitspanne 1898 – 1900 gebaut. Bis 1959 wurden in Bulgarien Verkehrstunnel mit einer Gesamtlänge weniger als 1.000 m errichtet.

2.3.5 Geschichtliche Entwicklung der U-Bahn

2.3.5.1 Allgemeines²⁴

Die Entwicklung der U-Bahn hat in London begonnen, wo die erste U - Bahn im Jahr 1863 in Betrieb gesetzt wurde. Die U-Bahn in New York wurde in 1868 in Betrieb gesetzt. Am Anfang waren die ersten Züge mit Dampflokomotiven und am Ende des XIX. Jh. wurden die Dampfloks mit elektrischen ersetzt. Die ersten U-Bahnlinien im Kontinentaleuropa wurden in Budapest 1896 und in Paris 1900 errichtet. Während der 30er Jahre des vorigen Jahrhunderts hat der Ausbau der U-Bahn in Moskau begonnen und in den folgenden Jahrzehnten wurden die Bauarbeiten an den U- Bahnlinien in anderen zwölf Städten der ehemaligen sowjetischen Republik angefangen. Die ersten zwei Linien in Asien wurden in Tokio 1927 und Osaka 1933 errichtet. In den letzten Jahren entwickeln sich die U-Bahnnetze immer weiter, besonders in Europa, Ostasien und Amerika. Zurzeit gibt es U-Bahnnetze in über 100 Städten in der ganzen Welt.

2.3.5.2 In Bulgarien

Die ersten Ideen in Bulgarien eine U-Bahn zu bauen sind erst im Jahr 1967 entstanden.

²⁴ Vgl. **IVANCHEV**, Iliya: Unterirdischer Verkehrsbau – Notizen, *pdf, Sofia, 2004

3 Tunnelbau unter der sozialistischen Regierung /1944 – 1989/

„Heute – mehr als gestern“

Während des Sozialismus wurden fünfjährige Pläne im Voraus vorbereitet, die in den folgenden fünf Jahren ausgeführt werden sollten und die schnellsten Arbeitsgruppen haben Preise gekriegt.

3.1 Eisenbahntunnel

No	Eisenbahnstrecke	Anzahl des Tunnels	Gesamtlänge [m]
1	Sofia – Varna	23	3.935
2	Iliyantzi – Karlovo	13	13.215
3	Voluyak - Pernik	3	1.918
4	Sofia – Gyueschevo	17	2.854
5	Radomir – Gen. Todorov	21	5.135
6	Stanke Dimitrov – Bobovdol	1	319
7	Mezda – Vidin	2	435
8	Dubovo – Sliven	1	180
9	Mihailvo – Dimitrovgrad	1	253
10	Dimitrovgrad – Podkova	5	1.982
11	Filipovo – Karlovo	1	165
12	Filipovo- Panagyuriste	2	234
13	Rousse – Stara Zagora	25	8.167
14	Vurbanovo – Gabrovo	5	737
15	Lovech – Tryan	3	733
16	Kolarovgrad- Karnobat	4	792
17	Komunari – Sindel	1	32
18	Septemvri - Dobriniste	35	2.891
Total:		163	43.977

Tab. 7: Anzahl und Gesamtlänge der Tunnel in Bulgarien bis 1959²⁵

Die weitere Entwicklung des Tunnelbaus ist verbunden mit der Entwicklung des bulgarischen Eisenbahnnetzes, dessen Ausbau besonders wegen des gebirgigen Reliefs des Staates notwendig war. Wegen des Balkansgebirges (Stara Planina) brauchte man einige Verbindungsstrecken zwischen Nord- und Südbulgarien. Mehr interessant für das Tunnelbauwesen wurden die folgenden Eisenbahnstrecken:

- Rouse - Turnovo – Stara Zagora – Podkova - 30 Tunnel mit einer Gesamtlänge von 9.833 km

²⁵ Vgl. TRUNKA, L. 1964, S.28

- Radomir – Kjustendil – Gyueschevo – Anzahl der Tunnel: 17, die eine Gesamtlänge von 2.746 km betragen usw.
- Septemvri – Dobriniste - Schmalspurbahn
- Eisenbahnlinie unter dem Balkengebirge – an dieser Linie befindet sich der Tunnel „Koznitsa“, der mit seinen 5.797 m bis Jahr ins 1964 der längste Tunnel in der Balkan Halbinsel war und heutzutage der längste Eisenbahntunnel in Bulgarien ist.

Folglich wurden ca. 45 km Eisenbahntunnel bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts in Bulgarien gebaut, was etwa 1 % des ganzen Eisenbahnnetzes des Staats darstellt. Mit diesem Prozent konnte Bulgarien damals mit sehr entwickelten Staaten wie Österreich, Spanien, Frankreich und Tschechische Republik verglichen werden. Unter der sozialistischen Regierung wurden viele Tunnel ausgeführt, die aber leider nicht so gute Qualität hatten wie diese, die in den Westländern errichtet wurden.

Die Eisenbahnlinie „Podbalkanska“ hat eine Gesamtlänge von 325 km und sie wurde von Sofia über Iliyanzi, Karlovo und Tulovo bis Zimniza durchgeführt. Die Strecke ist ein Teil der heutigen Eisenbahnlinie No 3, die vollständig vor über 50 Jahren beendet wurde. Am 7. November 1952 wurde ihre letzte und am schwierigsten zu errichtende Strecke²⁶ mit einer Länge von 62 km in Betrieb gesetzt. Die ganze Bauperiode der Linie hat 45 Jahre gedauert. An der schwierigsten Strecke von Dolno Kamarzi bis Klisura wurden 13 km Tunnel gebaut. Die Bauarbeiten haben nach dem Zweiten Weltkrieg angefangen und sind relativ langsam wegen der schlechten Mechanisierung gelaufen. Viele Bauarbeiten wurden bis 1950 manuell ausgeführt. Ein Beispiel dafür ist **Tunnel No 7 ``Koznitsa``**. Im Jahr 1949 wurden 923 m von seiner Länge errichtet. Im Jahr 1950 wurde die Mechanisierung des Tunnelbaus verbessert und die Gesamtlänge der ausgeführten Strecke vom Tunnel „Koznitsa“ betrug 1.723 m. Dieser Tunnel ist immer noch der längste Eisenbahntunnel (5.812 m) in Bulgarien und sein Ausbruch wurde am 6. Juni 1951 beendet.

Im Jahr 1951 wurde noch einer von den größten bulgarischen Tunneln beendet. **Tunnel No3 ``Gulabetz``** hat eine Gesamtlänge von 3.034 m. Während seines Baus haben die Bauarbeiter erhebliche Probleme mit dem Grundwasserzufluss gehabt.

An der Strecke Iliyanzi – Zimnitsa gibt es 14 Tunnel mit einer Gesamtlänge von 13.502 m. Noch in den 30er Jahren wurde entschieden, dass die Eisenbahnlinie ``Podbalkanska`` die Parameter einer Haupteisenbahnlinie²⁷ haben wird. Leider sind die früher gebauten Strecken

²⁶ Die Strecke ist von Dolno Kamarci bis Klisura.

²⁷ Die Parameter einer Haupteisenbahnlinie sind maximale zulässige Längsneigung von 15‰ und minimaler Radius der horizontalen Kurven von 500 m.

als Eisenbahnlinie II Klasse ausgeführt, d.h. die minimal zulässigen Radien der horizontalen Kurven sind 250 - 300 m²⁸.

Die Lösung der Eisenbahnstrecke zwischen den Bahnhöfen Stryama und Klisura ist besonders interessant. Dort befinden sich die **Tunnel von No 8 bis No 13**:

Tunnelnummer	Name des Tunnels	Länge [m]
No 3	Gulabetz	3.034
No 7	Koznitsa	5.812
No 8	Humnik	227
No 9	Zli Dol	1.850
No 10	Ralcha	575
No 11	Grashevitza	256
No 12	Vishneva Koriya	292
No 13	Gendera	568

Tab. 8 Eisenbahntunnel an der Eisenbahnlinie ``Podbalkanska``

3.2 Hydrotechnische Tunnel

Die Gesamtlänge der gebauten hydrotechnischen Tunnel für Energieerzeugung, Wasserversorgung und Bewässerung betrug über 380 km. Die Tunnel befinden sich hauptsächlich an Talsperrensystemen „Batak“, „Wucha“, „Belmeken – Sestrimo“ etc.

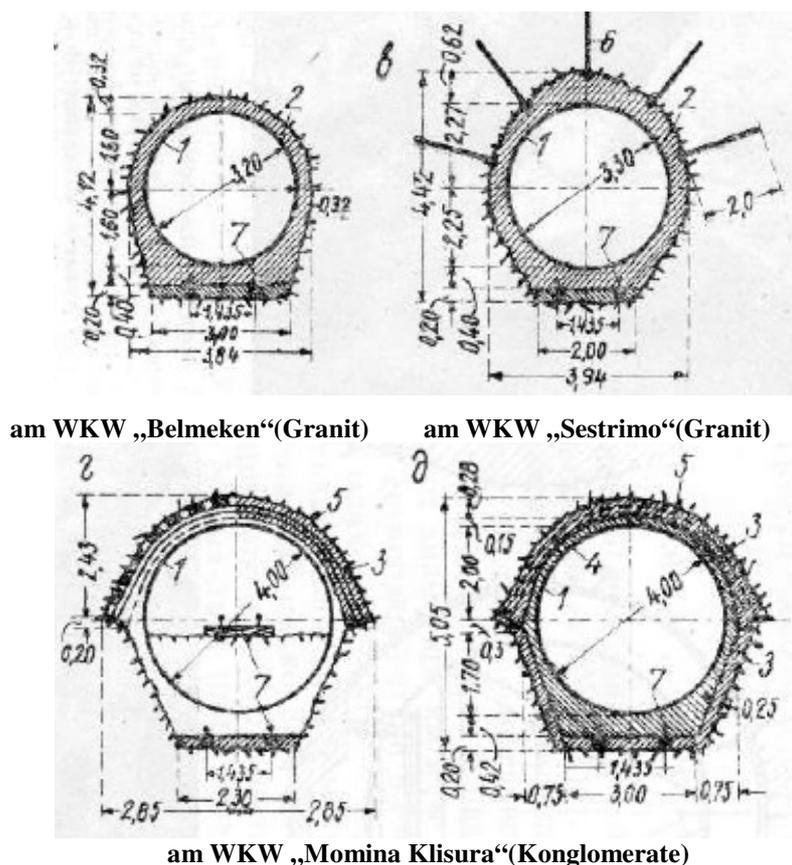
Unterirdische Wasserleitung	Typ des Ausbaus	Min. Durchmesser [m]	Ausbauwassermenge [m ³ /s]	Max. Geschwindigkeit [m/s]
Belmeken (s.ANHANG 1)	Mit Panzerung	2,80	51,0	8,28
Pestera	Mit Panzerung	2,20	26,6	7,00
Sestrimo	Mit Panzerung	3,20	58,5	7,26
Batak	Mit Panzerung	2,30	13,0	3,13
Teshel	Mit Panzerung	2,60	26,0	4,90
Aleko	Mit Panzerung	2,60	30,0	5,66
Momina Klisura	Mit Panzerung	3,60	58,5	5,79

Tab. 9 Geschwindigkeiten und Durchmesser bei unterirdischen Druckwasserleitungen²⁹

Während der ersten Füllung des Systems wurde festgestellt, dass der Tunnel nicht ausreichend dicht ist und der Maschinensaal wurde überflutet. Das Problem wurde mittels einer Panzerung der Leitung gelöst.

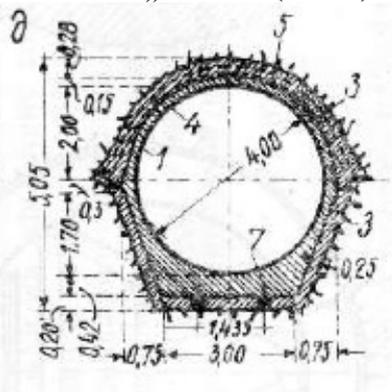
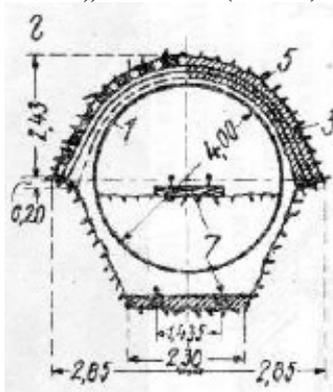
²⁸ http://members.tripod.com/~bg_railroad/jpt1102/deanov.htm 07.07.2007 **DEYANOV** Dimitar, Artikel ``50 Jahre von der Fertigung der Eisenbahnlinie ``Podbalkanska``

²⁹ Vgl. **GEORGIEV**, Lyubomir: Unterirdischer Wasserbau, 2. Auflage, Sofia, Staatlicher Verlag „Technik“, 1974, S.915



am WKW „Belmeken“ (Granit)

am WKW „Sestrimo“ (Granit)



am WKW „Momina Klisura“ (Konglomerate)

Abb. 9 Querschnitte der unterirdischen Wasserleitungen

1 – Stahlrohr, 2 – verpresster Beton um das Rohr, 3 – vorläufiger Betonausbau, 4 – Sandzementmörtel 1:3, 5 – in den Ausbau eingebaute Stahlsicherung, 6 – Ankern, 7 – Schienen;

Große Tunnelbauarbeiten wurden an der Kaskade der **Talsperre „Iskar“** (Tunnel über 10.500 m), an der **Talsperre „Georgi Dimitrov“** (Tunnelleitungen mit einer Gesamtlänge über 12.400 m), an der **Talsperre „Alexander Stamboliiski“** (über 5.700 m), an der **Kaskade „Petrohan“** (über 2.900 m), an **„Asenitza“** (ca. 3.100 m) usw. durchgeführt. An der Wasserleitung der Talsperre „Georgi Dimitrov“ ist einer der längsten hydrotechnischen Tunnel ohne Seitenzugänge. Er befindet sich zwischen dem Bahnhof „Zagoda“ und „Zmejovo“ und hat eine Länge von 6.300 m.

- Der Tunnel am Wasserkraftwerk **„Pasarel“** hat eine Gesamtlänge von 2.910 m.

Jahr	Gesamtlänge der hydrotechnischen Tunnel	Querschnitt	Ausbau
Bis 1959	Über 150 km	Von 1,2x1,7 m bis 9,8 m (Talsperre „Kurdjali“)	Hauptsächlich: Beton, Stahlbeton, Stahlspritzbeton

Tab. 10 Ausbau von Tunneln bis 1959

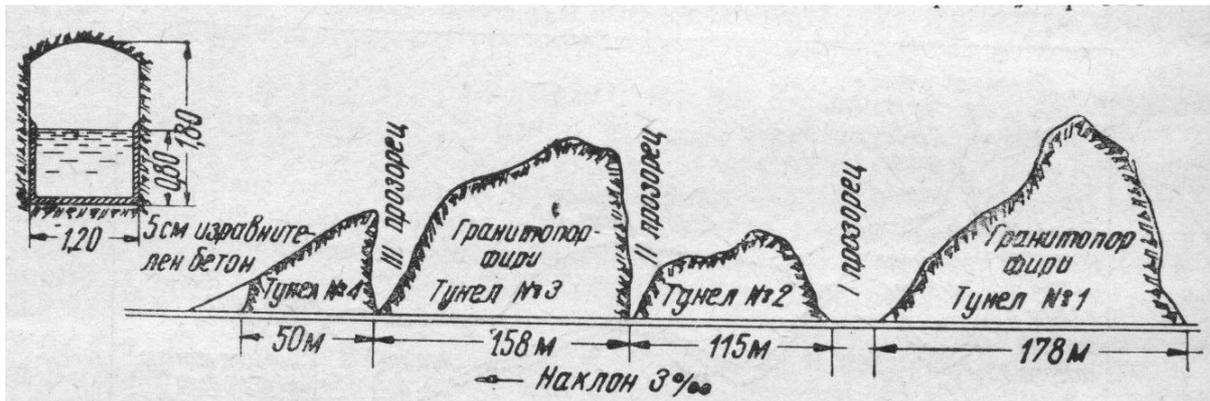


Abb. 10 Längs- und Querschnitt des Tunnels zum Wasserkraftwerk „Karlovo“

Speziell in Bulgarien haben die minimalen Durchmesser der hydrotechnischen Tunnel eine große Bedeutung, weil für kleinere Durchmesser eine spezielle Mechanisierung mit kleineren Ausmaßen vorgesehen werden sollte. In der Zeitspanne 1975 - 1985 wurde der Ausbau von 219 km hydrotechnischen Tunnel vorgesehen, von denen aber 111 km (oder 50,4 %) mit kreisförmigem Querschnitt mit einem Durchmesser kleiner als 3,0 m sind.³⁰

Die minimalen Ausbaumaße der Tunnel waren $B/H=1,85/1,90$ m. Falls das Laden und Transportieren manuell ausgeführt wurde und der Tunnel kurz war, waren kleinere Abmessungen auch zulässig. So z.B. wurde der Tunnel am Wasserkraftwerk „Widima“ gebaut. Seine Länge beträgt 160 m und seine inneren Ausmaße sind $B/H=1,34/1,42$ m, aber bei so einem Bau werden die Sicherheitsanforderungen nicht berücksichtigt. Heutzutage sind die minimalen Ausmaße eines fertigen unverkleideten Tunnels $B/H=1,85/1,90$ m und eines fertigen verkleideten Tunnels $B/H=2,0/2,4$ m.

Die maximalen Ausmaße eines hydrotechnischen Tunnelquerschnittes sind nicht begrenzt. Anlagen mit Querschnitten bis 400 m^2 ($16 \times 26,5$ m) und Länge 4,5 km wurden gebaut.

3.2.1 „Iskar“ (Stalin)³¹

In der Strecke zwischen Kalkovo und German ist die Strömung des Iskar Flusses stürmisch und fließt durch die enge Felsschlucht zwischen den Gebirgen Plana und Lozenska. Der Höhenunterschied von der Strecke ist 140 m und die gerade Linie, welche die beiden Endpunkte verbindet, hat eine Länge von 22 km. Der Ausbau des Wassersystems wurde 1950 - 1957 realisiert. Das gefasste Wasser wurde zur Bewässerung des Sofioter Feldes, Energieerzeugung, Wasserversorgung der Hauptstadt und Regulierung des Abflusses vorgesehen. Drei Varianten der Kaskade wurden vorgeschlagen, von denen die folgende ausgewählt wurde:

³⁰ STRASHIMIROV, A.: Möglichkeiten zum Verwenden Tunnelbohrmaschinen im Wasserbau in Bulgarien, In: Unterirdischer Wasserbau, GEORGIEV, L.: 2. Auflage, Sofia, Staatlicher Verlag „Technik“, 1974, S.584

³¹ Komitee für Bauwesen und Architektur: „Kaskade Stalin“, Bibliothek „Unseres Wasserbau“, Staatlicher Verlag „Technika“, Sofia, 1959

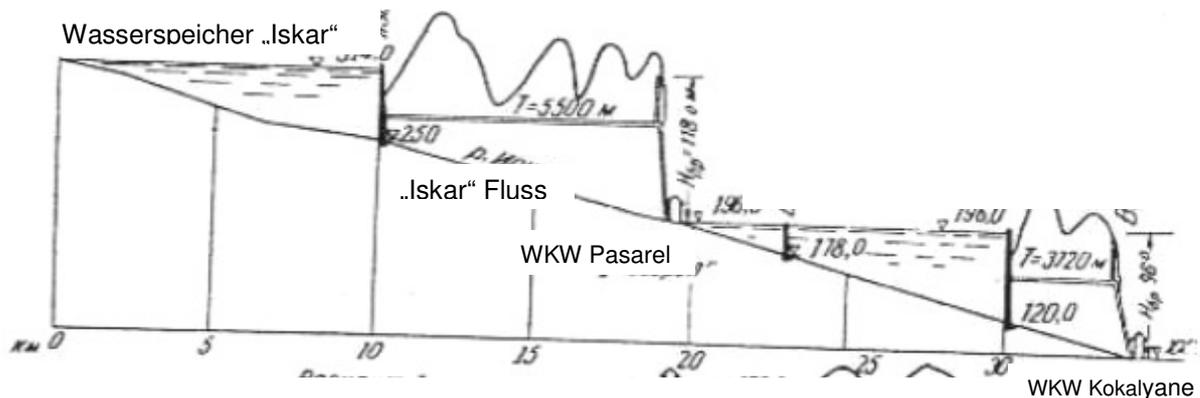


Abb. 11 Ausgewählte Variante für das Talsperrensystem „Stalin“ (Iskar)

Bei diesem Schema beträgt die Länge des Drucktunnels vom Wasserspeicher bis Wasserkraftwerk „Pasarel“ 5.494 m und der Drucktunnel zum Wasserkraftwerk „Kokalyane“ hat eine Gesamtlänge von 5.061 m. Die beiden Tunnel haben einen kreisförmigen Querschnitt mit einem Durchmesser von 3,8 m. Die damaligen Preise für die ausgeführten Arbeiten an den beiden Anlagen sind:

- Drucktunnel zum Wasserkraftwerk „Pasarel“ inkl. eines Teils der Wasserleitung, Schacht für die Schlussorgane, Wasserschloss – 128.690.430 BGN
- Drucktunnel zum Wasserkraftwerk „Kokalyane“ inkl. Wasserentnahmeanlage, Aquadukt „Chunanov Dol“, Wasserkammer – 73.351.890 BGN

a) Organisation:

Der Ministerrat hat die folgenden **Investoren** für das Bauen des Talsperrensystems bestimmt:

- Ministerium der Elektrifizierung und Wasserwirtschaft – für Talsperre „Iskar“ und Wasserkraftwerk „Kokalyane“
- Landwirtschaftministerium – für Talsperre „Pancharevo“ und für die Errichtung der Bewässerungsanlagen in östlichem sofiotischen Feld.

An den beiden Ministerien wurden neue Abteilungen organisiert, die die Projekt geprüft haben, sowie während des Bauens eine eigene Überwachung durchgeführt haben.

Das **Projektierungsbüro**, das an den hydrotechnischen Projekten und allen damit verbundenen Anlagen gearbeitet hat, ist „**Energohydroprojekt**“. Die Anlagen, die mit Bewässerung zu tun haben, hat das Büro „**Wodproekt**“ entworfen.

Die großen hydrotechnischen Anlagen in Bulgarien projektieren die Ingenieure von „Energohydroprojekt“ in drei und vier Etappen:

- Technisch – wirtschaftlicher Bericht
- Ideenentwurf – Die wirtschaftlichste Variante wird ausgewählt.
- Technischer Entwurf – Alle Mengen und Kosten werden berechnet und alle organisatorischen und technischen Einzelheiten werden geklärt.

- Arbeitszeichnungen und Details – Alle Details wurden geklärt und gezeichnet.

b) Finanzierung

Die ganze Finanzierung des Projekts erfolgt durch die bulgarische Investitionsbank im Rahmen des erlaubten jährlichen limitierten Etats.

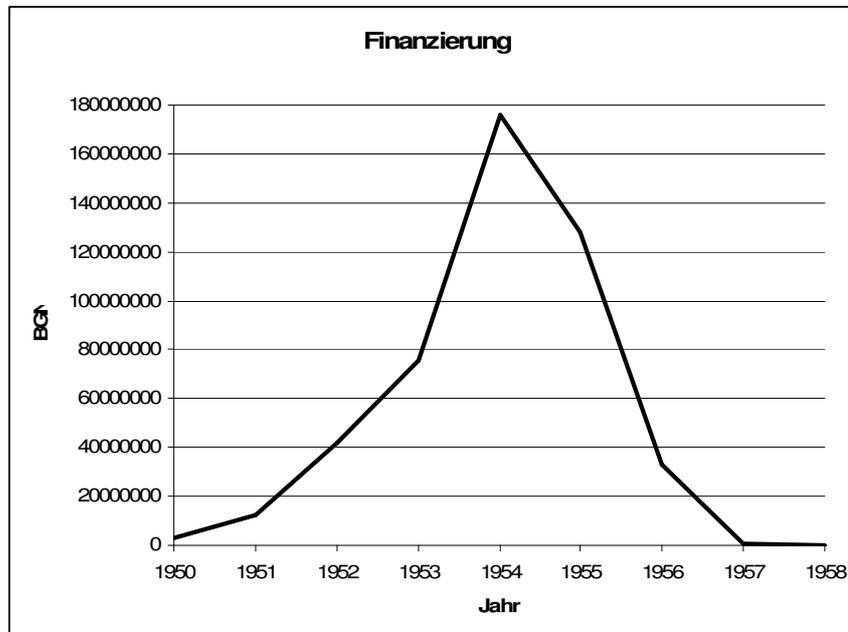


Abb. 12 Kostenverteilung während des Bauens des Talsperrensystems „Iskar“

Die folgenden Baufirmen wurden an der Baustelle beschäftigt: „Hydrostroj“, „Sovbolgarstroj“, „Wodstroj“. Die Arbeit der großen Baustelle wurde in vier Bauregionen geteilt:

c) Drucktunnel „Pasarel“³²

Der Tunnel wurde in den östlichen Abhängen des Plana Gebirges durchgeführt. Bei der Auswahl der Trasse war das Hauptziel eine ausreichende Überdeckung. Die minimale Überdeckung des Tunnels ist 50 m senkrecht und 150 m waagrecht. Entlang dem Tunnel bestehen die Böden aus Gneisen mit unterschiedlichen physischchemischen Eigenschaften. Um eine Erleichterung der Arbeit zu gewährleisten, wurden zwei Seiteneingänge vorgesehen, die eine Länge von 360 m und 270 m haben. Später um eine Beschleunigung der Arbeit zu erreichen, wurde ein Schacht³³ mit einem Querschnitt von 3,00 x 4,40 m errichtet. Der Schacht hat eine lange Strecke des Tunnels zusätzlich geteilt und so wurden neue Ortsbrüste eröffnet. Wegen mancher Schwierigkeiten während des Gesteinsabbaus und der Sicherung des Tunnels in der Nähe vom Schacht sollte der Beton durch den Schacht geführt werden. (s. Abb. 13) Die Neigung des Tunnels ist 1,3 ‰. Der Tunnel hat einen kreisförmigen

³² **Komitee für Bauwesen und Architektur:** „Kaskade Stalin“, Bibliothek „Unseres Wasserbau“, Staatlicher Verlag „Technika“, Sofia, 1959, S.82

³³ Der Name des Schachts ist „Bukov dol“.

Querschnitt mit einem Durchmesser von 3,8 m. Der Tunnel wurde mit einem unteren Richtstollen mit einer Fläche $7,9 \text{ m}^2$ durchgeführt, aber später wurde der Richtstollen wegen der Mechanisierung vergrößert und seine neue Fläche betrug $9,10 \text{ m}^2$. Der ganze Tunnel ist in Abhängigkeit von den Gesteinsbedingungen mit Beton einer Stärke zwischen 30 und 82 cm ausgekleidet. Es wurde Holzschalung angewandt.

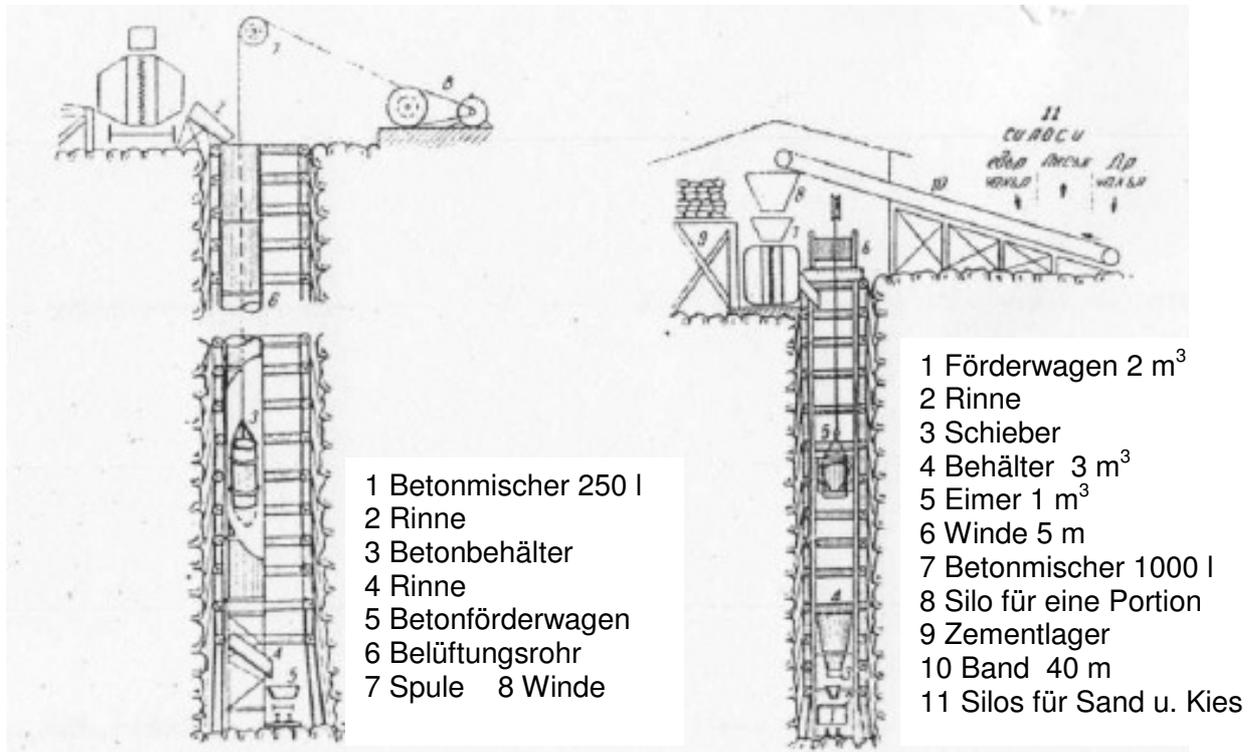
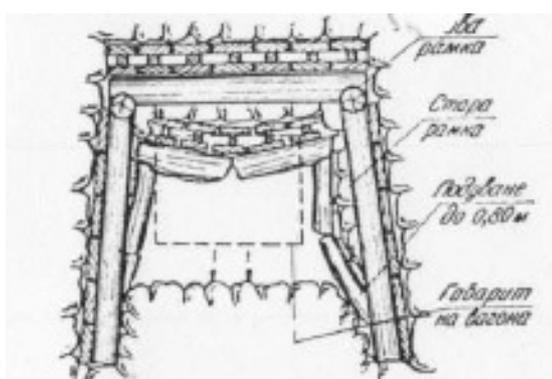
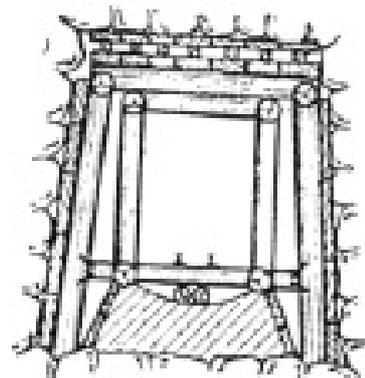


Abb. 13 Anlagen zum Betonieren vom Schacht „Bukov dol“



a) Sicherung, deformiert infolge des Gebirgsdrucks



b) Verstärkte Sicherung auf betoniertem Grund

Abb. 14 Sicherung des unteren Richtstollens in der Strecke um den Schacht „Bukov dol“

Wegen der schwierigen geologischen Bedingungen musste die Tunnelsicherung an manchen Strecken zusätzlich verstärkt werden.

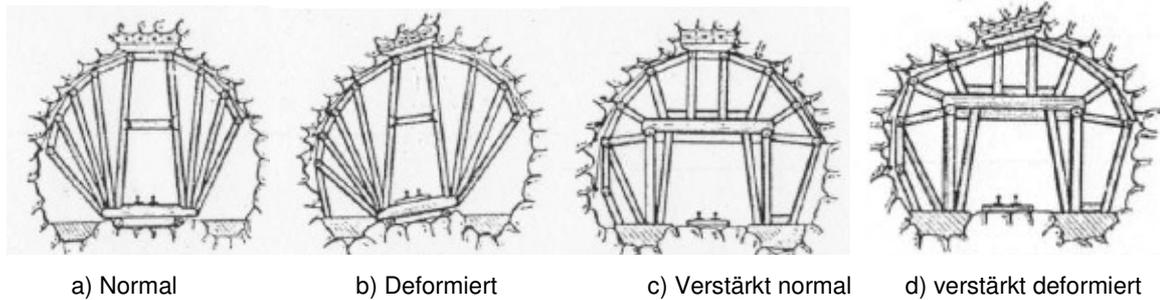


Abb. 15 Sicherung des Tunnels „Pasarel“

d) Drucktunnel „Kokalyane“³⁴

Der Tunnel hat einen kreisförmigen Querschnitt mit einem Innendurchmesser von 3,80 m für eine maximale Wassermenge von 30 m³/sek mit einer Geschwindigkeit von 2,65 m/sek. Seine Trasse befindet sich in den Anhängen des Lozen Gebirges und entlang des Tunnels gibt es unterschiedliche geologische Bedingungen, deren physisch-mechanische Eigenschaften im Vergleich mit jenen am Tunnel „Pasarel“ als besser bezeichnet werden konnten. Das bestimmte leichtere Sicherung und Verkleidung.

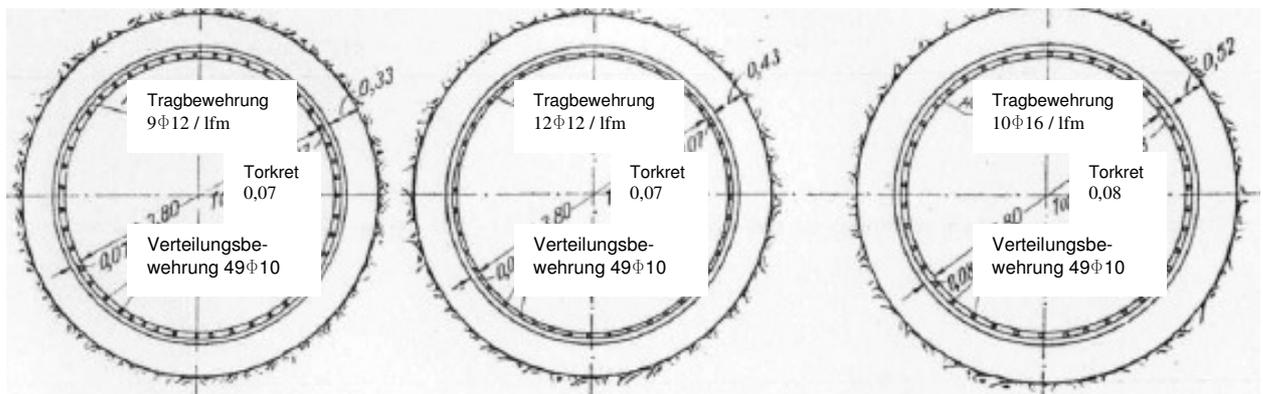


Abb. 16 Querschnitte des Tunnels „Kokalyane“

Die Neigung des Tunnels beträgt 2,0 ‰. Der Tunnel wurde von vier Angriffsstellen bearbeitet: zwei am Eingang und am Ausgang des Tunnels und noch zwei an den beiden Seiteneingängen. Die Längen der Seiteneingänge betragen 111,0 m und 210,0 m und ihre Querschnitte sind 2,0 x 2,2 m und 3,1 x 3,1 m. Der zweite Seiteneingang hat einen größeren Querschnitt, um eine bessere Transportierung zu gewährleisten. Seine Ausmaße haben die Arbeit nicht so viel beschleunigt, wie es erwartet wurde. Nach der Fertigstellung des Tunnels wurde der zweite Seiteneingang so gestaltet, um als ein Revisionszugang zu dienen.

Der Ausbau des Tunnels ist kombiniert und besteht aus einem äußeren Betonring und einem inneren Stahlmantel. Die Verkleidung des Tunnels „Pasarel“ ist ähnlich. Entlang dem ganzen

³⁴ **Komitee für Bauwesen und Architektur:** „Kaskade Stalin“, Bibliothek „Unseres Wasserbau“, Staatlicher Verlag „Technika“, Sofia, 1959, S.135

Tunnel wurde Zementmörtel verpresst, aber wegen der Porosität des Betons war zweimaliges Verpressen notwendig. Bei dem ersten Mal war das Verpressen mit 5,0 atm und bei dem zweiten mit 12,0 atm.

Der Bau der Tunnel hat insgesamt 36 Monate gedauert. Bei dem Abbau und während des Betonierens wurde die Arbeit in drei Schichten ausgeführt, aber für die Ausführung des Ausbaus - in vier Schichten.

3.2.2 **„Beli Iskar“**

In der Periode nach dem 9. September 1944 wurde die **Talsperre „Beli Iskar“** beendet und am Wasserspeicher wurde ein Wasserkraftwerk errichtet, das das Wasser mittels einer aus Tunnel bestehenden Druckwasserleitung mit einer Gesamtlänge von 6.547 m ausnutzt. Das Wasser wurde in drei Wasserkraftwerken für die Energieerzeugung verarbeitet. Die dritte Stufe Wasserkraftwerk „Beli Iskar“ wurde 1956 gebaut. Das Wasser floss vom Grundablass der Talsperre „Beli Iskar“ durch ein Stahlrohr in einen Tunnel mit einer Länge von 6.500 m. Der Tunnel wurde in festen Graniten durchgeführt und wurde mit Hilfe von vier zusätzlichen Seiteneingängen ausgegraben. Er hat einen runden Querschnitt mit einem Durchmesser von 2,0 m. In einer Länge von 4.500 m hat der Tunnel einen Ausbau mit einer Stärke von 20 cm.

3.2.3 **Kaskade „Rila“**

Diese Kaskade ist der erste völlig ausgebaute Flusslauf in Bulgarien. Im Jahr 1948 wurde die hochgebirgige Talsperre „Kalin“ fertig gestellt, die zur Erzeugung von Spitzenenergie dient. An der Kaskade wurden die Wasserkraftwerke „Kalin“, „Kamenitza“, „Pastra“ und „Rila“ errichtet, die zusammen nur 1.700 m netto Fallhöhe benutzen. Sie könnten größere Wassermengen behandeln, falls sie entsprechend reguliert würden. Um eine volle Ausnutzung des Wassers zu gewährleisten, wurde die Talsperre „Karagjol“ am Fluss „Bistritza“ in der Periode 1949 – 1952 gebaut. Die beiden Wasserspeicher „Karagjol“ und „Kalin“ wurden mittels eines mit freiem Wasserspiegel unverkleideten Tunnels verbunden, der in festem Granit gebaut wurde.

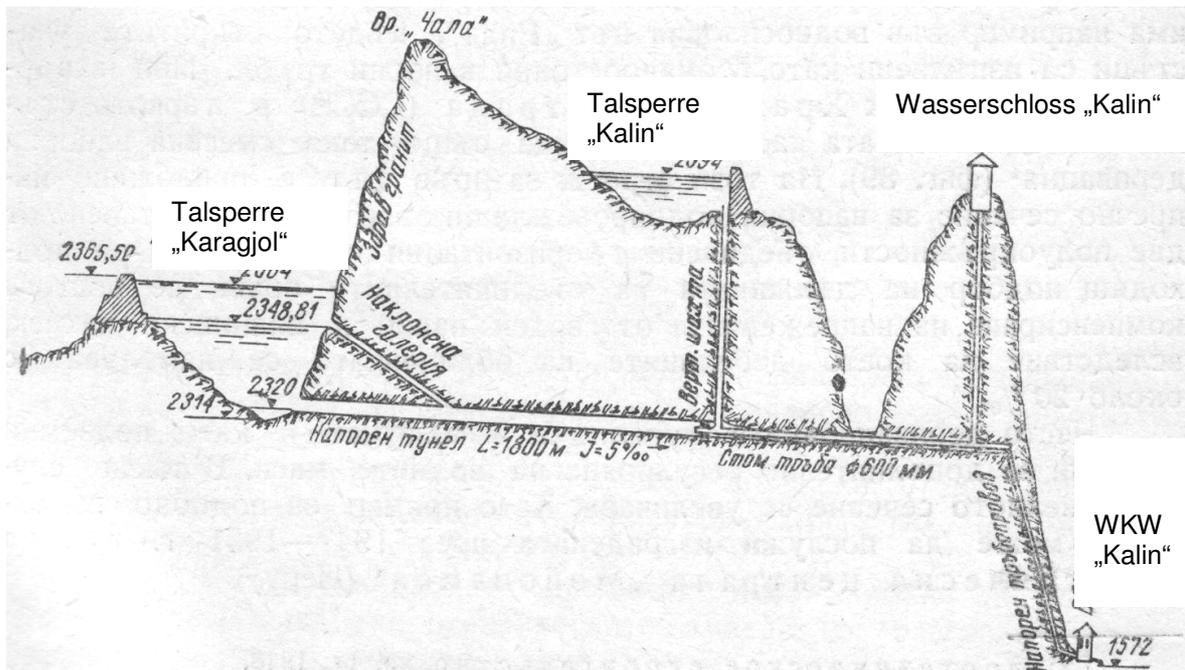


Abb. 17 Längsschnitt der Verbindung zwischen den Stauseen „Karagjol“ und „Kalin“

3.2.4 Bewässerungssystem „Rositza“³⁵

Bei den Bewässerungssystemen werden die Tunnel als wasserleitende Anlagen nur in Fällen von Querung der Relieferhebungen vorgesehen. Das System „Rositza“ wurde im Jahr 1954 in Betrieb genommen. Sein Anfang befindet sich an der Talsperre „Alexander Stamboliyski“, die die notwendige Fallhöhe des Wasserkraftwerks „Rositza I“ sichert. Danach fließt das Gewässer in ein 200 km langes Netz von Haupt- und Nebenkanälen ein. Das Gebiet, das die Kanäle bewässern, hat ein hügeliges Relief, was die Notwendigkeit von acht Tunneln bestimmt. Sieben von den Tunneln befinden sich in der Strecke nach dem Wasserkraftwerk „Rositza I“ bis zum Düker unter dem Rositza Fluss. Diese Strecke des Kanals hat eine Länge von 12,6 km, von denen 5,72 km Tunnel sind. Die Bemessungswassermenge ist $20 \text{ m}^3/\text{s}$ und das Gefälle beträgt $0,40 \text{ ‰}$. Die Tunnel sind mit einem freien Wasserspiegel errichtet und wurden teilweise mit Beton ausgekleidet. Manche Strecken aber wurden ohne Ausbau hergestellt. Die Querschnitte dieser Tunnel sind in Abb. 18 dargestellt.

³⁵ Vgl. STILYANOV, St.; GEORGIEV, L.: Hydrotechnische Tunnel, Sofia, 1956, S.53

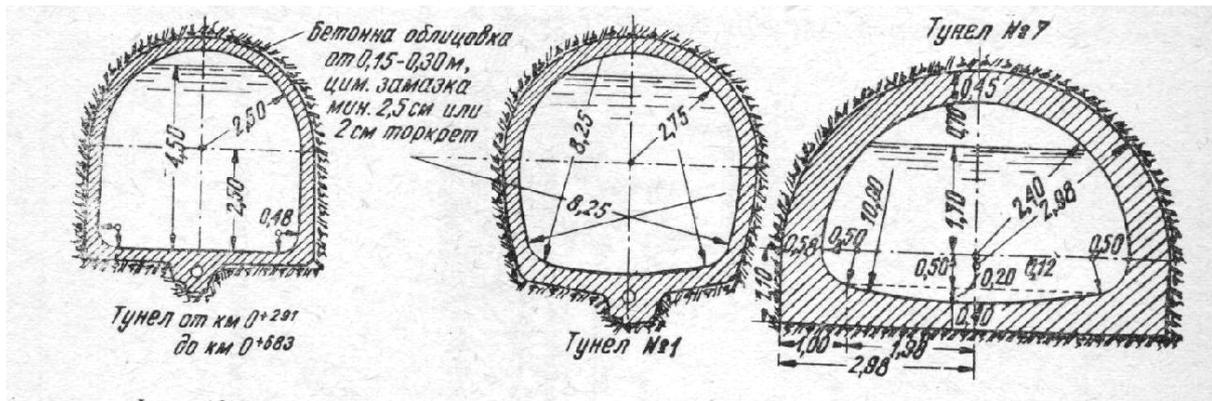


Abb. 18 Querschnitt der Tunnel vom Bewässerungssystem „Rositza“

3.2.5 Talsperrensystem „Batak“

Für eine volle Aufklärung der Wasserressourcen in dem West- und Zentralrodopi Gebirge und für ihre völlig zweckmäßige Nutzung hat das damalige „Ministerium der Elektrifizierung und Meliorationen eine Ausschreibung zwischen den bulgarischen Ingenieuren und Spezialisten im Jahr 1947 organisiert. Damals wurden 33 Projekten vorgeschlagen, von denen nur drei Talsperrensysteme bewilligt wurden:

- Dospat – Devin – Krichim
- Golyam Beglik – Batak – Debrastitza – Maritza
- Sestrimo

Als das vorteilhafteste Projekt von den oben erwähnten wurde das zweite Schema gewählt und aufgrund der Zeichnungen und Daten im Angebot hat ein Team von Fachleuten mit dem Leiter Dipl.-Ing. Ivan Mavrov 1949 einen technisch-wirtschaftlichen Bericht vorbereitet. Am 20.04.1950 wurde das Projekt vom Ministerium genehmigt.

Im Jahr 1950 hat ein Fachteam des Projektierungsbüros „**Energohydroproekt**“ die Untersuchungs- und Projektierungsarbeiten übernommen. Der Projektierungsvorgang der großen hydrotechnischen Anlagen wurde in drei Phasen geteilt:

- Technisch – wirtschaftlicher Bericht für das Projekt
- Ideenprojekt
- Technischer Entwurf – auf Basis dieses Entwurfs wurden die Zeichnungen während der Bauphase vorbereitet.

Die technischen Projekte wurden in der Zeitspanne 1952 – 1955 ausgearbeitet und die Arbeitsprojekte im Laufe der Bauarbeiten zwischen 1953 - 1959. Die gesamte Bauzeit des Systems betrug von 1953 bis 1959 und das System wurde am 6. September 1959 offiziell eröffnet.

Zu der gleichen Periode muss man unbedingt das Talsperrensystem „**Batak**“ mit zwei unterirdischen Wasserkraftwerken „Batak“ und „Pestera“ erwähnen. Das System hat

64 Tunnel (mit freiem Wasserspiegel und Druckwassertunnel), deren innere Durchmesser betragen von 1,8 bis 6,15 m.

Das endgültige Schema des Talsperrensystems besteht aus den Hauptwasserspeichern – Talsperre Golyam Beglik³⁶ und Batak, aus drei Wasserkraftwerken – „Batak“, „Pestera“, „Aleko“ und aus zwei Sammelsystemen aus Kanälen.³⁷

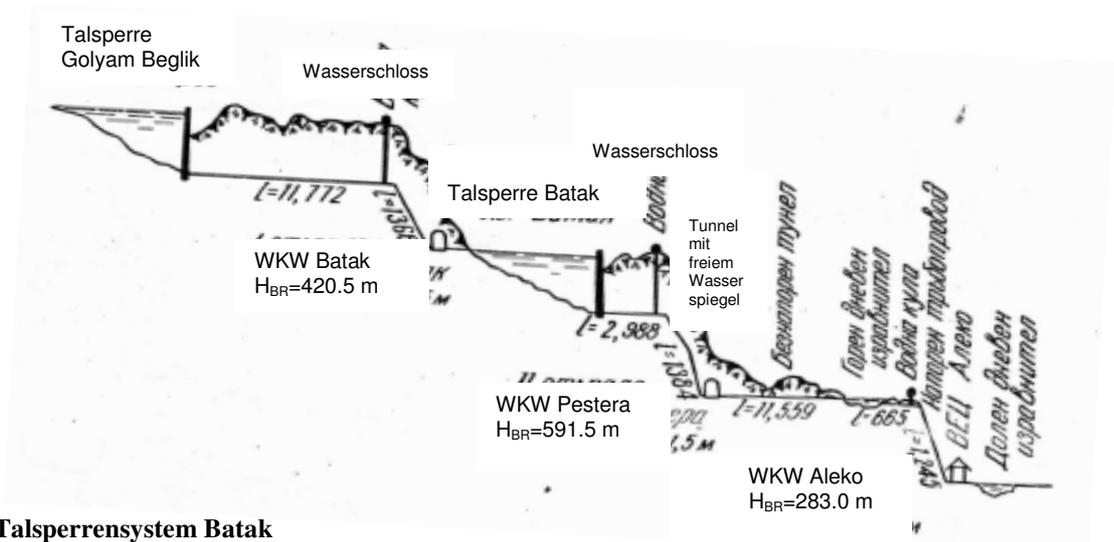


Abb. 19 Talsperrensystem Batak

Die Kaskade beginnt mit der hochgebirgigen Talsperre „**Golyam Beglik**“ und benutzt insgesamt 1.250 m brutto Fallhöhe. Die Talsperre „Golyam Beglik“ befindet sich am „Kriva“ Fluss, der ein Zufluss vom „Wucha“ Fluss ist. Die Hauptobjekte des Systems sind die Talsperren „Golyam Beglik“, „**Beglika**“, „**Toschkov chark**“ und „Batak“, die Wasserkraftwerke „Batak“, „Pestera“ und „**Aleko**“ und der Wasserspeicher „Aleko“. Die Anlagen wurden mittels Tunnel mit einer Gesamtlänge von 30.000 m verbunden. Das Einzugsgebiet des Systems wurde künstlich mittels 93,0 km Sammelwasserleitungen erweitert. Die Hälfte von denen sind Tunnel mit freiem Wasserspiegel. Am System wurden insgesamt 123 km wasserleitende Anlagen errichtet, von denen 78,0 km Tunnel und 45,0 km Kanäle sind, d.h. dass über 75 % des Gesamtnetzes zum Sammeln des Wassers von anderen Einzugsgebieten verwendet werden. Die Sammel-tunnel sind 48,0 km lang. Die Gesamtlänge sämtlicher Tunnel, ohne diese an dem Sammelkanal Beglika und Shiroka Polyana, ist 71.758 m und das Gesamtaushubvolumen sind 1.127.000 m³.

³⁶ Der alte Name der Talsperre „Golyam Beglik“ ist Vasil Kolarov.

³⁷ Vgl. **STILYANOV**, St.; **GEORGIEV**, L.: Hydrotechnische Tunnel, Sofia, 1956, S.45

Unterirdische Anlagen am System	Gesamtlänge [m]	%
Drucktunnel	15.608	21,8
Tunnel mit freiem Wasserspiegel	47.714	66,4
Druckrohrleitungen	4.110	5,7
Wasserschlösser, vertikale Schächte etc.	265	0,4
Seitliche Zugänge	2.131	3,0
Durchlüftung-, Haupteingänge etc.	1.662	2,3
Havarie-Tunnel u.ä.	268	0,4
Gesamt	71.758	100

Tab. 11 Daten für die Tunnellängen des Talsperrensystems „Batak“

Die überwiegende Längsneigung der Tunnel ist zwischen 0 und 2 %, um eine höhere Fallhöhe zu erreichen.

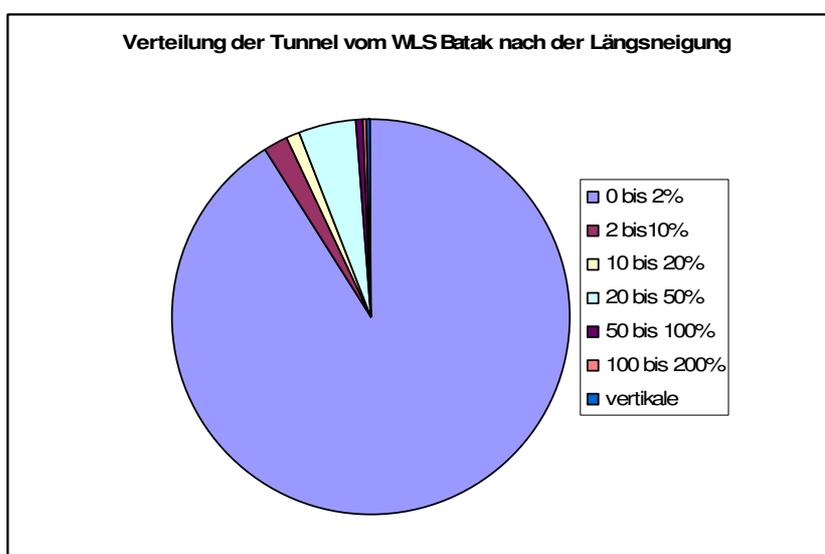


Abb. 20 Verteilung der Tunnel des Talsperrensystems „Batak“ nach der Längsneigung

Die Vielfalt der Anforderungen und Bedingungen hat unterschiedliche konstruktive Lösungen der endgültigen Ausbauten bestimmt. Diese Lösungen kann man in drei Gruppen zusammenfassen:

Drucktunnel:

Hierzu zählt man die Drucktunnel der Wasserkraftwerke „Batak“ und „Pestera“, den Niederdrucktunnel des Wasserkraftwerks „Aleko“, den Grundablass der Talsperre „Batak“, die Wasserschlösser und ihre untere Kammer, sowie die unterirdischen Druckrohrleitungen. In allen Fällen ist der innere Querschnitt kreisförmig und besteht aus einem wasserdichten Mantel, Beton und verpresstem Gestein. Der wasserdichte Mantel der Druckwasserleitungen wurde aus Stahlblech hergestellt und bei den anderen Tunnelarten wurde er aus Spritzbeton mit Bewehrung oder nur Spritzbeton in Abhängigkeit von den geologischen Bedingungen und dem Wasserdruck ausgeführt. Diese Ausbaukonstruktion ist gut bekannt in dieser Zeit in Bulgarien, sowie im Ausland und gibt eine Sicherheit der Ingenieure für ihre Anwendung. Die Beiwerte, die für die hydraulischen Berechnungen genutzt wurden, sollten zusätzlich mittels

Versuchen an Ort und Stelle geprüft werden, aber es wurde nicht gemacht und die Berechnungen waren noch ungenauer. Ein anderer Nachteil dieses Ausbaus ist der große Verbrauch vom Betonstahl (von 80 kg/m bis 150 kg/m), d.h. höhere Kosten. Die statischen Berechnungen und die Bemessung wurden für die inneren Kräfte nach der **Theorie von Protodyakonov** und für den äußeren Druck nach der **Theorie von Feodorov** durchgeführt.

- Tunnel mit freiem Wasserspiegel
- Andere Tunnel

3.2.5.1 Bauweise der Tunnel am Talsperrensystem „Batak“³⁸

In Abhängigkeit von der Form und den Abmessungen der Querschnitte, von den ingenieurgeologischen Bedingungen und in manchen Fällen von der Qualifikation der Arbeiter wurden die geeigneten Bauweisen gewählt.

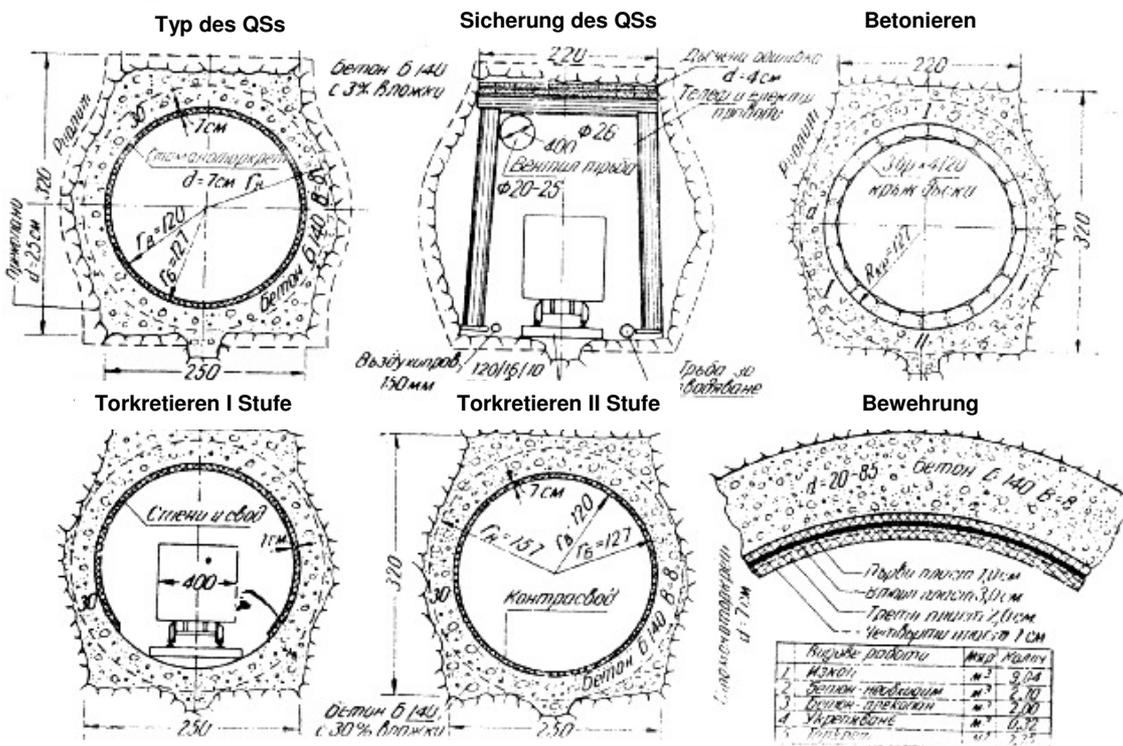


Abb. 21 Querschnitt des wasserleitenden Haupttunnels des WKWs „Batak“

Am System sind die folgenden Bauweisen verwendet:

a) Ausbruch von einem Richtstollen mit einer Sicherung durch Holzrahmen und weitere Erweiterung bis zu einem völlig ausgebrochenen Querschnitt unmittelbar vor der Betonierung. Diese Bauweise wird in drei Fällen bei Tunnel mit kleinen Querschnitten mit einem Durchmesser (Höhe oder Breite) bis 3,0 m angewandt:

- Bei Tunnel in schlechter Geologie

³⁸ Vgl. Talsperrensystem Batak, Technika, Sofia, 1961

- Wegen dem alten Glauben mancher Poliere, dass mit dieser Bauweise eine größere Abschlagslänge, kleineres Umgraben des Querschnitts und niedrige Kosten der Aushubarbeiten gewährleistet werden können

- Falls ein sehr gut geformter Querschnitt nicht erfordert ist

b) Herstellung des Vollprofils

- mit einer Sicherung aus polygonalem Holz- oder Metallrahmen oder aus Ankern, mit oder ohne Spritzbeton

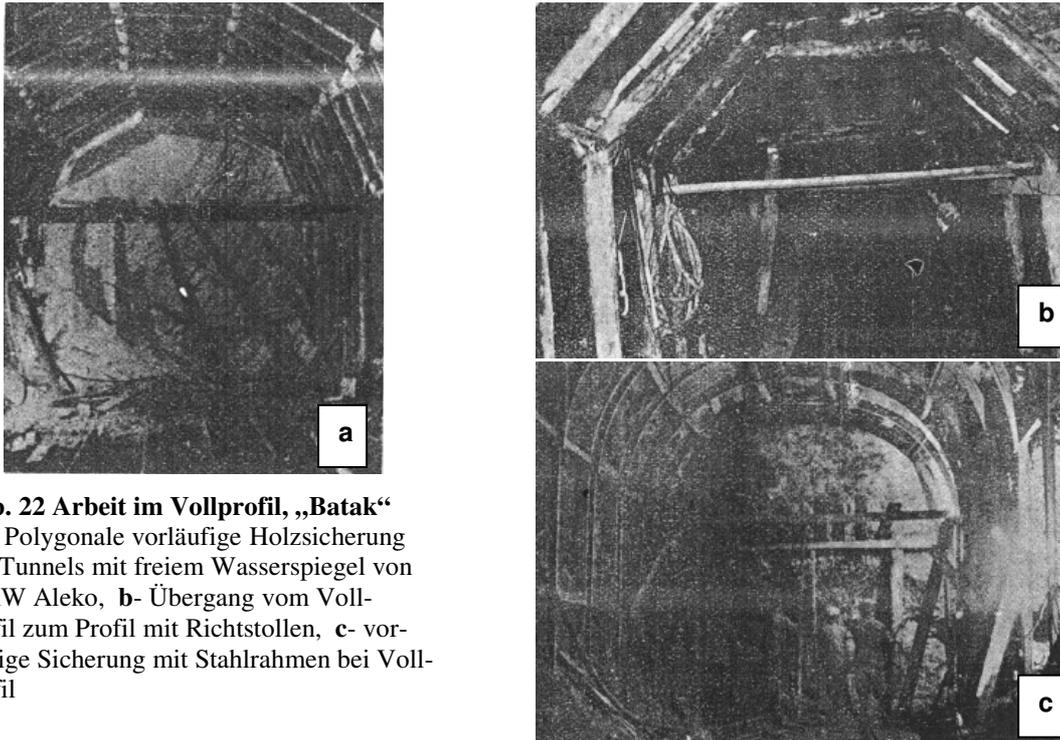


Abb. 22 Arbeit im Vollprofil, „Batak“

a- Polygonale vorläufige Holzsicherung des Tunnels mit freiem Wasserspiegel von WKW Aleko, **b-** Übergang vom Vollprofil zum Profil mit Richtstollen, **c-** vorläufige Sicherung mit Stahlrahmen bei Vollprofil

- Ausbruch ohne vorläufige Sicherung

Diese Bauweise wurde **am System „Batak“ am häufigsten** verwendet. Bei einer Gesamtlänge des Tunnels von 72,0 km wurden 56,0 km im Vollprofil hergestellt. Sie wurde vorwiegend für die großen Tunnel am Wasserkraftwerk „Pestera“ und Wasserkraftwerk „Aleko“ im Jahr 1955 eingeführt und ursprünglich wurde sie nur im Festgestein angewandt, aber später auch in lockeren Felsarten. Ein typisches Beispiel für diese Bauweise ist die Strecke von Km 1+340 bis zum Km 2+070 des wasserleitenden Haupttunnels des Wasserkraftwerks „Aleko“, der durch verwitterte Granite und Schiefer durchführt, die einen hohen Gebirgsdruck während der Bauzeit gezeigt haben. Trotzdem wurde der Ausbruch im Vollprofil mit leichter Sicherung aus Stahlrahmen gemacht. Die Rahmen wurden im Ausbau einbetoniert. Die Überdeckung dieser Strecke war durchschnittlich ca. 80 m. Die Betonierung erfolgte 40 bis 60 m (zeitlich -15 bis 20 Tage) nach der Ortsbrust. Die Betonierung des Sohlgewölbes wurde im Abstand von 150 bis 200 m hergestellt. In manchen sehr lockeren

Gesteinen wurde die Betonierung gleich an der Ortsbrust ausgeführt. Falls die Betonarbeiten nicht unmittelbar nach dem Ausbruch erfolgten, sind Risse in der Zone zwischen den Ulmen und dem Gewölbe entstanden. Da waren die Abstände zwischen den Rahmen kleiner und die Sicherung wurde zusätzlich verstärkt. Die Konstruktion war stabiler, aber auch relativ steifer. Die größte Querschnittsverengung wurde in einer Höhe von 1,8 bis 2,0 m von der Sohle gemessen. Die größten Deformationen wurden in den ersten Tagen nach der Tunneldurchführung gemessen. Nach dem 12. - 15. Tag waren die Querschnittsverformungen relativ klein und bis zum 30. Tag war die Querschnittsverengung praktisch null. Der maximale Wert dieser Verengung war 12,5 cm und der durchschnittliche 8,0 cm. Deswegen wurde entschieden, dass die Betonierung nach dem Ausbruch mindestens um 15 Tage verzögert werden soll. Die Fachleute der Überwachung waren nicht einverstanden und es wurde ein Versuch durchgeführt. Die Idee war einen ganzen Ring inkl. des Sohlgewölbes mit einer Länge von 8,0 m in der Nähe von der Ortsbrust zu betonieren und danach zehn Tage erhärten zu lassen. Nach einer Entfernung der Ortsbrust von ca. 8,0 m sind wieder Risse und Klüfte in gleichem Gebiet entstanden. Nach diesem Versuch wurde der Bau in erst gewählter Bauweise fortgeführt.

Vorteile beim Ausbruch im Vollprofil:

- Sparsamkeit vom Holzmaterial
- Gelegenheit für maximale Mechanisierung
- Höhere Leistungsfähigkeit der Arbeitskraft
- Sparsamkeit der Sprengstoffe
- Höhere Ausbruchsgeschwindigkeit
- Niedrigere Anzahl der Arbeiter
- Leichtere Verwaltung der technischen Vorarbeiter wegen der weniger Arbeiter
- Niedrigere Luftverschmutzung
- Möglichkeit für gute Belüftung mittels Röhre mit größerem Durchmesser
- Schutz von Wasser- und Luftleitungen, sowie von elektrischen Leitungen
- Niedrige Ausbruchs- und teilweise Betonierungskosten
- Möglichkeit teilweise zum Korrigieren des Gebirgsdrucks

Diese Bauweise wird als **die Modernste ihrer Zeit** in Bezug auf den Gebirgsdruck, sowie die Mechanisierung der Arbeiten bezeichnet.

c) **Österreichische Bauweise** – diese Bauweise wurde teilweise am Hauptwasserleitungstunnel des Wasserkraftwerks „Aleko“ angewandt, sowie an den wasserableitenden Anlagen des Wasserkraftwerks „Pestera“ und fast an der ganzen Länge der Wasserleitung nach dem Wasserkraftwerk „Batak“. Zuerst wurde ein unterer Richtstollen

durchgeführt, gefolgt von einem Ausbruch unter der Firste. Danach wird das Profil bis zum Vollprofil aufgeweitet, die Widerlagen wurden betoniert, gefolgt vom Gewölbe und vom Sohlgewölbe. Die österreichische Bauweise ist geeignet für:

- Tunnel mit größeren Querschnitten. Die Bauweise wurde sehr verbreitet vor der Erfindung des Ausbruchs im Vollprofil
- In lockeren und bröckeligen Gesteinen
- Wenn die Arbeitsgruppe im Vollprofil nicht arbeiten konnte

Die **Hauptnachteile** dieser Bauweise sind verbunden mit den kleinen Ausmaßen der Stollen, die die Arbeit erschweren, folglich erlauben sie niedrigere Leistungsfähigkeit. Deswegen wurde die österreichische Bauweise an manchen Stellen verändert. Bei dieser Bauweise wurde der Ausbruch mit einem hohen Stollen durchgeführt, d.h. gleichzeitige Durchführung des Richtstollens und des Stollens unter dem First. Diese Bauweise ist eine Mittlere zwischen der Österreichischen Bauweise und der Bauweise im Vollprofil. Sie wird bei Tunnel mit kleinem Querschnitt, bei mechanisierter Bohrung des Tunnels oder bei bröckeligen Gesteinen oder vertikalem Gebirgsdruck zeigenden Felsen benutzt. Solche sind sandige und kiesige Böden, mit oder ohne Grundwasser. Die sechs großen Verbrüche am Tunnel des Wasserkraftwerks „Aleko“ sind vom Druck in Folge von Verzerrungen verursacht und alle sechs Tunnelbereiche wurden in Österreichischer Tunnelmethode durchgeführt.

d) **Belgische Bauweise**

Wegen der unterschiedlichen Form und Ausmaße der Tunnel wurde die Bauweise fast nirgendwo in ihrer klassischen Anwendung verwendet, die grundsätzlich als Bauweise für Eisenbahntunnel entstanden ist. Ihre Variation wurde am Eingang des Wasserkraftwerks „Pestera“ verwendet und auch ähnliche Bauweisen wurden benutzt am Eingang des Wasserkraftwerks „Batak“, sowie am Belüftungskanal des Wasserkraftwerks „Pestera“. In den drei erwähnten Fällen wurde diese Bauweise wegen des Festgesteins, des Vorhandenseins der ausgegrabenen unteren Stollen, die als Untersuchungsstollen zu den Kavernen dienten, und des Bedarfs von einer intensiven Transportierung der ausgegrabenen Bodenmassen von der Kavernen gewählt. Die Hauptidee der Belgischen Bauweise ist die schnelle Firstsicherung mit einem Betonausbau, unter welchem der volle Querschnitt ausgeführt wird. Diese Idee wurde auch bei den Bauarbeiten in den Kavernen, Schieberkammern und Geräteräumen der unterirdischen Wasserkraftwerke angewandt.

e) **Andere Bauweise**

An den Tunneln des Systems wurden viele andere Bauweisen in Abhängigkeit von der in situ Bedingungen verwendet. **Beispiele:**

- Zementierung der Ortsbrust im Gestein, wo Verbrüche entstehen können – solche Bauweise wurde am zweiten Seiteneingang des Tunnels am Wasserkraftwerks „Batak“ im Jahr 1956 angewendet. Das Problem bei diesem Tunnel war mit dem Vorhandensein von zerstörten Rhyolithen und einzelnen Rhyolithenblöcken und mit dem starken Wasserzufluss verbunden. Das Wasser hatte die feinen Partikel weggespült und das gebliebene Gestein wurde sehr geeignet zum Verpressen (Zementierung) gewesen. Diese Sicherungsmethode wurde an noch vier – fünf Strecken verwendet.

- **Deutsche Bauweise** – Bei dieser Bauweise wird der Ausbau in Teilquerschnitten ausgeführt. Man fängt von den Ulmen an und baut bis zur Firste. Für jeden einzelnen Teil wird ein Stollen mit bestimmter Länge durchgeführt und die Betonierung oder Mauerung wird umgekehrt ausgeführt. Auf den in der Mitte verbleibenden Kern stützt sich das Gebirge bis zuletzt ab und dient als Stütze für die vorläufige Sicherung und die Schalung. In dieser Bauweise wurden zwei Strecken („Chepinski vris“ und „Fermata“) durchgeführt, wo die Zementierung keine guten Ergebnisse gewährleisten konnte.

- **Bauweise im Vollprofil mit vieleckiger Holzsicherung** und zusätzlicher innerer Stützung mit Hilfe von Bohlen

Der Unterschied dieser Bauweise zur üblichen Arbeit im Vollprofil ist die vieleckige Holzsicherung. Sie wurde an einer Strecke von 500 m in verwitterten Rhyolithen, die aus rhyolithischem Grus und großen rhyolithischen Blöcken bestehen, an der Baustelle „Fermata“ angewandt. Nach einigen Tagen hat das Gestein bedeutsamen Gebirgsdruck infolge von den Verzerrungen gezeigt, d.h. Veränderung der Kupplung in der Firste und Übertragung der Lasten auf die Sicherung.

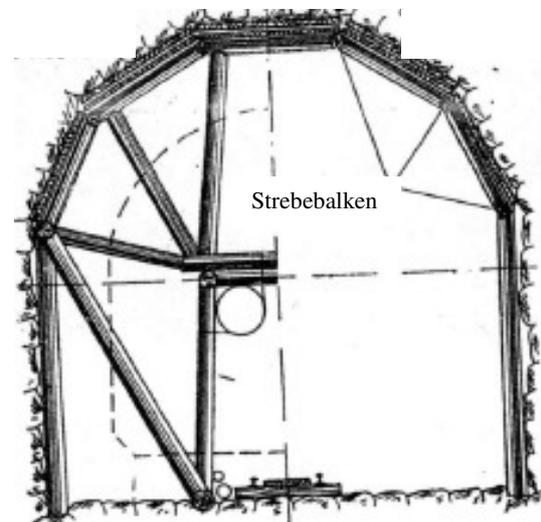


Abb. 23 Wasserleitung „Aleko“. Vieleckige Sicherung mit zusätzlicher innerer Stützung

und dann ist Wartezeit nötig, während welcher der Wasserspiegel in den Felsen sinkt. Danach kann man mit dem Betonieren anfangen. Diese Bauweise wurde am Drucktunnel zum Wasserkraftwerk „Batak“ im Jahr 1956 verwendet.

3.2.5.2 Bauorganisation an den Tunneln am Talsperrensystem „Batak“³⁹

Die Bauorganisation in den Tunneln hängt von den Querschnittsabmessungen, der Arbeitsweise und der vorhandenen Ausrüstung ab. Folglich charakterisiert sie sich mit großer Vielfalt. Das Schema der Organisation aber ist relativ ähnlich:

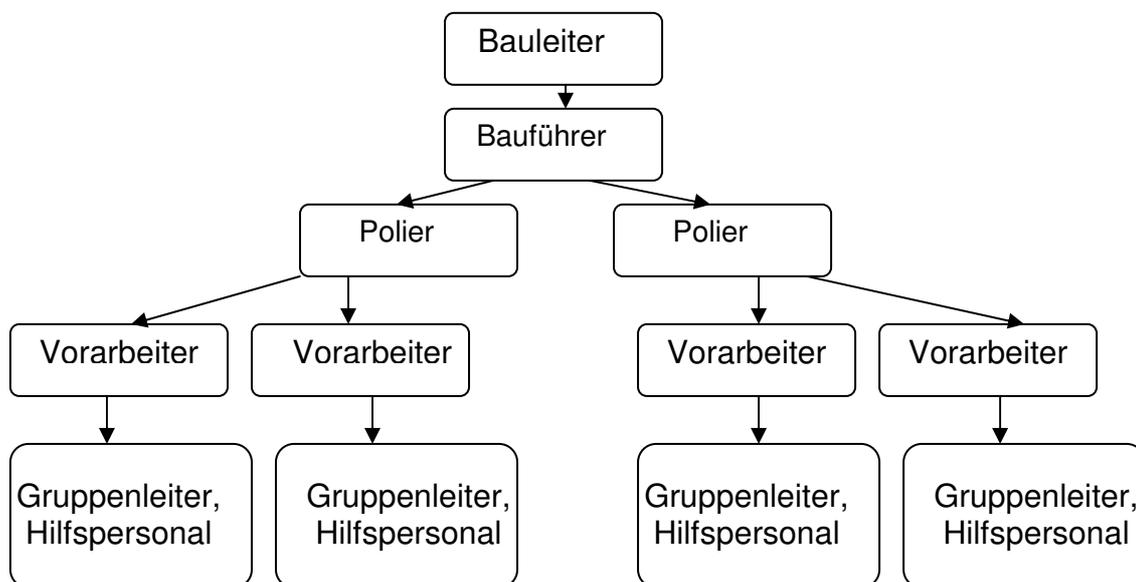


Abb. 25 Funktionales Organisationsschema einer Tunnelbaustelle

Die Mechanisierung (Ausrüstung) und die Elektrifizierung hatten analogische Schemen und wurden von direkt dem Bauleiter untergeordneten Fachvorarbeitern geleitet.

Die Rechte und die Pflichten jedes Mitarbeiters wurden durch Richtlinien für die innere Ordnung des Unternehmens geregelt.

Der Bauleiter ist eine technische Person auf der Baustelle, die die größte Verantwortung hat. Er war zuständig für die Ausführung der Bauarbeiten und ihre Qualität, die Ausfüllung der Terminpläne, den Aufwand der Materialien, die Materialien- und Mechanisierungskosten, Lohnbezahlung, die Einhaltung der Arbeitsschutzanordnungen etc. Er fertigte die monatlichen Berechnungen an, die für die Dokumentation der ausgeführten Bauarbeiten dienten. Er füllte alle Bücher auf der Baustelle aus, wie Tagesbücher für den Bauablauf, Bücher für die Materialien-, Sprengstoffaufwand etc.

³⁹ KOMITEE DES BAUWESENS, Wasselleitungssystem „Batak“, Staatlicher Verlag „Technik“, Sofia, 1961

Der Bauführer ist der erste Stellvertreter des Bauleiters und ist besonders verantwortlich für die Qualität der Bauarbeiten, sowie für die geodätischen Arbeiten.

In Bezug auf die Mechanisierung ist der Hauptmechaniker der Baustelle die vertraute Person des Bauleiters und in Bezug auf die Elektrifizierung ist es der Hauptelektriker.

Die Poliere sind verantwortlich für die Gesamtarbeiten auf der Baustelle während ihrer Schicht. Falls der Tunnel größer war, gab es einen Polier an jeder Ortsbrust. Ihre Pflicht war die Vor- und Facharbeiter an ihren Arbeitsstellen nach den entsprechenden Bedürfnissen zu verteilen, rechtzeitig die notwendigen Materialien und Ausrüstung zu sichern usw.

Die Vorarbeiter sind von dem Bauführer für die Region angestellt, aber in den meisten Fällen auf den Baustellen des Talsperrensystems „Batak“ wurden die Vorarbeiter vom Hilfspersonal gewählt oder umgekehrt. Deshalb waren die Mitarbeiter in einer Arbeitsgruppe vorwiegend aus gleichen Städten oder ihrer Umgebung. Fast in allen Fällen waren die gewählten Vorarbeiter mit größter Erfahrung und höchster Qualifikation und hatten die notwendigen Organisationseigenschaften.

Die Arbeit wurde in drei Schichten ausgeführt. Manche Arbeitsgruppen von Bergleuten haben in vier Schichten zu arbeiten versucht. Das Ziel war in jeder Schicht einen Abschlag zu machen. Die Abschlaganzahl in 24 Stunden sollte sich erhöhen und eine größere Abschlaglänge gewährleistet werden. Die Arbeitsweise war ein bißchen schneller, aber die Gehälter der Bergarbeiter haben sich verringert. Wegen des Strebens nach Schnelligkeit waren manche von den Abschlägen unvollständig und die ausgenutzte Zeit für das Korrigieren des Querschnitts hat viel länger gedauert. Diese Arbeitsweise hat größere Mitarbeiteranzahl, was das Bauen teurer gemacht hat und gleichzeitig ist die Leistung geringer geworden. Aber diese Arbeitsweise war verwendbar in den Fällen von großen Grundwasserzuflüssen, schwieriger Belüftung etc., d.h. bei den für die Gesundheit schädlichen Bedingungen. Dann hat sich die Leistungsfähigkeit im Vergleich mit dem achtstündigen Arbeitstag erhöht.

Die Gruppenleiter wurden die direkten Leiter der Arbeiter auf den verschiedenen Arbeitsplätzen. Sie waren Obermeister mit höchster Qualifikation und mit besten organisatorischen Fähigkeiten. Die Arbeiter sind in Untergruppen nach ihrer Qualifikation und Fachrichtung verteilt. Eine Arbeitsgruppe besteht aus einigen Untergruppen, die die niedrigste Arbeitseinheit mit eigener Rechnung war. Das bekommene Geld wurde unter den Mitarbeitern nach ihrer Qualifikation und Arbeitstagen verteilt.

Tunnel	Innerer Querschnitt [m ²]	Mitarbeiteranzahl in einer Arbeitsgruppe		
		Bergleute	Betonarbeiter	Komplex-arbeitsgruppe
Drucktunnel am WKW Batak	8 - 10	16 - 25	8 - 15	22 - 30
Drucktunnel am WKW Pestera	10 - 12	16 - 25	12 - 18	-
Tunnel mit freiem Wasserspiegel - Bistritza	7 - 9	13 - 25	8 - 15	20 - 30
Tunnel mit freiem Wasserspiegel - Ravnogor	6 - 8	13 - 20	8 - 15	15 - 25
Tunnel mit freiem Wasserspiegel - HauptTalsperrensystem vom WKW Aleko	15 - 24	25 - 35	15 - 25	30 - 50

Tab. 12 Mitarbeiteranzahl an manchen Tunneln des Talsperrensystems „Batak“

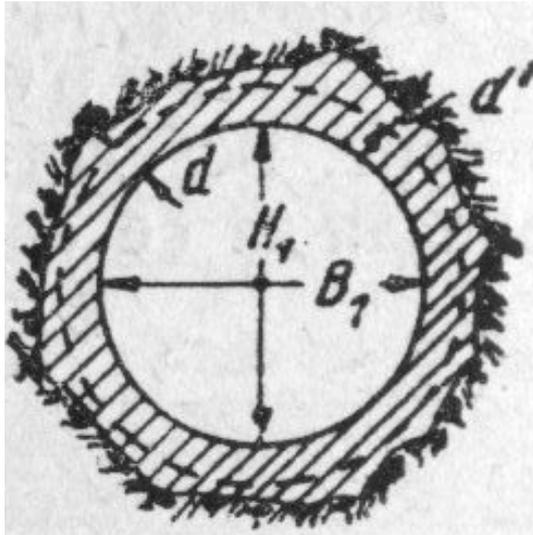
3.2.6 Mehrzweckiges System „Georgi Dimitrov“

Das Gewässer vom System wird für Bewässerung und Energieerzeugung benutzt.

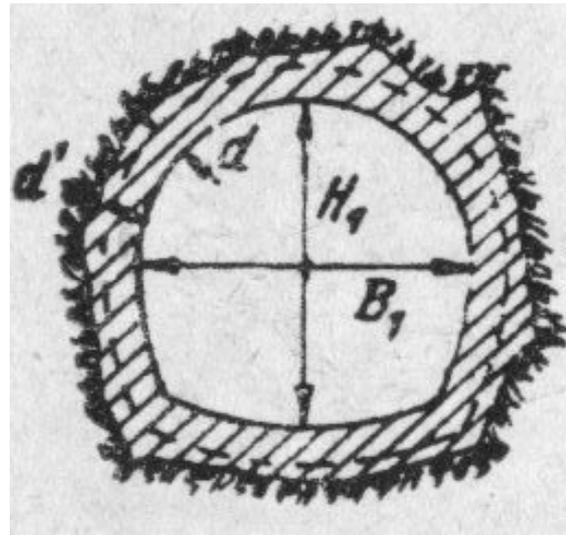
Die erste Anlage des Systems ist der Stausee „Georgi Dimitrov“ am Fluss Tundja. Das gespeicherte Wasser fließt durch die Kaplan Turbine des gleichnamigen Wasserkraftwerks zur Energieerzeugung. Danach wird das Wasser in zwei Wasserleitungen geteilt wobei jene, die sich am rechten Ufer des Tundja Flusses befindet, eine *Tunnelstrecke durch „Sredna gora“*, die 12,0 km lang ist, hat. Die so geschaffene Fallhöhe wird im zweiten Wasserkraftwerk „Stara Zagora“ verwendet. Das benutzte Wasser wird durch zwei Hauptbewässerungskanäle in den südlichen Teil des „Sredna gora“ geleitet.

Der Tunnel unter dem „Sredna gora“ wird mittels Seiteneingängen in vier Nebenstrecken geteilt, die längste von ihnen ist 6.300 m lang. Der Tunnel ist mit freiem Wasserspiegel ausgeführt, auskleidet mit Beton und der Querschnitt hat die Form eines Hufeisens. Der Tunnel befindet sich im Lockergestein wie verwitterten Granite, Kalksteine, Mergel. Beim Bau gab es sehr oft Probleme mit dem Grundwasser.

3.2.7 *Daten der bulgarischen hydrotechnischen Tunnel*



Querschnitt Typ A



Querschnitt Typ B

Abb. 26 Querschnitte der bulgarischen Tunnel

No	Name des Tunnels	Querschnitt	Innere Abmessungen des Tunnelausbaus [m]		Theoretische Abmessungen des Tunnelaushubs [m]		Querschnittsfläche [m ²]			Ausgraben über den Querschnitt nach dem Projekt		Ausgraben über den Projektsquerschnitt beim Vortrieb		Bodenart	Sicherungsart
			B ₁	H ₁	B ₂	H ₂	des verkleid. Tunnels	des theor. Aushubs	des ausgeführt. Aushubs	in % vom theor. Aushub	Übergraben in [cm] in Bezug auf den theor. Aushub	in % vom theor. Aushub	Übergraben in [cm] in Bezug auf den theor. Aushub		
1	Hauptwasserleitung des WKWs "Batak"	A	2,40	2,40	3,28	3,28	5,47	8,45	10,29	18,0	17,0	49,20	36,50	Rheoliten, Marmor	Gesamtholz-sicherung
2	Ableitender Tunnel des WKWs "Batak"	B	2,90	2,90	3,49	3,49	7,77	10,87	14,35	31,0	26,0			Gneis, Schiefer	
3	Tunnel der Wassersammelleitung "Bistritza"	B	2,40	2,40	3,44	3,44	5,32	10,57	14,25	34,4	28,0			gneischer Granit, Marmor, Schiefer	
4	Tunnel der Wassersammelleitung "Bistritza"	B	1,60	1,60	2,08	2,08	2,37	3,86	5,21	35,0	17,0			gneischer Granit, Marmor, Schiefer	
5	Hauptwasserleitung des WKWs "Aleko"	B	3,40	3,40	4,48	4,48	11,06	17,90	21,27	19,0	20,0			Gneis, Quarzschiefer, Rheoliten, Marmor	
6	Schwachdrucktunnel für WKW "Aleko"	A	2,80	2,80	3,80	3,80	6,68	10,75	13,63	27,0	18,0			Gneis, Quarzschiefer, Rhyoliten, Marmor	
7	Drucktunnel für WKW "Pasarel"	A	3,80	3,80	5,22	5,22	12,30	21,40	25,00	17,0	22,0			stark zerstörter Biotitgneis	
8	Drucktunnel für WKW "Kokalyane"	A	3,80	3,80	4,96	4,96	12,30	19,30	23,40	21,0	25,0			stark zerstörter Biotitgneis	
9	Tunnel mit freiem Wasserspiegel für WKW "Batoshevo"	B	1,90	1,90	2,26	2,26	3,22	4,56	5,90	29,4	13,0			Mergel u. Sandstein	teilweise Holz-sicherung
10	Tunnel "Sredna gora" (Wasserleitendes System "G. Dimitrov")	B	3,80	3,80	4,65	4,65	13,24	19,28	21,56	11,6	18,0			zerstörter Granit mit Andesitgesteinsader	Gesamtholz-sicherung
11	Schwachdrucktunnel für WKW "Dobrodan"	A	2,60	2,60	3,40	3,40	5,72	9,08	11,47	26,4	17,0			Mergel – 1500 m, Lehm - 100 m	
12	Drucktunnel für WKW "Studen kladenetz"	A	6,20	6,20	7,58	7,58	31,20	45,00	49,80	10,7	20,0			Andesit	ohne Sicherung

Tab. 13 Daten einiger bulgarischen Tunnel⁴⁰⁴⁰ STILYANOV, Stilyan; GEORGIEV, Lyubomir: Hydrotechnische Tunnel, 1. Auflage, Sofia, Staatlicher Verlag „Wissenschaft und Kunst“, 1956, S.112

3.3 **Verkehrstunnel**

3.3.1 **Tunnel in offener Bauweise**

Die erste unterirdische Verkehrsanlage, die in Bulgarien in offener Bauweise ausgeführt wurde, ist die Fußgängerunterführung⁴¹ unter den Gleisen des Bahnhofs "Gorna Oryahovitza". Sie wurde vor über 70 Jahren gebaut.

Im Zentrum von Sofia, in der Nähe des NDK⁴² wurden Verkehrstunnel, Fußgängerunterführungen und unterirdische Garagen gebaut. Am Hauptbahnhof wurde eine Fußgängerunterführung unter dem Platz und den Gleisen errichtet, sowie eine unterirdische mehrstöckige Konstruktion zum Parken von Autos. In selber Bauweise wurden mehrere **Fußgängerunterführungen** am „Sveta Nedelya“ Platz, unter den Boulevarden „Bulgaria“, „Tzarigradsko Schosse“ und „Botevgradsko Schosse“ errichtet.

Das beste Beispiel dieser Zeit ist der **Verkehrstunnel „Witinya“**. Im ursprünglichen Projekt wurde das Bauen eines modernen Tunnels mit einer Länge von 4.200 m mit kompliziertem Belüftungssystem vorgesehen. Das hat aber die Investoren und Bauarbeiter erschreckt und im endgültigen Projekt wurde ein 1.000 m langer Tunnel vorgeschlagen.

In Bulgarien gibt es relativ wenige Autobahntunnel. Mehrere von denen kreuzen enge Gebirgskämme und haben winzige Längen. Die ersten drei Verkehrstunnel wurden an der Strecke Provadiya – Aytos in der Zeitspanne 1898 – 1900 gebaut. Bis ins Jahr 1959 wurden weniger als 1000 m Verkehrstunnels gebaut.

In der Umgebung von Plovdiv wurde ein Tunnel⁴³ mit einer Länge von 200 m, einer Breite von 18,0 m und einer Höhe von 7,1 m gebaut. Er wurde im Jahr 1960 in Betrieb gesetzt.

⁴¹ Vgl. **IVANCHEV**, I.: Unterirdischer Verkehrsbau – Notizen, *pdf, 2004, S. 2

⁴² NDK – Nationaler Palast der Kultur in Sofia

⁴³ Vgl. **TRUNKA**, L.1964, S.92, Abb.68

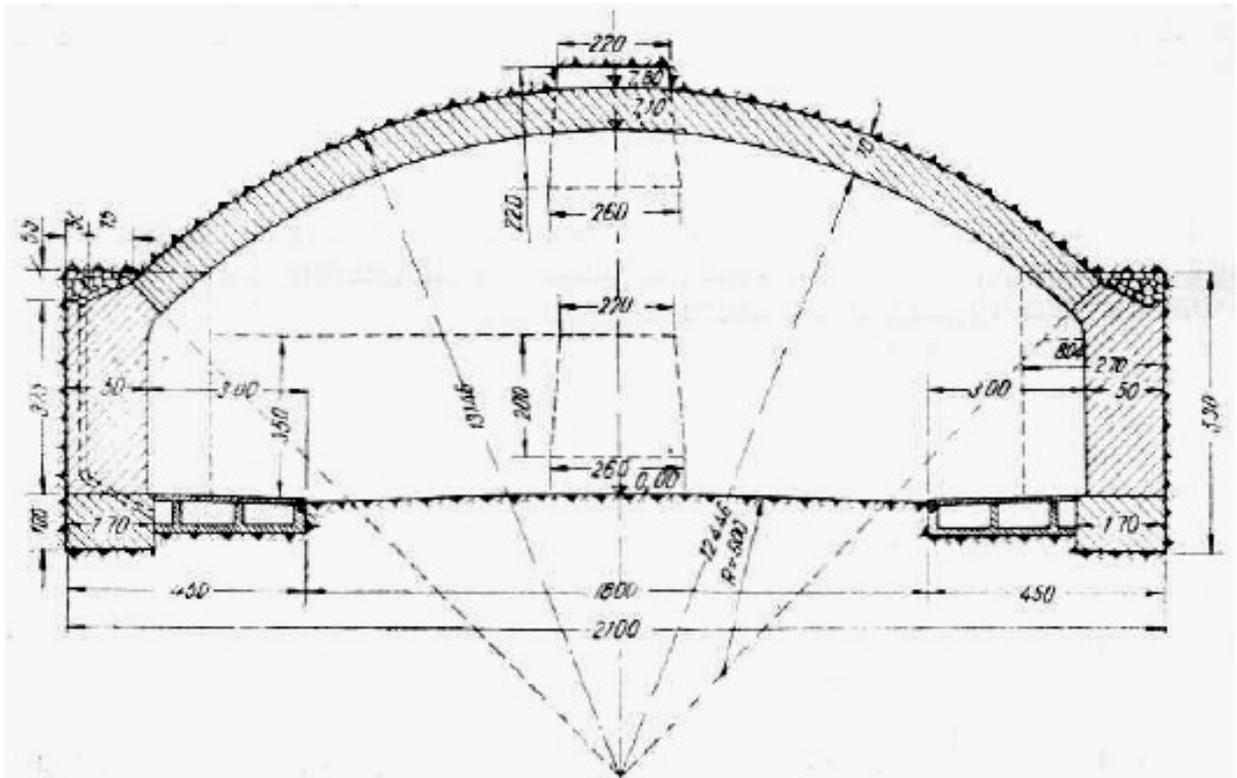


Abb. 27 Querschnitt des Verkehrstunnels in der Nähe von Plovdiv

3.3.2 Autobahntunnel in Bulgarien

Von 1960 bis 1987 wurden viele Verkehrstunnel gebaut, deren Gesamtlänge 13,0 km beträgt.

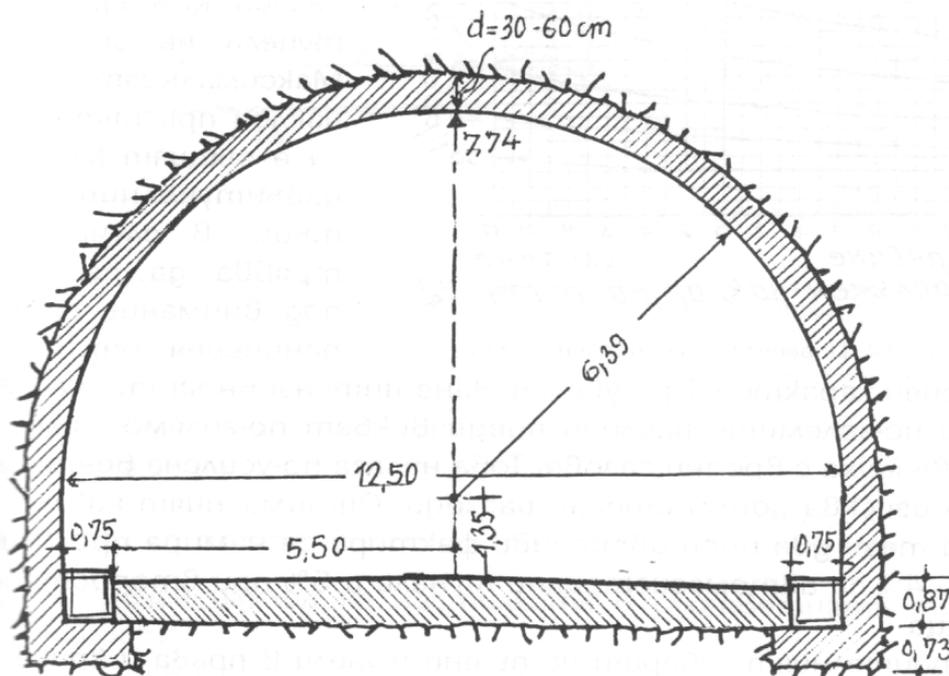
Die zwei großen Autobahnen in Bulgarien sind „Hemus“ und „Trakiya“.

Autobahn	Hemus	Trakiya
Gesamtlänge der Trasse	53.310 m	68.200 m
Durchschnittliche Höhe ü.WS	683	675
Tunnelanzahl	4	1

Tab. 14 Autobahnen in Bulgarien

Erst mit dem Ausbau der Autobahnen „Hemus“ und „Trakiya“ hat die richtige Entwicklung des Verkehrstunnelbaus in Bulgarien angefangen. Die folgenden Tunnel „Witinya“, „Topli dol“, „Echemischka“ und „Trojanovi vrata“ wurden in den 70er und 80er Jahren des XX. Jahrhunderts errichtet und die Fläche des inneren Querschnitts beträgt ca. (81,0-86,0) m².

Auto- bahn	Tunnel	Jahr der Eröffnung	Länge [m] der		Bauweise	Geologische Bedingungen
			linken Röhre	rechten Röhre		
Hemus	Witinya	1984 2007(Reno- vierung)	1.145	1.155	Richtstollen mit zusätzlichen Ausbrüchen	Konglomerate, Phylliten
	Topli dol	2007(Reno- vierung)	825	807	Neue Österreichische Tunnelbauweise, System von Blechen, die Schalungs- und Bewehrungsfunktion haben	Sandsteine, Kalksteine
	Echemi- schka	Der Tunnel wurde in 80er Jahren gebaut.	880	868	NÖT, System von Blechen, die Schalungs- und Bewehrungsfunktion haben	tektonisch bearbeitete Schiefer
	Prave- shki hanove	1999	845	825	Der Querschnitt wurde in zwei Teilen ausgebrochen. Der Ausbruch der Strosse verzögert mit (30÷100) m	Phylliten, deluviale Ablagerung, Graniten
Trakiya	Troya- novi vrata	Der Tunnel wurde in 80er Jahren gebaut.	540	675	Der Querschnitt ist in zwei Teilen ausgebrochen. Der Ausbruch der Strosse verzögert mit (30÷100) m	Granitgneis, Amphiboliten

Tab. 15 Tunnel an den bulgarischen Autobahnen⁴⁴Abb. 28 Querschnitt der gebauten Tunnel an den bulgarischen Autobahnen⁴⁵

⁴⁴Vgl. GEORGIEV, L.: Tunnel, 3. Auflage, Sofia, Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie - Sofia, 2004

⁴⁵GEORGIEV, L.: Tunnel, 3. Auflage, Sofia, Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie - Sofia, 2004, S.55

3.3.2.1 Troyanovi Vrata



Abb. 29 Ostportal des Autobahntunnels „Troyanovi vrata“

An der **Autobahn „Trakiya“** befindet sich der Tunnel „Trayanovi Vrata“, dessen rechte und linke Röhre 675 m und 540 m lang sind. Der Autobahntunnel „**Troyanovi vrata**“ wurde von der Firma „**Minstroj**“ ausgeführt und hat eine Querschnittsfläche von 86,0 m².

3.3.2.2 Witinya

Der Tunnel „**Witinya**“ befindet sich an der Autobahn „Hemus“. Den Spatenstich für die Errichtung des Tunnels hat der Verkehrsminister Vasil Tzanov am 4. Jänner 1977 gemacht. Die Feier hat vor dem Nordportal stattgefunden. Der Tunnel befindet sich an der schwierigsten Strecke der Autobahn. Er besteht aus zwei parallelen Tunneln, je für eine Verkehrsrichtung. Jeder hat eine Fahrbahn mit einer Breite von 9,0 m. Die Gesamtlänge beider Röhren beträgt 2,3 km. Der Querschnitt hat eine Fläche von 86 m². Die Bauarbeiten wurden von „**Minstroj**“ ausgeführt. Der Tunnel wurde sowohl ohne vollständiges Projekt als auch ohne vollständige Vorprojektuntersuchungen angefangen. Deswegen wurde ein Entwurf während der Arbeit erstellt, der besonders im Nordteil des Tunnels nicht gut an die geologischen Bedingungen angepasst wurde, wo die Böden stark zerstört, mit großem Tonanteil und Wassergehalt waren. Die Anwendung einer speziellen Bauweise war erforderlich, aber trotzdem wurden die weiteren Verformungen nicht vermieden. Man konnte Risse im Betonausbau, partielle Verzerrungen der Gründung und eine Verengung des Querschnittes bei einem der beiden Tunnel beobachten. Besondere Schäden des

dauerhaften Ausbaus gab es auf einer Strecke von 120 lfm, die als Ergebnis der Naturerscheinungen entstanden sind.



Abb. 30 Autobahntunnel „Witinya“

Der **Investor** des Projekts war die Hauptverwaltung der Straßen, Hauptdirektion für Errichtung und Renovierung der Verkehrsobjekte.

Der Investor hat ungefähr zwei Jahre verloren, um die unterschiedlichen Gutachten zu erstellen und im Juni 1983 wurde die Entscheidung für eine Renovierung des dauerhaften Betonausbaus getroffen, aber dieses mal stammte der Entwurf von der Baufirma „**Putproekt**“.

Die rechte Röhre des Tunnels (Sofia - Botevgrad) wurde Ende 1983 fertig gestellt, obwohl Verformungen während der Bauzeit vorhanden waren. Ihre Länge beträgt 1.155 m. Die linke Röhre wurde zum vierzigjährigen Jubiläum der sozialistischen Regierung in Bulgarien (am 9.09.1984) eröffnet und hat eine Länge von 1.145 m.

An der **Autobahn Hemus** gibt es auch weitere Beispiele für Tunnel mit zwei Röhren wie die Tunnel „Topli dol“, „Echemischka“ und „Praveshki hanove“.

3.4 U-Bahn

Die Hauptschema⁴⁶ der U-Bahn in Sofia wurde ursprünglich als Radial mit drei Linien (Durchquerungen) entworfen.

⁴⁶ **IVANCHEV**, Iliya: Unterirdischer Verkehrsbau – Notizen,*pdf, Sofia, 2004, S.5

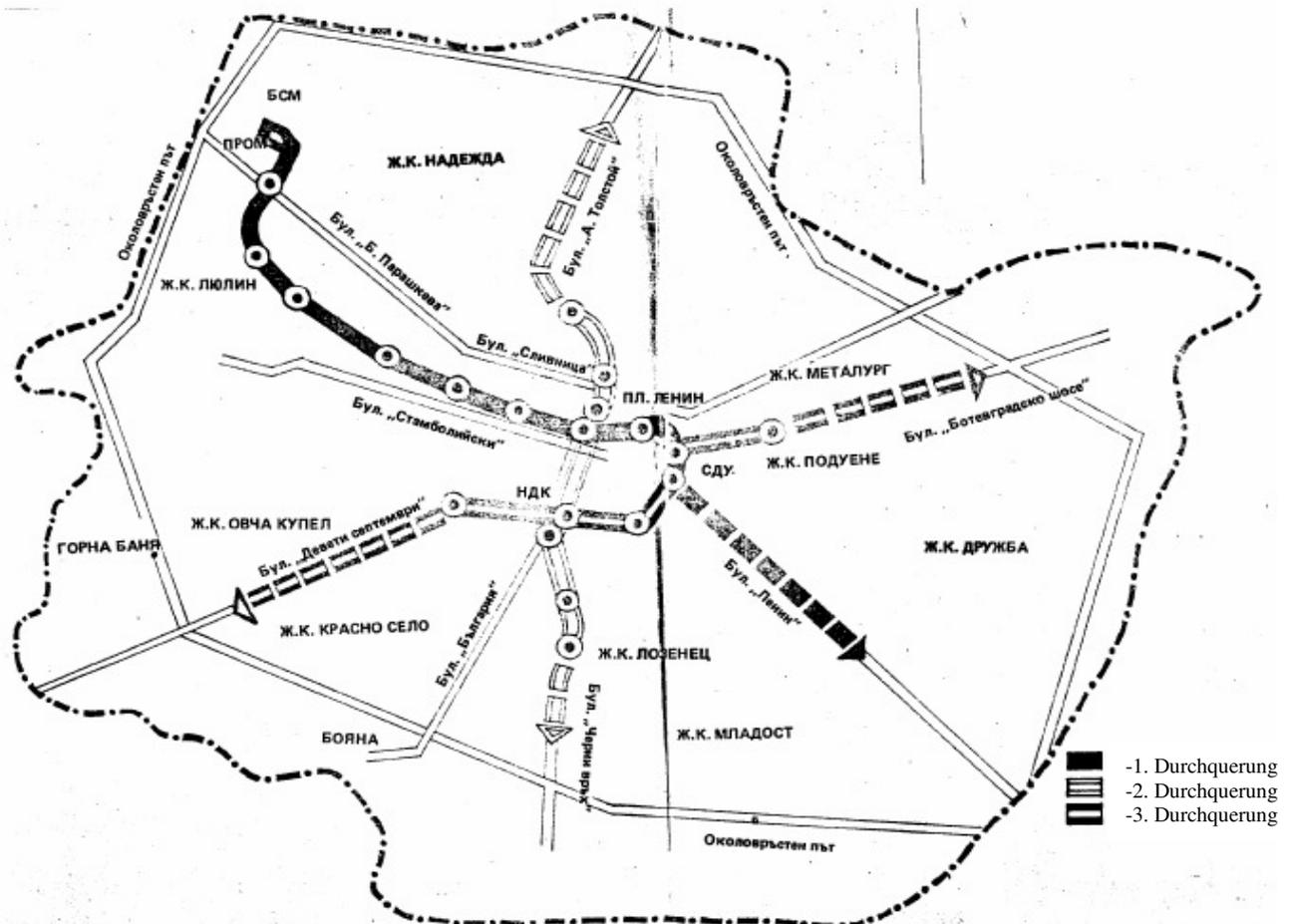


Abb. 31 Hauptschema der U-Bahn in Sofia am Anfang der Bauarbeiten⁴⁷
(Die Straßen und Boulevards sind mit ihren Namen vor dem Jahr 1990 dargestellt.)

3.4.1 Geschichte

Bei der Anzahl der Einwohner und der Entfernung einiger Wohnviertel wie „Mladost“ und „Druzba“ nach Osten, „Lyulin“ nach Westen, „Nadejda“ und „Iliyanzi“ nach Norden war die Notwendigkeit der U-Bahn offensichtlich. Die ersten Untersuchungen für die Entwicklung des Verkehrs außerhalb der Straßen in der bulgarischen Hauptstadt wurden dem Institut für Untersuchung und Projektierung „Sofprojekt“ (ИПП „Софпроект“) im Jahr 1967 übertragen. Es wurde ein technisch-wirtschaftlicher Bericht für das Projekt „Tram unter dem Straßenpflaster in Sofia“ ausgearbeitet. Da wurden die Gründe zur Errichtung der U-Bahn dargestellt und die Umstände, die bei dem Ausbau berücksichtigt werden sollen. Aufgrund dieses Bericht und der Welterfahrung, sowie der Tendenz zu einem Wachstum der Bevölkerung in Sofia bis über eine Million Einwohner wurde bewiesen, dass die beste Lösung für die Verkehrsprobleme in der Hauptstadt der Ausbau der U-Bahn ist. Im Jahr 1967 wurde ein technisch-wirtschaftlicher Bericht des Objekts „Metro“ abgegeben.

⁴⁷ IVANCHEV, Iliya: Unterirdischer Verkehrsbau – Notizen,*pdf, Sofia, 2004, S.6

Der Bericht war fertig bis Dezember 1968 und wurde vom Ministerrat 1972 bewilligt. Ein Jahr später wurde eine spezialisierte Projektierungsorganisation „Metroprojekt“ gegründet und so hat die Projektierungsphase angefangen. 1975 wurde das Hauptschema der U-Bahnlinien bewilligt, nach dem das U-Bahnnetz aus drei Durchquerungen mit einer Gesamtlänge von 52 km und 46 Stationen mit einem durchschnittlichen Zwischenabstand von 1.100 m besteht.

Das U-Bahnschema ist vom klassischen diametralen Typ für Städte mit Bevölkerung über 1,5 Millionen und hat eine Sternstruktur. Es ist vorgesehen, dass die U-Bahn von über 52 % der mit öffentlichem Verkehr Reisenden benutzt wird.

Im Jahr 1975 hat der Ministerrat die damalige staatliche wirtschaftliche Vereinigung „Hydrostroj“ als die Hauptbaufirma der U – Bahn Sofia für die Ausführung der Vorbereitungsarbeiten bestimmt. Die spezialisierte Bauorganisation „Metrostroj“ wurde im Rahmen der Vereinigung, die nur mit der U-Bahn beschäftigt wird, gegründet. Später mit der Entwicklung des Bauwesens wird „Metrostroj“ in eine selbstständige Firma umgewandelt. Nach gleicher Verordnung des Ministerrats entsteht eine Direktion „**Metropoliten**“ in der Hauptstadtgemeinde. Sie ist verantwortlich für die Finanzierung des Objekts, sowie für die Lieferung der Ausrüstung und die Vorbereitungen für die Betriebsperiode.

Im Jahr 1977 wurde das technische Projekt für die Strecke Lyulin – „Sv. Nedelya Platz“ mit einer Länge von 8,1 km und sieben Stationen mit einem Beschluss des Ministerrates bewilligt. Im 1978 haben die Enteignungsprozeduren begonnen und das Vergüten der Besitzer der auf der Trasse liegenden Güter. Damals wurden ca. 700 Güter verstaatlicht und die Besitzer wurden mit 2.000 Wohnungen entschädigt.

Das richtige Bauen des U-Bahntunnels hat auf Basis eines russischen Projekts im Jahr 1980 angefangen, das an die bulgarischen Bedingungen angepasst wurde. In dieser Phase waren die sowjetischen Fachmänner sehr behilflich. Die Ausrüstung von dieser Zeit wurde in Russland hergestellt. Die Bauarbeiten begannen im Jahr 1980 und wurden ausschließlich von bulgarischen Baufirmen ausgeführt.

In den ersten Jahren wurde eine Finanzierung von einigen Millionen vorgesehen, diese war jedoch nicht ausreichend. Die Investitionen wurden nach dem Jahr 1987 erhöht und in der Zeit wurde der große Teil der Bauarbeiten ausgeführt. Aufgrund des Bauens des Nationalen Palastes der Kultur (NDK) und der Gestaltung des Parks um das Gebäude wurden zwei Stationen und teilweise der Tunnel zwischen den Stationen, die zur zweiten Durchquerung des U-Bahnnetzes gehören, projektiert und ausgebaut.

3.4.2 Geologische Bedingungen⁴⁸

Die U-Bahn in Sofia wurde in unterschiedlichen Bedingungen gebaut. Es gibt Strecken, die sich vollständig über dem Gelände befinden, sowie solche, die flach oder bis zu 22,0 m unter

⁴⁸ **BRATOEV**, Styan, Sofötische U – Bahn, 1. Anlage – Sofia, Nota bene! Communications, 2004

dem Gelände geführt werden. Die Tunnel und U - Bahnstationen befinden sich in vielfältigen geologischen Bedingungen, die typisch für die oberen Schichten der Erdkruste sind. Die Regionen des Sofia Talkessels, in denen die Trasse durchgeführt wird, bestehen aus Sedimenten, die sich seit dem Quartär und dem jungen Tertiär (Pliozän) abgelagert haben. Zu dem Quartär zählt man die anthropogenen Dämme und das Alluvium und während des Pliozäns haben sich die Seeablagerungen gebildet. In den verschiedenen geologischen Querschnitten sind Schichten vom Kies, Sand oder Ton mit veränderlichen Stärken und Gehalten vorhanden. Der Kies beinhaltet sandige und tonige Bestandteile. Der Sand ist grob oder mittelgrob mit tonigen Anteilen. Selten kann man Linsen vom Feinsand finden. Die tonhaltigen Böden sind mittel- und starkplastisch. Als Zusammenfassung können die Böden zu den schwachen und mittelstarken Böden gezählt werden.

Nach der tektonischen Teilung der Welt befindet sich Sofia in einer Region mit einer seismischen Stufe IX nach der zwölfstufigen Skala von Medvedev – Sponheuer – Karnik MSK. Der seismische Beiwert ist $K_c=0,27$ und die Verbreitungsgeschwindigkeit ist zwischen 150 und 450 m/s für Querwellen und zwischen 300 und 900 m/s für Längswellen.

Die **hydrogeologischen Bedingungen** sind auch sehr vielfältig – von wassergesättigten Schichten bis zu solchen mit niedriger Wasserdurchlässigkeit und wasserdichten Schichten. Das Niveau des Grundwassers an der ersten U - Bahnstrecke hat eine Tiefe von 3,0 bis 5,0 m unter dem Terrain und an der Erweiterung ist die Tiefe zwischen 2,5 und 8,0 m. Das Grundwasser ist an manchen Stellen schwach sulfat- und karbonataggressiv. Als Zusammenfassung kann man sagen, dass die unterirdischen Bedingungen relativ geeignet für komplizierte Anlagen solcher Art sind.

3.4.3 I. Durchquerung:

Bis jetzt wurde nur der Radius gebaut, d.h. die Linie ist von „Obelya“ über „Lyulin“ bis zum „Sveta Nedelya Platz“ fertig. Mit der Inbetriebnahme dieser Linie wurde das Verkehrsproblem von „Lyulin“ bis zum Zentrum gelöst. Gemäß dem ursprünglichen Schema wurde vorgesehen, dass diese Durchquerung bis zum Bahnhof „Iskar“ über „Mladost“ geführt wird. In den letzten Jahren wurde eine Erneuerung des Projektes gemacht und die Linie, die sich entlang der Hauptuniversität Sofia befindet, wurde im Tunnel in geschlossener Bauweise ausgeführt. Es ist vorgesehen, dass die U - Bahn von Hotel „Moskva“ über „Durvenitza“ bis zum „Mladost“ überirdisch geführt wird. Im neuen Hauptschema ist eine Erweiterung des westlichen Radius von „Obelya“ bis an „Nadejda“, wo die erste Linie mit der zweiten verbunden wird, vorgesehen.

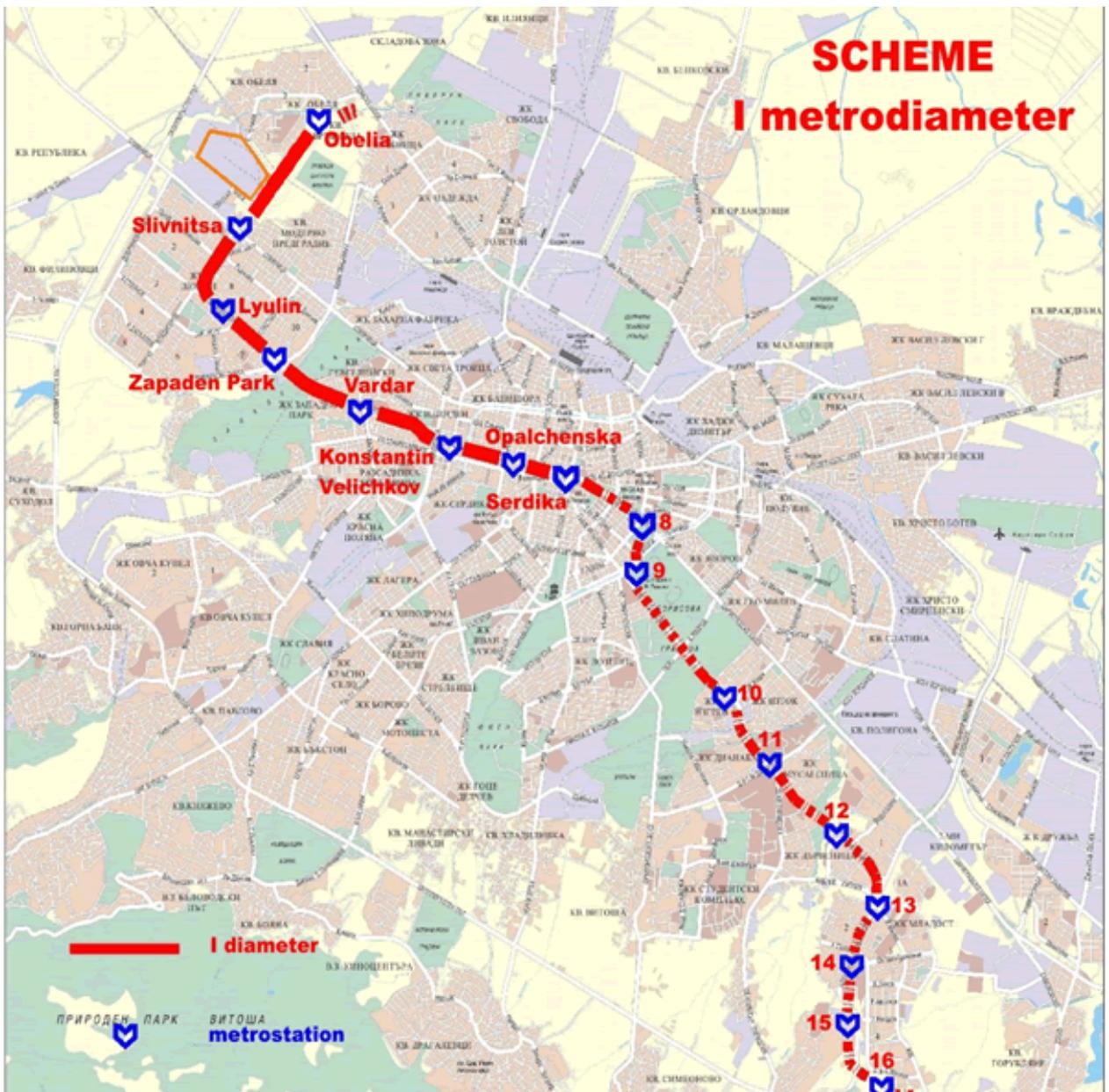


Abb. 32 I. Durchquerung des U-Bahnnetzes in Sofia

3.4.4 II. Durchquerung:

Die zweite Linie soll das Industriegebiet „Iliyanzi“, den Hauptbahnhof, den „Sveta Nedelya Platz“, den „Nationalen Palast der Kultur“ und das Wohnviertel „Hladilnika“ verbinden. Die Bauarbeiten für die Strecke von der Kreuzung „Vitoscha“ Boulevards und „Patriarh Evtimiy“, Boulevards bis zum Hotel „Hemus“, einschließlich der beiden U-Bahnstationen wurden noch vor 20 Jahren während des Baus des Nationalen Palast der Kultur durchgeführt.

3.4.5 III. Durchquerung:

Sie erfasst die folgenden Strecken: Gorna Banya – „Tzar Boris III“ Boulevard – Russisches Denkmal – Hauptuniversität Sofia – „Poduene“ Bahnhof – Wohnviertel „Vrajdebna“. Von dieser Linie wurde ein 20 – 30 m langer Tunnel unter den anderen Verkehrsanlagen bei der Errichtung des Platzes vor dem „Poduene“ Bahnhof fertig gestellt.

3.4.6 Konstruktion und Bauen der U-Bahn⁴⁹:

Die Kennwerte, die die Kompliziertheit der U – Bahnlinien zeigen, sind die Anzahl der Strecken, die sich in Bögen mit kleinen Radien befinden, sowie die Gesamtlänge der Strecken, die eine maximale Neigung des Geländes haben. Folglich sollen diese Werte so niedrig sein, wie es möglich ist. An der ersten Durchquerung gibt es einige Bögen mit einem minimalen Radius von 600 m. An der Erweiterung der gleichen Durchquerung gibt es Bögen mit kleineren Radien wegen der spezifischen Stadtplanung.

3.5 Schächte

Die stark geneigten Stollen der unterirdischen Druckleitungen des Talsperrensystems „**Batak**“ wurden vor allem im Vollprofil mit vieleckiger Rahmensicherung durchgeführt. Die Unterschiede in den einzelnen Fällen sind im Transportieren der ausgebrochenen Gesteinsmassen.

Die vertikalen Schächte und die unterirdischen Wasserschlösser der Wasserkraftwerke wurden auch im Vollprofil hergestellt. Wegen der spezifischen Bedingungen wurden die Arbeiten manchmal ``von oben nach unten`` und manchmal ``von unten nach oben`` durchgeführt. Die Wasserschlösser der Wasserkraftwerke „**Batak**“ und „**Pestera**“ wurden gleichzeitig von beiden Seiten wegen der großen Längen gebohrt. Die Bauweisen bei diesen Anlagen waren am meisten verbreitet zu dieser Zeit.

Bei dem Wasserschloss vom WKW „**Pestera**“ wurde eine besondere Bauweise dieser Zeit vorgesehen. Für den Ausbruch von unten nach oben sollte ein spezieller ``Korb`` verwendet werden. Dieser Korb sollte bis zur Ortsbrust mittels eines Seils, das durch die Öffnung der Untersuchungsbohrung durchgeführt wurde, gehoben werden. Vom Korb sollten die Bohrlöcher für den Sprengstoff gebohrt werden. Bei dem Sprengen mit elektrischen Zündern sollte der Korb in die Unterkammer des Wasserschlosses zurückgefahren werden. Diese Bauweise konnte nicht realisiert werden, weil die Untersuchungsbohrung 2,0 m seitlich von der Achse des Wasserschlosses gebohrt wurde und folglich war sie nicht geeignet zum

⁴⁹ **BRATOEV**, Styan, Sofötische U – Bahn, 1. Anlage – Sofia, Nota bene! Communications, 2004

Zweck. Eine neue Bohrung war nicht wirtschaftlich und es gab keine Garantie, dass das zweite Mal ohne Abweichung ausgeführt würde.

3.6 Kaverne

Unter „Kaverne“ versteht man einen unterirdischen Raum, der zu unterschiedlichen Zwecke benutzt wird: für Wasserkraftwerke, unterirdische Gas- und Flüssigkeitsbehälter, unterirdische Kläranlagen für Trinkwasser, Lager für Alkoholgetränke, Bier, Milchprodukte, Garagen, Unterschlüpfe etc. In Abhängigkeit von ihrer Anwendung werden die Kavernen unterschiedlich geformt, aber bei allen Arten von Kavernen ist die Ausführung typisch. Eine Sicherung des Gesteins ist immer notwendig, die wegen der großen Ausmaße der Kaverne schwierig auszuführen ist. Die Kavernen werden hauptsächlich für Wasser- und Pumpwasserkraftwerke gebaut.

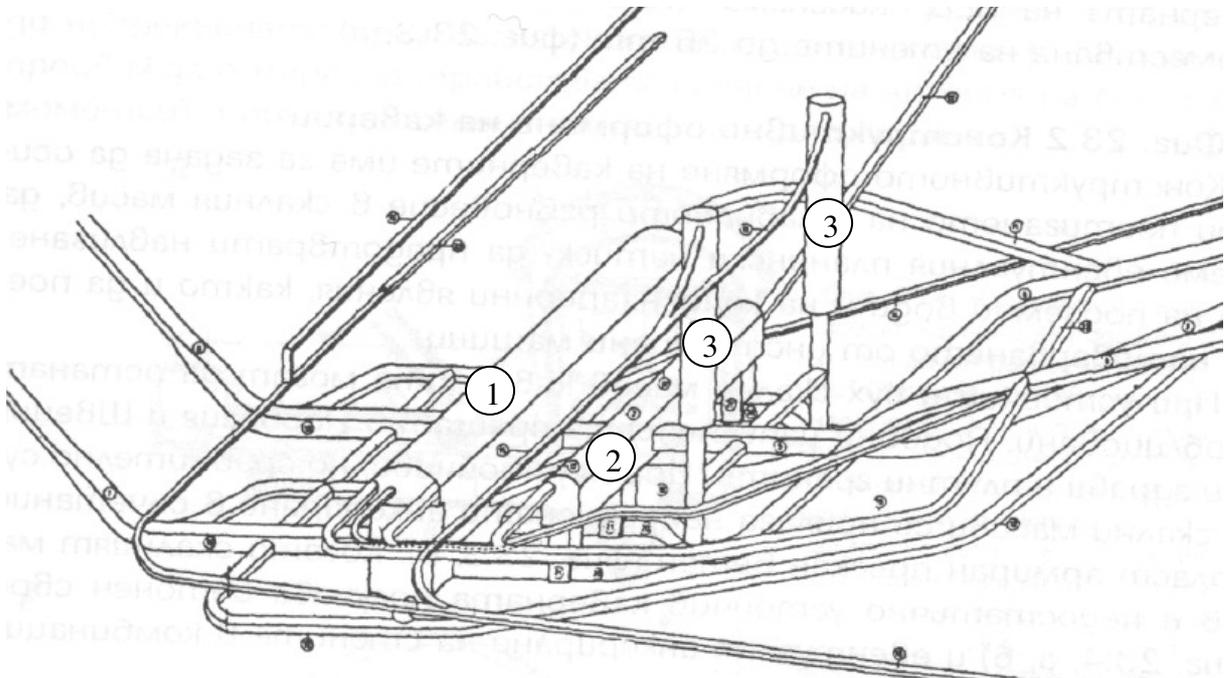


Abb. 33 Allgemeines Schema des unterirdischen Pumpwasserkraftwerks „Chaira“

1 - Maschinenkaverne, 2 - Transformator-kaverne, 3 - Wasserschlosser

Die erste Aufgabe vor dem Projektierungsbeginn ist die Bestimmung der notwendigen Ausmaße der Kaverne. Danach wird die mögliche Lage der Kaverne im Gestein bestimmt und zu diesem Zweck wird eine ingenieurgeologische Prognose des Gesteinaufbaus, des Grundwasserspiegels, der Schichtenneigung, des Vorhandenseins von Rissen usw. angefertigt. Auf Basis der Prognose werden einige Variantenlösungen entwickelt, die weiter mittels Tiefbohrungen, geophysikalischer Untersuchungen und Laborversuche untersucht werden. Die Ergebnisse führen zur Auswahl der optimalen Variante.

Nach dem Ende dieser Etappe fängt eine vertiefte felsmechanische Untersuchung des Gesteins an. Zu diesem Zweck wird ein Zugang zu der zukünftigen Kaverne gesichert, der

Im stabilen und trockenen Gestein kann man die Kaverne ohne Ausbau lassen. Solche Kavernen gibt es in Norwegen und Schweden, wo die Felsen hart und dicht sind.

Der Grundwasserzufluss wird analog jenen der Tunnel behandelt. Bei einer kleinen Grundwassermenge reicht eine Schicht von Spritzbeton und unter Umständen kann man zusätzlich durch Verpressen oder mittels wasserdichter Folien abdichten. Bei einem höheren Wasserzufluss muss ein Dränagensystem, das das Wasser zu einem Pumpschacht im niedrigsten Teil der Kaverne leitet, vorgesehen werden.

Am häufigsten werden die Feuchtigkeit und die mit der Kondensation verbundenen Erscheinungen in den unterirdischen Räumen durch den Ausbau von doppelten Wänden und Dächern verhindert. Das Grundwasser fließt durch die Fugen in Sammelrinnen ein, die Pumpbrunnen am Ende haben.

Bei dem Ausbau einer Kaverne benutzt man ein Verfahren und Organisation ähnlich jenem der Tunnel mit größeren Querschnitten. Wegen der großen Ausmaße der unterirdischen Ausgrabung wird eine schienenlose Mechanisierung, sowie manche spezifische Baumethoden angewandt.

Um den Aushub der Kaverne anzufangen, kann in manchen Fällen ein Zugangstunnel von Erdoberfläche gebohrt werden. Er dient zum Fördern der ausgegrabenen Felsmassen, der Baumaterialien und Hilfsmittel, als Zugang der Arbeiter etc. Bei manchen Kavernen werden einige Zugangstunnel gebohrt, um einen schnelleren Ausbau zu gewährleisten. So werden die Kosten für Organisation der Baustellen vor den Portalen, für das Verkehrsnetz und für die Bohrung der Tunnel selbst erhöht. Deswegen soll die Anzahl der Zugangstunnel durch eine technischwirtschaftliche Untersuchung bewiesen werden. Die Auswahl von mehr als ein Zugangstunnel ist treffend, falls die Kaverne eine zeitbestimmende Anlage ist oder das Volumen des auszugrabenen Gesteins, das durch einen Tunnel gefördert wird, über $(15 \div 20) \cdot 10^3 \text{ m}^3$ ist. Die wirtschaftlichste Lösung ist, wenn die Zugangstunnel später für Betriebsanlagen genutzt werden.

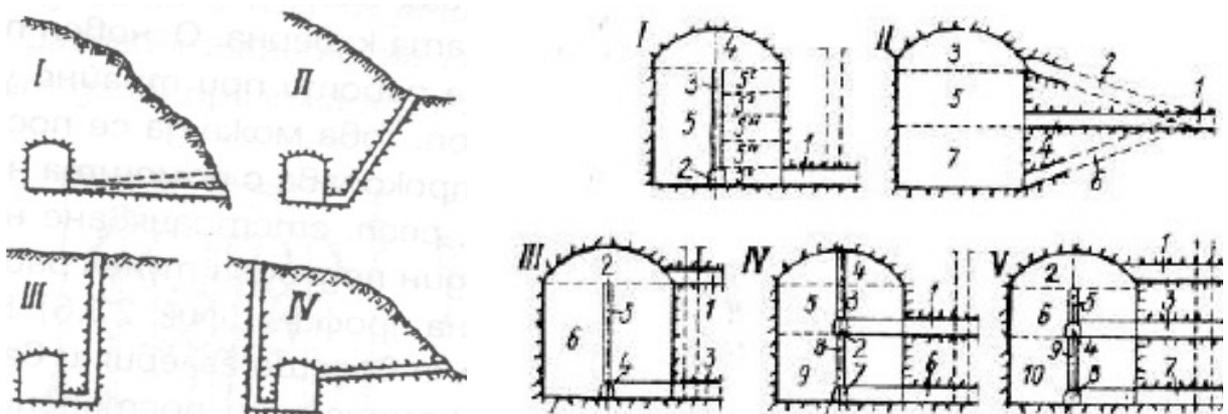


Abb. 35 Zugangstunnel zu der Kaverne und ihr Einfluss auf die Betriebsorganisation der Aushubarbeiten

Wegen des großen Querschnitts lassen die Kavernen keine Ausgrabung im Vollprofil, sogar im sehr festen Gestein, zu. Eine solche Ausgrabung kann technologische Probleme oder höhere Lockerung des Gesteins bei Sprengarbeiten verursachen.

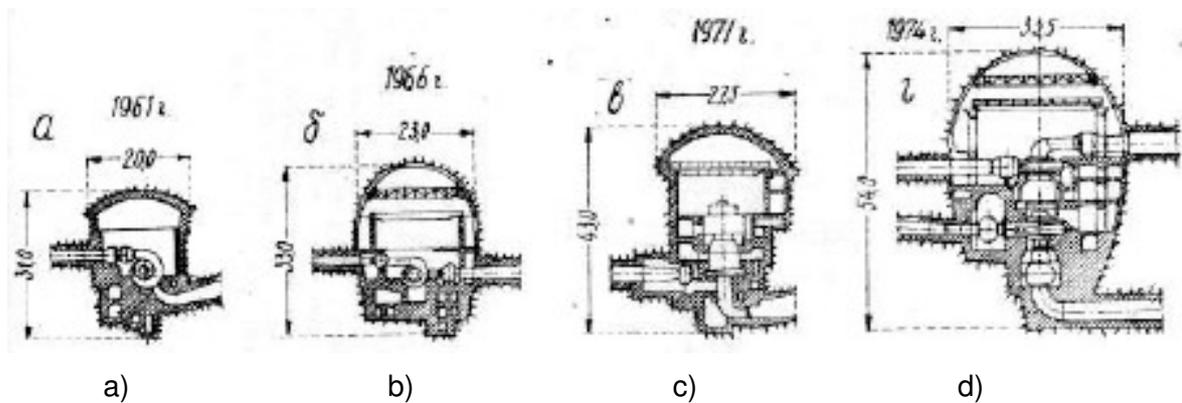


Abb. 36 Entwicklung der Kaverne im Ausland in den Jahren zwischen 1961 und 1974

- PWKW „Vianden I“ (1961), Querschnittsfläche 450 m^2 , in lehmigen Schiefen
- PWKW „Zeckingen“ (1966), Querschnittsfläche 670 m^2 , in Granitgneisen
- PWKW „Troa Pont“ (1971), Querschnittsfläche 760 m^2 , in Quarzphylliten
- PWKW „Waldek II“ (1974), Querschnittsfläche 1390 m^2 , in lehmigen Schiefen und Konglomeraten

Egal wie tief und systematisch die ingenieurgeologischen Untersuchungen durchgeführt wurden, kann man nie völlig die geologischen Bedingungen um die Kaverne vorhersehen. Es wurden unterschiedliche Versuche gemacht, um eine genauere Prognose für die Gesteinsbildung zu erreichen. Die Gesteinsbildung wird während des Kavernenausbaus genauer bestimmt. Bei dieser Methode werden die geomechanischen Parameter in ungünstigsten und möglichsten geteilt. Für jede von diesen Datengruppen werden Vorentwürfe gemacht. (Siehe Abb. 37.)

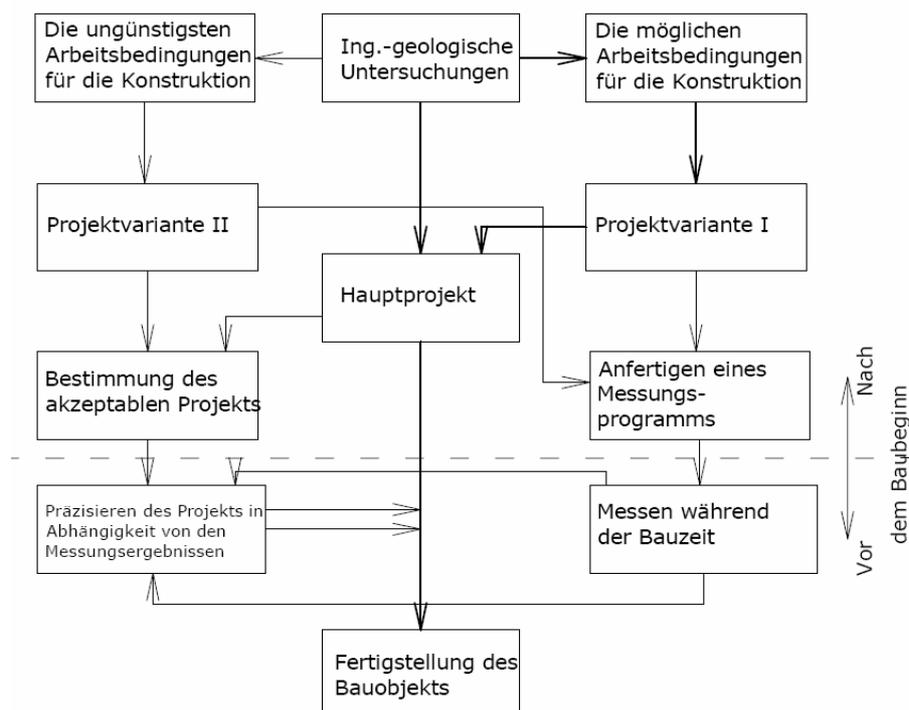


Abb. 37 Schema für Projektierung zusammen mit den realen Messungen während der Bauzeit

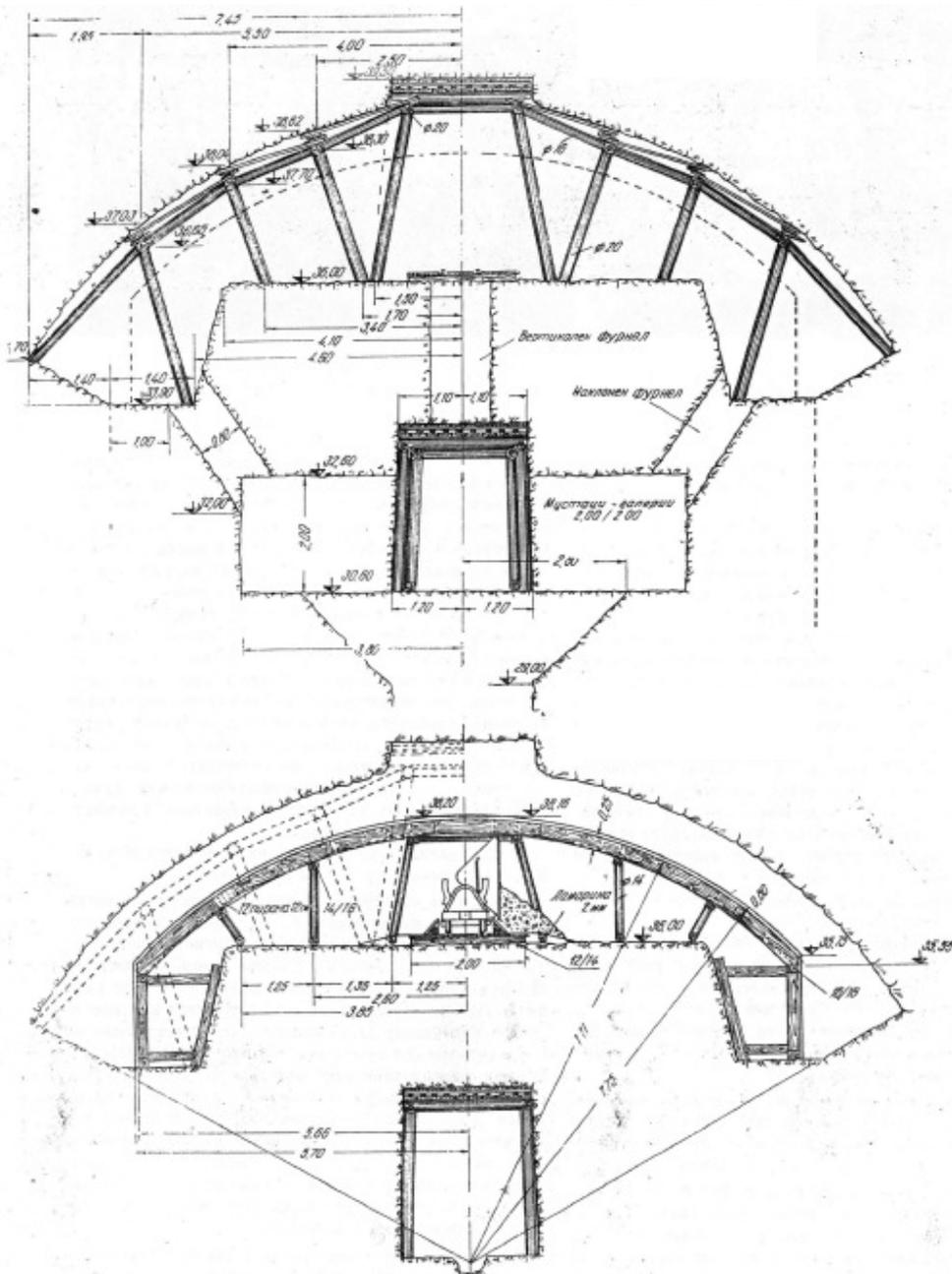


Abb. 39 Sicherung der Kalotte und Betonierung des oberen Gewölbes des Wasserkraftwerks „Pestera“

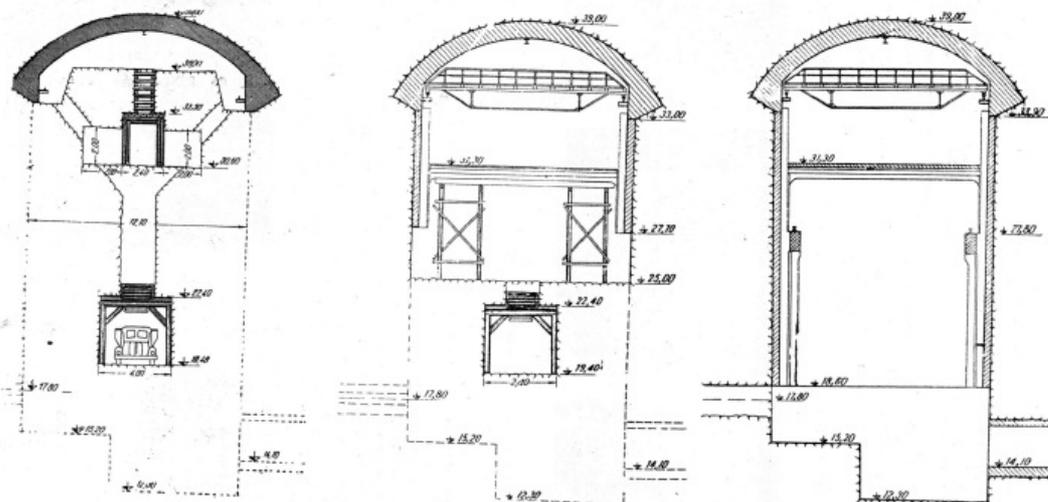


Abb. 40 Etappe des Kaverneausbaus „Pestera“

3.7 Rohrvortrieb

Trotz intensiver Nachforschungen in diversen Archiven konnten zu diesem Thema keine Unterlagen bzw. Informationen beschaffen werden.

3.8 Stollen für Bergbau

Im Jahr 1954 wurden viele neue Tagebauten in Betrieb gesetzt. Über 90 % der Arbeitsprozesse wurden mechanisiert. 1955 haben die Bergarbeiter von der Arbeitsgruppe von Vasil Alexandrov 504 lfm Stollen in einem Monat ausgegraben.

Der größte Unternehmer in Bulgarien während des Sozialismus im Gebiet von Urangewinnung war „**Redki metal**“. Manche von den angewandten typisierten Querschnitten sind in den Abbildungen von Abb. 41 bis Abb. 45 dargestellt: Die Querschnitte der Stollen, die sie bearbeitet haben, wurden unifiziert und bei dieser Unifikation wurde die folgenden Prinzipien gestellt:

- Die Querschnitte wurden an die technischen Bergbaubedingungen angepasst
- Die Querschnitte wurden an die angewendeten Mechanisierung angepasst
- Möglichkeit für Mechanisierung der Durchführungsarbeiten
- Das gelöste Gestein sollte minimales Volumen haben, um minimale Kosten zu erreichen
- Anpassen der Anforderungen der „Richtlinien für Sicherheit während der Arbeit im Bergbau in unterirdischer Bauweise“

Die ausgeführten Stollen wurden in drei Klassen geteilt:

I Klasse: Stollen für andauernde Nutzung – gleich nach der Durchführung des Stollens wird eine permanente Sicherung ausgeführt und es werden permanente Eisenbahnwege errichtet. Die Wasserrinnen wurden mit einer Verzögerung nicht mehr als 100 – 150 m hinter der Ortsbrust gebaut.

II Klasse: Der einzige Unterschied von den Stollen der I. Klasse ist, dass die Eisenbahnlinie für vorläufige Nutzung vorgesehen wurde.

III Klasse: Diese Stollen wurden für geologische Untersuchungen durchgeführt und waren nicht für eine zukünftige Anwendung geeignet.

Die verwendeten Sicherungstypen wurden in Abhängigkeit von den geologischen Bedingungen gewählt und sind wie folgt:

- Ortbeton – für Gebirgsklassen von VII bis X
- Mit Metallgewölbesicherung - für Gebirgsklassen von VI bis X

- Torkret⁵⁰ - für Gebirgsklassen von III bis VII, mit Stärke der Schichten von 30 ÷ 50 mm
- Torkret mit Ankern und Gitter - für Gebirgsklassen von III bis VII mit schwacher Klüftung
- Holzsisicherung - für Gebirgsklassen von VII bis X (Lockergestein)
- Ohne Sicherung - für Gebirgsklassen von III bis VI (Festgestein). Nur Stollen für geologische Untersuchungen wurden im Festgestein ohne Sicherung gelassen.

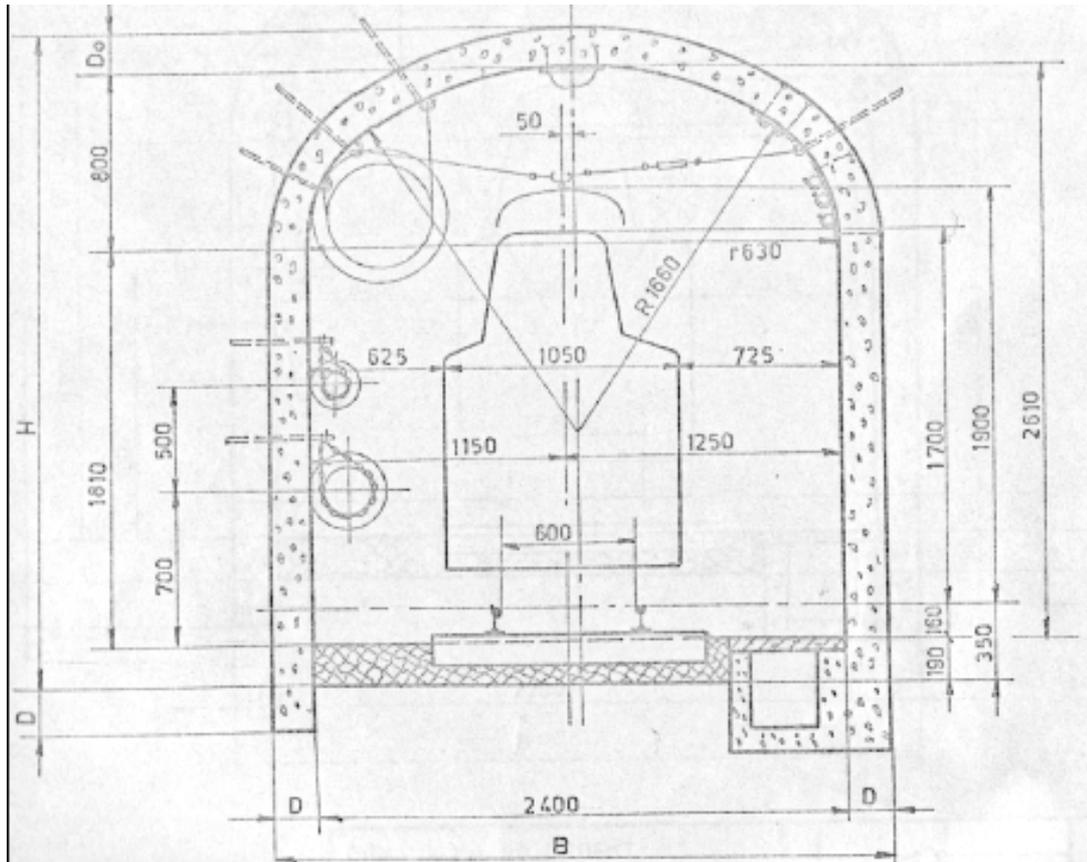


Abb. 41 Stollen mit Betonsicherung mit einem Gleis in einer geraden Strecke

Parameter	Gebirgsklasse		
	X	IX	VII-VIII
Innerer Querschnitt, m ²	5,8	5,8	5,8
Breite des Querschnittes, mm	2.800	2.800	2.800
Höhe des Querschnittes, mm	2.970	2.970	2.970
Innerer Umfang, m	9,2	9,2	9,2
Stärke der Ulmen, mm	200	200	200
Stärke des Gewölbes, mm	170	170	170

Tab. 16 Technische Daten (S.Abb. 41)

⁵⁰ In Bulgarien unterscheidet man zwischen den Begriffen "Torkret" und "Spritzbeton". Der Zuschlagstoff für das Torkret erreicht eine Größe bis 5 mm und dieser für den Spritzbeton hat ein maximaler Durchmesser bis 16 mm.

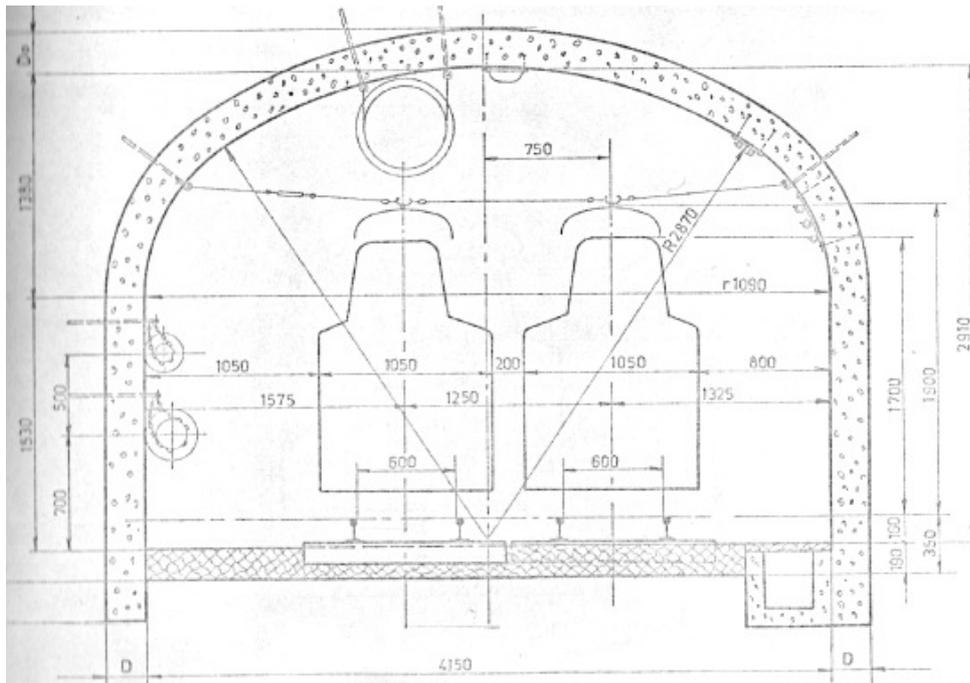


Abb. 42 Stollen mit Betonsicherung mit zwei Gleisen in einer geraden Strecke

Parameter	Gebirgsklasse		
	X	IX	VII-VIII
Innerer Querschnitt, m ²	10,8	10,8	10,8
Breite des Querschnittes, mm	4.750	4.650	4.650
Höhe des Querschnittes, mm	3.350	3.300	3.300
Innerer Umfang, m	12,7	12,7	12,7
Stärke der Ulmen, mm	300	250	250
Stärke des Gewölbes, mm	250	200	200

Tab. 17 Technische Daten (S.Abb. 42)

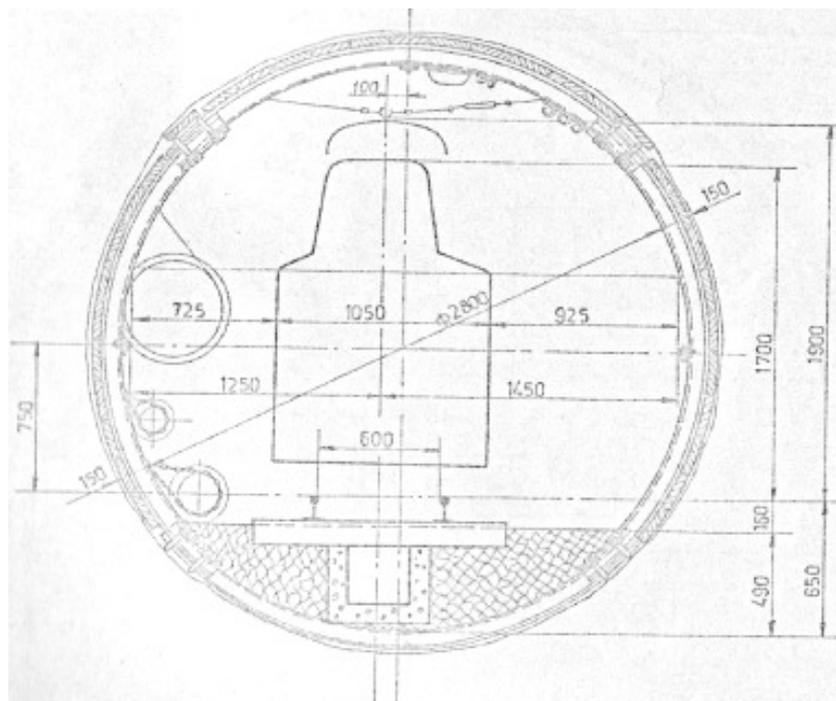


Abb. 43 Stollen mit einer Sicherung aus Metallrahmen(Ringen) – eingleisige gerade Strecke

Parameter	Gebirgsklasse		
	X	VIII- IX	VI-VII
Innerer Querschnitt, m ²	5,5	5,5	5,5
Innerer Umfang, m	8,4	8,4	8,4

Tab. 18 Technische Daten (S.Abb. 43)

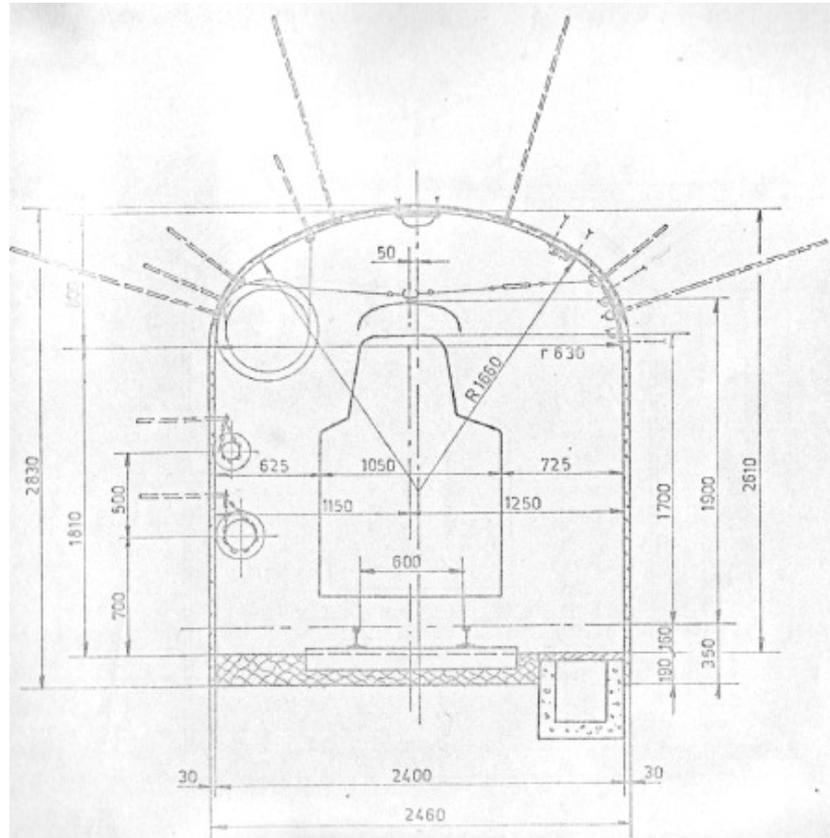


Abb. 44 Stollen mit einer Sicherung aus Ankern mit Spritzbeton und Gitter - eingleisige gerade Strecke

Parameter	Gebirgsklasse		
	VI-VII	IV-V	III
Innerer Querschnitt, m ²	5.8	5.8	5.8
Innerer Umfang, m	9.2	9.2	9.2

Tab. 19 Technische Daten (S.Abb. 44)

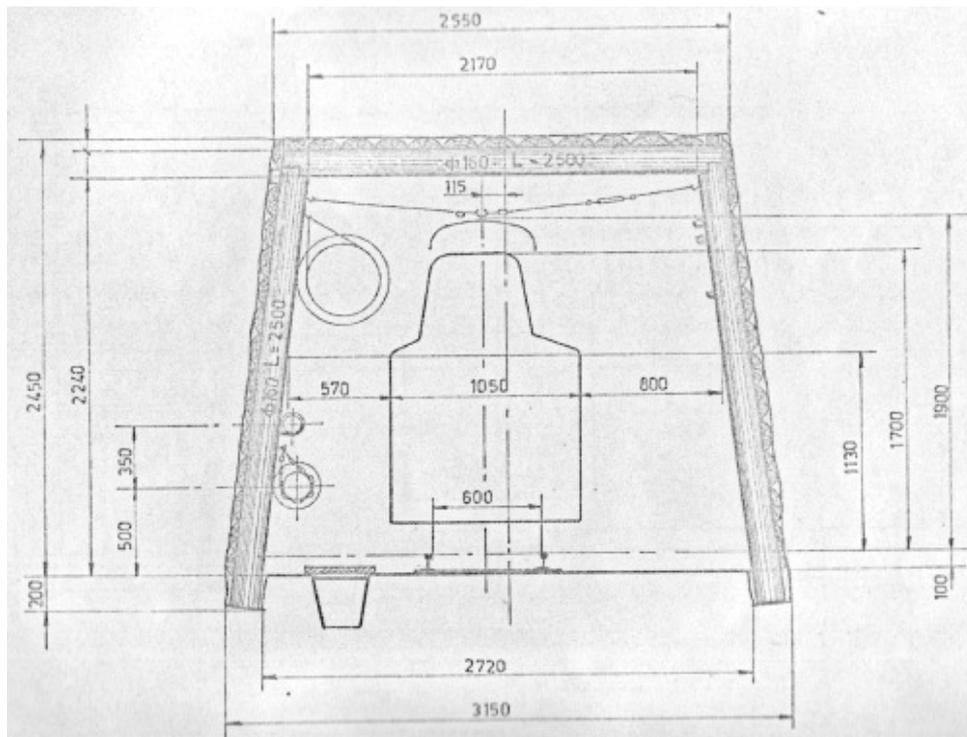


Abb. 45 Stollen mit einer Sicherung aus Holzrahmen - eingleisige gerade Strecke

Parameter	Gebirgsklasse		
	X	IX	VII-VIII
Innerer Querschnitt, m ²	5,5	5,5	5,5
Innerer Umfang, m	9,7	9,7	9,7

Tab. 20 Technische Daten (S.Abb. 45)

3.9 Tunnelbauweise⁵¹

Als Ergebnis der langjährigen Erfahrung im unterirdischen Bauwesen wurde eine große Anzahl von Bauweisen entwickelt, wobei jede von denen bei bestimmten Bedingungen geeignet ist. Die Bauweisen wurden in ihrer „klassischen“ Variante angewandt, sowie in verschiedenen Modifikationen, mittels derer die Bauweise an die existierenden Bedingungen angepasst wurden. Hauptsächlich kann man zwei Gruppen von Bauweisen unterscheiden:

- Tunnelbauweisen ohne Richtstollen
 - Tunnelvortrieb im Vollprofil – der unterirdische Aushub wird gleichzeitig über den ganzen Querschnitt durchgeführt, was zu einer senkrechten oder stufigen Ortsbrust führt.
 - Tunnelvortrieb mit Ober- und Untereinschnitt
 - die Neue österreichische Bauweise

⁵¹ Vgl. **GEORGIEV, L.:** Unterirdischer Wasserbau, Sofia, Staatlicher Verlag „Technik“, 1974

Tunnelbauweise	Anwendungsbereich
1 Tunnelvortrieb in Vollprofil	
1.1 Mit senkrechter Ortsbrust	Für feste Felsen und beliebige Querschnitte
1.2 Mit stufiger Ortsbrust	Für Tunnel mit größeren Querschnitte bis ca. 100 m ² . Jede Stufe hat eine Höhe von 2,0 bis 2,5 m.
2 Tunnelvortrieb mit Ober- u. Untereinschnitt	Für Querschnitte mit einer Fläche von ca. 50m ² .
3 Neue österreichische Tunnelbaumethode	Der Hohlraum wird mit Stützmittel in seinem Selbsttrageverhalten unterstützt und die Deformationen werden laufend gemessen. Das Gestein wirkt als Tragelement nach dem Festlegen des Gleichgewichts im Ergebnis der Umverteilung der Spannungen. Dann wird die endgültige Sicherung eingebaut. Diese Methode ist anwendbar für alle Felsarten und diverse Abmessungen der Querschnitte

Tab. 21 Tunnelbauweisen ohne Richtstollen, Charakteristiken

- Klassische Tunnelbauweisen – Vortrieb des Tunnels in Bereichen. Diese Methoden werden vor allem für Tunnel mit größeren Querschnitten verwendet. Es wird unterschiedliche Holzsicherung mit charakteristischen Konstruktionen für jede Bauweise benutzt.

Tunnelbauweise	Anwendungsbereich
1 Belgische Tunnelbauweise/ Unterfangungsbauweise	Verwendbar bei mittelfesten Gesteinen, bei denen mäßiger Gebirgsdruck wirkt. Zuerst wird der Ausbau in der Kalotte durch eine Mauerung gesichert und unter seiner Sicherung wird der übrige Querschnittsteil in mehreren Stufen eingeteilt. Diese Methode ist eine von den Grundmethoden für Ausbau von Kavernen für unterirdische Wasserkraftwerke.
2 Alte Österreichische Bauweise	Die Bauweise ist anwendbar in schwachen Gesteinen und stark veränderlichen geologischen Bedingungen entlang der Tunneltrasse. Sie versucht die Firste zu sichern und den Ausbruch unter ihrem Schutz von oben nach unten durchzuführen. Die Mauerung erfolgt nach dem beendetem Ausbruch von unten nach oben.
3 Deutsche Bauweise/ Kernbauweise	- mit oberem Richtstollen – für Tunnel mit kleineren Querschnitten - mit zwei unteren Richtstollen – für Tunnel mit großen Querschnitten
4 Englische Tunnelbauweise	Diese Tunnelbauweise wird in stark veränderlichen geologischen Bedingungen entlang der Tunneltrasse verwendet, weil die Sicherung jedes Ringes sich leicht an die Bedingungen anpasst.
5 Bauweise mit zentralem Richtstollen	Die Bauweise ist geeignet bei kürzeren Tunneln mit größeren Querschnitten (mit Fläche über 50 m ²).

Tab. 22 Klassische Tunnelbauweisen, Charakteristiken

3.10 Struktur und Organisation des Bauwesens in Bulgarien

3.10.1 Auftraggeber – WER BEZAHLT?

In den meisten Fällen während des Sozialismus war der Auftraggeber der Staat Bulgarien.

3.10.2 Planungsbüro – WER PLANT?

Die Projekte von Tunneln in Bulgarien wurden von Projektierungsorganisationen ausgearbeitet. Solche **Planungsbüros** waren „Energoproekt“, „Wodproekt“, „Wodokanalproekt“, „Putproekt“, „Transproekt“, „Niproruda“, „Injproekt“ und „Sofproekt“. Die unterirdischen Anlagen für die Zwecke des Bergbaus wurden von „Minstroj“ ausgearbeitet. Manche von denen existieren nicht mehr und andere wurden teilweise von ausländischen Firmen gekauft⁵².

3.10.3 Auftragnehmer – WER BAUT?

Das Bauen wird von **Baufirmen** ausgeführt. Solche Organisationen sind „Transstroj“, „Hydrostroj“, „Minstroj“, „Injstroj“, „Wodno stroitelstvo“ und die Hauptverwaltung der Baustreitkräfte.

3.10.4 Zuständige Behörde – WER GENEHMIGT?

Eine Fremdüberwachung während der Bauzeit wird von einer Vertreterfirma des Auftraggebers durchgeführt. Nach dem Bauende bestätigt die staatliche Annahmekommission die Qualität und die Ausführung der Bauarbeiten. Die endgültige Genehmigung wird von der Direktion für Nationalkontrolle des Baus ausgestellt.

3.10.5 Organisation der Baustelle

Das vollständige Projekt für die Organisation des Bauwesens muss auf Grund der geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen, des vorbereiteten Arbeitsprojekts und der Daten über die vorhandenen Baustoffe, Verkehrs-, Strom- und Wassernetze etc. in der Umgebung der Baustelle, gemacht werden.

Der Entwurf soll folgende Teile beinhalten⁵³:

- Hauptlageplan, auf den die Trasse des Tunnels und sämtliche Baustellen angegeben werden, sowie die Dienstwege
- Ausführliche Hinweise über die Volumen der unterschiedlichen Bauarbeiten inkl. die Montagearbeiten
- Terminplanung für die Ausführung des Tunnels. Die Pläne sind im Koordinatensystem gezeichnet, dessen waagerechte Achse die Längen an der Tunnelachse vorstellt und die Ordinate zeigt die notwendige Zeit in Arbeitstagen für die Ausführung der Arbeit. Die Vorschriften für die einzelnen Arbeiten und die Anzahl der brauchbaren Mitarbeiter werden in den aktuellen „Einheitsnormen und Preise für Tunnelbau“ gegeben. Es wird eine durchschnittliche Ausführung von 20 % über die Normen angenommen. Die

⁵² 51% von „Minstroj“ wurden von der Alpine Bau GmbH gekauft.

⁵³ **TRUNKA**, L.: Tunnel, Sofia, Staatlicher Verlag „Technik“, 1964, S.512

Berechnungen werden für 25 Arbeitstage pro Monat und bei drei achtstündigen Schichten durchgeführt.

- Plan der notwendigen Mitarbeiter
- Terminplan für die notwendigen Baustoffmengen, Verkehrsmittel, Strom, Maschinen, Installationen usw.
- Organisationspläne der Hilfsbetriebe, hauptsächlich der Steinbrüche für Sand, Kies und Stein.

Der graphische Terminplan ermöglicht eine tägliche Kontrolle von der Seite der Vorarbeiter über die Durchführung der Bauarbeiten. Es ist zweckmäßig, wenn ein SOLL-IST Vergleich zwischen dem geplanten und dem tatsächlichen Zustand wöchentlich gemacht wird. Der Terminplan kann sehr veränderlich sein, in Abhängigkeit von den geologischen und hydrogeologischen Bedingungen, die nicht immer im Voraus vollständig untersucht werden können.

Das Ablegen von Rechenschaft über die Schnelligkeit und die Qualität der Arbeiten hat sehr große Bedeutung für die Bestimmung der Gehälter der Mitarbeiter. Für eine richtige Verwaltung und Rechenschaft wurden folgende Bücher notwendig:

- ❖ Anordnungsbuch – in dem werden alle Weisungen, Veränderungen der Entwürfe an Ort und Stelle, sämtliche Entscheidungen der Verwaltung etc. eingeschrieben.
- ❖ Tagebuch – in dem wurden die sämtlichen Bauarbeiten für jede Schicht, wichtige Ereignisse, später entdeckte geologische Besonderheiten, Empfehlungen für die nächste Schicht usw. eingeschrieben.
- ❖ Verzeichnis der Ausgrabungsarbeiten – Querschnitte des Tunnels
- ❖ Lagerbücher – Einkünfte und Aufwand der Baustoffe, Rechnungen, Abrechnungsdokumentation etc.

Die gesamte Rechenschaft funktionierte nach den „**Vorschriften für Kapitalsbauwesen**“ in Bulgarien.

4 Tunnelbauwesen in der Gegenwart /1990 - 2006/

4.1 Eisenbahntunnel

4.1.1 Allgemeines

Das bulgarische Eisenbahnnetz hat zur Zeit 181 Tunnel, die eine Gesamtlänge von 46.600 m aufweisen. Die längsten Tunnel befinden sich an der Eisenbahnlinie Sofia – Karlovo – Burgas:

Tunnel Kosnitza	L=5.812 m
Tunnel Gulabetz	L=3.034 m
Tunnel Zli Dol	L=1.845 m

In Bulgarien gibt es vier zweispurige Tunnel. Einer ist an der Eisenbahnlinie Sofia-Varna und drei befinden sich an der Linie Karnobat – Sindel. **Der längste zweispurige Tunnel befindet sich zwischen Lozarevo und Prilep, ist 2.613 m lang und ist z. Z. im Bau.**

An den schmalspurigen Linien gibt es insgesamt 35 Tunnel, die eine Gesamtlänge von 2.865 m haben.

Die folgenden Abbildungen⁵⁴ zeigen die typischen Querschnitte für ein- und zweispurige Tunnel in Bulgarien. Diese Querschnitte sind geeignet, wenn sich der Tunnel in einer geraden Strecke oder in einer horizontalen Krümmung mit $R \geq 250$ m befindet. Die Stärke des Ausbaus ist veränderlich in Abhängigkeit vom Gebirgsdruck.

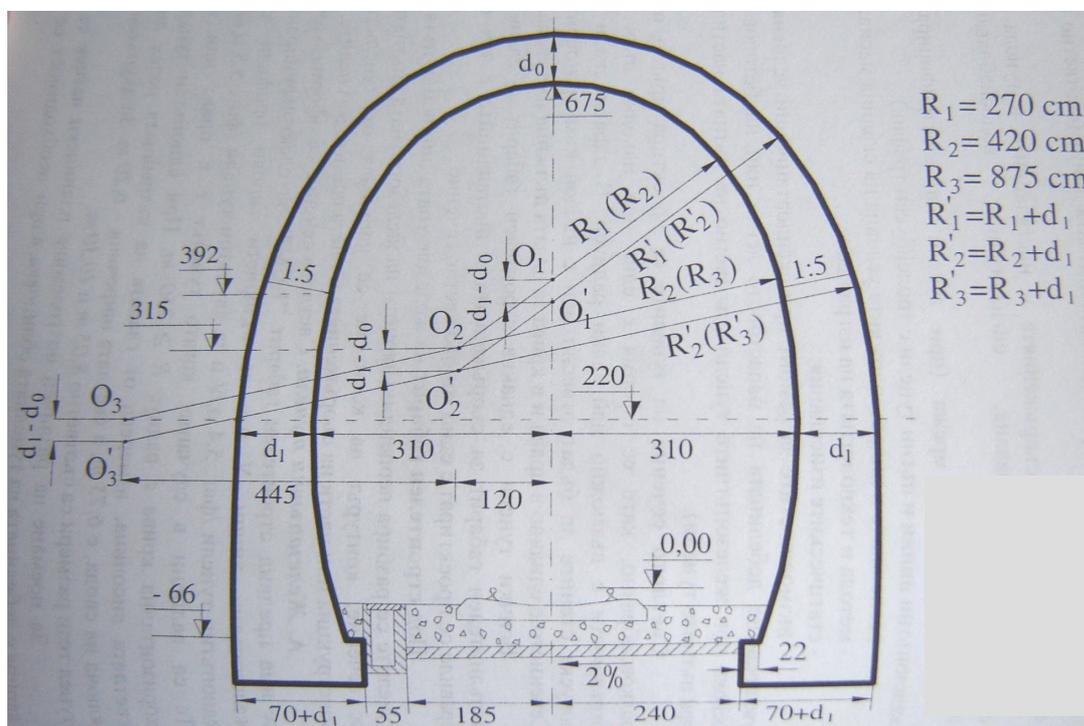


Abb. 46 Typenprofil für einspurigen Eisenbahntunnel

⁵⁴ TOTEV, Yo.: Tunnel, Sofia, Hochschule für Verkehrswesen „T. Kableschkov“, 2005, S.43

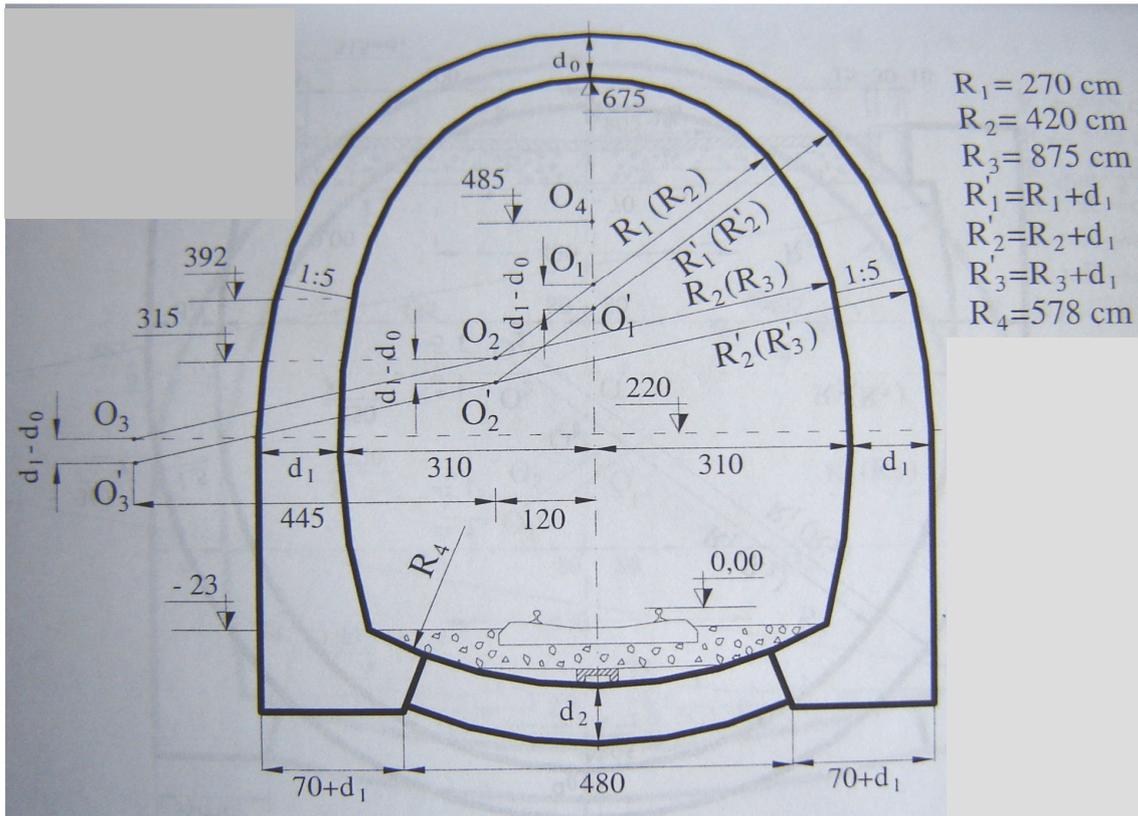


Abb. 47 Typenprofil für einspurigen Eisenbahntunnel

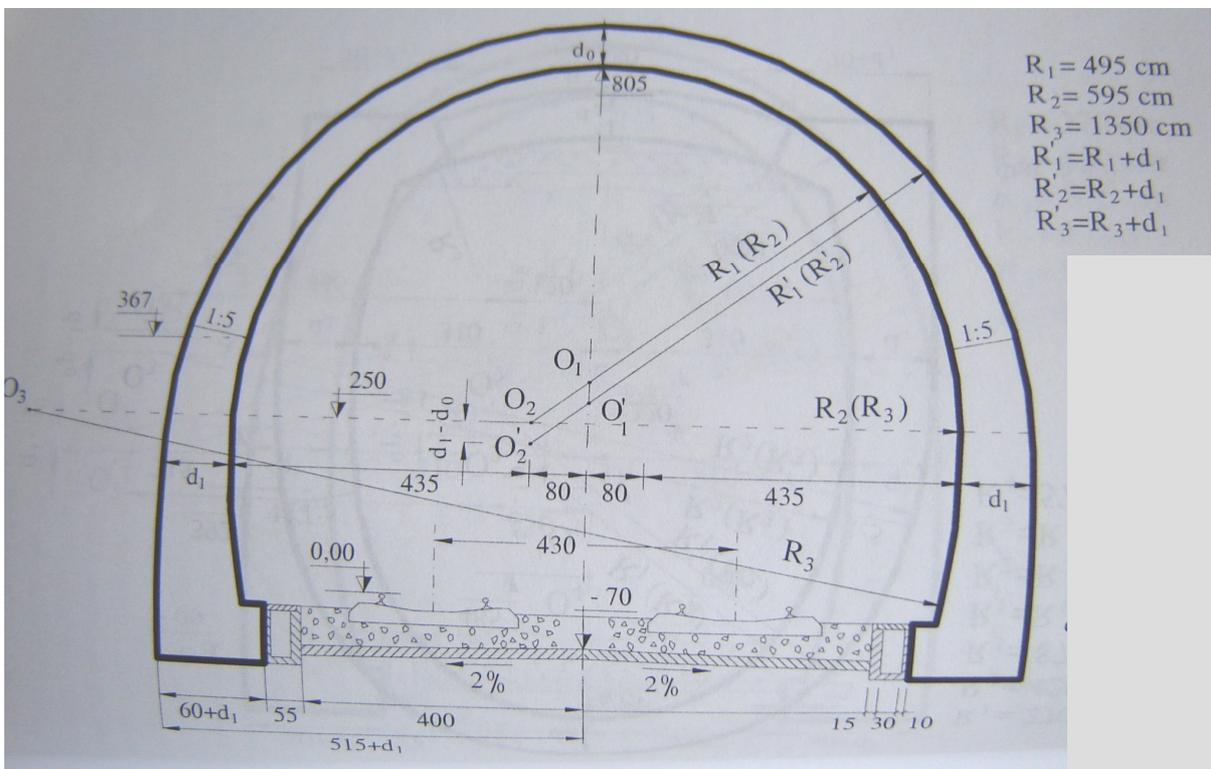


Abb. 48 Typenprofil für zweispurigen Eisenbahntunnel

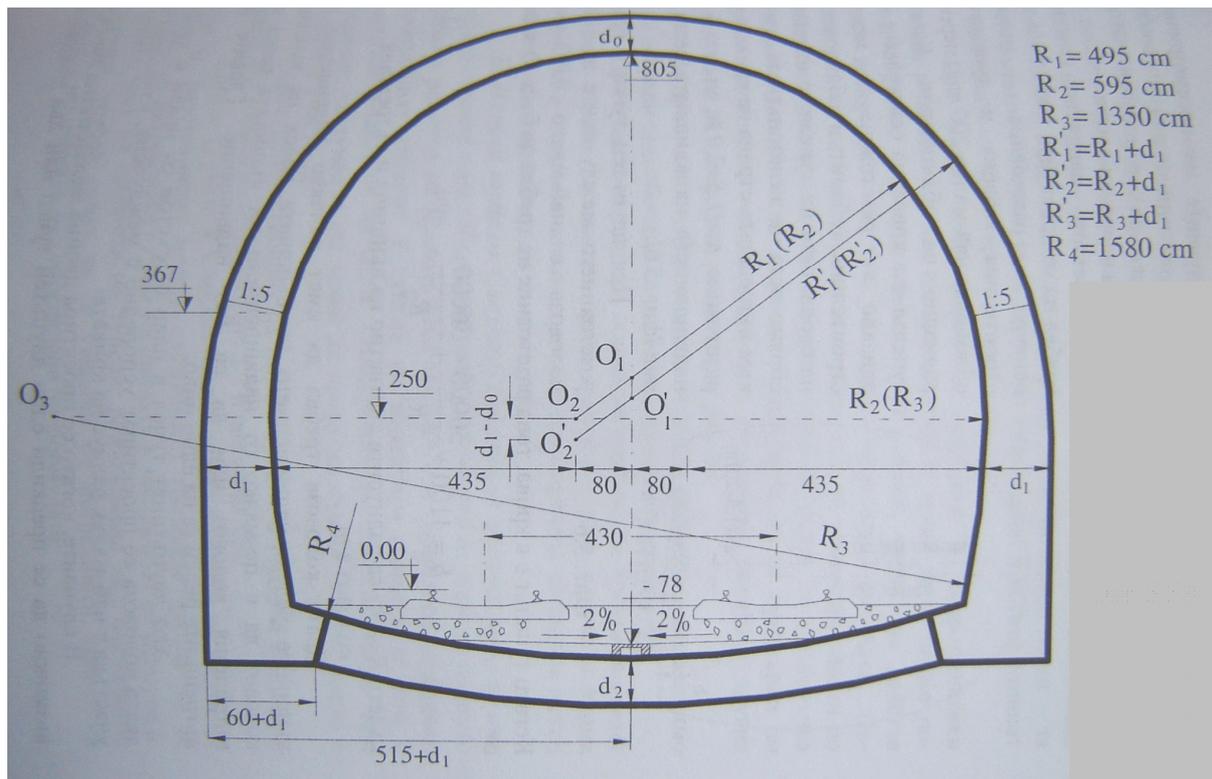


Abb. 49 Typenprofil für zweispurigen Eisenbahntunnel

4.1.2 Eisenbahntunnel „Deve Bair“⁵⁵ (L=2.383 m; Querschnitt 5,2 x 6,0 m)

Im Jahr 1997 wurde die Ausschreibung für den Weiterbau des Tunnels „Deve Bair“ (s.2.3.4.1) erstellt. Die Baufirma „Transproekt“ hat die notwendigen Untersuchungen durchgeführt und ein Projekt vorgeschlagen. Die Untersuchungen haben die Errichtung eines ungesicherten unteren Richtstollens mit Abmessungen B/H = 3,40/2,70 m, der sich in der neuen Tunnelstrecke befindet, gezeigt. Die Länge dieser Strecke ist 644 m (von Km 137⁺⁶⁸² bis zum Km 138^{+325.40}). Bis zum Km 137⁺⁷⁶⁶ existiert auch ein ungesicherter oberer Richtstollen mit einer Höhe von 1,5 m. Zwischen den beiden Richtstollen sind fünf Öffnungen ausgeführt, die zum Transportieren des gelösten Felsmaterials dienen.

In den restlichen 168 m des Tunnels wurden keine Stollen ausgebrochen und der Ausbruch wird in zwei Teilquerschnitten „Kalotte und Strosse“ ausgeführt.

Bis zum Km 138⁺²²⁰ ist die Längsneigung des Tunnels 2 ‰ in Richtung des bulgarischen Portals. Die restlichen 160 m bis Ende des Tunnels sind mit einer Längsneigung von 8 ‰ in Richtung Mazedonien.

⁵⁵ GEORGIEV, Lyubomir, **TRANSPROEKT EOOD(GmbH) Projekt**, Eisenbahntunnel „Deve Bair“ als Teil des Projekts „Eisenbahnverbindung zwischen Bulgarien und Mazedonien“, Sofia, 1997

Zone	Felsentyp
Zone I	Stark geklüftete Felsen, physisch –chemisch verwittert
Unterzone II - 1	Stark zerstörte Felsen, sekundär verlötete Kalksteinstoffe
Unterzone II – 2	Schlecht gedichtete schwache Zonen um den Ausbau, die 1,5 m Breite erreichen
Zone III	Relativ starke vulkanische Gesteine mit charakteristischer Klüftung. Gesteine, die für Tunnelbau geeignet sind, dominieren.
Zone IV (sehr wenig)	besteht aus dunkelgrauen schichtigen Sandsteinen

Tab. 23 Gesteinzonen entlang des Tunnels

Die Wassersättigung des Gesteins um den Tunnel ist relativ niedrig. Der gesamte Grundwasserzufluss für 10 m Tunnel beträgt 0,014 l/s, dessen größerer Teil aus Grundwasser in Klüften besteht.

Nach den durchgeführten Untersuchungen für den Weiterausbruch des Tunnels im Jahr 1997 wurde bemerkt, dass bei den Berechnungen des Tunnelausbaus die Seismizität des Gebietes und die dynamische Belastung infolge der Züge bei der ausgebauten Strecke nicht beachtet wurden. Deswegen braucht der Ausbau eine zusätzliche Sicherung mittels Reibrohrankern mit einer Länge von 2,40 m und Durchmessern von 39 - 41 mm. Die schwachen Zonen sollen zusätzlich um den Ausbau mittels Verpressmörtel in den Bohrlöchern für die Anker verdichtet werden.

Das Dränagesystem besteht aus zwei Rinnen in den niedrigsten Punkten des Ausbaus von beiden Seiten des Tunnels. Die Rinnen haben eine Längsneigung von 2 ‰.

Der Ausbau der alten Strecke wurde aus Ziegeln ausgeführt. Die vorgesehene Verkleidung der neuen Tunnelenerweiterung besteht aus zwei Schichten. Die erste Schicht soll aus bewehrtem Spritzbeton ausgeführt werden und der endgültige Ausbau ist aus Beton B30 mit einer Stärke von 30 cm vorgesehen. Zwischen den beiden Schichten wird eine Hydroisolierung aus auf Geotextilien gelegten PVC Folien projektiert.

Die neue Strecke soll in Neuer Österreichischer Bauweise ausgeführt werden. Es wird eine Sicherungszone im Felsen um den Ausbau formiert und damit werden die Verzerrungen des Querschnitts mittels Messungen bestimmt. Die Deformationen klingen mit der Zeit ab, was zu einem stabilen Zustand des Gesteins führt. Erst danach wird die endgültige Sicherung eingebaut. Für die statischen Berechnungen wurden Software Programme wie SUPPORT und SESTANS verwendet.

b) Bauverfahrenstechnik der neuen Tunnelstrecke:

Die Ausführung der neuen Strecke wird in zwei Arbeitszyklen geteilt: Aushub- und Verkleidungsarbeiten. Zur ersten Gruppe gehören die folgenden Arbeiten:

- Sprengtechnik

Bedingung	Bauweise
Bei Vorhandenen Richtstollen und $f_{pr} \geq 2,0$ ⁵⁶	Bauweise im Vollprofil
Bei Vorhandenen Richtstollen $f_{pr} < 2,0$ (schwache Böden)	Ausbruch in Teilquerschnitten: Kalotte und Strosse + Sohle, mit einer Abschlaglänge von 1,0 m;
Bei keinen Stollen, unabhängig von f_{pr}	Aufreißen der Kalotte bis zum Ende des Tunnels und danach folgender Ausbau der Strosse mit einer Abschlaglänge von 2,0 m oder 1,0 m in schwachen Böden.

Tab. 24 Bauweise in der neuen Strecke des Tunnels „Deve Bair“

- Belüftung und Aufreißen der Ortsbrust
- Laden und Transportieren
- Ausbau der primären Verkleidung

Zur zweiten Gruppe zählt man:

- Bearbeitung der Tunnelsohle
- Einbau der Abdichtung
- Betonieren des sekundären Ausbaus

Die Sprenglöcher werden mit einem Durchmesser von 42 mm hergestellt und sollen mit Hilfe eines Bohrgerätes mit zwei Bohrrarmen gebohrt werden. Das gleiche Gerät soll bei der Renovierung der alten Strecke verwendet werden. Die vorgeschriebenen Sprengstoffe sind „Jeleks“ und „Elatzit“ mit Sprengkapseln mit einem Durchmesser von 32 mm. Die Gesamtlänge der Bohrlöcher für den ganzen Tunnel ist 57.995,5 m und die Gesamtmenge des benötigten Sprengstoffs ist 23.600 kg.

4.2 Hydrotechnische Tunnel

4.2.1 Allgemeines

Tunnel	Durchmesser [m]	Länge [m]	Querschnitt [m ²]	Gelöstes Gestein [*10 ³ m ³]
Koprinka (Stara Zagora)	3,8	12.000	19,3	232
Dospat –Teshel	3,1	16.000	14,0	224
Yadenitza	7,0	6.728	50,0	337
Batak	2,4	11.772	9,0	106
Devin	5,0	8.900	28,0	252

Tab. 25 Ausgebaute Tunnel in Bulgarien⁵⁷

⁵⁶ f_{pr} – Festigkeitsbeiwert von Protodyakonov. Die Gesteine sind in 16 Klassen verteilt, wo die höchste Klasse die größte Festigkeit hat.

4.2.2 Yadenitza



Abb. 51 Ausbau des Tunnels „Yadenitza“

Der Tunnel „Yadenitza“ ist ein Drucktunnel, in dem das Wasser in beiden Richtungen fließt und er dient als Verbingung zwischen dem untern Speicher „Chaira“ (s.ANHANG 1) und dem Speicher „Yadenitza“. Sein Zweck ist die Vergrößerung des Volumens des unteren Wasserspeichers und die Erhöhung der Nutzung der Maschinen im Turbinen- und in Pumpbetrieb. Der Tunnel hat einen inneren Durchmesser von 7,0 m und seine Gesamtlänge beträgt 6.728,10 m⁵⁸.

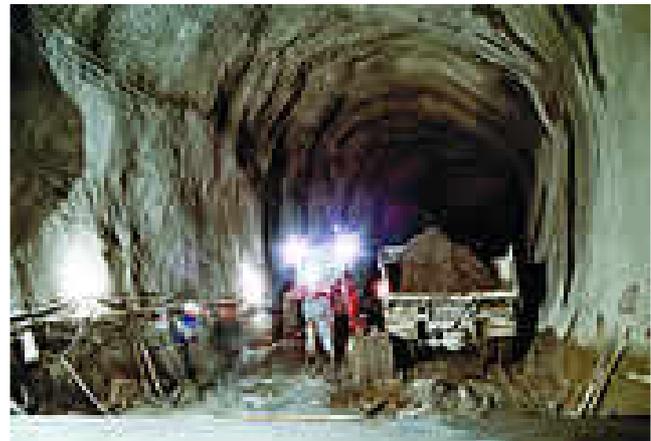
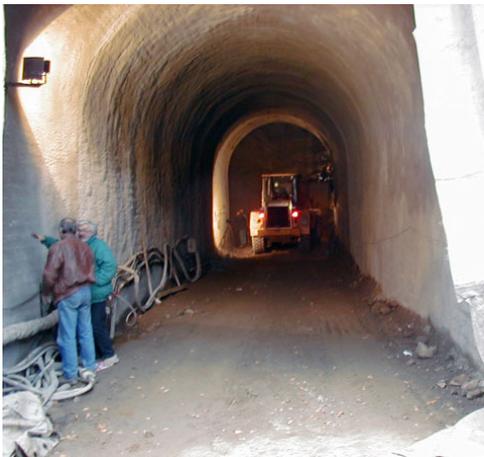


Abb. 52 Tunnel „Yadenitza“

Am Tunnel haben viele große Baufirmen wie „Stanilov“, „Adval“, „Stroyinject“ u. a. gearbeitet. Der Auftraggeber des Projekts ist die Nationale Elektrizitätsgesellschaft. Der Tunnel ist immer noch nicht völlig beendet.

⁵⁷ Vgl. **GEORGIEV**, Lyubomir: Tunnel, 3. Auflage, Sofia, Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie - Sofia, 2004, S.65

⁵⁸ http://stanilov.bg/projects_select.php?project_ID=33&projects_type_ID=1 – 27.07.2007



Abb. 53 Organisation der Baustelle vor dem Portal „Yadenitza“

4.3 Verkehrstunnel

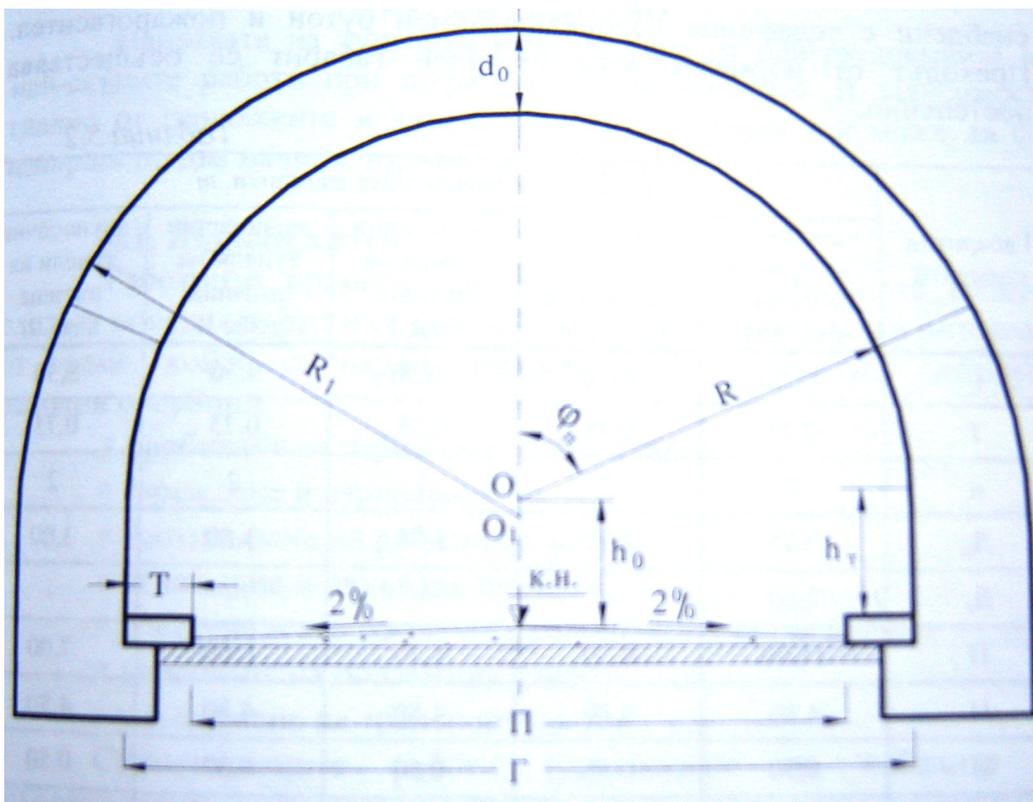


Abb. 54 Typischer Querschnitt für Verkehrstunnel

Fast alle Tunnel⁵⁹, die an Autobahnen in Bulgarien ausgebaut sind, haben folgenden Abmessungen: $\Gamma=12,50$ m, $R=6,39$ m, $h_0=1,35$ m, wo die Tunnelbreite mit „ Γ “ bezeichnet wird. (Siehe Abb. 54.)

⁵⁹ Alle Tunnel mit Ausnahme vom Tunnel Praveski hanove.

4.3.1 Praveshki Hanove

Der Tunnel „Praveshki hanove“ wurde mit sehr moderner Mechanisierung für seine Zeit gebaut. Die Eingänge wurden so geformt, dass die Sehanpassung leichter ist und die Belüftung besser ist. Die Beleuchtung ist italienisch und benötigt achtmal weniger Strom.

Der Bau des Tunnels wurde im Jahr 1984 angefangen, aber wegen nicht ausreichender Finanzierung wurden die Bauarbeiten erst 1998 fortgesetzt. Der Preis für den Tunnelbau betrug \$ 8.000/ lfm⁶⁰ und die Arbeiten wurden zur Gänze von bulgarischen Bauunternehmern wie „Hydrostroy -Tuneli“ und „Putstroy 92“ ausgeführt.

4.3.2 Tunnel im Bezirk „Lyulin“

Der Tunnel der U-Bahnstrecke „Obelya – Lyulin – Sveta Nedelya Platz“ wurde der in offener Bauweise ausgeführt. Der Tunnel in Lyulin wurde in zwei Niveaus gebaut. Über den U-Bahntunnel befinden sich die Spuren des Verkehrs und die Gleise der Straßenbahn. Auf dem Gelände liegt die Eisenbahnlinie Sofia – Pernik, die den Tunnel überquert.

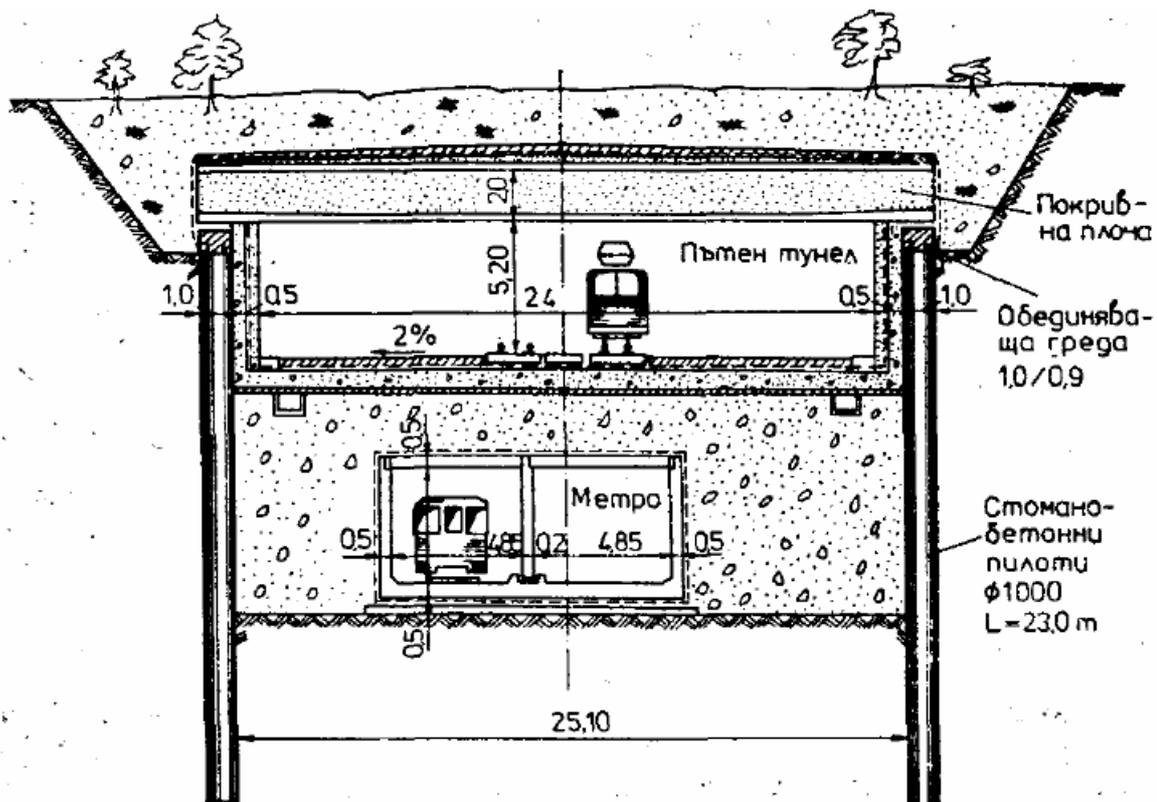


Abb. 55 ⁶¹Zweistöckiger Tunnel in Lyulin, Sofia.

⁶⁰ http://bvplus.declera.com/archive/old/archive49_99.htm, „Ivan Kostov hat die Strecke Pravetz – Yablanitza der Autobahn „Hemus“ eröffnet“, Botevgradski vesti, 06.12.1999

⁶¹ Vgl. IVANCHEV, I.: Unterirdischer Verkehrsbau – Notizen,*pdf, 2004,S. 2

4.3.3 Tunnel Gotze Delchev – Drama (Tunnel der Bären)



Abb. 56 Der Bauminister Valentin Zerovski macht den ersten Spatenstich des Tunnels Gotze Delchev - Drama⁶²

Die Projektnummer ist BG0008.02.01 und der Tunnel wurde in offener Bauweise (Cut & Cover Technique) ausgeführt. Er befindet sich an der Goce Delchev Grenze und sein Ziel ist Überquerung der Grenze für den Bärenschutz.

Die Länge des Barentunnels beträgt 550 m und 150 m davon befinden sich in bulgarischem Territorium. Die Erdüberdeckung über der Firste des Tunnels reicht bis zu 15,0 m. Der Bogenradius in der Mitte ist 9,50 m, aber in den Enden beträgt er 2,01 m. In den Strecken, wo die Überdeckung sehr hoch ist, wurde eine Sohlplatte vorgesehen.⁶³

Die Ausführung der 150 m Tunnel im bulgarischen Territorium wurde hauptsächlich vom „PHARE“ Internationalen Kooperation Programm 2000 finanziert. Die 400 m Strecke im griechischen Territorium wurde von INTERREG III⁶⁴ finanziert. Die Gesamtkosten betragen ca. 4.000.000 Euro, von denen 3.000.000 Euro vom „PHARE“ Internationalen Kooperation Programm übernommen wurden⁶⁵. Der Hauptvorteil des Projekts ist das Reduzieren des menschlichen Einflusses auf die Umwelt, besonders auf die Population der braunen Bären. Diese Strecke sichert den Zugang zum paneuropäischen Korridor No 4.

In Bezug auf die Vorbereitung der detaillierten Projekte für den Tunnel wurde vereinbart, dass jeder Staat seinen eigenen Teil entwerfen wird und das ganze Verfahren wird von einer gemeinsamen Expertenkommission kontrolliert. Für die Ausführung der Anlage wurden zwei

⁶² JEKOV, P.: Die Errichtung des „Tunnels von Bären“ hat angefangen, Duma, Sofia, 20.7.2003

⁶³ IVANCHEV, Iliya: Unterirdischer Verkehrsbau – Notizen,*pdf, Sofia, 2004, S.35

⁶⁴ Dies Programm ist vom Phare CBC Programm für 1998 finanziert.

⁶⁵ BG0008.02.01: www.evropa.bg/bg/del/eu-programmes/additional-information/ - 6.11.2006

einzelne VergabeprozEDUREN für jede Strecke durchgeführt. Für die beste Koordination zwischen den beiden Staaten hatte die oben erwähnte Kommission sowohl Kontroll- als auch Koordinierungsfunktionen. Die Überwachung der Bauarbeiten wurde von „**Putinvest engineering**“ durchgeführt.

Der Tunnel befindet sich in einem Gebiet mit sehr stark klüftigen Felsen und deswegen wurden die Böschungen der Ausgrabung mit Felsankern befestigt. Die Konstruktion besteht aus Sektionen mit einer Länge von 12,0 m. Die Schalungen der Gründung, Wände und Gewölbe wurden speziell für den Fall vorbereitet. Nach der Betonierung der Fundamente in einer Sektion wurde die Schalung in die nächste Sektion geschoben. Die Ausführung der Ulmen wurde mindestens mit einer Sektion vor der Ausführung der Ulmen ausgeführt.

Wenn die Biegemomente relativ bedeutsam sind, ist eine Bogenkonstruktion mehr geeignet als eine Rahmenkonstruktion. Bei den Bogenkonstruktionen überwiegen die Normalkräfte.

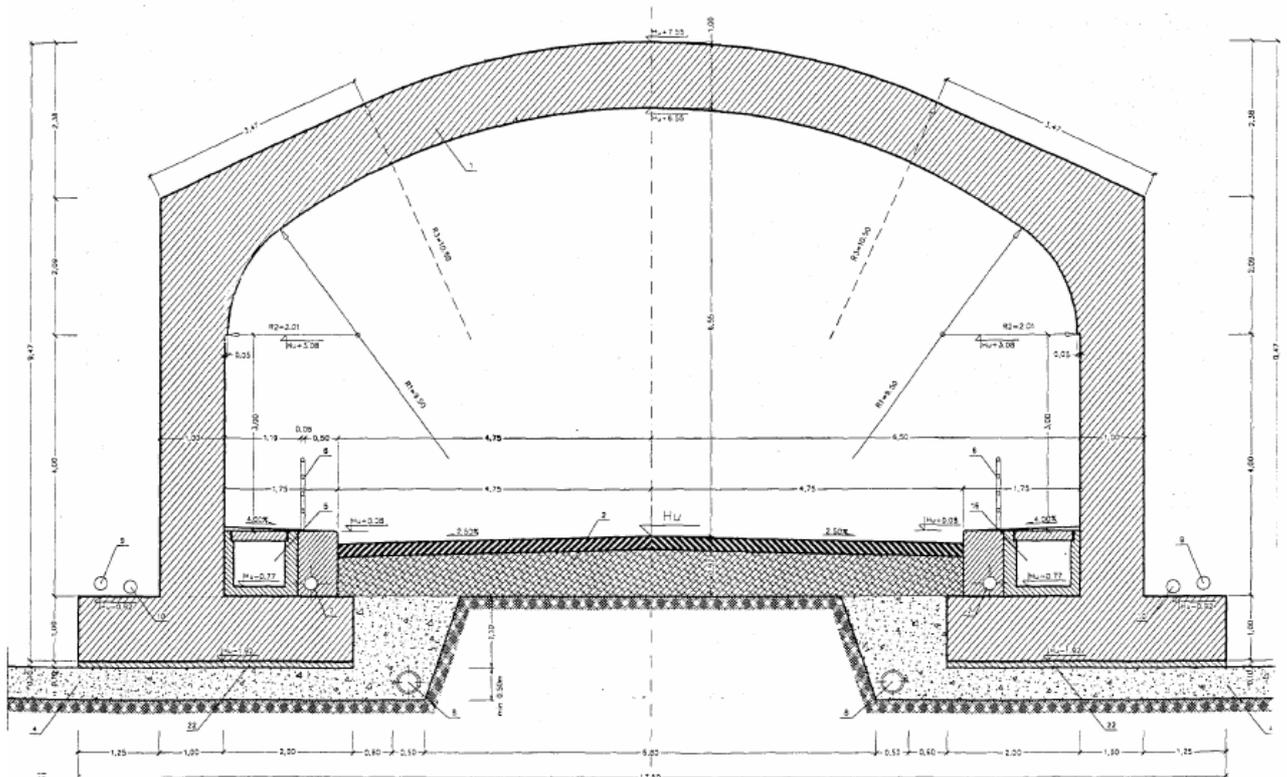


Abb. 57 Querschnitt des Tunnels Gotze Delchev – Drama, Konstruktion ohne Sohlplatte⁶⁶

⁶⁶ IVANCHEV, Iliya: Unterirdischer Verkehrsbau – Notizen,*pdf, Sofia, 2004, S.36

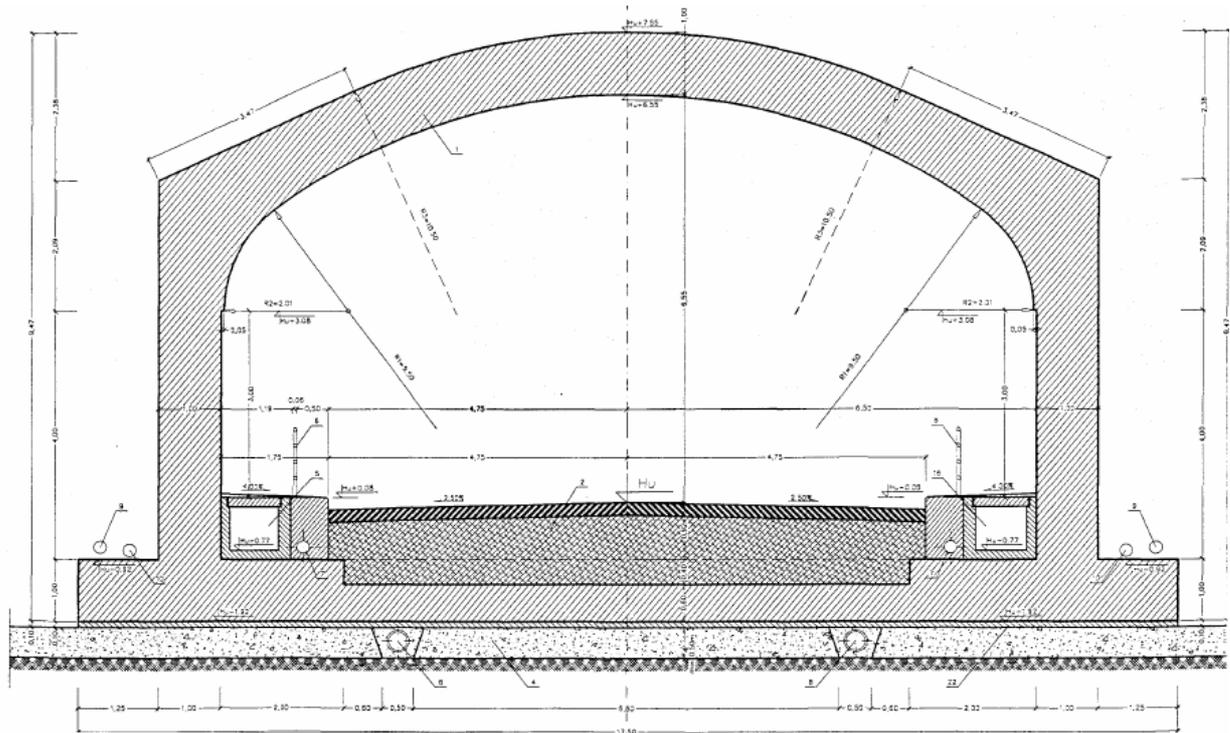


Abb. 58 Querschnitt des Tunnels Gotze Delchev – Drama, Konstruktion mit einer Sohlplatte⁶⁷

4.4 Kaverne - Pumpwasserkraftwerk „Chaira“⁶⁸

Auftraggeber:	Nationale Elektrizitätsgesellschaft, „Montaji“ AG
Untersuchung und Projektierung:	„Energoproekt“
Auftragnehmer:	nur bulgarische Unternehmer II. Etappe – Hauptunternehmer – „Montaji“ AG, mit Subunternehmer „Energomontaj-WKW“ AG, „Hydrostroj-Sestrimo“ GmbH, „Hydrostroj-Riltzi“ AG, „Start Injinering“ AG
Fremdüberwachung:	„Harza“ USA

Tab. 26 Organisation für den Bau des Pumpwasserkraftwerks „Chaira“

⁶⁷ IVANCHEV, Iliya: Unterirdischer Verkehrsbau – Notizen,*pdf, Sofia, 2004, S.37

⁶⁸ www.starteng.com, PWKW „Chaira“, 15.07.2007



Abb. 59 Eingang zu der Kaverne des Pumpwasserkraftwerks „Chaira“

Mit seinen Parametern ist das Wasserkraftwerk „Chaira“ das größte bulgarische Wasserkraftwerk. Das Bauen des Wasserkraftwerks wurde im Jahr 1980 angefangen, aber wegen Schwierigkeiten mit der Finanzierung wurde die erste Etappe erst 1995 beendet. Während dieser Etappe wurden der unterirdische Maschinensaal, die beiden Drucktunnel mit einer Gesamtlänge von 4.300 m, die unterirdische Druckrohrleitung No 1 mit einer Länge von 1.800 m, die Staumauer des Unterspeichers gebaut und die Hydroaggregate No 1 und No 2 wurden in Betrieb gesetzt. Die zweite Etappe dauerte von 1996 bis 1999. 74 Prozent der Finanzierung wurden von der Weltbank durch die Kreditvereinbarung für das Projekt „Energie 1“ von 1993 gesichert. Der Rest der Finanzierung sind eigene Geldmittel der Nationalen Elektrizitätsgesellschaft. Während der zweiten Etappe wurden die folgenden Arbeiten ausgeführt: die unterirdische Druckrohrleitung No 2, das Wasserschloss No 2, Montage des Haupttransformators No 2 und der Hydroaggregate No 3 und No 4.

4.5 U-Bahn



Abb. 60 Hauptschema des U-Bahnnetzes in Sofia

Für eine Sicherung des Ausbaus der ersten U-Bahnstrecke wurde es nach einer Reihe von Regierungsbeschlüssen angenommen, dass die Finanzierung vom staatlichen Budget sein wird. Es wurde die Generalrechnung des Objekts angenommen und als eine vorgesehene Abgabefrist wurde 1990 bestimmt. Leider wurden die notwendigen Kosten nicht gesichert und 1991-1992 wurde der Abgabetermin mit einem Beschluss des Ministerrates geändert. Als Fristablauf für die erste Durchquerung wurde das Jahr 1995 bezeichnet. Obwohl die U-Bahn nach einem Spezialbeschluss des Ministerrats in die „Programme für wirtschaftliche Unterstützung“ als Prioritätsobjekt eingeschrieben wurde, waren die Einkommen völlig unzureichend. Die Hauptgemeinde sicherte die Grundfinanzierung. Aufgrund der Finanzierungsschwierigkeiten dauert der Ausbau länger.⁶⁹

Die Bauarbeiten wurden wegen der schlechten Bedingungen im Wirtschaftsraum nach dem Ende des Sozialismus in Bulgarien in den 90er Jahren beendet und das Projekt wurde eingefroren. Die wirtschaftlichen Berechnungen haben gezeigt, dass die Kosten für das

⁶⁹ <http://metropolitan.hit.bg/html/belejki.htm> 04.05.2007

Einfrieren des Ausbaus relativ hoch sind. Später wurden die Bauarbeiten erneut angefangen und zurzeit ist die Strecke von Obelya bis zum Zentrum in Betrieb. Der Abstand zwischen den Schienen ist 1.435 mm. Nach den Berechnungen der Gemeinde Sofia ist der Fortschritt im Jahr durchschnittlich 100-150 m.

Um eine richtige Entwässerung des U - Bahntunnels zu erreichen, ist die minimale Längsneigung 3 ‰ für die Tunnel und die Stationen. Falls diese Bedingung nicht erfüllt werden kann, werden die Entwässerungsrinnen mit einer minimalen Neigung von 2 ‰ errichtet.

Bereich der Station	Einheit	Minimales Ausmaß
Breite des Inselbahnsteigs	m	10,0
Breite des Seitenbahnsteigs	m	3,0
Abstand vom Ende des Bahnsteigs bis zu den Stützen	m	1,6
Höhe der Bahnsteigdecke	m	3,5÷4,0
Höhe des Unterführungstunnels für Fußgänger	m	2,5
Breite der Unterführungsbereich	m	2,5

Tab. 27 Grundaussmaße der U-Bahnstationen

Am 28.01.1998 wurde die erste U-Bahnstrecke („Slivnitza“Blvd – „Konstantin Velichkov“) der ersten Durchquerung in Betrieb gesetzt. Sie hat eine Länge von 6,5 km mit fünf Station. Die U-Bahn Sofia war die 105. in der Welt, die in Betrieb gesetzt wurde.



Abb. 61 Aushubarbeiten an der Station „V. Levski“ Stadion

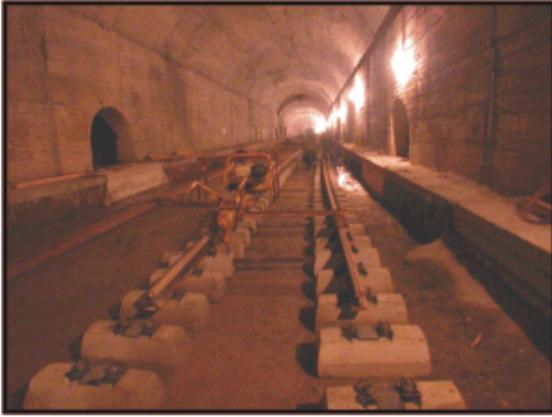


Abb. 62 Auflegen der Schienen⁷⁰



Abb. 63 Gesamtansicht der Baustelle (Station "Interpred")

Die weiteren Stationen wurden wie folgt in Betrieb gesetzt:

- Am 17.09.1999 wurde die Station „Opulchenska“ in Betrieb gesetzt.
- Am 30.10.2000 wurde die Station „Serdika“ („Sv. Nedelya“ Platz) in Betrieb gesetzt.

Die Gesamtlänge der Trasse beträgt 8,1 km und hat sieben Stationen.

- Am 20.04.2003 wurde die Erweiterung bis zum Wohnviertel Obelya fertig gestellt. Die neue Strecke ist 1,8 km lang.
- 2004 begann die Vorbereitung und 2005 begann der Bau der Erweiterung der ersten U-Bahndurchquerung (vom Zentrum bis zum „Interpred“). Die Strecke ist 4,2 km lang und hat drei neue U-Bahnstationen.



Abb. 64 Herstellung des U-Bahntunnels in offener Bauweise

⁷⁰ http://www.metropolitan.bg/index_bg.htm - 06.05.2007

a) Finanzierung der U-Bahn Sofia⁷¹:

Die gesamten Finanzberechnungen zeigen, dass die U-Bahnstrecke von „Lyulin“ bis zum „Sv.Nedelya Platz“ über € 150 Millionen kostet. Deswegen hat der damalige Bürgermeister Stefan Sofianski auf einem Treffen mit dem Vizepremierminister Evgenii Bakardjiev beharrt, dass das Bauen der U-Bahn im Investitionsprogramm der Regierung für das Jahr 2001 teilnimmt.

In Westeuropa kostet ein Kilometer der U-Bahntrasse zwischen € 50 - 80 Millionen. Der durchschnittliche Preis für Osteuropa ist im Rahmen von € 40 – 50 Millionen. In Bulgarien kostet ein Kilometer ca. € 27 Millionen wegen der billigen Arbeitskraft und der langen Dauer. Nach der Expertenanalyse werden die jährlichen Reparaturkosten der U-Bahn ca. BGN 3,5 Milliarden (ca. € 1,75 Milliarden) betragen.

Die Regierung hat das Projekt mit der im Februar 2002 unterschriebenen Garantievereinbarung zwischen Bulgarien und Japan nach dem Vertrag für eine Anleihe für Erweiterung der U-Bahn unterstützt. Der Vertrag wurde von der japanischen Bank für internationale Zusammenarbeit und Hauptstadtgemeinde vereinbart. Der Kredit beträgt \$104.034.210 und muss in 30 Jahren mit einer zehnjährigen Gratisperiode zurückgezahlt werden. Mit diesen Geldmitteln wird die schwierigste Strecke der U – Bahn ausgebaut, die sich im Sofia Zentrum vom „Sveta Nedelya Platz“ unter „Tzar Osoboditel“ Blvd. bis „Dragan Tzankov“ Blvd. befindet.⁷²

Der Ausbau der U - Bahn Sofia wurde dank der japanischen Anleihe am 27.04.2005 fortgesetzt. Die japanische Baufirma „**Taysey**“ ist die Hauptbaufirma. Das Bauunternehmen hat die 2003 – 2004 durchgeführte internationale Ausschreibung gewonnen und hat einen Vertrag für den Ausbau der U - Bahnstrecke der Linie I von Serdika bis zum Tunnel unter dem „Dragan Tzankov“ Boulevard, inkl. des Ausbaus der U – Bahnstationen vor der Hauptuniversität Sofia und am Stadion „Junak“. Die Länge der ausgebauten unterirdischen Strecke ist 2.350 m, aber die Gesamtlänge ist 3.817 m, die zwei Tunnel und zwei Stationen umfasst. Die Tunnel befinden sich in einer Tiefe zwischen 8,0 und 18,0 m und werden in geschlossener Bauweise ausgeführt. Die Station am Stadion „Junak“ wurde tiefer vorgesehen, wegen der vorgesehenen Errichtung einer dreistöckigen Garage.

Am 20.09.2005 wurde der Bau der U – Bahnstrecke von Interpred bis zum Mladost angefangen. Die Finanzierung der Trasse ist aber nicht von der japanischen Anleihe. Nach dem Entwurf soll die U – Bahn oberirdisch sein und die Züge werden durch einen geschlossenen Tunnel fahren. Die Gesamtlänge dieser Strecke ist 2.900 m und sie hat drei Stationen. Wenn diese Strecke in Betrieb gesetzt wird, wird die Linie I eine Länge von

⁷¹ **KARAMIHOVA**, Mila, Die sofötsche U-Bahn kann in das Investitionsprogramm der Regierung eintreten, Imoti, 11.07.1998, http://www.digsys.bg/bgnews/show_story.html,

⁷² <http://www.government.bg/cgi-bin/e-cms/vis/>; 22.11.2006

17.500 m und 14 Stationen haben. Es wird erwartet, dass die U-Bahn bis 250.000 Fahrgäste pro Tag befördern wird.

Die Regierung sollte zusätzlich BGN 20 Millionen⁷³ für einen weiteren Ausbau der U – Bahn bis Ende des Jahres 2006 sichern. BGN 15 Millionen davon wurden von den staatlichen Investitionsanleihen nach dem Projekt „Erleichterung des Handels und des Verkehrs in Südosteuropa“ gesichert. Der Rest wurde von der Mehrwertsteuerbefreiung gesichert.

b) Organisation

Seit 09.2002 hat der japanische Berater mit der Arbeit am Projekt für die Erweiterung der U-Bahn angefangen.

Am 03.03.2003 hat die Gemeinde Sofia eine internationale Vergabe für Vorselektion der Baufirmen, welche an der U-Bahnerweiterung arbeiten könnten, ausgeschrieben.

Die Projektierung und der Ausbau der ersten Durchquerung wurden ausschließlich von bulgarischen Firmen ausgeführt. Die Ausrüstung der Grundsysteme für die Steuerung ist hauptsächlich von führenden Weltfirmen wie Siemens, Ericsson, Elin, Alcatel, Otis etc. ausgeführt.

c) Tunnelkonstruktion der Strecken zwischen den Stationen

Die Tunnel zwischen den Stationen der ersten Durchquerung haben einen rechteckigen Querschnitt, der von der offenen Bauweise bestimmt wurde. Die Tunnel sind hauptsächlich zweigleisig mit einer Trennwand dazwischen und teilweise sind eingleisige Tunnel in den Übergangsstrecken.

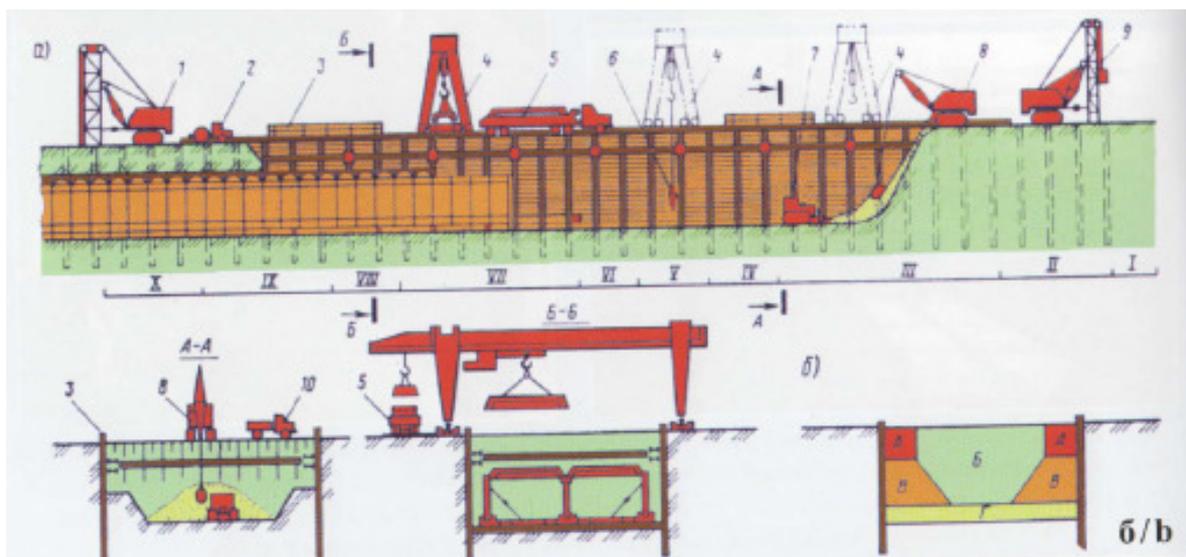
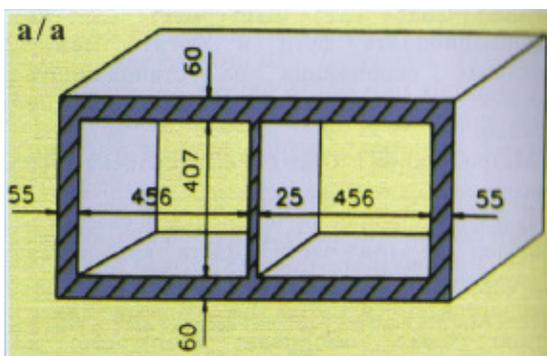


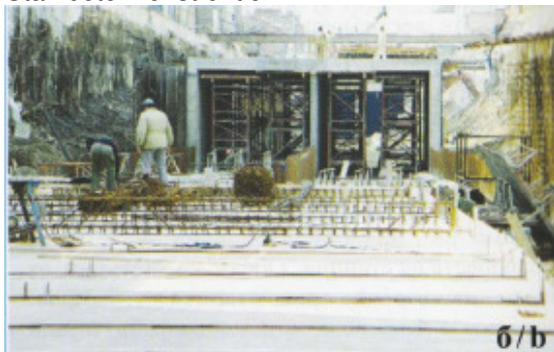
Abb. 65 Ausbaufahren von zweigleisigen Tunnel in gesicherten Baugruben

⁷³ <http://www.government.bg/cgi-bin/e-cms/vis/> ,22.11.2006

Die eingleisigen Tunnel werden als Rahmenkonstruktionen an Ort und Stelle ausgeführt. Die Wände und Platten des Stahlbetonrahmens sind steif zu einander verbunden. An der inneren Seite des Rahmens sind die Ecken gekrümmt, um die Konzentration der Spannungen in den Gelenken zu verringern. Die Dachkonstruktion wird mit vorgefertigten Platten mit rechteckigem Querschnitt durchgeführt und die Wände und der Boden sind monolithisch. Die zweigleisigen Tunnel sind als ein Rahmen mit zwei Spannweiten gelöst. Die Trennwand hat eine Stärke von 25 cm und die äußeren Wände sind mit einer veränderlichen Stärke in Abhängigkeit von der Tiefe und den Belastungen ausgeführt. Die Tunnelbreite ist 10,1-10,3 m.



Stahlbetonkonstruktion



Strecke zwischen den Stationen „Wardar“ und „Konstantin Velichkov“

Strecke zwischen den Stationen „Wardar„ und „Konstantin Velichkov“

Abb. 66 An Ort und Stelle ausgeführte Stahlbetonkonstruktion des zweigleisigen U-Bahntunnels in Sofia

Am Niveau der Dachkonstruktionen sind erdbebensichere Längsurte vorgesehen, die eine höhere Steifigkeit der Rahmen erreichen. Die Gurte dienen auch als eine Längsverbinding zwischen den Fertigelementen. In den Wänden und in der Dachplatte wird eine Bewehrung vorläufig einbetoniert. Sie bildet einen Träger zusammen mit einer zusätzlichen Bewehrung.



Konstruktion des zweigleisigen U-Bahntunnels zw. den Stationen Slivnitza und Obelya



Konstruktion des zweigleisigen U-Bahntunnels zw. den Stationen Slivnitza und Obelya



Der zweigleisige Tunnel unter der Eisenbahnlinie Sofia – Bankya

Abb. 67 Ausführung der zweigleisigen Stahlbetonkonstruktion

Die Errichtung der U - Bahntrasse im Zentrum (von „Sveta Nedelya Platz“ bis zum „Dragan Tzankov“ Blvd.) wird hauptsächlich in geschlossener Bauweise durchgeführt. Das bestimmt die Konstruktionen der Tunnel von dieser Strecke. Die Tunnel sind eingleisige Röhren, die aus zusammengebauten Ringen bestehen. Die Bestandteile der Ringe sind bogenförmige Segmente (Tübbinge). Der äußere Tunneldurchmesser ist bis 6,0 m und die Länge der einzelnen Ringe ist 100 cm. Jeder Ring besteht aus sechs Normalsteinen und einem Schlussstein mit einer Stärke von 30 cm.

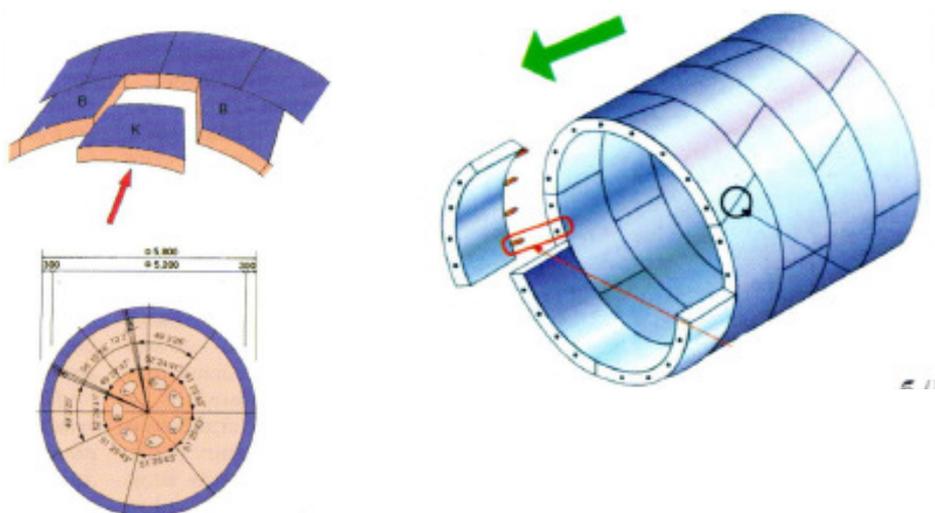


Abb. 68 Konstruktion des U-Bahntunnels, der in geschlossener Bauweise ausgebaut ist

Die Stahlbetontübbinge sind bogenförmige glatte Elemente aus Beton mit hoher Festigkeit (Klasse B 40) und sehr hoher Genauigkeit der Ausführung. Die Ringe sind mittels

Stahlbolzen verbunden. Am Tunnelfirst sind spezielle keilförmige Elemente (Schlussstein) vorgesehen, die das Schließen des Rings bei dem Zusammenbauen sichern.

Die wasserundurchlässige Konstruktion wird mittels des wasserdichten Betons W 10 und des Einpressens von Zement-Sand-Mörtel hinter den Tübbing erreicht. Die Abdichtung der Fugen ist durch Polyurethanrahmen gesichert, die in speziell vorgesehenen Kanälen um die Tübbinge gemacht sind. Das nasse Polyurethan schwellt, der Druck in den Kanälen steigt und die Dichtungsfähigkeit des Stoffs in den Fugen erhöht sich.

d) Methoden zum Bauen der U-Bahn⁷⁴

❖ In offener Bauweise (cut and cover method)

Die ganze Trasse des erstens Radius hat eine relativ kleine Tiefe und das bestimmt die Anwendung der wirtschaftlicheren offenen Bauweise. Die Bauweise wird in zwei Varianten entlang der Strecke angewendet.

- Wenn keine existierenden wichtigen massiven Gebäude und Anlagen in der Nähe von der U-Bahntrasse vorhanden sind, wird das Bauen in ungesicherten Baugruben mit Böschungen durchgeführt. Diese Bauweise wird an der Strecke von Obelya bis zum Zapaden Park angewandt. Das Bauen hat folgenden technologischen Ablauf:

- Aufräumen des Terrains
- Beseitigen oder Versetzen der vorhandenen Einrichtungen
- Ausgraben der Baugrube mit Böschungen 1:1, Sohlbreite ist gleich die Konstruktionsbreite vergrößert um einen Meter jeder Seite (Arbeitsraum)
- In der Baugrubesohle wird ein vorläufiges Entwässerungssystem ausgeführt
- Die Sohle wird geebnet und wird auch gut verdichtet und drauf wird Sauberkeitsbeton mit einer Stärke von 10,0 cm eingebracht.
- Paar Schichten Abdichtung drauf
- Die Wasserabdichtung wird geschützt und die Sohle wird betoniert
- Mittels Betonschalung werden die Wände und die Decke fertig gestellt. Danach werden die Wände durch Geotextil isoliert. Der Boden und die Decke werden mittels bewehrten Betons B10 mit einer Stärke von 10 cm geschützt.
- Die gebauten Konstruktionen werden mit Schotter in Schichten von 30 bis 50 cm ausgefüllt. Jede Schicht wird bis zum Erreichen der Projektdichte verdichtet.

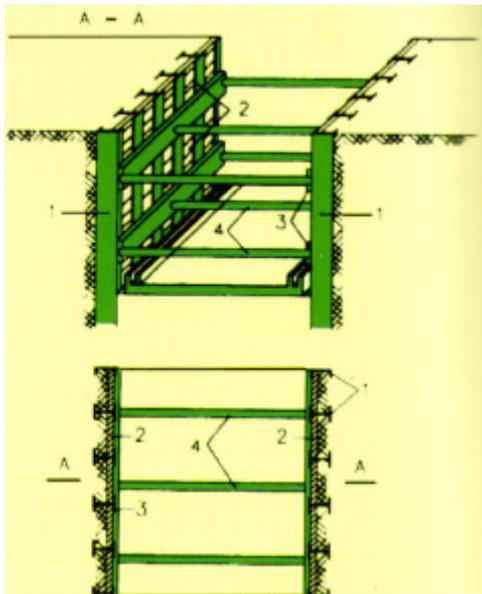
⁷⁴ **BRATOEV**, Styan, Sofötische U – Bahn, 1. Anlage – Sofia, Nota bene! Communications, 2004



Abb. 69 Ausbau des U-Bahntunnels in Baugrube mit Böschungen

• Falls die Trasse sich in der Nähe von Wohnblöcken und massiven öffentlichen Gebäuden befindet, wird die Baugrube mit einem senkrechten Verbau hergestellt. In dieser Bauweise ist die Strecke der ersten U-Bahndurchquerung von „Wardar“ Straße bis zum „Sveta Nedelya Platz“ ausgeführt, sowie die Stationen „Kliment Ohridski“, „V.Levski Stadion“ und „Interpred“. Für die U-Bahn in Sofia werden verschiedene **Sicherungsmethoden** angewandt:

- Bohlträgerverbau – am Station „Wardar“
- Umschließung mit massiven Stahlbetonpfählen „Benoto“ ($\phi 1000$) an Ort und Stelle ausgeführt – die Strecke zwischen „Zapaden park“ und „Wardar“
- Sicherung mit Schlitzwänden – wird an der Strecke zwischen den Stationen „Wardar“ und „Serdika“ und an vielen Stationen angewandt.



Die erste gesicherte Baugrube in Sofia ist in der s. g. „Berliner Mauer“ Bauweise ausgeführt.

Abb. 70 Sicherung „Berliner Mauer“

Die Stahlpfähle mit Doppel T – Profil No 55 werden entlang der Baugrube in einem Abstand von 1,5 m mit einem Dieselhammer C 995 vor Beginn der Aushubarbeiten eingerammt. Die Einrammtiefe ist bis $0,4 \cdot H$ unter der Baugrubesohle, wobei H die Tiefe der Baugrube ist. Die Gesamtlänge der eingerammten Profile beträgt 13.737 m, die mit einer Länge von 10,0 m geliefert wurden. Die durchschnittliche Tiefe der Baugrube ist 9,0 m unter dem Terrain. Bei dieser Höhe wurde die Tragfähigkeit mittels zwei Ankerreihen gesichert. Zu diesem Zweck sind an den Pfählen zwei Reihen von Stahllängsgurten befestigt. Die Aussteifungen sind Stahlröhren mit einem Durchmesser von 630 mm und einer Wandstärke von 8 mm.

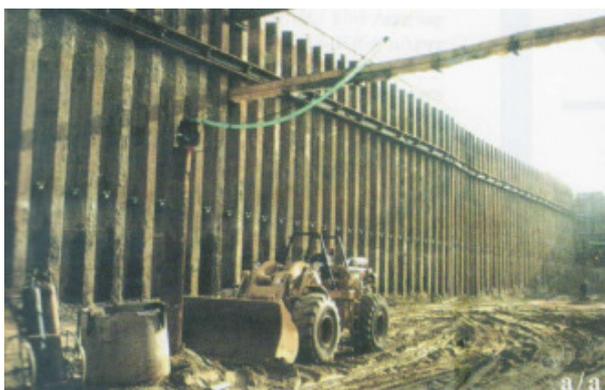


Abb. 71 Sicherung mit Stahlpfähle

Bei dem zweiten Verfahren wird eine Umschließung der Baugrube mittels bewehrter Ortbetonpfähle ($\phi 1000$) gemacht. Der Achsenabstand der Pfähle ist 1,5 m. Die Pfähle werden mit einem gleichzeitig nach oben gezogenen Rohr betoniert. Aufgrund der großen Tiefe der Baugrube sind Längsgurte entlang der Wände befestigt, die mit Aussteifungen ($\phi 800/10$) gesichert werden.



Abb. 72 Umschließung mit Ortbetonpfählen

Das dritte Verfahren hat die größte Anwendung. Die Vorbereitungsarbeiten sind mit der Herstellung von Leitwänden entlang der zukünftigen Wände verbunden. Die Sicherung selbst besteht aus Primär- und Sekundärlamellen, die mit Bentonitsuspension ausgefüllt sind. Die Suspension sichert die Wände gegen Abbau. In den Lamellen werden Stahlkörbe mit einer Länge von 3,0 m und einer Breite von 0,8 m gestellt, die mittels eines allmählich senkrecht hochgezogenen Rohrs betoniert werden. Die verdrängte Bentonitsuspension wird gepumpt und danach bearbeitet, um für weitere Nutzung geeignet zu sein. Die verwendeten Schlitzmaschinen sind von den Firmen „Casagrande“, „Benati“ und „Bauer“. Die Tiefe der Schlitzwände ist bis $0,4 \cdot H$ unter der Baugrubesohle, wobei H die Tiefe der Baugrube ist. Bei Baugruben bis 8,0 m Tiefe funktionieren die Schlitzwände als Kragbalken, die eine Tiefe bis (4,0-5,0) m unter der Baugrubesohle erreichen. Bei tieferen Baugruben sind die Wände in einem oder mehreren Niveaus mittels Stahl- oder Stahlbetonaussteifungen gesichert. Die Aussteifungen sind Stahlrohre mit einem Durchmesser von 800 mm und einer Wandstärke von 10 mm, die durch Längsurte gestützt werden. In einigen Strecken sind lange Anker mit Zugfestigkeit von 30,0 t bis 60,0 t anstatt Aussteifungen angeordnet.



Abb. 73 Sicherung der Baugrube mittels Schlitzwand - Etappe

❖ TVM Verfahren/ Erddruckschild

Die U - Bahnstrecke zwischen dem „Sveta Nedelya“ Platz und dem „Dragan Tzankov“ Blvd. konnte nicht in offener Bauweise, hauptsächlich wegen der historischen Denkmale im Stadtzentrum, ausgeführt werden. In diesem Teil der Hauptstadt befinden sich staatliche Hauptgebäude, Botschaften, Banken etc. und manche davon sind Kulturdenkmale. Mit einem speziellen Beschluss der Hauptgemeinde wurde ein unterirdisches Tunnelbauverfahren bewilligt. Für die Finanzierung dieser Strecke hat die Gemeinde Sofia eine Vereinbarung für Zusammenarbeit mit der japanischen Bank im Februar 2002 erreicht.

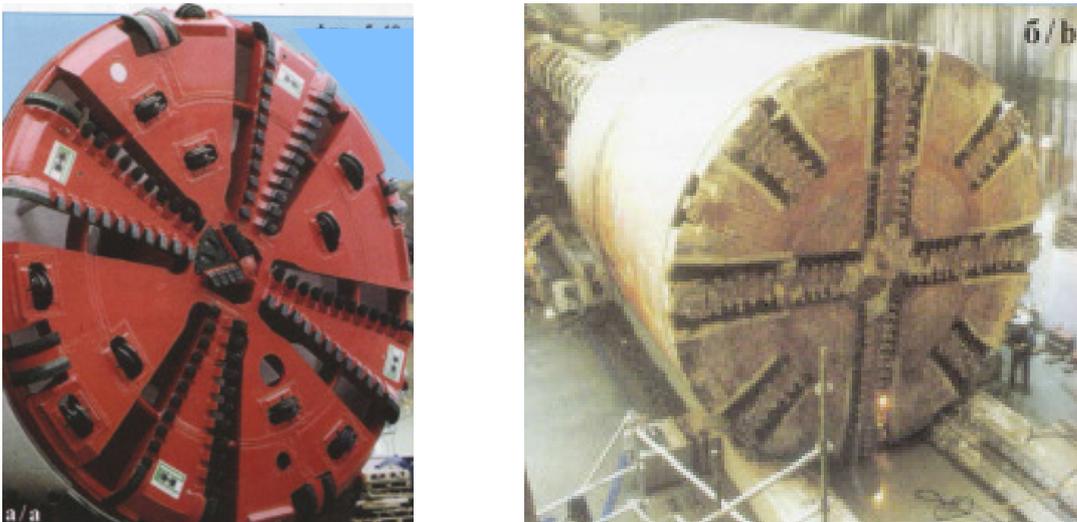


Abb. 74 Köpfe vom Erddruckschild

Der äußere Schilddurchmesser beträgt 6,0 m. Im hinteren Teil des Schilds befindet sich die Einrichtung für die Montage der Tübbinge. Hinter dem Schild ist die Ausrüstung zum Laden in Förderwagen und Transportieren des gelösten Bodens. In diesem Teil befinden sich auch die Einrichtungen für das Einpressen des Mörtels hinter dem Tunnelausbau. Das Einpressen dient zum Verringern der Deformationen um den Tunnel und zur Begrenzung des Grundwasserzuflusses.

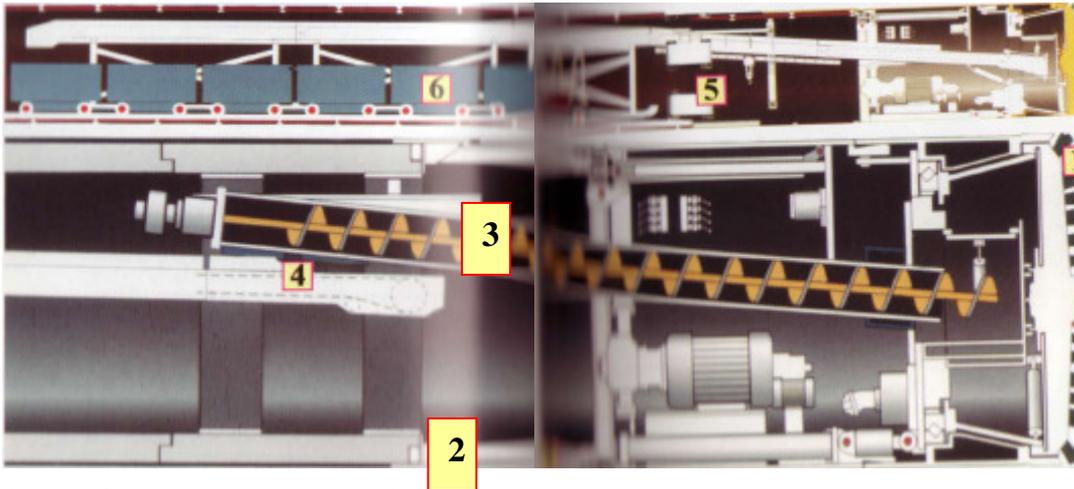


Abb. 75 Schema des Erddruckschilds

1- Bohrkopf; 2- Schildlänge; 3- Schnecke; 4- Förderband; 5- Tübbingzufuhr; 6-Förderwagen;

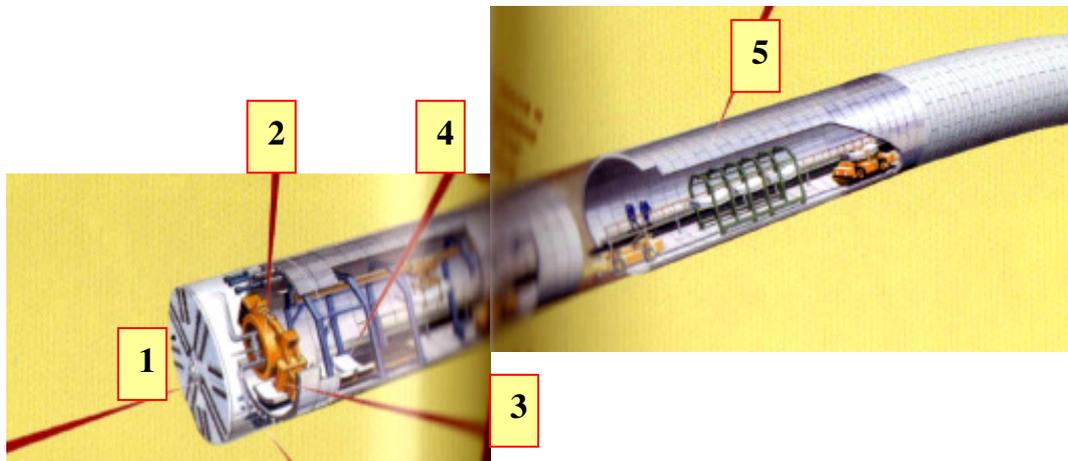


Abb. 76 Arbeitsweise beim Tunnelausbau mit einem Erddruckschild

1- Bohrkopf; 2- Antrieb; 3- Einrichtung für Zusammenbau der Tübbinge in Ringe; 4- Förderband; 5- Fertiger Tunnel;



Abb. 77 Startkammer für die TVM und Lager für die Tübbinge

Strecke	Gesamtlänge der Strecke [m]	Gesamtlänge der Tunnel an der Strecke [m]
Von Station 10 (Interpred) bis 13(Saharov Blvd.)	2.380	829
Von Station 14 (Saharov Blvd.) bis 17(Businesspark)	3.837	2.499
Von Station 18 (Saharov Blvd.) bis 13 (Flughafen)	7.177	-

Tab. 28 Tunnellängen der Erweiterungsstrecke

4.6 Struktur und Organisation des Bauwesens nach 1990

Das Tunnelbauwesen hat spezifische Besonderheiten, wie begrenzte Arbeitsflächen, künstliche Beleuchtung, schwierige Klimabedingungen, große Vielfalt der geologischen und hydrogeologischen Bedingungen, die die Betriebsorganisation bestimmen, d.h. eine vertiefte Voruntersuchung der Organisation der Bauarbeiten ist notwendig. Die Bauarbeiten im Tunnelbau haben enge Zusammenhänge und jede Unterbrechung eines Arbeitsvorgangs führt unbedingt zu einer Unordnung der folgenden Arbeiten.

Eine der Grundaufgaben der Bauorganisation ist das Beenden der Bauarbeiten in einer bestimmten Frist mit minimalen Baukosten. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Lösung dieser Aufgabe sehr mühsam ist. Um die beste Lösung zu finden, sollten die im Bauvorgang teilnehmenden Fachleute reiche Erfahrung haben. Wenn der Tunnel die Betriebsetzung der ganzen Anlage bestimmt, muss man solche Technologie und Organisation aussuchen, die seinen Ausbau beschleunigen. Aber wenn der Tunnel keine maßgebende Anlage für die Baufristen ist, ist der Zweck die Ausführung des Projekts mit minimalen Kosten.

Aufgrund der geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen, des im Voraus vorbereiteten Entwurfs und der gesammelten notwendigen Daten bezüglich des Vorhandenseins von Baustoffen, Straßen, Energie- und Wasserquellen u. a. im Gebiet des Projekts wird ein Entwurf über die Betriebsorganisation erstellt.

Vor Beginn der Grundbauarbeiten sollen manche Hilfsarbeiten gemacht werden:

- Ausbau von vorläufigen Straßen
- Sicherung der Energieversorgung
- Wasserversorgung
- Sicherung der geeigneten Materialgewinnung
- Organisation der Baustelle

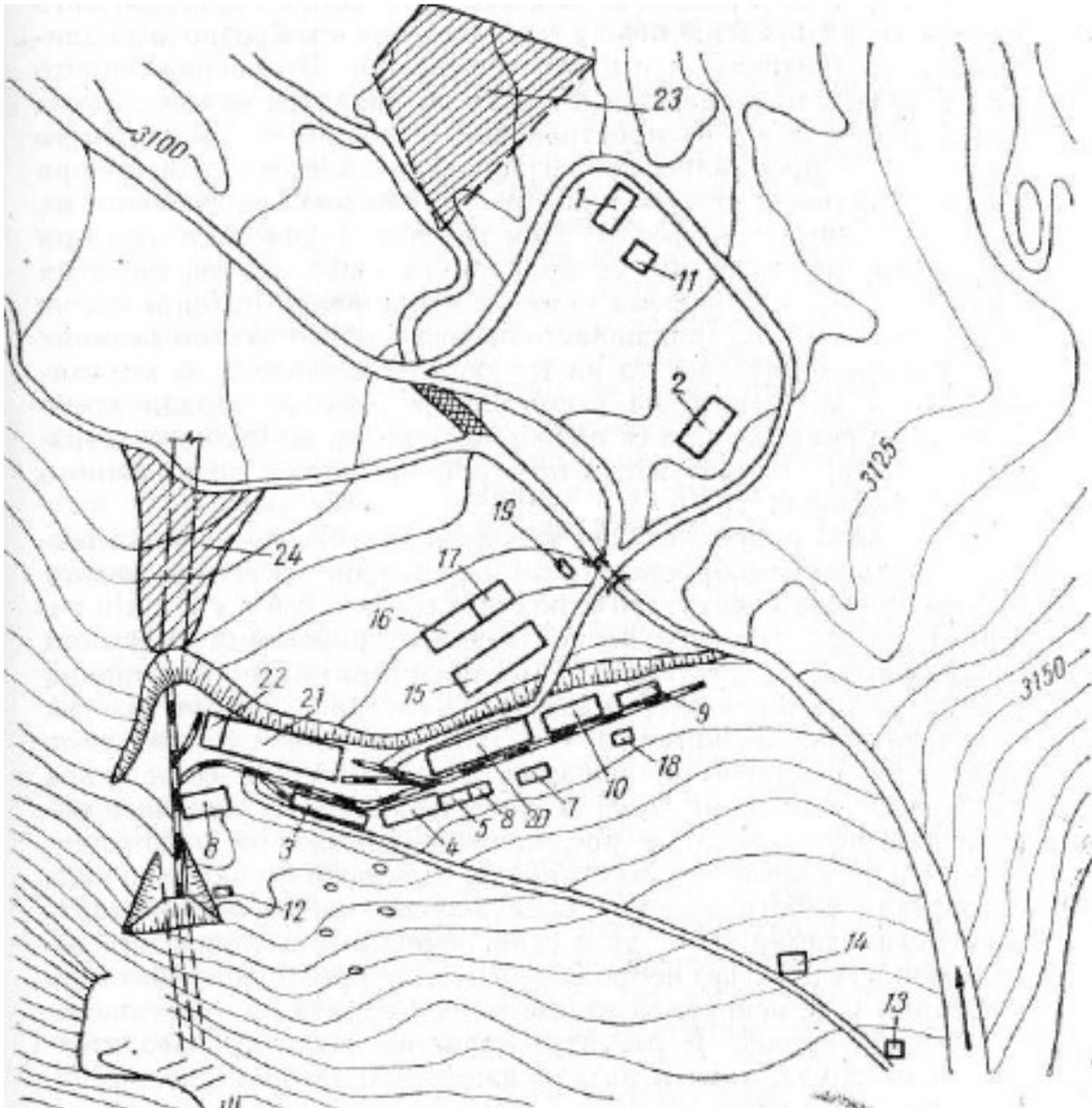


Abb. 78 Organisation der Baustelle eines Tunnels

7-Lager für Ersatzteile der Maschinen; 13 – Lager für Sprengstoffe; 21 – Lager für Zement u. Zusatzstoffe; 10,2,8,20 – andere Lager; 4,5,6,9 – Werkstätten; 23 – Gebäude für die Mitarbeiter; 22 – Betonanlage; 15 – Administrative Gebäuden;⁷⁵

⁷⁵ GEORGIEV, L. Unterirdische hydrotechnische Anlagen, Technika, 1974, S.866

Üblicherweise wird der Bau eines längeren Tunnels gleichzeitig von beiden Portalen durchgeführt, deswegen sind zwei Baustelleneinrichtungen notwendig. Bei kurzen Tunneln dürfen die Bauarbeiten nur von einer Seite durchgeführt werden.

Der Tunnelbau wird nach bestimmter Ordnung der Bauarbeiten, üblicherweise ohne Unterbrechungen ausgeführt. Die Tunnel werden am häufigsten in drei achtstündigen Schichten durchgeführt.

Besonders wichtig für die Organisation der Tunnelbauarbeiten ist die Zyklizität⁷⁶ der Vorgänge, so wie ihre volle Mechanisierung und die Industrialisierung des Bauwesens. Ein großer Teil der benutzten Konstruktionen, wie Ausrüstung, Schalung und Ausbauelemente, wird obertage zusammengebaut und danach in Tunnel nur montiert.

Ein wichtiger Anteil des Betriebsorganisationprojekts ist die Terminplanung der unterschiedlichen Bauarbeiten für den ganzen Tunnel. Der Terminplan wird auf Grund von den berechneten Mengen der Bauarbeiten, den erstellten Zyklogrammen und den Richtlinien für die Arbeitsproduktivität der Mitarbeiter und der Maschinen erstellt. Im Fall, dass keine Richtlinien für die Maschinen vorhanden sind, kann man die entsprechenden Kataloge oder Pässe verwenden. Zu der Terminplanung wird auch eine Planung der Verteilung der notwendigen Mitarbeiter gemacht. Die notwendigen Mitarbeiter sind abhängig von der Menge der Bauarbeiten und von der Zeit, die in den Richtlinien vorgeschrieben ist.⁷⁷

⁷⁶ Unter Zyklus versteht man die reguläre Wiederholung der gleichen Arbeitsvorgänge in bestimmter Zeitspanne.

⁷⁷ **TOTEV**, Yo.;; Tunnel, Sofia, Hochschule für Verkehrswesen „Todor Kableschkov“, 2005, S.307

4.7 Baufirmen und Projektionsbüros in Bulgarien

4.7.1 Bulgarische Baufirmen und Projektionsbüros

Name	Beschreibung der Firma	PROJEKTE
	Projektierungsbüro	<ul style="list-style-type: none"> - Yadenitza (im Bau) – Alle Phasen der Projektierung – Ideen-, Technische und Arbeitsphase - Drucktunnel „Madan“ – L=431 m, d=5,0 m – Ideenprojekt und technisches Projekt - Umleitungstunnel – Madan (in Betrieb): Tunnel 1 – L=294 m, d=7,7 m; Tunnel 2 - L=365 m, d=7,7 m; - Verkehrstunnel „Vurbina“ (Projektphase) – L=250 m, Ausmäße 10,5x7,0 m; - Verkehrstunnel „Lyaskovo“ (Projektphase) – L=885 m, Ausmässe 9,0x6,0 m;
	Das Planungsbüro beschäftigt sich mit der Projektierung von neuen Tunnel, erstellt Projekte für Renovierung, Wiederherstellung und Reparatur der existierenden Tunnel und auch von anderen Verkehrsanlagen, Kontrolle und Überwachung der Tunnel u. a.	s. ANHANG 3
	Der Betrieb ist spezialisiert auf dem Bau von Fundamenten für Wasser-, Straßen- und Eisenbahnwesen, sowie von Brücken- und Befestigungsanlagen.	s. ANHANG 4
	Die Gesellschaft wurde während des Sozialismus gegründet und beschäftigt sich sowohl mit Projektierung, als auch mit dem Bau, Lieferung, Zusammenbauen etc. Z. z. gehören 51 % von der Firma zu Alpine Mayreder Austria.	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrstunnel „Troyanovi vrata“ • Verkehrstunnel „Witinya“ • U-Bahntunnel unter „Dragan Tzankov“ Str. – 58 m² und Länge 800 m und anderen U-Bahnstrecken • Subunternehmer im Ausland, wie z.B. an der U-

⁷⁸ http://www.ep-hydro.com/activity.php?location=13&sub_location=12&page=2

Name	Beschreibung der Firma	PROJEKTE
	Die Gesellschaft wurde mit privatem Kapital 1993 gegründet und beschäftigt sich hauptsächlich mit dem Tunnelbau	Bahn München s. ANHANG 4
 Metropolitan	Speziell mit der U-Bahn Sofia beschäftigt, in den 70er Jahren des 20. Jh. gegründet	U-Bahn Sofia
	Die Baufirma ist eine private Firma gegründet im Jahr 1995, die sich mit Wasser- und Straßenbau beschäftigt, sowie industrielle Gebäude herstellt.	Tunnel Yadenitza – die Firma hat an 690 m vom Tunnel gearbeitet
 Nationale Elektrizitätsgesellschaft, Jasoviri i Kaskadi	Nationale Elektrizitätsgesellschaft ist Einzelaktiengesellschaft mit 100 % staatlichem Anteil	Anlagen verbunden mit der Energieerzeugung, wie z.B. die Tunnel am Talsperrensystem „Tzankov Kamuk“ – unterirdische Druckleitung mit L=456 m
	Projektierungsbüro und Fremdüberwachung	<ul style="list-style-type: none"> • Hauptsunternehmen von Taysey Korporation, U-Bahn Sofia – Projektierungs- und Bauarbeiten • Hydrotechnischer Tunnel für Entwässerung, mit L=2.100 m • Verkehrstunnel Dupnitza • Tunnel am Talsperrensystem „Tzankov Kamuk“

Tab. 29 Liste mancher von den größten bulgarischen Firmen, die im Gebiet Tunnelbau beschäftigt sind

Name des Bauvorhabens	Bauherr/Auftraggeber	Bauzeit	Leistungen und technische Daten
In Bulgarien			
Wassertreppe "Gorna Arda" - HW "Madan"	NEK(National Electric Company)	1999 - 2001	Sicherung und Spritzbeton
Montagetunnel für Wasserkraftwerk Ogosta	NEK(National Electric Company)	2001 - 2001	L = 44,50 m, Ø = 9,63 m ² Ausbruch und Sicherung
Wassertreppe "Gorna Arda" - HW "Madan"	NEK(National Electric Company)	2001 - 2002	L=365 m, L=293 m, Ø=56 m ²
Tunnel Yadenitza - I Etappe von km 6+517,60 – km 6+432,60	NEK(National Electric Company)	2001 - 2003	L = 492,02 m, Ø = 25,7 m ² , L= 85,00 m, Ø = 48,95 m ² Aushub und Sicherung
Tunnel Yadenitza - II Etappe von km 6+432,60 bis km 6+182,60	NEK(National Electric Company)	2004 - 2004	L = 250 m, Ø = 48,95 m ² Aushub und Sicherung
Umlaufsverkehrstunnel HW Tsankov Kamak	NEK(National Electric Company) (Hauptbaufirma: Alpine Mayreder Bau GmbH)	2004 - 2005	L = 220 m, Ø = 30 m ²
Umleitungsstollen HW Tsankov Kamak	NEK(National Electric Company) (Hauptbaufirma: Alpine Mayreder Bau GmbH)	2004 - 2005	L = 493 m, Ø = 49 m ²
Im Ausland			
Kanalisationsleitung Fischbach	Gemeinde Nürnberg, Deutschland	1993 -1994	L=964 m, Ø=28 m ² , Ausbruch und Sicherung
U-Bahntunnel - Feldmoching, München - Nord, Los 8 (Luftdruck 1,6 Bar)	U-Bahn München, Deutschland	1993 - 1995	L= 650 m, Ø = 88 m ² , Ausbruch und Sicherung
U-Bahntunnel, Linie 1, München - West, Los 5, 6	U-Bahn München, Deutschland	1993 - 1996	2 x 36 m ² , 1 x 127 m ² 750 m
Kanalisationsleitung München - Nord	Gemeinde München	1994 - 1995	L=1725 m, Ø = 44 m ² , Ausbruch und Sicherung
U-Bahntunnel, Linie 2, München - Ost, Los 3	U-Bahn München, Deutschland	1994 - 1996	Ausbruch und Sicherung
Verkehrstunnel Burgberg	Straßenbauamt München	1995 - 1996	L = 555 m, Ø = 90 m ² , Ausbruch und Sicherung
Autobahntunnel Hemberg	Autobahnverwaltung, Deutschland	1996 - 1997	L = 2 X 440 m, F=114 m ² bis 150 m ²
Eisenbahntunnel Idstein, Neubaustrecke Köln - Frankfurt/Main	Deutsche Bahn	1997 - 1999	L = 965 m, F = 144 m ² , Ausbruch und Sicherung
Eisenbahntunnel – Deesener Wald, Neubaustrecke Köln - Frankfurt/Main, km 81,190 – km 82,480	"Alpine Bau" GmbH, Deutschland	1998 - 2000	L = 1.970 m, Ø = 144 m ² , Ausbruch und Sicherung

Name des Bauvorhabens	Bauherr/Auftraggeber	Bauzeit	Leistungen und technische Daten
“Eggetunnel” - Schnellstrecke Kassel – Kiel	“Beton und Monier Bau”, Deutschland	2000 - 2002	L = 3.100 m, Ø = 144 m ² , Ausbruch und Sicherung
Tunnel Burgholz - km 2+350,00 – km 4+855,00	Baresel AG Deutschland	2002 - 2004	L = 2x1.730 m, Ø = 144 m ² , Ausbruch und Sicherung
U - Bahntunnel Bochum	“Beton und Monier Bau”, Deutschland	2002 - 2004	L = 2 x 550 m, Ø = 36 m ² , Ausbruch und Sicherung
Vertikalschacht Kiesberg	Baresel AG, Deutschland	2003 - 2004	5x6 m , h = 13 m ² Ausbruch und Sicherung
Autobahntunnel Vielha	“UTE Tunnel De Vielha”, Spanien	2003 - 2005	L = 5.200 m, Ø = 126 m ² Ausbruch und Sicherung, Innenschale
Verkehrstunnel Südumgehung Gevelsberg	Baresel AG, Deutschland	2004 - 2005	L = 305 m, Ø = 122 m ² Ausbruch und Sicherung, Innenschale

Tab. 30 Bauvorhaben im Tunnelbau der bulgarischen Firma ADVAL in- und außerhalb von Bulgarien

4.7.2 Ausländische Baufirmen und Projektionsbüros

Baufirma/Projektbüro	Beschreibung der Firma	PROJEKTE
Mostotrest	Russisch	60 jährige Erfahrung in Russland
Alpine Mayreder Bau GmbH	Österreich	Talsperre „Tzankov Kamuk“ und die zugehörigen Anlagen
Taysey /Тайсей/	Japan	U-Bahn Sofia

Tab. 31 Liste ausländischer Baufirmen in Bulgarien, die sich mit Tunnelbau beschäftigen

5 Ausblick in die Zukunft

5.1 Projekte

Tunnel	Anzahl der Tunnel an der Strecke	Gesamtlänge [m]
Autobahn Ljulin	3	1.269
U-Bahn Sofia	15 Stationen	18.000
Tunnel unter Stara Planina	1	ca. 10.000

Paneuropäischer Verkehrskorridor No 8 (Eisenbahnlinie) – Von Albanien über Bulgarien nach Osten (Varna, Bourgas) – zwischen Bulgarien und Mazedonien – Grenztunnel unter Deve Bair – die Grenze befindet sich fast in der Mitte des Tunnels, die bulgarische Strecke ist fast fertig⁷⁹, die Kosten sind ca. \$ 10.000.000 und die Länge des Tunnels beträgt 2,7 km.

5.2 U-Bahn Sofia

I Durchquerung:

Die U - Bahn in Sofia wird in der Nationalstrategie für Integrationsentwicklung der bulgarischen Infrastruktur in der Zeitspanne 2006 – 2015 aufgenommen. Diese Strategie ist ein Teil des Programms des Ministerrats für Koordination, Kontrolle und Ausführung der Infrastrukturprojekte mit nationaler Bedeutung. Die Berechnungen zeigen, dass ca. 228 Millionen Euro in der Erweiterung der U - Bahn von „Mladost 1“ bis „Mladost 4“ und von „Mladost 1“ über „Drujba“ bis zum Flughafen „Sofia“ in den Jahren 2007 – 2015 investiert werden. Es wurde erwartet, dass etwa 152.5 Millionen Euro von den notwendigen Geldmitteln von Fonds der Europäischen Union kommen werden und 75,5 Millionen Euro werden vom staatlichen Budget sichergestellt.

Die ganze Strecke (L = 8,0 km) von „Sveta Nedelya Platz“ bis Mladost soll bis Jahr 2009 fertig sein.⁸⁰

Es ist vorgesehen, dass die ganze Durchquerung vier Jahre nach dem Beitritt des Bulgariens in die EU fertig sein wird. Die restlichen Kosten für Bauarbeiten der U-Bahn sind mit den Krediten der europäischen Bank gerechnet.

II Durchquerung:

Zurzeit läuft eine Ausschreibung für Vergabe der Ausführung der Bauarbeiten an der zweiten Durchquerung und bis Ende des Jahres 2007 soll es entschieden werden, welche Firmen an dem Objekt beschäftigt sein werden.

⁷⁹ **PETKOV**, Pl.: Internationale Autobahn No8 kann bis 3 Jahren fertig sein, Demokrasiya, 14.08.1998

⁸⁰ <http://bg.wikipedia.org/wiki/>

Die zweite Durchquerung (Lozenez – Zentrum – Ilientzi) hat eine Länge von 18,0 km und 15 Stationen.

III Durchquerung:

Die Länge der dritten Durchquerung (Knyajevo – Zentrum - Poduene - V.Levski) beträgt 15,8 km und hat 15 Stationen.

Alle drei Durchquerungen kreuzen sich in einem Dreieck im Stadtzentrum („Sv. Nedelya Platz“ – Hauptuniversität Sofia „Kliment Ohridski“ – Nationaler Palast der Kultur)

5.3 Tunnel unter „Stara Planina“

Die Idee vom Bau eines Tunnels unter Shipka oder entlang Troyan hat schon eine über hundertjährige Geschichte. Der erste Akademiker im Bauwesen Lukan Hashnov hat die Idee vom Bau einer Eisenbahnlinie von der Donau bis Egeya vorgeschlagen. Die Idee wurde auch von den Nachbarländern Griechenland und Rumänien unterstützt, weil dieser Tunnel die kürzeste Verbindung mit dem östlichen Mittelmeerraum realisieren kann.

Der Tunnel „Troyan - Karlovo“ wird parallel zu dem Paneuropäischen Verkehrskorridor No 9 sein und als der kürzeste Weg zwischen Nord- und Südbulgarien würde er eine fünffach schnellere Verbindung sichern. Interesse an seiner Errichtung hat die Italienische Bank und es ist absehbar, dass die Bauunternehmer bulgarische und italienische Firmen sein werden.

Im Jahr 1999 wurde eine Bürgervereinigung für Durchführung des Tunnels gegründet und dank dieser Gesellschaft wurde der Ausbau des Tunnels im „Nationalplan für regionale Entwicklung 2000 - 2006“ aufgenommen.

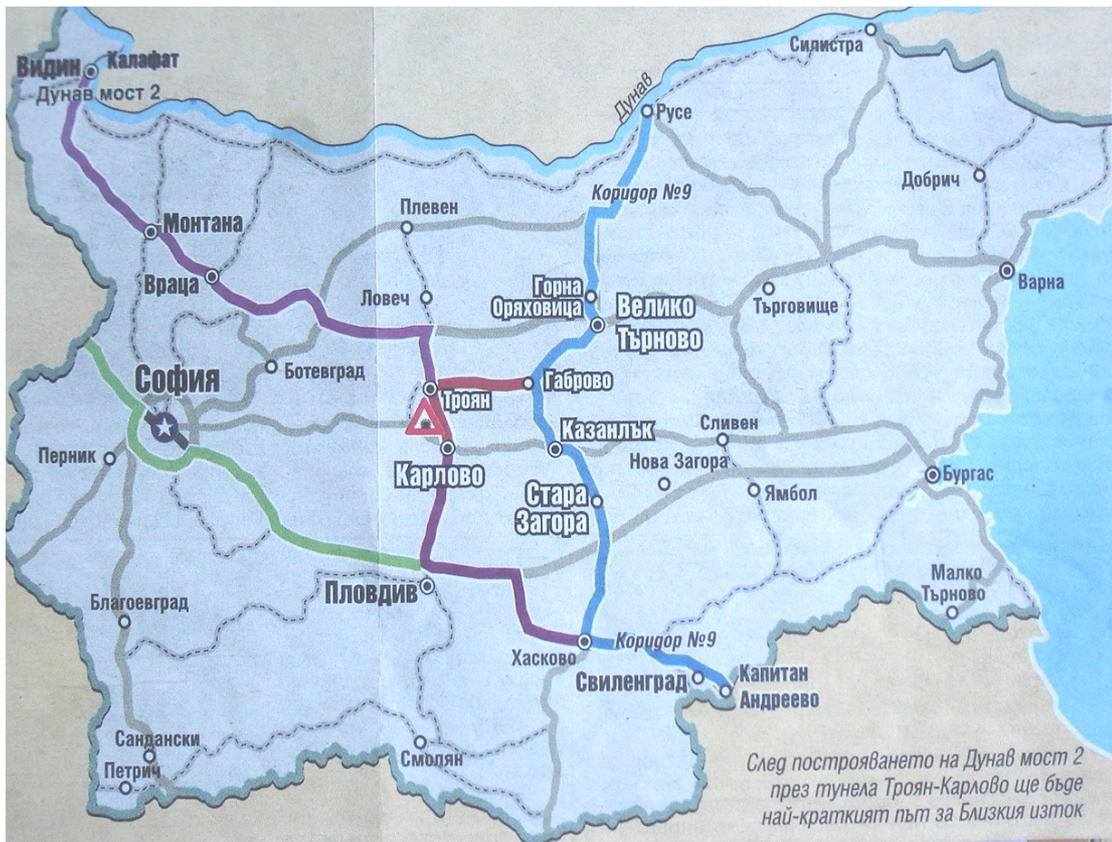


Abb. 79 Lage des Trojan – Karlovo Tunnels⁸¹

Noch vor zehn Jahren wurden zwei Varianten der Trasse Troyan - Karlovo ausgefertigt. Die erste Variante ist Entwicklung des Tunnels am linken Ufer des Flusses „Osium“ und bei der zweiten befindet sich der Tunnel am rechten Ufer.

Varianten	Länge der Trasse	Länge des Haupt-tunnels	Gefälle [%]	Kosten – nach Rechnungen vor ca.10Jahren
am linken Ufer des Flusses „Osium“	29.400 m	10.400 m	8,0	BGN 164,2 Millionen ≈ € 82,1Millionen ⁸²
am rechten Ufer des Flusses „Osium“	ca.30.000 m	9.500 m	8,0	BGN 148,0 Millionen ≈ € 74,0 Millionen(Preis nur für Eisenbahntrasse)
Unter Schipka Gipfel		3.200 m	17,0	\$ 125 Millionen≈ € 94,0Millionen ⁸³

Tab. 32 Vergleich der Varianten für den Tunnel unter „Stara Planina“⁸⁴

⁸¹ KUZOV, Spas: Tunnel verbindet beide Bulgarien, 24 Chasa, Sofia, 7.9.2006, S.2

⁸² Widerspruch: Artikel: Zwei Projekte konkurrieren für Balkan Gebirge, Duma 21.04.06. Der Wert für die Ausführung des Projekts beträgt ca. 180 Mln. Euro.

⁸³ Widerspruch: Artikel: Zwei Projekte konkurrieren für Balkan Gebirge, Duma 21.04.06. Der Wert für die Ausführung des Projekts beträgt zw. 113 und 120 Mln. Lw, inkl. die Umgehungswege, sowie vier Talbrücken.

⁸⁴ KUZOV, Spas: Tunnel verbindet beide Bulgarien, 24 Chasa, Sofia, 7.9.2006, S.2 und HRISTOV, Hr.: \$125Mln. werden für das Bauen eines Tunnels unter Schipka gesucht, Pari, 26.10.06

Nach manchen Quellen wie dem Artikel „Zwei Projekte konkurrieren für Balkan Gebirge, Duma, 21.04.06“ wird die Länge des Tunnels zwischen Troyan und Karlovo 21.000 m betragen. Im Oktober 2006 haben die Gebietsleiter von Stara Zagora und Gabrovo einen Vorschlag für die Erneuerung des Projekts im Finanzministerium vorgelegt. Nach den neuen Berechnungen kann der Vortrieb des Tunnels unter Schipka Gipfel \$ 125 Millionen kosten und wird eine Länge von 3.200 m haben.

a) Geschichte

Die Idee für den Vortrieb eines Tunnels unter dem Gipfel existiert seit 100 Jahren und 1993 hat die Hauptverwaltung Putista eine Umweltverträglichkeitsprüfung angefangen, die nach einer öffentlichen Besprechung angenommen wurde. 1999 hat das Ministerium der regionalen Entwicklung und baulichen Gestaltung (MRRB) der „Transkonsult BG GmbH“ mittels Ausführungsagentur Putista auferlegt, einen aktuellen Bauwert des Projekts zu berechnen. Nach der damaligen Regierung sollte die Errichtung des Tunnels spätestens 2002 anfangen und 2005 in Betrieb gesetzt werden. Später haben Volksvertreter der Partei von Simeon Sakskuburgotski berechnet, dass die Anlage nicht einträglich ist und ihre Errichtung wurde aufgehört.

b) Finanzierung

Nach einem Urteil des damaligen Rats für die Entwicklung der Infrastruktur wurde das Projekt für die Finanzierung durch den OECF vorgeschlagen. OECF ist ein japanischer Fonds für ausländische wirtschaftliche Zusammenarbeit. Nach der Gebietsleiterin von Stara Zagora, Maria Neykova haben Firmen wie Mizui, Mitsubishi, Taysey Korporation, Kadjimakorporation etc., so wie amerikanische Investoren, Interesse an dem Projekt 1999 – 2001 gezeigt.

Das größte Interesse hat Sumimoto Korporation Europa bewiesen, die die Eisenbahnstrecke Bukarest – Konstanza damals abgeschlossen hat. Die Eisenbahnlinie wurde mit einer Anleihe von der Japanischen Bank für internationale Zusammenarbeit JBIC finanziert.

Falls der Tunnel zwischen Troyan und Karlovo gebaut wird, zeigt ein Konsortium von sieben italienischen Firmen an der Ausführung des Projekts sehr großes Interesse. Die Italiener glauben, dass der Ausbau des Tunnels nur zwei Jahre dauern wird. Sie haben auch vorgeschlagen, die geologischen Untersuchungen, die Projektierung und das Bauen des Objekts zu finanzieren. Wenn sie den Tunnel in Konzession nehmen, werden sie ihr Kapital in zehn Jahren zurückbekommen.

c) Entwicklung

Im Dezember 2000 hat das Beratungsbüro CPC einen Kostenvoranschlag ausgefertigt und nachfolgend hat Sumimotokorporation Europa dem CPC eine technisch - wirtschaftliche Untersuchung auferlegt. Die Untersuchung hat ein Wiedergewinnungsbeiwert von 17,5 % bewiesen.

d) Das Projekt

Es ist vorgesehen, dass der Tunnel eine Breite von 10,0 m und eine Höhe von 4,8 m haben wird. Der Verkehrsweg wird in zwei Spuren je mit einer Breite von 3,75 m geteilt sein. Außerdem soll eine Umgehungsstraße gebaut werden, die eine Länge von 10.300 m hat. Der Tunnel wird ein Teil des Paneuropäischen Korridors No 9 sein.⁸⁵

5.4 Paneuropäische Verkehrskorridore durch Bulgarien



Abb. 80 Paneuropäische Verkehrskorridore

⁸⁵ HRISTOV, Hr.: \$ 125 Millionen. werden für das Bauen eines Tunnels unter Schipka gesucht, Pari, 26.10.06

Paneuropäischer Verkehrskorridor	Länge [km]
IV. Dresden (Deutschland) – Prag (Tschechien) – Brünn (Tschechien) – Eisenbahn: Wien (Österreich) resp. Straße: Bratislava (Slowakei) – Győr (Ungarn) – Budapest (Ungarn) – Arad (Rumänien) – Craiova (Rumänien) – <u>Sofia (Bulgarien) – Plowdiw (Bulgarien)</u> – Omenio (Bulgarien) – Istanbul (Türkei) mit dem Ast C: Sofia – Thessaloniki (Griechenland)	3.258
VII. Donau	2.300
VIII. Durrës (Albanien) – Tirana (Albanien) – Skopje (Mazedonien) – Bitola (Mazedonien) – <u>Sofia (Bulgarien) – Dimitrowgrad (Bulgarien) – Burgas (Bulgarien) – Warna (Bulgarien)</u>	1.300
IX. Helsinki (Finnland) – Wyborg (Russland) – Sankt Petersburg (Russland) – Pskow (Russland) – Kiew (Ukraine) – Ljubasewka (Ukraine) – Chişinău (Moldawien) – Bukarest (Rumänien) – <u>Russe - Weliko Tarnowo - Kasanlak - Stara Sagora - Dimitrowgrad (Bulgarien) - Chaskowo - Charmanli - Swilengrad - Alexandroupolis (Griechenland)</u> mit dem Ast E: Dimitrowgrad – Omenio (Bulgarien) – Alexandroupolis	6.500
X. Salzburg (Österreich) – Villach (Österreich) – Ljubljana (Slowenien) – Zagreb (Kroatien) – Belgrad (Serbien) – Niš (Serbien) – Skopje (Mazedonien) – Veles (Mazedonien) – Thessaloniki (Griechenland) Mit dem Ast C: Niš – Sofia (Bulgarien) (Korr. IV – Istanbul)	2.360

Tab. 33 Paneuropäische Verkehrskorridore durch Bulgarien

Der geplante Tunnel unter „Schipka“ befindet sich an der Trasse des Verkehrskorridor IX. Ein anderer Entwurf vom Tunnelbau ist ein Tunnel inter „Petrohan“, der am Verkehrskorridor liegen wird.

An der Verkehrskorridoren IV und VIII befindet sich die Autobahn „Ljulin“, die zurzeit im Bau ist. Vier Tunnel mit einer Gesamtlänge von 2.802 m sind ein Teil der Autobahnstrecke.

Die Autobahn „Trakiya“ (Tunnel „Trojanovi vrata“) ist ein Teil der Verkehrskorridore IV, VIII und IX.

5.5 **Autobahn „Ljulin“⁸⁶**

3.08.1998 – Die Regierung von Ivan Kostov verabschiedet das Projekt für die Finanzierung des Ausbaus der Autobahn Ljulin. Nach dem Projekt betragen die Kosten für Untersuchung und Bauen ca. 351 Millionen BGN (ca. 175,5 Millionen Euro), die durch das staatliche Budget, Fonds „Republikanisches Verkehrsnetz“ und Kredite von der Europäischen Investitionsbank gesichert werden.

Herbst 1999 – Die italienische Firma SPEA gewinnt die Vergabe nach dem Programm PHARE der Europäischen Union, die vom „Putista“ Agentur organisiert wurde

9.03.2000 – Der Minister der regionalen Entwicklung Evgeni Chachev unterschreibt einen Vertrag mit dem Hauptdirektor der SPEA Franko Rapino für „Untersuchung und Projektierung der Autobahn Sofia - Kulata“. Die Firma bereitet sieben Varianten vor.

⁸⁶ <http://infocenter.bnt.bg/content/view/full/502> - 6.11.2006

Ab April 2001 bis August 2002 – wurden drei Berichte für die Umweltverträglichkeitsprüfung erstellt.

11.10.2002 – Das Umweltministerium erlaubt das Bauen und den Betrieb der Autobahn Ljulin. Die Trasse umfasst die Ringstraße um Sofia – Malo Buchino – Golyamo Buchino – Straßenknoten Daskalovo und hat eine Länge von ca. 19 km in Richtung der Internationalen Autobahn No 4. Nach dem Projekt ist die Autobahnbreite 29 m und die Entwurfgeschwindigkeit ist 100 – 110 km/h. Wegen des Gebirgsgeländes umfasst das Projekt drei Tunnel mit einer Gesamtlänge von 1.269 m, die in offener Bauweise gebaut werden, 26 Brücken und Viadukte mit einer Gesamtlänge von 6.000 m, drei Straßenknoten sowie Stützwände mit Gesamtlänge von 2.762 m.

21.01.2003 – Finanzminister Milen Velchev und der Leiter der Delegation der europäischen Kommission in Bulgarien Dimitris Kurkulas unterschreiben ein Memorandum nach dem Voranschussprogramm ISPA der EU für € 240 Millionen. Der Gesamtwert der Finanzmemorandum für die Autobahn Ljulin ist € 148,45 Millionen. 75 % davon wurden nach ISPA Programm unentgeltlich gesichert und 25 % werden vom Staat Bulgarien gesichert.

22.12.2004 – Die Europäische Kommission erlaubt das Bauen der Autobahn Ljulin mittels offiziellen Briefs

16.06.2005 – Agentur „Putista“ schreibt eine Vergabe für das Bauen der Autobahn Ljulin aus.

15.11.2005 – Öffnen der Angebote. Die Teilnehmer sind 21 Firmen aus Europa.

01.12.2005 – Der Ministerrat erlaubt die Projektierung und den Bau der Autobahn Ljulin von 0+000 km bis 19+000 km auf Territorium des landwirtschaftlichen Landes nach bisherigem Bebauungsplan.

31.03.2006 – Der Rat für Koordination, Überwachung und Ausführung der Verkehrsprojekte mit nationaler Bedeutung erstellt einen Plan, nach dem die Autobahn Ljulin 2009 fertig sein soll.

08.08.2006 – der Direktor der Agentur „Putista“ Veselin Georgiev unterschreibt einen Vertrag für den Ausbau der Autobahn Ljulin mit dem Vertreter des Türkischen Konsortiums MAPA – CHENGIS für einen Preis von BGN 137.382 Millionen, d.h. 7.230.611 Euro/km. Folglich ist die Autobahn die teuerste Anlage im Verkehrsbauwesen in Bulgarien.

Nach dem Vertrag soll die Autobahn Ljulin in drei Jahren fertig sein und die Garantiefrist ist zwölf Monate.

Die Autobahn soll 2009 fertig sein.

BAUFIRMA	LAND	PREISANGEBOT [BGN]
ED ZUBLIN AG	Deutschland	195.690.910
ASTALDI SPA	Italien	168.788.837
LIMAK - EKO JV	Türkei	118.950.000
MAKYOUL - YUKSEL	Türkei	173.742.964
STFA - GAMA JV	Türkei	152.852.639
DOGUS INSAAT	Türkei	142.219.849
CONDOTTE SPA	Italien	147.179.895
ALSIM ALARKO	Türkei	188.734.241
SCT DD	Slovenien	174.997.017
ALPINE - TERNA JV	Österreich - Griechenland	147.361.983
AKTOR SA	Griechenland	178.595.503
MOCHLOS SA	Griechenland	148.386.009
LJULIN - PERNIK JV	Deutschland - Bulgarien	167.999.929
IMPREGILO SPA	Italien	199.995.068
SALINI COSTRUTTORI SPA	Italien	165.591.432
PORR UMWELF - VEGYEPSZER JV	Österreich - Ungarn	196.894.525
MAPA - CENGIZ JV	Türkei	137.381.625
CONSTRUTORA ABRANTINA SA	Portugal	186.793.200
J & P AVAX SA	Griechenland	149.089.862
MEDO LJULIN CONSORTIUM	Tschechien - Slowakei	203.559.241
OBRASCON HUARTE LAIN SA (OHL)	Spanien	155.123.813

Tab. 34 Baufirmen und Angebote für die Autobahn „Lyulin“

Das türkische Konsortium MAPA – CENGIZ JV hat die Vergabe gewonnen, weil es den niedrigsten Preis angeboten hat.

Bericht des Verkehrsministeriums:

- Modernisierung der Eisenbahnlinie Vidin - Sofia
- Projekt „Renovierung und Elektrifizierung der Eisenbahnlinie Plovdiv – Svilengrad für eine Geschwindigkeit von 160 km/h“ – Fristenverlängerung bis ins Jahr 2010
- Renovierung und Modernisierung der Strecken von Eisenbahnlinien, die Teil von internationalen Wegen sind – Sofia – Plovdiv, Sofia-Pernik-Radomir, Sofia – Dragoman

5.6 Weitere Unterirdische Projekte

- Tunnel unter „Jujen park“ fängt von Vaptzarov Blvd an (file: tuneli, artikel: 31.10.2006)

6 Zusammenfassung (mit Schlussfolgerungen)

Wegen der Vielfalt der Naturbedingungen und der technischen Mittel werden die Tunnel in Bulgarien grundsätzlich nach drei Verfahren errichtet:

- ein Verfahren, das vor allem im Bergbau verwendet wird - Sprengtechnik für Fest- und Mittelfestgestein
- Verfahren, bei dem Aufreißen und Zerteilen des Sprengobjekts ohne Sprengstoff ausgeführt ist. Das Verfahren ist im Mittelfest- und Lockergestein oder Böden geeignet und die unterirdischen Anlagen werden mittels entsprechender Bohrgeräte und Maschinen errichtet.
- Mittels TVM – das Verfahren wird im Fest und Mittelfestgestein angewandt.

In Bulgarien werden verschiedene Modifikationen des ersten Verfahrens am meisten in Abhängigkeit von den entsprechenden Bedingungen verwendet. Der Ausbruch des Querschnittes kann in Vollprofil oder in Teilquerschnitte unterteilt durchgeführt werden.

Von 1970 bis 1996 wurden 35 Tunnel mit einer Gesamtlänge von 18,0 km gebaut. Ihre einzelnen Längen sind von 40,0 bis 2.740,0 m. Einer dieser ist der Tunnel für die U-Bahn Sofia unter dem Boulevard „Dragan Tzankov“.

Bis ins Jahr 1955 wurde die temporäre Sicherung der Tunnel aus Holz hergestellt, aber danach wurden die Holzrahmen gegen Metallrahmen und in manchen Fällen gegen Anker ersetzt.

Seit 1976 wurden die dauerhaften Verkleidungen der Tunnel schon aus Ortbeton hergestellt. Im Festgestein wurden manche von den Tunneln ohne Ausbau oder nur teilweise mit Ausbau errichtet. Bei dem Ausbau von den hydrotechnischen Tunneln ist die Sicherung einer ausreichenden Wasserundurchlässigkeit besonders wichtig. Diese Anforderungen werden mittels Zementeinpressens in das Gestein, den inneren Spritzbetonmantel oder mittels Panzerung erfüllt.

Im Drucktunnel des Wasserkraftwerks „Devin“ wurde entlang von 600 m eine bulgarische Erfindung angewandt. Der Ausbau wurde aus wechselnden Betonverkleidung und großen Fertigteilen mit einem Einzelgewicht von 3,5 t hergestellt⁸⁷.

Mit dem EU-Beitritt haben viele ausländische Baufirmen Interesse an den Projekten in Bulgarien gezeigt. In den Jahren nach dem Sozialismus wurden nicht viele unterirdische Anlagen ausgeführt und die gebauten wurden nicht gut gewartet, aber wir sind schon EU-Mitglieder und unsere Infrastruktur soll so qualitativ sein, wie von einem europäischen Land. Obwohl viele Projekte vor dem EU-Beitritt finanziert wurden, sollen noch viele in den nächsten Jahren erfolgreich ausgeführt werden, in dieser Zahl viele Tunnel, die an den paneuropäischen Verkehrskorridoren liegen.

⁸⁷ ENZYKLOPÄDIE BULGARIEN, S.104

7 Literaturquellen

BRATOEV, Styan: U – Bahn Sofia, 1. Anlage – Sofia, Nota bene! Communications, 2004

DEYANOV, Dimitar, http://members.tripod.com/~bg_railroad/jpt1102/deanov.htm 07.07.2007
Artikel ``50 Jahre von der Fertigung der Eisenbahnlinie ``Podbalkanska``

ENZYKLOPÄDIE BULGARIEN, Band 7, Bulgarische Akademie der Wissenschaften, 1996

GEORGIEV, Lyubomir: Unterirdischer Wasserbau, 2. Auflage, Sofia, Staatlicher Verlag „Technik“, 1974

GEORGIEV, Lyubomir: Hydrotechnische Tunnel, Sofia, Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie - Sofia, 1989

GEORGIEV, Lyubomir: Tunnel, 3. Auflage, Sofia, Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie - Sofia, 2004

IVANCHEV, Iliya: Unterirdischer Verkehrsbau – Notizen,*pdf, Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie – Sofia, 2004

www.jptactis.com/jpt1005/angelov.htm, Angelov, Kr., „Eisenbahntourismus und Eisenbahnlinie Septemvri - Dobriniste“, 27.07.2007

JODL, Hans Georg: Bauverfahrenstechnik, Technische Universität Wien, Stand 2003/04 – Version 2

JODL, Hans Georg: Bauverfahren im Tunnel- und Hohlraumbau, Technische Universität Wien, Stand 2006

KARAMIHOVA, Mila, Die U-Bahn Sofia kann in das Investitionsprogramm der Regierung eintreten, Imoti, 11.07.1998, http://www.digsys.bg/bgnews/show_story.html

KOMITEE DES BAUWESENS, Talsperrensystem Batak, Staatlicher Verlag „Technik“, Sofia, 1961

KOMITEE DES BAUWESENS UND DER ARCHITEKTUR, Talsperrensystem Stalin, Staatlicher Verlag „Technik“, Sofia, 1959

KUZOV, Spas; **HADJIEVA**, Desislava: Tunnel verbindet beide Bulgarien, 24 Chasa, Sofia, 7.9.2006, S.2

LAZAROV, K., Projekt T-01-76, „Redmetprojekt“, Buhovo , 1976

STILYANOV, Stilyan; GEORGIEV, Lyubomir: Hydrotechnische Tunnel, 1. Auflage, Sofia, Staatlicher Verlag „Wissenschaft und Kunst“, 1956

TOTEV, Yordan; TOTEV, Yuliyana: Tunnel, Sofia, Hochschule für Verkehrswesen „Todor Kableschkov“, 2005

TRANSPROJEKT EOOD (GmbH) Projekt, Eisenbahntunnel „Deve Bair“ als Teil des Projekts „Eisenbahnverbindung zwischen Bulgarien und Mazedonien“, Sofia, 1997

TRUNKA, Lyuben: Tunnel, 1. Auflage, Sofia, Staatlicher Verlag „Technik“, 1964

BG0008.02.01: *pdf, www.evropa.bg/bg/del/eu-programmes/additional-information/ - 6.11.2006

8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Querschnitt der Tunnel des Talsperrensystems der Stadt Athen	7
Abb. 2 Querschnitt des wasserleitenden Tunnels Virgo im Rom	8
Abb. 3 Senken des Wasserspiegels des Fuchino Sees mittels Tunnels	8
Abb. 4 Stolleneingang des Goldenbergwerks	13
Abb. 5 Typenquerschnitt mit einer Hydroisolation, Sicherung des existierenden Tunnelausbaus	16
Abb. 6 Typenquerschnitt ohne Hydroisolation, Sicherung des existierenden Tunnelausbau	16
Abb. 7 Wasserkraftwerk „Pancherevo“ – Lage und Querschnitt	18
Abb. 8 Typen von Tunnelquerschnitte, die an der Wasserleitung Rila – Sofia verwendet wurden	19
Abb. 9 Querschnitte der unterirdischen Wasserleitungen	23
Abb. 10 Längs- und Querschnitt des Tunnels zum Wasserkraftwerk „Karlovo“	24
Abb. 11 Ausgewählte Variante für das Talsperrensystem „Stalin“ (Iskar)	25
Abb. 12 Kostenverteilung während des Bauens des Talsperrensystems „Iskar“	26
Abb. 13 Anlagen zum Betonieren vom Schacht „Bukov dol“	27
Abb. 14 Sicherung des unteren Richtstollens in der Strecke um den Schacht „Bukov dol“ ..	27
Abb. 15 Sicherung des Tunnels „Pasarel“	28
Abb. 16 Querschnitte des Tunnels „Kokalyane“	28
Abb. 17 Längsschnitt der Verbindung zwischen den Stauseen „Karagjol“ und „Kalin“	30
Abb. 18 Querschnitt der Tunnel vom Bewässerungssystem „Rositza“	31
Abb. 19 Talsperrensystem Batak	32
Abb. 20 Verteilung der Tunnel des Talsperrensystems „Batak“ nach der Längsneigung	33
Abb. 21 Querschnitt des wasserleitenden Haupttunnels des WKWs „Batak“	34
Abb. 22 Arbeit im Vollprofil, „Batak“	35
Abb. 23 Wasserleitung „Aleko“. Vieleckige Sicherung mit zusätzlicher innerer Stützung	38
Abb. 24 Wasserleitung Aleko am Km 7+130, Schema der Arbeit, Ausbruch mit oberem Richtstollen	39
Abb. 25 Funktionales Organisationsschema einer Tunnelbaustelle	40
Abb. 26 Querschnitte der bulgarischen Tunnel	43
Abb. 27 Querschnitt des Verkehrstunnels in der Nähe von Plovdiv	46
Abb. 28 Querschnitt der gebauten Tunnel an den bulgarischen Autobahnen	47
Abb. 29 Ostportal des Autobahntunnels „Troyanovi vrata“	48
Abb. 30 Autobahntunnel „Witinya“	49
Abb. 31 Hauptschema der U-Bahn in Sofia am Anfang der Bauarbeiten	50
Abb. 32 I. Durchquerung des U-Bahnnetzes in Sofia	53
Abb. 33 Allgemeines Schema des unterirdischen Pumpwasserkraftwerks „Chaira“	55
Abb. 34 Kaverne des Pumpwasserkraftwerks „Chaira“	56
Abb. 35 Zugangstunnel zu der Kaverne und ihr Einfluss auf die Betriebsorganisation der Aushubarbeiten	57
Abb. 36 Entwicklung der Kaverne im Ausland in den Jahren zwischen 1961 und 1974	58
Abb. 37 Schema für Projektierung zusammen mit den realen Messungen während der Bauzeit	58
Abb. 38 Kaverne des unterirdischen Wasserkraftwerks „Batak“	59
Abb. 39 Sicherung der Kalotte und Betonierung des oberen Gewölbes des Wasserkraftwerks „Pestera“	60
Abb. 40 Etappe des Kaverneausbaus „Pestera“	60
Abb. 41 Stollen mit Betonsicherung mit einem Gleis in einer geraden Strecke	62
Abb. 42 Stollen mit Betonsicherung mit zwei Gleisen in einer geraden Strecke	63
Abb. 43 Stollen mit einer Sicherung aus Metalrahmen(Ringen)	63
Abb. 44 Stollen mit einer Sicherung aus Ankern mit Spritzbeton und Gitter - eingleisige gerade Strecke	64
Abb. 45 Stollen mit einer Sicherung aus Holzrahmen - eingleisige gerade Strecke	65
Abb. 46 Typenprofil für einspurigen Eisenbahntunnel	69

Abb. 47 Typenprofil für einspurigen Eisenbahntunnel	70
Abb. 48 Typenprofil für zweispurigen Eisenbahntunnel.....	70
Abb. 49 Typenprofil für zweispurigen Eisenbahntunnel.....	71
Abb. 50 Typenquerschnitt der neuen Strecke des Tunnels „Deve Bair“	72
Abb. 51 Ausbau des Tunnels „Yadenitza“	75
Abb. 52 Tunnel „Yadenitza“	75
Abb. 53 Organisation der Baustelle vor dem Portal „Yadenitza“.....	76
Abb. 54 Typischer Querschnitt für Verkehrstunnel.....	76
Abb. 55 Zweistöckiger Tunnel in Lyulin, Sofia.....	77
Abb. 56 Der Bauminister Valentin Zerovski macht den ersten Spatenstich des Tunnels Gotze Delchev - Drama.....	78
Abb. 57 Querschnitt des Tunnels Gotze Delchev – Drama, Konstruktion ohne Sohlplatte ...	79
Abb. 58 Querschnitt des Tunnels G. Delchev – Drama, Konstruktion mit einer Sohlplatte ...	80
Abb. 59 Eingang zu der Kaverne des Pumpwasserkraftwerks „Chaira“	81
Abb. 60 Hauptschema des U-Bahnnetzes in Sofia.....	82
Abb. 61 Aushubarbeiten an der Station „V. Levski“ Stadion.....	83
Abb. 62 Auflegen der Schienen	84
Abb. 63 Gesamtansicht der Baustelle (Station“Interpred“)	84
Abb. 64 Herstellung des U-Bahntunnels in offener Bauweise	84
Abb. 65 Ausbauverfahren von zweigleisigen Tunnel in gesicherten Baugruben.....	86
Abb. 66 An Ort und Stelle ausgeführte Stahlbetonkonstruktion des zweigleisigen U-Bahntunnels in Sofia.....	87
Abb. 67 Ausführung der zweigleisigen Stahlbetonkonstruktion	88
Abb. 68 Konstruktion des U-Bahntunnels, der in geschlossener Bauweise ausgebaut ist....	88
Abb. 69 Ausbau des U-Bahntunnels in Baugrube mit Böschungen.....	90
Abb. 70 Sicherung „Berliner Mauer“.....	91
Abb. 71 Sicherung mit Stahlpfähle.....	91
Abb. 72 Umschließung mit Ortbetonpfählen.....	92
Abb. 73 Sicherung der Baugrube mittels Schlitzwand - Etappe.....	93
Abb. 74 Köpfe vom Erddruckschild	93
Abb. 75 Schema des Erddruckschild.....	94
Abb. 76 Arbeitsweise beim Tunnelausbau mit einem Erddruckschild.....	94
Abb. 77 Startkammer für die TVM und Lager für die Tübbinge	95
Abb. 78 Organisation der Baustelle eines Tunnels.....	96
Abb. 79 Lage des Troyan – Karlovo Tunnels	104
Abb. 80 Paneuropäische Verkehrskorridore.....	106

9 Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Bulgarische Geschichte	6
Tab. 2 Bedeutsame Tunnel in der Welt.....	4
Tab. 3 Die größten Tunnel der Welt (teilweise in Planung, teilweise im Bau)	5
Tab. 4 Drei von den Hauptsträngen des Wasserversorgungsnetzes im Altrom	8
Tab. 5 Entwicklung der Werkzeuge.....	12
Tab. 6 Hydrotechnische Tunnel, die unter der sozialistischen Regierung gebaut wurden	18
Tab. 7 Anzahl und Gesamtlänge der Tunnel in Bulgarien bis 1959.....	20
Tab. 8 Eisenbahntunnel an der Eisenbahnlinie`Podbalkanska`	22
Tab. 9 Geschwindigkeiten und Durchmesser bei unterirdischen Druckwasserleitungen	22
Tab. 10 Ausbau von Tunneln bis 1959.....	23
Tab. 11 Daten für die Tunnellängen des Talsperrensystems „Batak“	33
Tab. 12 Mitarbeiteranzahl an manchen Tunneln des Talsperrensystems „Batak“	42
Tab. 13 Daten einiger bulgarischen Tunnel.....	44
Tab. 14 Autobahnen in Bulgarien.....	46
Tab. 15 Tunnel an den bulgarischen Autobahnen	47
Tab. 16 Technische Daten (S.Abb. 41)	62
Tab. 17 Technische Daten (S.Abb. 42)	63
Tab. 18 Technische Daten (S.Abb. 43)	64
Tab. 19 Technische Daten (S.Abb. 44)	64
Tab. 20 Technische Daten (S.Abb. 45)	65
Tab. 21 Tunnelbauweisen ohne Richtstollen, Charakteristiken	66
Tab. 22 Klassische Tunnelbauweisen, Charakteristiken	66
Tab. 23 Gesteinzonen entlang des Tunnels.....	73
Tab. 24 Bauweise in der neuen Strecke des Tunnels „Deve Bair“.....	74
Tab. 25 Ausgebaute Tunnel in Bulgarien	74
Tab. 26 Organisation für den Bau des Pumpwasserkraftwerks „Chaira“	80
Tab. 27 Grundausmaße der U-Bahnstationen	83
Tab. 28 Tunnellängen der Erweiterungsstrecke	95
Tab. 29 Liste mancher von den größten bulgarischen Firmen, die im Gebiet Tunnelbau beschäftigt sind.....	99
Tab. 30 Bauvorhaben im Tunnelbau der bulgarischen Firma ADVAL in- und außerhalb von Bulgarien	101
Tab. 31 Liste ausländischer Baufirmen in Bulgarien, die sich mit Tunnelbau beschäftigen	101
Tab. 32 Vergleich der Varianten für den Tunnel unter „Stara Planina“	104
Tab. 33 Paneuropäische Verkehrskorridore durch Bulgarien	107
Tab. 34 Baufirmen und Angebote für die Autobahn „Lyulin“	109

10 Anhang

ANHANG 1

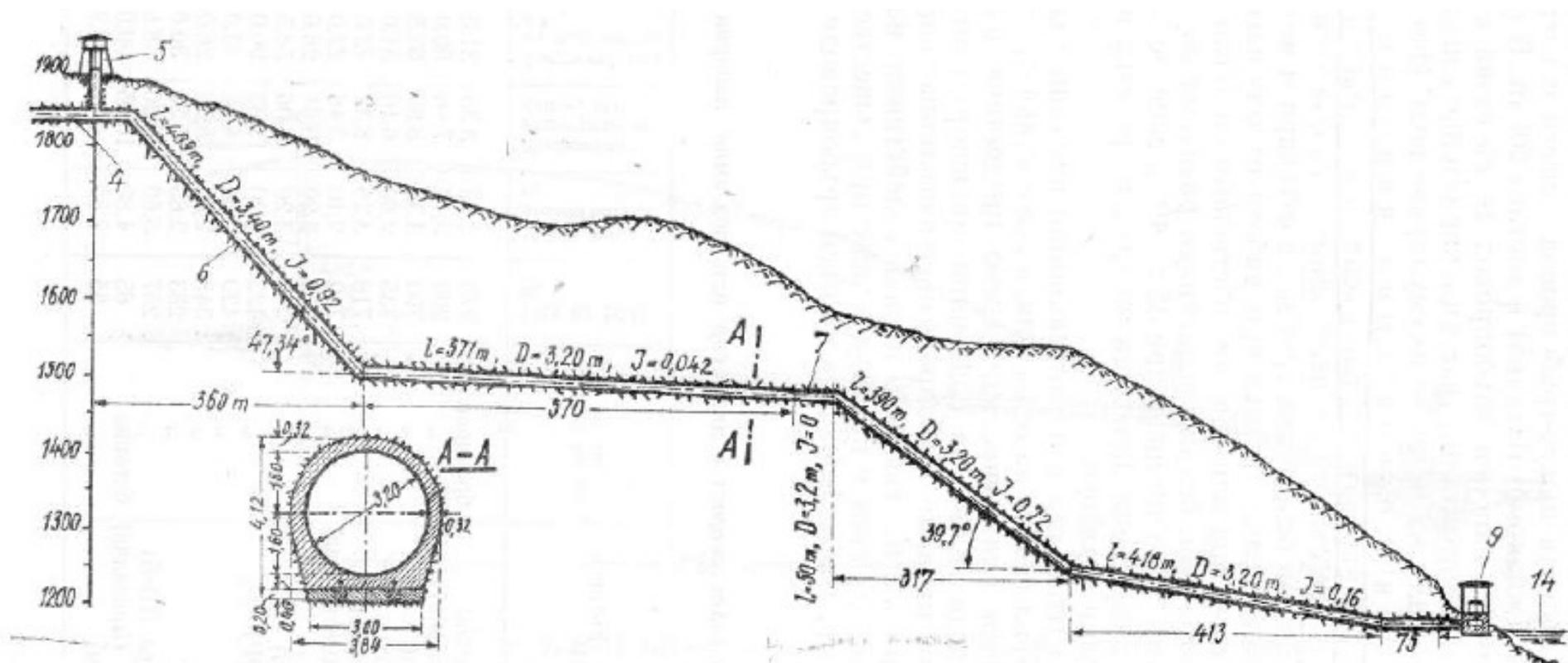


Abb. Längsschnitt der unterirdischen Druckwasserleitung am WKW – Pumpwasserkraftwerk „Belmeken“

1-Speicher „Belmeken“, 2 – Wassereinlauf, 3- Schieberkammer, 4-Drucktunnel, 5-oberes Wasserschloss, 6-unterirdische Druckwasserleitung mit Panzerung, 7- waagerechte Strecke, 8 – Schieberkammer vor dem Pumpwasserkraftwerk, 9 – Kaverne, 10-unteres Wasserschloss und Schieber, 11 – Unterlauf, 12 – unterer Wassereinlauf, 13 – Speicher „Chaira“, 14 – Speicher „Stankovi Baraki“

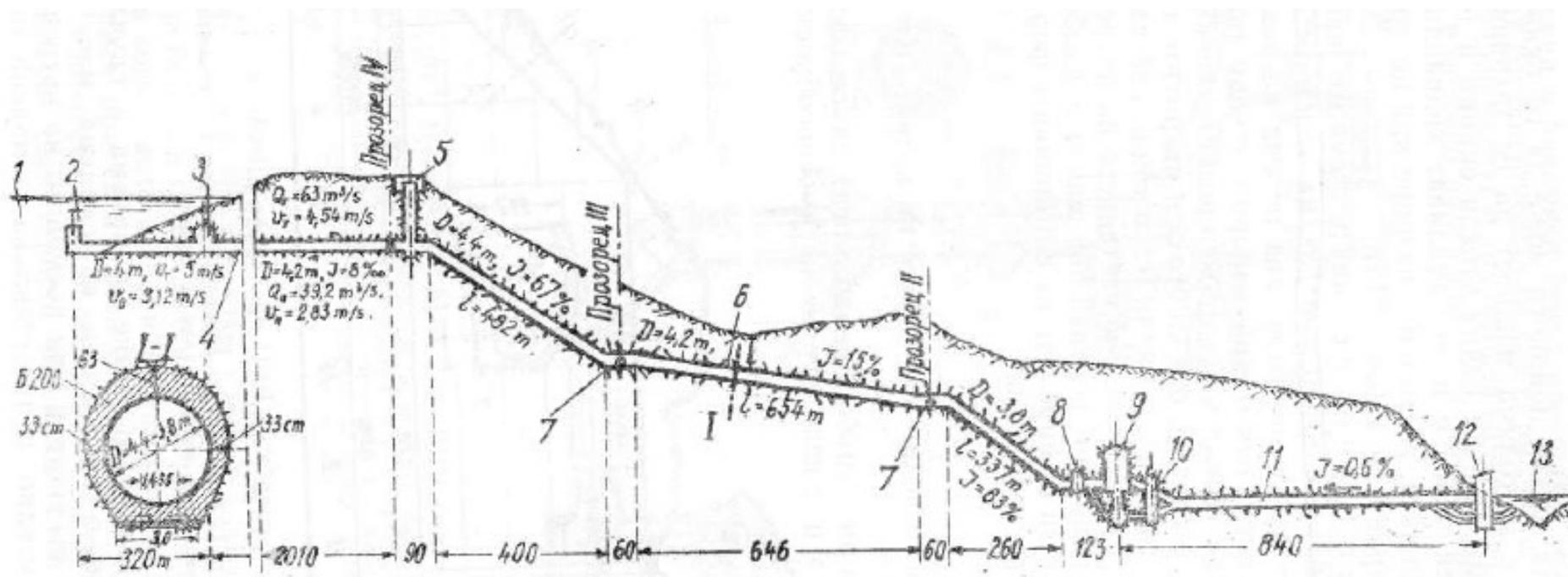


Abb. Unterirdische Wasserleitung am Pumpwasserkraftwerk „Chaira“

1-Speicher „Belmeken“, 2 – Wassereinlauf, 3- Schieberkammer, 4-Drucktunnel, 5-oberes Wasserschloss, 6-unterirdische Druckwasserleitung mit Panzerung, 7- waagerechte Strecke, 8 – Schieberkammer vor dem Pumpwasserkraftwerk, 9 – Kaverne, 10-unteres Wasserschloss und Schieber, 11 – Unterlauf, 12 – unterer Wassereinlauf, 13 – Speicher „Chaira“, 14 – Speicher „Stankovi Baraki“

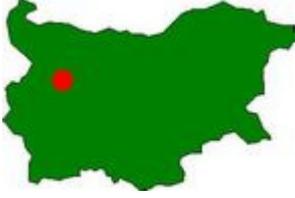
ANHANG 3

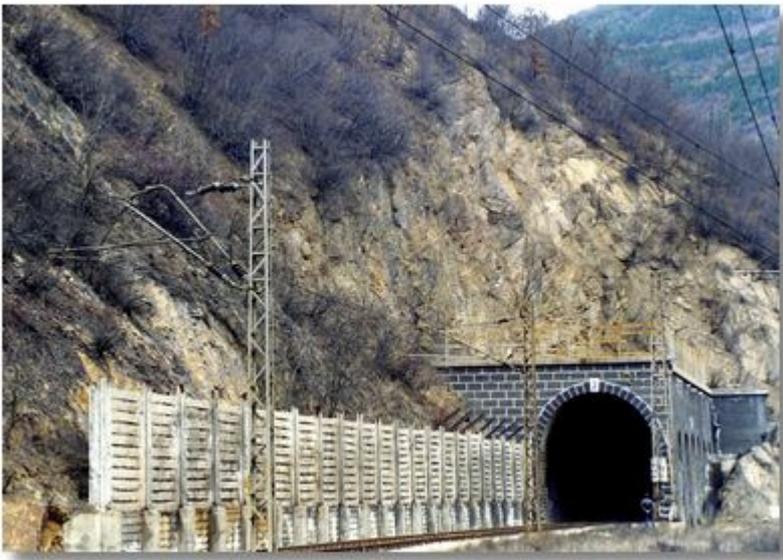
**PROJEKTE:**

PROJEKT:	 <p>Tunnel Lozarevo – zum ersten Mal wird NATM in BG verwendet. Der Tunnel ist zweispurig .</p>
AUFTRAGGEBER:	Nationale Gesellschaft „Jelezopotna Infrastruktura“
AUFTRAGNEHMER	Staatlicher Unternehmer „Transportno stroitelstvo i vuzstanovyavane“
PROJEKTANTEN	Dipl.-Ing. P.Yankov, Dipl.-Ing.Ml.Mladenov
GEOLOGIE	Pliocänische Tone, Kalksteine mit Ton- und Mergelschichten
LÄNGE DES TUNNELS	2.630 m
QUERSCHNITT	125 m ²
BAUMETHODE:	Neue österreichische Methode(NATM)+offene Bauweise
Zustand	Im Bau

PROJEKT:  	 <p>Zweispuriger Eisenbahntunnel Lyulyakovo</p>
AUFTRAGGEBER:	Nationale Gesellschaft „Bulgarski durjavni jeleznici“
AUFTRAGNEHMER	Streitkräfte des Verkehrsministeriums
PROJEKTANTEN	Dipl.-Ing. P.Yankov, Dipl.-Ing.Ml.Mladenov
GEOLOGIE	Klüftige Sandsteine mit dünnen Mergelschichten
LÄNGE DES TUNNELS	330 m
QUERSCHNITT	125 m ²
BAUMETHODE:	System Bernold
Zustand	In Betrieb

<p>PROJEKT:</p>   	 <p>Zweispuriger Eisenbahntunnel Duskotna</p>
<p>AUFTRAGGEBER:</p>	<p>Nationale Gesellschaft „Jelezopotna infrastruktura“</p>
<p>AUFTRAGNEHMER</p>	<p>Staatlicher Unternehmer „Transportno stroitelstvo i vuzstanovyavane“</p>
<p>PROJEKTANTEN</p>	<p>Dipl.-Ing. P.Yankov, Dipl.-Ing.MI.Mladenov</p>
<p>GEOLOGIE</p>	<p>Kalksteinmergelbestandteile mit Verwerfungszonen</p>
<p>LÄNGE DES TUNNELS</p>	<p>460 m</p>
<p>QUERSCHNITT</p>	<p>125 m²</p>
<p>BAUMETHODE:</p>	<p>System Bernold</p>
<p>Zustand</p>	<p>beendet</p>

<p>PROJEKT:</p> 	 <p>Eisenbahnlinie Sofia – Mezdra, Renovierung mit Erweiterung und Schutzanlage am Ausgangsportal – Tunnel No 14</p>
<p>AUFTRAGGEBER:</p>	<p>Nationale Gesellschaft „Bulgarski durjavni jeleznitzi“</p>
<p>AUFTRAGNEHMER</p>	<p>Renovierung und Wiederaufbau Unternehmer</p>
<p>PROJEKTANTEN</p>	<p>Dipl.-Ing. P.Yankov, Dipl.-Ing.MI.Mladenov</p>
<p>Zustand</p>	<p>In Betrieb</p>

<p>PROJEKT:</p> 	 <p>Eisenbahnlinie Sofia –Mezdra, künstlicher Tunnel und Stützwand am Eingangsportal des Tunnels No 2</p>
AUFTRAGGEBER:	Nationale Gesellschaft „Bulgarski durjavni jeleznitzi“
AUFTRAGNEHMER	Renovierung und Wiederaufbau Unternehmer
PROJEKTANTEN	Dipl.-Ing. P.Yankov, Dipl.-Ing.Ml.Mladenov
Zustand	In Betrieb



PROJEKTE

Beendete Projekte der Firma im Wasserbau

Projekt	Technische Daten	Auftraggeber	Zeitraum
Stauanlage Tzankov kamak - Weg No. 5	Straßenweg zum obigen Umleitungsstauwehr	Nationale Elektrizitätsgesellschaft	läuft
Stauanlage Tzankov kamak - Weg No. 2	Straßenweg zur Hauptschleuse an der Staumauer Tzankov kamak	Nationale Elektrizitätsgesellschaft	läuft
Stauanlage Tzankov kamak –Teil der Infrastruktur der Stauanlage Tzankov kamak	Vertikalschacht	Nationale Elektrizitätsgesellschaft	läuft
Stauanlage Tzankov kamak –Teil der Infrastruktur der Stauanlage Tzankov kamak	Penstock Tunnel L = 526 m, Ø = 22 m ²	Nationale Elektrizitätsgesellschaft	läuft
Stauanlage Tzankov kamak –Teil der Infrastruktur der Stauanlage Tzankov kamak	Bypass Tunnel L = 220 m, Ø = 30 m ²	Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2004 - 2005
Stauanlage Tzankov kamak –Teil der Infrastruktur der Stauanlage Tzankov kamak	Diversion Tunnel L = 493 m, Ø = 49 m ²	Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2004 - 2005
Stauanlage Tzankov kamak - Sprengstofflager		Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2004 - 2005
Stauanlage Tzankov kamak - Versuchsrevier	Injektionsarbeiten - Versuche	Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2003
Stausee Jadenitza - Versuchsrevier - Injektionsarbeiten	Injektionsarbeiten	Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2002
Stausee Beli Iskar	Bohr- und Injektionsarbeiten	Sofioter Gemeinde	2002
Kaskade Gorna Arda – Stauwerk Madan	Injektionsarbeiten	Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2002
Stausee Jadenitza, Platz Tschaira	Anker	Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2001
Stausee Hristo	Bohr- und	Ministerium für regionale	2001

Projekt	Technische Daten	Auftraggeber	Zeitraum
Smirnenski	Injektionsarbeiten	Entwicklung und Gestaltung	
Stauwerk Madan – Kaskade Gorna Arda	Bewehrtes Spritzbeton nach der neuösterreichischen Methode	Nationale Elektrizitätsgesellschaft	1999 - 2000
Stauwerk Studena	Injektionsarbeiten	Stauseen und Kaskaden, Sofia	1998
Stausee Kjustendil	Injektionsarbeiten und Torkretbeton	Hydrostroitelstvo 2000 AG	1996 - 1997
Stausee Ognjanovo	Antifiltrierungsmaßnahmen und Torkretspritzbeton	Wodokanalinvest GmbH	1997 - 1998
Stausee Tschatalka	Antifiltrierungsmaßnahmen	Wodno Stopanstvo Einmann - AG	1996 - 1997
Stausee Luda Jana	Antifiltrierungsmaßnahmen	Wasserversorgungskomplex Panagyuriste	1996 - 1998



TUNNEL

Projekt	Technische Daten	Auftraggeber	Zeitraum
Tunnel an der hydrotechnischen Einrichtung „Tzankov kamak“, Bulgarien		Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2006
Tunnel an der hydrotechnischen Einrichtung „Tzankov kamak“, Bulgarien		Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2004 - 2006
Straßenwegtunnel an der hydrotechnischen Einrichtung „Tzankov kamak“, Bulgarien		Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2004 - 2005
Vekehrstunnel „Gevelsberg“, km.0 +290,00 –0+390,00, Deutschland	Ausbruch und Sicherung	Autobahnverwaltung Deutschland	2004 - 2005
Autobahntunnel „Kiesberg“ – vertikaler Turm, Wuppertal, Deutschland	Ausbruch und Sicherung	Autobahnverwaltung Deutschland	2003 - 2004
Autobahntunnel „Vielha“, km.0+580,00-5+609,55, Spanien	Ausbruch und Sicherung	Bundesregierung, Barselona, Spanien	2003 - 2004
Tunnel Bochum, Deutschland	Ausbruch und Sicherung	Metropolitan RUR	2002 - 2004
Hydrotunnel „Jadenitza“, km. 6+432,00-6+182,60, Bulgarien	Ausbruch und Sicherung	Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2003 - 2004
Autobahntunnel Burgholz, km. 2+350,00 - km.	Ausbruch und Sicherung	Autobahnverwaltung	2002 - 2004

Projekt	Technische Daten	Auftraggeber	Zeitraum
4+855,00, Deutschland		Deutschland	
WKW „Ogosta“, Bulgarien	Ausbruch und Sicherung	Mekamidi Ogosta GmbH	2001
Hydrotunnel „Jadenitza“, Bulgarien	Ausbruch und Sicherung	Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2001 - 2003
Hydrotechnische Einrichtung „Madan“, Kaskade „Gorna Arda“, Bulgarien	Ausbruch und Sicherung	Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2001 - 2002
Eisenbahntunnel Eggetunnel, Kassel - Kiel, km. 30.750 + 0 - km. 33.850 + 00, Deutschland	Ausbruch und Sicherung	Deutsche Bahn	2000 - 2002
Tunnel Jadenitza, Sicherung von Portal Tschaira; Bulgarien	Spritzbeton und Ankersicherung	Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2000
Straßenwegtunnel Dragan Tzankov Boulevard, Sofia, Bulgarien	Rekonstruktionsarbeiten am Oststollen und Konservierung am Weststollen mit Torkretspritzbeton	Metropolitan Einmann-AG	1999
Eisenbahntunnel Diesenerwald, km. 81+ 190 - km. 82 + 480, Deutschland	Ausbruch und Sicherung	Deutsche Bahn	1998 - 2000
Eisenbahntunnel Köln - Frankfurt, km.2 136 605 - km. 2 138 774, Idstein, Deutschland	Ausbruch und Sicherung	Deutsche Bahn	1997 - 1999
Autobahntunnel, „Hembergtunnel“, Deutschland	Ausbruch und Sicherung	Autobahnverwaltung Deutschland	1996 - 1997
Straßentunnel „Burgbergtunnel“, Deutschland	Ausbruch und Sicherung	Autobahnverwaltung Deutschland	1995 - 1996
U-Bahn-Tunnel 2, München - Ost, Teil 3, Deutschland	Ausbruch und Sicherung	Metropolitan, München	1994 - 1996
Kanalisationssammelkanal, München Nord, Deutschland	Ausbruch und Sicherung	Gemeinde München	1994 - 1995
U-Bahn-Tunnel 1, München – West, Teil 5 und 6, Deutschland	Ausbruch und Sicherung	Metropolitan, München	1993 - 1996
U-Bahn-Tunnel Feldmoching, München - Nord, Teil 8 Druck - 1,6 Bar, Deutschland	Ausbruch und Sicherung	Metropolitan, München	1993 - 1995
Kanalisationssammelkanal, Fischbach, Deutschland	Ausbruch und Sicherung	Gemeinde Nürnberg	1993 - 1994

LAUFENDE PROJEKTE

Sicherung von Erdbeben und Baugruben; Fundierung von Gebäuden und Anlagen

Projekt	Technische Daten	Auftraggeber	Zeitraum
U-Bahn-Station 13, Sofia	Schlitzwände	Metropolitan Einmann-AG	2005 - 2007
Einkaufszentrum - Varna	Schlitzwände, Anker, Spritzbeton mit Stahlfasern	MOL Varna Einmann-AG	2006
Wohngebäude – WV Boyana, Sofia	Schlitzwände	Bulmiks 97	2006
HKW "Maritza Iztok" II	Bohrpfähle Ø 800	DPSV – Stara Zagora	2006
Verwaltungsgebäude, "T.Aleksandrov " Boul., Sofia	Schlitzwände, IBO Anker	Filto S	2006
Verwaltungsgebäude, "P. Evtimij" Boulevard, Sofia	Schlitzwände	MIRP Stroy	2006

Bohr- und Injektionsarbeiten

Projekt	Technische Daten	Auftraggeber	Zeitraum
Hydrotechnische Einrichtung Tzankov kamak - Penstock	Teil der Infrastruktur der Einrichtung Tzankov kamak L = 526 m, Ø = 22 m ²	NEK – Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2005 -2006
Hydrotechnische Einrichtung Tzankov kamak – Schacht	Teil der Infrastruktur der Einrichtung Tzankov kamak	NEK – Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2006 - 2006
Hydrotechnische Einrichtung Tzankov kamak –Straßenweg Nr. 2	Straßenweg zur Hauptschleuse der Staumauer Tzankov kamak	NEK – Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2006 - 2007
Hydrotechnische Einrichtung Tzankov kamak –Straßenweg Nr. 5	Straßenweg zum Obigen Stauwehr	NEK – Nationale Elektrizitätsgesellschaft	2006 - 2008
Autobahntunnel "Arlaban", Spanien	Ausbruch und Sicherung	UTE Arlaban, Spanien	2006
Autobahntunnel "Schmücke", Deutschland	Ausbruch und Sicherung	Verkehrsministerium, Deutschland	2006